ZUKUNFT
H O L Z

Statusbericht zum aktuellen Stand der Verwendung von Holz und Holzprodukten im Bauwesen und Evaluierung künftiger Entwicklungspotentiale

CD V1.1

Abschlussbericht 30.04.2009

ZUKUNFT **HOLZ** Querschnittsbericht und Entwicklungspotenziale

Projekttitel

Zukunft Holz - Statusbericht zum aktuellen Stand der Verwendung von Holz und Holzprodukten im Bauwesen und Evaluierung künftiger Entwicklungspotenziale

Gefördert mit Mitteln der
Landesstiftung Baden-Württemberg
Im Rahmen der Zukunftsoffensive III

Aktenzeichen 54-8214.07 IV/59-15

Bearbeitung
Institut für Holzbau
Hochschule Biberach
Karlstraße 11
88400 Biberach
Tel: 07351 / 582-521
Fax: 07351 / 582-529
holzbau@hochschule-bc.de

Herausgeber
Prof. Dipl.-Ing. Kurt Schwaner

Mitarbeiter
Dipl.-Ing. (FH) Johannes Sessing
Dipl.-Ing. (FH) Karen Spanninger
Dipl.-Ing. (FH) Stefanie Roßbach
Dipl.-Ing. (FH) Timo Beutel
Dipl.-Ing. (FH) Volker Knopp
Peter Merk
Peter Kaufmann

Redaktion
Dipl.-Ing. Arnim Seidel
Dipl.-Holzwirt Stephan Klein

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung S. 1

Einführung S. 5

Einflußfaktoren S. 21

Zukunftsthemen

1 Markterschließung, Ökonomie S. 25
2 Holzbaubranche, Recht, Politik S. 155
3 Bildung, Erziehung, Forschung S. 223
4 Nachhaltigkeit, Ökologie S. 259
5 Forst und Sägeindustrie S. 319
6 Produktion, Qualitätssicherung S. 377
7 Baustoffe und Bauteile S. 459
8 Vollholz, modifiziertes Holz S. 531
9 Holzwerkstoffe, Verbundkonstruktionen S. 649
10 Verbindungstechniken S. 743
11 Bauphysik S. 859
12 Holzschutz, Oberflächenbehandlung S. 991
13 Planung, Holzbauweisen S. 1051
14 Gebäudekonzepte, Bauen im Bestand S. 1177
15 Konstruktion, Bemessung S. 1307
16 Leuchtturmprojekte S. 1399

Anlagen

A Stichwortliste A 1
B Linkliste B 1
C Autorenverzeichnis C 1
D Interview-Experten-Liste D 1
E Themenliste E 1

Zusammenfassung

Ausgangslage
Keine Diskussion über den Zustand unseres Planeten kommt heute ohne die Feststellung aus, dass der technische Fortschritt des 20. Jahrhunderts mit einem immens steigenden Ressourcen- und Energieverbrauch erkauft wurde. Angesichts der Größe und Dringlichkeit des Problems beginnt nun auch ein Umdenken im Bauwesen. Allen Beteiligten ist klar, dass das bedrohliche Szenario die Anforderungen an Baustoffe, Bauteile und Bausysteme verändern wird. Dabei rücken nachwachsende Rohstoffe wie Holz in den Blickpunkt des Interesses, erfüllt Holz doch wie kein anderer die Anforderungen an einen zeitgemäßen Baustoff und Energieträger.

Holz als Roh- und Werkstoff weist unbestritten eine positive Ökobilanz auf und schneidet auch bei den vergleichenden Lebenszyklusbetrachtungen hervorragend ab. Eine Steigerung der Holzverwendung und die Erschließung neuer Anwendungsbereiche bedeuten global gesehen unmittelbar die Verbesserung der Lebensgrundlagen künftiger Generationen (CO_2-Absorption, Verringerung des Verbrauchs fossiler Energien usw.). Es gilt also, im Bereich der stofflichen Verwendung von Holz im Bauwesen noch erhebliche Potenziale freizulegen.

Ziele des Projektes
Im Projekt wurde der aktuelle Entwicklungsstand der Verwendung von Holz und Holzprodukten im Bauwesen untersucht. Unter Einbindung aktueller und geplanter Forschungs- und Entwicklungsprojekte wurden Entwicklungspotenziale von Holz und Holzprodukten im Bauwesen lokalisiert, die einer verbesserten Ausschöpfung zuzuführen sind.

Die energetische Verwertung sowie die Verwendung von Holz in den Bereichen außerhalb des Bauwesens, wie etwa der Zellstoff- und Papierindustrie, sind nicht Gegenstand der Untersuchungen.

Statusbericht und Evaluation
Die derzeitigen Anwendungsmöglichkeiten von Holz und Holzprodukten wie auch die vorhandenen Forschungsquellen mit den sich aus den jeweiligen F+E-Projekten ergebenden Entwicklungspotenzialen wurden in allen Bereichen des Bauwesens ermittelt und dokumentiert.

Zielgruppen
Da die Zielgruppen dieser Untersuchung sehr heterogen sind, werden einige Experten über die Aussagen des Berichts in ihrem Fachgebiet enttäuscht sein, weil nur der den Insidern bekannte Informationsstand wiedergegeben ist. Die Idee ist, dass auch „fachfremde" Leser gesicherte Informationen finden, die sie dann in Bezug zu ihrem Fachgebiet stellen können.

Methoden, Quellen
Auswertung:
- und Evaluation der bisherigen Informationsangebote sowie von Holzbau-Datenbanken im In- und Ausland
- der vorhandenen Unterlagen der Landes- und Bundesbehörden sowie weiterer Organisationen, z.B. der Landesforstverwaltungen oder der Lehr- und Versuchseinrichtungen (auch im Ausland) des Holzabsatzfonds und Informationsdienst Holz usw.
- statistischer Daten (Landes- und Bundesämter, Verbände, Organisationen)
- der Ideenliste zu F+E- Projekten der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung DGfH, des Holzabsatzfonds usw.
- der Datenbanken der abgeschlossenen und laufenden F+E- Projekte der DGfH und weitere F+E-Datenbanken: WKI Braunschweig, BAM Berlin, Inovawood Dublin, EMPA Dübendorf CH, FMPA Stuttgart, BFH Hamburg, TU München, Uni Karlsruhe

- Verwendung des Informationsmaterials der ausländischen Informationsstellen, besonders der Lignum CH, Pro Holz A sowie Woodfocus, Scandinavien
- Ausführliche, Einzelgespräche / Interviews mit:
  - Entscheidungsträgern der Forst- und Holzwirtschaft (Zimmerer, Säger, Händler, Förster)
  - Planern / Baufachleuten (Architekten, Ingenieure, Bauphysiker, Fachingenieure usw.)
  - Forschern
  - Verbandsvertretern
- Ermittlung unverbrauchter Ideen durch Auslobung eines internationalen Studentenwettbewerbes zur Verwendung von Holz
- Vorbereitung von Einzelthemen / –bereichen durch Diplomarbeiten

Einflussfaktoren

Um die einzelnen Bereiche oder Themen mit ähnlichen oder gleichen Kriterien beurteilen zu können, wurden fünf Einflussfaktoren festgelegt:

- ökonomische
- planerische
- physikalische, chemische, biologische, technische
- ökologische
- rechtliche, normative

Die Einflussfaktoren können vom Leser als Hilfsmittel zur eigenen Beurteilung der Potenziale der Einzelthemen herangezogen werden.

Expertenbefragungen

Eine wichtige Informationsbeschaffung war die Befragung nationaler und internationaler Experten aus Forst- und Holzwirtschaft, Politik, Verbänden und Organisationen, Forschungs- und berufsständischen Einrichtungen (Architekten, Ingenieure, Unternehmer und Handwerker).

Für die Befragung konnten vom Institut für Holzbau 65 Experten aus Deutschland, Österreich und der Schweiz gewonnen werden, die bereit waren ihr Know-how in das Projekt einzubringen (Anlage D, Expertenverzeichnis Interviewführung).

Durch die oben beschriebene Vorgehensweise entstanden eine Fülle von Meinungen und Informationen aus den verschiedensten Quellen, strukturiert und einzelnen Themen zugeordnet, aus welcher sich qualitativ wichtige und zukunftsweisende Themen, Innovationsfelder, ebenso wie konkrete Problemstellungen, extrahieren ließen.

Themenbezogene Abhandlungen

Aus den gesammelten Informationen entstand ein Katalog mit 187 Einzelthemen, die aktuell oder künftig Einfluss auf die Entwicklung der Holzbaubranche haben oder haben können. Diese reichen von detaillierten und bereits weit entwickelten technischen Lösungen.

Mit der Erstellung vieler dieser Einzelthemen wurden externe Fachleute beauftragt. Durch dieses Vorgehen erhält man das Fachwissen / Meinungsbild von führenden Experten bestimmter Themenbereiche (Anlage C, Autorenverzeichnis).

Einzelthemen

Die Einzelthemen wurden folgenden den 16 Bereichen zugeordnet:

1 Markterschließung, Ökonomie
Der Holzbaubranche lässt sich ein Defizit in Bezug auf die Markterschließung bescheinigen. Eine Befragung von Experten lässt eine Reihe realistischer Zukunftsthemen erkennen, deren Erschließung auf strategischer Ebene noch nicht planmäßig betrieben wird.

2 Holzbaubranche, Recht, Politik
Kooperation und Vernetzung werden als Chance für mittelständische Betriebe beschrieben, am sich ändernden Markt und im Wettbewerb mit großen Unternehmen zu bestehen.

3 Bildung, Erziehung
Wer den zukünftigen Holzabsatz verbessern will, muss bei der Bildung der zukünftigen Verbraucher ansetzen und das durchgängig vom Kleinkind bis zur Schul- und Hochschulbildung organisieren.

4 Nachhaltigkeit, Ökologie
Das umfangreiche Zertifizierungssystem des neuen Deutschen Gütesiegels für Nachhaltige Bauwerke zeigt, dass die hervorragenden ökologischen Faktoren des Holzes wie Energieverbrauch und CO_2-Bilanz nicht ausreichen, um ein nachhaltiges Gebäude zu erstellen.

5 Forst und Sägeindustrie
Holz wird am Markt aber nur dann verfügbar sein, wenn künftig der vorratsreiche Kleinprivatwald ähnlich stark genutzt wird wie der Staatswald- und Körperschaftswald.

6 Produktion, Qualitätssicherung
Die Entwicklung und Verwendung von Verbundwerkstoffen wird ein wichtiges Thema der nächsten Jahre sein. Die Schnelligkeit der Verarbeitung ist neben dem mit den Produkten verbundenen Lifestyle und der Optik ein wichtiges Motiv für Innovationen.

7 Baustoffe, Bauteile
Hohe Fassadenelemente können in hoch gedämmter Holzbauweise vor einen sanierungsbedürftigen Altbau gesetzt werden.

8 Vollholz, modifiziertes Holz
Ein viel versprechender Ansatz dem Holz homogenere Eigenschaften zu geben ist die technische Verdichtung und Verformung von Vollhölzern. Eine weitere viel versprechende Änderungen der Holzeigenschaften stellen die Holzmodifizierung dar. Dabei werden die Holzzellen thermisch oder chemisch verändert, jedoch ohne Einsatz von bioziden Wirkstoffen.

9 Holzwerkstoffe, Verbundkonstruktionen
Einzelne Holzwerkstoffe und Verbundkonstruktionen haben im Holzbau besonders gute Chancen, insbesondere Vollholzelemente aus Brettsperrholzplatten, leichte Holzfaserplatten sowie Holz-Beton-Verbindungen.

10 Verbindungstechniken
Klebstoffe besitzen nach wie vor ein hohes Innovationspotenzial für den Holzbau, aber auch bei den Metallverbindungsmitteln sind viele Innovationen erkennbar.

11 Bauphysik
Holz als gewachsener Baustoff weist hervorragende bauphysikalische Eigenschaften auf, darunter einen sehr günstigen Wärmeleitwert.

12 Holzschutz, Oberflächenbehandlung
Die Entwicklung geht eindeutig weg vom chemischen Holzschutz, gleichzeitig wird die Notwendigkeit des vorbeugenden baulichen Holzschutzes bestärkt.

13 Planung, Holzbauweisen
Zukünftig wird das „gesunde“ Bauen mit natürlichen Baustoffen konstruierte und gedämmte Objekte für alle Bereiche gefordert. Der Trend zum

Mischbau hat bereits eingesetzt. Bauaufgaben werden mit extrem kurzer Bauzeit immer häufiger.

14 Gebäudekonzepte, Bauen im Bestand
Bei mehrgeschossigen Bauten ist die schrittweise Eroberung eines wichtig werdenden Marktes zu verzeichnen.

15 Konstruktion, Bemessung
Naturwissenschaft und Technik sollten die Voraussetzungen für eine effiziente Nutzung und stärkere Inanspruchnahme der Ressource Holz schaffen.

16 Leuchtturmprojekte
Herausragende Objekte, gebaute Visionen, Ideen

Einführung

Keine Diskussion über den Zustand unseres Planeten kommt heute ohne die Feststellung aus, dass der technische Fortschritt des 20. Jahrhunderts mit einem immens steigenden Ressourcen- und Energieverbrauch erkauft wurde. Angesichts der Größe und Dringlichkeit des Problems beginnt nun auch ein Umdenken im Bauwesen. Allen Beteiligten ist klar, dass das bedrohliche Szenario die Anforderungen an Baustoffe, Bauteile und Bausysteme verändern wird. Dabei rücken nachwachsende Rohstoffe wie Holz in den Blickpunkt des Interesses, erfüllt Holz doch wie kein anderer die Anforderungen an einen zeitgemäßen Baustoff und Energieträger. Nicht nur Politiker proklamieren nachhaltiges Handeln, auch die Baubranche sieht sich gefordert, neben den technischen Qualitäten eines Gebäudes zukünftig auch die ökologischen Eigenschaften zu verantworten.

Das Leitbild der nachhaltigen Entwicklung stellt ein neues Verständnis globaler Umweltpolitik dar. Auf der Rio-Konferenz 1992 haben über 160 Staaten der Erde erstmals die globale Umweltproblematik diskutiert. Das dort verabschiedete Konzept zielt auf eine nachhaltige und damit dauerhafte ökonomische, ökologische und soziale Entwicklung.

Ausgangslage

Holz als Roh- und Werkstoff weist unbestritten eine positive Ökobilanz auf und schneidet auch bei den vergleichenden Lebenszyklusbetrachtungen hervorragend ab. Eine Steigerung der Holzverwendung und die Erschließung neuer Anwendungsbereiche bedeuten global gesehen unmittelbar die Verbesserung der Lebensgrundlagen künftiger Generationen (CO_2-Absorption, Verringerung des Verbrauchs fossiler Energien usw.). Es gilt also, im Bereich der stofflichen Verwendung von Holz im Bauwesen noch erhebliche Potenziale freizulegen.

Die hervorragenden technischen Eigenschaften und vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten von Holz (hohe statische Robustheit, großes bauphysikalisches Ausgleichsverhalten, energiesparende Be- und Verarbeitung usw.) sind noch nicht vollständig erkannt und in der Praxis im Bauwesen umgesetzt. Hinzu kommt, dass sich Holz in der Öffentlichkeit einerseits als Sympathieträger positioniert, andererseits aber mit ungerechtfertigter Skepsis belegt ist und in vielen Bereichen Nischenprodukt bleibt.

Quo vadis?

Fokussiert sich die Forst- und Holzwirtschaft zukünftig sowohl branchenintern wie auch in ihrer Wirkung nach außen auf eine nachhaltige Rohstoffversorgung und die Erzeugung von Produkten, die völlig neue Anwendungsfelder erschließen, so sind die Grundlagen für eine nachhaltige Entwicklung des Holzbausektors, der Gesellschaft und der natürlichen Ressourcen gelegt.

Die Entscheidungsträger aus Wirtschaft, Politik und Verwaltung haben es in der Hand, die Weichen für einen schonenden und nachhaltigen Umgang mit den erneuerbaren Ressourcen zu stellen und damit zugleich neue Wertschöpfungspotenziale zu schaffen.

Ziele des Projektes

Im Projekt wurde der aktuelle Entwicklungsstand der Verwendung von Holz und Holzprodukten im Bauwesen untersucht. Unter Einbindung aktueller und geplanter Forschungs- und Entwicklungsprojekte wurden Entwicklungspotenziale von Holz und Holzprodukten im Bauwesen lokalisiert, die einer verbesserten Ausschöpfung zuzuführen sind.

Die energetische Verwertung sowie die Verwendung von Holz in den Bereichen außerhalb des Bauwesens, wie etwa der Zellstoff- und Papierindustrie, sind nicht Gegenstand der Untersuchun-

gen. Es werden aber auch Bereiche untersucht, in denen die Holzverwendung zurzeit unbedeutend ist.

Wesentliches Merkmal des Projektes ist die Informationsbeschaffung und -aufbereitung von allen wichtigen Entscheidungsebenen zur Verwendung von Holz im Bauwesen: aus der aktuellen wissenschaftlichen Forschung, aus den Erfahrungen der Betriebe und Industrie, aus den Verbänden und Organisationen der Forst- und Holzwirtschaft sowie von Baufachleuten. Punktuell liegen im ganzen Bundesgebiet weitreichende wissenschaftliche Erkenntnisse zum Werkstoff Holz und zu seinen Anwendungsmöglichkeiten im Bauwesen vor, besonders auch in Baden-Württemberg. Deren Auswertung im Sinne der Entwicklung von Zukunftsmodellen findet jedoch nicht in notwendigem Umfang statt.

Die Arbeitsschritte der Untersuchung zeigen eine Reihe praktikabler und umsetzbarer Ansätze für die Holzverwendung auf. Sie stellen eine wichtige Grundlage zur Erreichung der Ziele beim Umwelt- und Klimaschutz sowie für die Sicherung der Lebensgrundlagen im ländlichen Raum dar.

Die zukünftige Holzverwendung wird aber nicht nur von der Vermittlung der bisher bekannten technischen Eigenschaften des Holzes bestimmt, sondern ist auch wesentlich von der Ausschöpfung der Entwicklungsmöglichkeiten des Holzes oder der Holzprodukte abhängig. Gerade hier gibt es noch erhebliches Optimierungspotenzial, um nicht zuletzt auch die regionale Wertschöpfung zu steigern.

Auf verschiedenen Ebenen der Verbände und der Wirtschaft werden immer wieder Untersuchungen durchgeführt, die den jeweilig vertretenen Interessensgruppen Entscheidungshilfen geben sollen. Diese Datensammlungen entstehen mit Hilfe von Fragebögen, Brainstorming-Workshops, Einzelbefragungen oder Literaturauswertungen. Die Ergebnisse werden häufig in Form statistischer Auswertungen wiedergegeben.

Es gibt eine Vielzahl von Untersuchungen zur Zukunft des Holzbaus, die im Rahmen der Grundlagenermittlung in das Projekt einbezogen wurden (Anlage B, Linkliste):

- Innovations-Roadmap 2020 für die Schweizer Holzwirtschaft
- Zukünfte und Visionen Wald 2100: Langfristige Perspektiven von Wald- und Landnutzung, Entwicklungsdynamiken, normative Grundhaltungen und Governance
- Trendanalyse Zukunft Holz – Delphistudie zur Entwicklung der deutschen Holzindustrie
- Verstärkte Holznutzung, Zugunsten von Klima, Lebensqualität, Innovationen und Arbeitsplätzen (Charta für Holz)
- Die Deutsche Forschungsagenda als Wegweiser zu einer wissensbasierten Bio-Ökonomie
- Holzbau der Zukunft – High-Tech-Offensive Zukunft Bayern
- Zukunftsmärkte der Forst-Holz-Kette
- Holzwende 2020plus – nachhaltige Zukunftsmärkte für das Bauen mit Holz

Statusbericht und Evaluation

Die derzeitigen Anwendungsmöglichkeiten von Holz und Holzprodukten wie auch die vorhandenen Forschungsquellen mit den sich aus den jeweiligen F+E- Projekten ergebenden Entwicklungspotenzialen wurden in allen Bereichen des Bauwesens ermittelt und dokumentiert.

Zielgruppen

Da die Zielgruppen dieser Untersuchung sehr heterogen sind, werden einige Experten über die Aussagen des Berichts in ihrem Fachgebiet enttäuscht sein, weil nur der den Insidern bekannte Informationsstand wiedergegeben ist. Die Idee ist, dass auch „fachfremde“ Leser gesicherte In-

formationen finden, die sie dann in Bezug zu ihrem Fachgebiet stellen können.

Herausarbeiten innovativer Ideen

Um bei der Untersuchung ein möglichst großes Spektrum an Vorschlägen und Ideen zu erhalten, wurde der Weg einer disziplinübergreifenden Zusammenarbeit beschritten. Diese interdisziplinäre Vorgehensweise mit allen Beteiligten des Bauwesens (Architekten, Ingenieure, Fachplaner, Forscher, Unternehmer, Händler, Experten der Forst- und Holzwirtschaft) erlaubte die Ermittlung möglichst vieler potentiell wichtiger Aspekte.

Untersuchungsmethoden

Informationssystem mit thematischer Struktur

Um als Grundlage der Untersuchungen die aktuellen Anwendungsmöglichkeiten von Holz und Holzprodukten im Bauwesen zu dokumentieren, wurde eine strukturierte Informations- und Stoffsammlung aufgebaut. Diese Datenbank führte die Informationen zum Holzbau inklusive einer großen Zahl an Forschungs- und Entwicklungsvorhaben thematisch gegliedert zusammen. Die durch die Auswertung der Daten für künftige Entwicklungspotenziale gewonnenen Erkenntnisse wurden ebenfalls über diese Informationsstruktur organisiert.

Die systematische Sortierung der vielfältigen Informationen ermöglicht:

- Eine durchgängige Darstellung der Themenhierarchien anhand einer abgestuften und aufeinander aufbauenden Informationsstruktur
- Eine Verknüpfung der Bereiche untereinander und die Darstellung der Abhängigkeiten der einzelnen Schwerpunkte
- Einen Strukturabgleich und die Auswertung der Einzelsparten.

Die Informationsbeschaffung und -aufbereitung gliedert sich in die Ermittlung von Beschaffungsquellen aus allen relevanten Bereichen zur stofflichen Verwendung von Holz und Holzwerkstoffen im Bauwesen und deren Aufnahme in Listenverzeichnisse.

Die Recherche bezog alle Medien (Internet, Printmedien, Film usw.) ein:

- Strukturbezogene Aufarbeitung der Informationen / Daten (Sichtung – Gliederung, Sortierung – Prüfung)
- Evaluierung der gesammelten Informationen durch Beschreibung, Analyse und Bewertung. Der aktuelle Stand wie auch mögliche künftige Ergebnisse und deren Einfluss auf die Holzverwendung sind Bestandteil der Untersuchungen.

Das Institut für Holzbau der Hochschule Biberach verfügt über ein umfassendes Informationsnetzwerk innerhalb der Forst- und Holzwirtschaft. Aus den Erfahrungen bei F+E- Projekten sowie aus der Mitarbeit in Forschungs- und Normungsgremien bestand Zugang zu aktuellen Entwicklungen und Unterlagen.

Methoden, Quellen

- Evaluation und Auswertung der bisherigen Informationsangebote sowie von Holzbau-Datenbanken im In- und Ausland
- Ausführliche Literatur- und Internetrecherche
- Informationszentrum Raum und Bau IRB Stuttgart Fraunhofer Institut
- Auswertung der vorhandenen Unterlagen der Landes- und Bundesbehörden sowie weiterer Organisationen, z.B. der Landesforstverwaltungen oder der Lehr- und Versuchseinrichtungen (auch im Ausland)
- Auswertung des Informationsmaterials verschiedener Ministerien, Behörden, Verbände, des Holzabsatzfonds und Informationsdienst Holz usw.

- Auswertung statistischer Daten (Landes- und Bundesämter, Verbände, Organisationen)
- Nutzung des umfangreichen institutseigenen Datenmaterials
- Auswertung von Ideenlisten zu F+E- Projekten der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung DGfH, des Holzabsatzfonds usw.
- Auswertung der Datenbank der abgeschlossenen und laufenden F+E- Projekte der DGfH
- Auswertung der Doktoranden-Kolloquien
- Weitere F+E- Datenbanken:
  WKI Braunschweig
  BAM Berlin
  Inovawood Dublin
  TU-Karlsruhe
  TU München
  EMPA Dübendorf CH
  FMPA Stuttgart
  BFH Hamburg
- Verwendung des Informationsmaterials der ausländischen Informationsstellen, besonders der Lignum CH, Pro Holz A sowie Woodfocus, Scandinavien
- Ausführliche, Einzelgespräche/Interviews mit:
  - Entscheidungsträgern der Forst- und Holzwirtschaft (Zimmerer, Säger, Händler, Förster)
  - Planern/Baufachleuten (Architekten, Ingenieure, Bauphysiker, Fachingenieure usw.)
  - Forschern
  - Verbandsvertretern
- Ermittlung unverbrauchter Ideen durch Auslobung eines internationalen Studentenwettbewerbes zur Verwendung von Holz
- Vorbereitung von Einzelthemen bzw. -bereichen durch Diplomarbeiten

Umsetzung der Informationsstruktur

Die komplexe Gesamtstruktur wurde so aufbereitet, dass sie anhand miteinander verknüpfter Bereiche handhabbar ist.

Einflussfaktoren

Um die einzelnen Bereiche oder Themen mit ähnlichen oder gleichen Kriterien beurteilen zu können, wurden fünf Einflussfaktoren festgelegt:

- ökonomische
- planerische
- physikalische, chemische, biologische, technische
- ökologische
- rechtliche, normative

Die Einflussfaktoren können als Hilfsmittel vom Leser zur eigenen Beurteilung der Potenziale der Einzelthemen herangezogen werden.

Expertenbefragungen

Eine wichtige Informationsbeschaffung war die Befragung nationaler und internationaler Experten aus Forst- und Holzwirtschaft, Politik, Verbänden und Organisationen, Forschungs- und berufsständischen Einrichtungen (Architekten, Ingenieure, Unternehmer und Handwerker). Hierbei wurden Fachleute aus unterschiedlichsten, für den Holzbau relevanten Bereichen befragt.

Für die 65 Befragung konnten vom Institut für Holzbau Experten aus Deutschland, Österreich und der Schweiz gewonnen werden (Anlage D, Expertenverzeichnis Interviewführung), die bereit waren ihr Know-how in das Projekt einzubringen.

Aufgrund der heterogenen und stark regional bezogenen Struktur der deutschen Holzbaubranche wurden zur Interviewführung externe, in ganz Deutschland ansässige Partner hinzugezogen, die als Experten im Bereich des Holzbaus auf brancheninternes Wissen zurückgreifen können.

Diese sind im Einzelnen:
Prof. Dipl.-Ing. Hannelore Damm, Köln und Duisburg D;
Prof. Dipl.-Ing. Jürg Fischer, Bubikon CH;

Dipl.-Ing. Frank Lattke, Architekt, München und Augsburg D;
Dipl.-Ing. Martin Mohrmann, Architekt, Eutin D;
Prof. Dipl.-Ing. Nikolaus Nebgen, Hildesheim D;
Dipl.-Ing. Helmut Zeitter, Wiesbaden D.

Auswertung der Interviews
Die Dokumentation der zweistündigen Expertenbefragungen erfolgte durch Aufzeichnung der Gespräche als digitale Audiodatei und bei Zustimmung der Interviewpartner auch als digitale Videodatei.

Die Ergebnisse der Interviews wurden in die einzelnen Bestandteile der Themen und Fragen zerlegt und über eine Verschlagwortung für die interne Datenbankrecherche vorbereitet. Diese ließen sich so als anonymisierte Einzelstatements der Experten einarbeiten, wo sie themenspezifisch mit den verschiedensten Daten zum gleichen Thema kumulieren (Meinungen aus anderen Expertengesprächen, eingestellte Forschungsberichte, Ergebnisse aus Medienrecherchen u. a.).

Durch die oben beschriebene Vorgehensweise entstanden eine Fülle von Meinungen und Informationen aus den verschiedensten Quellen, strukturiert und einzelnen Themen zugeordnet, aus welcher sich qualitativ wichtige und zukunftsweisende Themen, Innovationsfelder, ebenso wie konkrete Problemstellungen, extrahieren ließen. Aus einer Vielzahl von Statements zu bestimmten Themen oder Themenbereichen wie etwa der „Zukunfts- und Entwicklungsfähigkeit mehrgeschossiger Holzbauten“ ließen sich schließlich Tendenzen ablesen.

Zudem war eine qualifizierte redaktionelle Auswertung notwendig, damit auch solche Themen Eingang in die Projektarbeit fanden, die in der Fachwelt nicht oder noch nicht weitläufig diskutiert werden, aber unter Umständen dennoch das Potenzial besitzen, den künftigen Holzbau zu beeinflussen.

Themenbezogene Abhandlungen
Aus den gesammelten Informationen entstand ein Katalog mit 187 Einzelthemen, die aktuell oder künftig Einfluss auf die Entwicklung der Holzbaubranche haben oder haben können. Diese reichen von detaillierten und bereits weit entwickelten technischen Lösungen wie etwa der Modifikation von Holz durch Acetylierung bis hin zu Visionen (z.B. kraftschlüssiges Schweißen von Holz) oder Problemstellungen, deren Lösung noch nicht greifbar ist wie beispielsweise die „Problematik der stark heterogenen Struktur der Holzbauindustrie“. Deshalb variieren die Einzelthemen in Umfang und Detailtiefe, womit aber keine Wertung der Relevanz für den Holzbau verbunden sein soll.

Mit der Erstellung vieler dieser Einzelthemen wurden externe Fachleute beauftragt. Durch dieses Vorgehen erhält man das Fachwissen bzw. Meinungsbild von führenden Experten bestimmter Themenbereiche (Anlage C, Autorenverzeichnis).

Die Einzelthemen wurden nachfolgenden den 16 aufgeführten Bereichen zugeordnet.

Einzelthemen

01 Markterschließung, Ökonomie

Von Hochschulen, Verbänden und der Industrie werden konstruktive und technische Lösungen erarbeitet, um neue Werkstoffe zu entwickeln und vorhandene Defizite auszugleichen. Dies führt dazu, dass die Branche in Deutschland deutliche Fortschritte erringt. Dennoch lässt sich der Holzbaubranche ein Defizit in Bezug auf die Markterschließung bescheinigen. Eine Befragung von Experten lässt eine Reihe realistischer Zukunftsthemen erkennen, deren Erschließung auf strategischer Ebene noch nicht planmäßig betrieben wird. [„Markterschließung“, Wehner]

Neben dem Endkunden ist die Ausrichtung des Marketings auf die Zielgruppe der Planer und Bauschaffenden von besonderer Bedeutung. Da im Bausektor mehr als 60 % der Produktionsmenge der Forst- und Holzwirtschaft abgesetzt werden, bedürfen die im Bausektor Aktiven einer spezifischen Ansprache zur Schaffung des für Planer notwendigen Zutrauens in die ihm angebotenen Informationen. Gleichzeitig muss im Umkehrschluss aus dem Bausektor „herausgehört“ werden, welche konzeptionellen Entwicklungen sich dort abzeichnen, auf die der Baustoff Holz mit eigenständigen Lösungen und Angeboten im Sinne von Forschung und Entwicklung reagieren kann. [„Die Bedeutung der Fachinformation für Planer und der allgemeinen Information für Bauinteressierte“, Dederich]

Der Holzbau wird an den Hochschulen mit bautechnischen Fachrichtungen im Vergleich zu den konkurrierenden Baustoffen nur bedingt vermittelt, so dass nur ein kleiner Teil der Studierenden mit fundiertem Wissen um Holz und den zeitgemäßen Holzbau ins Berufsleben eintritt. Deshalb kommt der Förderung zukünftiger Bauplaner eine zentrale Bedeutung in der langfristigen Strategie der Holzabsatzförderung zu. Am Beispiel eines Studentenwettbewerbs, der für das Projekt „Zukunft Holz“ durch das Institut für Holzbau ausgelobt wurde, ist zu erkennen, dass es für die gesamte Holzbaubranche unerlässlich ist, die junge Generation durch solche Maßnahmen in die Branche einzubinden. [„Holzbau und Studentenwettbewerbe“, IfH]

02 Holzbaubranche, Recht, Politik

Kooperation und Vernetzung werden als Chance für mittelständische Betriebe beschrieben, am sich ändernden Markt und im Wettbewerb mit großen Unternehmen zu bestehen. Entwicklungsprozesse können beschleunigt, neue Märkte und Kundengruppen erschlossen sowie die Vermarktung gefördert werden. Obwohl die Unter-

nehmen der Holzbranche Kooperationen prinzipiell als sinnvoll erachten, hegen sie noch Vorbehalte gegen horizontale Kooperationen. Diese müssen durch eine gezielte Ansprache der Unternehmen ausgeräumt werden.

Die Ergebnisse der Cluster-Studie Forst und Holz Bayern weisen den Weg, um die Innovationskraft und die Wettbewerbsfähigkeit des Sektors Forst und Holz in Bayern weiter zu verbessern. Die Entscheidungsträger aus Wirtschaft, Politik, Verbänden, Forschung, Ausbildung, Verwaltung und Regionalinitiativen haben es in der Hand, die aufgezeigten Handlungsempfehlungen gemeinsam mit dem Cluster-Management umzusetzen. [„Von der Wertschöpfungskette zum Cluster“, Wegener, Bauer, Blenk]

Neben der von politischer Seite eher selten unterstützten Branchenentwicklung sind es oftmals einzelne Persönlichkeiten, die ihren Erfindergeist und ihre langjährige Berufserfahrung einbringen, um neue Ansätze zur Weiterentwicklung des Holzbaus zu ersinnen. So entstehen folgende Bilder:
- CAD unterstützt die Architekten bei ihren dreidimensionalen Entwürfen. CAE hilft den Ingenieuren bei ihren komplexen Berechnungen und Simulationen. CAM ermöglicht danach mit der Produktion sofort zu beginnen, egal ob es Einzelfertigungen sind oder Serien bearbeitet werden.

- Infolge der absehbaren Verknappung vieler Rohstoffe wird der Zwang zu ressourcenoptimiertem Bauen ansteigen. Auch Holz wird knapp werden. Der Gesetzgeber wird Kaskadennutzungen der Stoffe (Mehrfachverwendung mit Recycling) vorschreiben.

- Entscheidend für den Einsatz der Baustoffe werden die Systemleistungen von Elementen und Modulen. Das können feuersichere, Schall isolierende und Wärme speichernde Zwischendecken oder Wärme dämmende, Energie gewinnende und gestaltende Außenhüllen sein. [„Visionen im Holzbau“, Blumer]

03 Bildung, Erziehung, Forschung
Wer den zukünftigen Holzabsatz verbessern will, muss bei der Bildung der zukünftigen Verbraucher ansetzen und das durchgängig vom Kleinkind bis zur Schul- und Hochschulbildung organisieren. Um diese Ziele zu erreichen, müssen neue Formen der Zusammenarbeit und eine Intensivierung der Kooperationen zwischen den Bildungseinrichtungen und der Holzbaubranche entwickelt werden. Hierfür sind auch strukturelle, personelle und ausstattungstechnische Verbesserungen für die Holzbaulehre an den Hochschulen notwendig, insbesondere vor dem Hintergrund einer rückläufigen Tendenz der Holzbaulehrstühle an den deutschen Hochschulen.

Lösungsansätze bieten etwa die Schaffung eines „Kompetenz-Zentrums Holzbau“ an einer Universität in Baden-Württemberg, einem Institut, das weder bei den Bauingenieuren noch bei den Architekten angesiedelt ist und für gezielten Lehrtransfer in beide Studiengänge und angrenzende Fachgebiete wie Baustoffkunde, Bauphysik oder Energie sorgt. [„Hilfsmittel für die Lehre“, IfH]

Die neuen Medien finden Anwendung in vielen Bereichen der Aus- und Weiterbildung. Dazu gehört auch das computergestützte Lernen unter Berücksichtigung multimedialer Technologien, kurz: E- Learning. Die allgemein bekannte Komplexität des Lehrstoffes „Holzbau“ und der Umbruch bzw. die Neuerungen in den Regelwerken machen gerade hier eine Anwendung des E-Learning sinnvoll. [„Holzbau E- Learning“, Schiermeyer]

Die Konzentration in Sachen der nachwachsenden Generation darf sich nicht nur auf die Hochschulen beschränken. Es empfiehlt sich zur Entwicklung einer stringenten Kommunikation der zeitgemäßen Holzverwendung über alle Schulformen hinweg eine Aktualisierung der zu vermittelnden Lehrinhalte, so etwa ein über alle Bundesländer flächendeckendes Angebot von Werkunterricht in der Primarstufe oder eine abgestimmte Ansprache der Schul- bzw. Lehrbuchverlage zur Prüfung des aktuell vermittelten Bildes der volkswirtschaftlichen Bedeutung der Forst- und Holzwirtschaft. [„Früherziehung – Schule“, Niemeier, Dederich]

04 Nachhaltigkeit, Ökologie

Der Blick des Architekten und Bauingenieurs geht gewöhnlich über die Betrachtung eines Baustoffes hinaus. So fragt er auch nach dem sozialen Umfeld der Gebäudeerrichtung und -nutzung, die vor allem abhängig ist von den Gewohnheiten und Gebräuchen ihrer späteren Bewohner. Entsprechend zeigt das umfangreiche Zertifizierungssystem des neuen Deutschen Gütesiegels für Nachhaltige Bauwerke, dass die hervorragenden ökologischen Faktoren des Holzes wie Energieverbrauch und CO_2-Bilanz nicht ausreichen, um ein nachhaltiges Gebäude zu erstellen. [„Green Glamour ist nicht genug!“, Kaltenbrunner]

Viele der dort festgelegten Nachhaltigkeitskriterien beziehen sich nicht ökologische Faktoren wie CO_2 - und Energiebilanz eines Baustoffs, sondern auf wirtschaftliche und soziale Kriterien; so ist es oft nachhaltiger, ein altes, schlecht gedämmtes Gebäude stehen zu lassen, als ein neues aus Holz zu bauen; daher läuft der Baustoff Holz sehr leicht Gefahr, als Baustoff unter den Tisch zu fallen. Das umfangreiche Zertifizierungssystem, das zusammen mit dem Bundesministerium für Verkehr, Bauen und Stadtentwicklung umgesetzt wird, wurde Anfang 2009 der Öffentlichkeit vorgestellt wurde und könnte richtungsweisend für das Bauen der Zukunft sein. [„Chancen und Perspektiven im Holzbau durch Zertifizierung“, Rudolphi]

Weitere Beiträge der Studie stellen die Energiebilanz des Holzbaus in den Vordergrund. So stellt die aktuelle Holzbaustudie „ÖkoPot“ fest, dass zur Herstellung von Holzbauten wesentlich weniger Energie erforderlich ist, als im Holz selbst enthalten ist. Der Gedanke der Nachhaltigkeit wird von einigen Holzbauunternehmen bereits seit Jahren konsequent in die Praxis umgesetzt. Aus Sicht der Holzbaupraxis ist es möglich, an Hand einer quantifizierbaren Öko-Bilanzierung den Produktkreislauf eines Einfamilienhauses exakt zu verfolgen. Diese umfassenden Erkenntnisse gilt es verstärkt in der Öffentlichkeit und in Norm setzenden Fachkreisen zu kommunizieren. [„Nachhaltigkeit von Holz und Holzprodukten“, Fritz-Kramer]

05 Forst, Sägeindustrie

Prognosen aus der Bundeswaldinventur 2002 / 2003 zeigen, dass in den kommenden 40 Jahren, mit einem Rohholzaufkommen auf etwa 80 Mio. m³ pro Jahr gerechnet werden kann. Dieses Holz wird am Markt aber nur dann verfügbar sein, wenn künftig der vorratsreiche Kleinprivatwald ähnlich stark genutzt wird wie der Staatswald- und Körperschaftswald. Zudem müssten die vorhandenen Starkholzvorräte verstärkt abgebaut werden. Beim Rohholzaufkommen zeigen sich also Potenzial und Engpass zugleich. [„Ressourcen - Rohstoffmobilisierung“, Sauter]

Dieser Bericht weist auf zwei Wege hin, wie das Rohholzpotenzial seitens der Forstwirtschaft und seitens der Sägeindustrie genutzt werden kann: Zum einen über die Mobilisierung des Holzes im nicht organisierten Kleinwald, zum anderen Ausnutzung der technischen Möglichkeiten der nachgelagerten Holzbearbeitung. Für den Kleinwaldbesitzer entscheidend ist die Stabilität der Holzmarktes. Hierbei helfen politische (Weiterentwicklung des Forstschädenausgleichs-Gesetzes) als auch ökonomische Instrumente (Langfristverträge). Hingewiesen sei auf ein Beispiel aus Bayern, wo eine langfristige Kooperation zwischen Großsäger und Kleinwaldbesitzern entstand - insgesamt eine „win-win-Situation“ für beide Seiten. [„Besondere Absatzkonzepte“, Wirthensohn]

Der zweite Weg zur Mobilisierung des Rohholzes, genauer des Starkholzes, führt über die verbesserte Holzeingangsvermessung der Sägewerke, verbunden mit einer anschließenden maschinelle Festigkeitssortierung des Schnittholzes. Messtechnische Anlagen zur Vermessung, Güte- und Festigkeitssortierung von Rund- und Schnittholz finden sich heute vielfach bei der Rundholz-Eingangsvermessung von Sägewerken, aber auch innerhalb der Weiterverarbeitung des Schnittholzes. Hier finden sich künftig große Potenziale zur verbesserten Rohholznutzung. [„Hochwertige Bauprodukte mit differenzierter Tragfähigkeit und Optik aus starkem Stammholz“, Tratzmiller]

06 Produktion, Qualitätssicherung

Es ist offen, in welche Richtung sich neue Produkte und die Anforderungen der Kunden an das Produkt Holz zukünftig entwickeln. Man kann aber aufgrund der aktuellen Entwicklung erahnen, welche Ansprüche künftig an den Baustoff Holz gestellt werden. So entwickelt sich die Holzindustrie von einfachen Produkten wie Schnittholz und Plattenwerkstoffen hin zu Systemen und komplexen Lösungen wie etwa kompletten Wandaufbauten. Zudem wird die Entwicklung und Verwendung von Verbundwerkstoffen ein wichtiges Thema der nächsten Jahre sein. Die Schnelligkeit der Verarbeitung ist neben dem mit den Produkten verbundenen Lifestyle und der Optik ein wichtiges Motiv für Innovationen. Nicht zuetzt ist das Gewicht von Produkten ein Aspekt von Verbraucher- bzw. Verarbeiterfreundlichkeit. Von Seiten der Verfahrenstechnik wird versucht das Gewicht zu minimieren.

Auf Seiten der Baumarten lassen sich auch wandelnde Wertschätzungen beobachten, so etwa bei der Weißtanne. Die Tannenqualitäten sind – verbunden mit deren Wertschöpfung auf den gesamten Stamm bezogen – besser als die der Fichte, da diese im unteren Stammabschnitt häufig durch Rotfäule wertgemindert ist. Die Säger sollten deshalb ihre Haltung gegenüber der Weißtanne überdenken, da die erzielbaren Erlöse der Weißtanne heute schon teilweise über denen der Fichte liegen. [„Trendentwicklung der Weißtanne“, Loth]

Das Potenzial der maschinellen Festigkeitssortierung lässt sich durch die Entwicklung und Optimierung alternativer und effizienterer maschineller Sortierstrategien noch deutlich steigern. Das Kernelement für diesen Schritt ist in der Entwicklung konsistenter statistischer Modelle unter Einbezug aktuellster maschineller Sortierverfahren und landesspezifischer sowie internationaler normativer Rahmenbedingungen zu sehen. [„Potenzial der maschinellen Festigkeitssortierung von Schnittholz“, Sandomeer, Steiger]

Auch an der wirtschaftlicheren Gestaltung der holzverarbeitenden Prozesse entlang der Wertschöpfungskette muss gearbeitet werden. Statt Einzelunternehmen befinden sich immer häufiger Liefer- und Wertschöpfungsketten im Wettbewerb. Hilfe soll hier RFID schaffen, eine automatische Identifikationstechnologie. Hierbei werden Informationen auf einem Datenträger gespeichert, der innerhalb eines Hochfrequenzfeldes kontaktlos beschrieben und gelesen werden kann. [„Radio Frequency Identification – RFID“, Thomas Strautmeister]

07 Baustoffe, Bauteile

Die energetische Ertüchtigung von Altbauten sind ist eine der großen Herausforderungen für eine nachhaltige Zukunft. Die Wohnungswirtschaft sucht schon seit langem nach Möglichkeiten einer energetischen Gebäudesanierung, die schnell und ohne wesentliche Beeinträchtigungen der Mieter realisiert werden kann. Holzbauteile haben hier den Vorteil, dass sie trocken und präzise im Werk vorgefertigt werden können.

Wie die Studie zeigt, können z.B. Gebäude hohe Fassadenelemente in hoch gedämmter Holzbauweise vor einen sanierungsbedürftigen Altbau gesetzt werden. („Energetische Sanierung von Gebäuden mit Fassadenelementen in Holzbauweise“, Pape) Eine zweite Möglichkeit der energetischen Altbausanierung sind Wärmedämmverbundsysteme mit Holzfaserplatten. Diese Systeme werden zunehmend auch von der Fertighausindustrie eingesetzt und entsprechen allen modernen Bauanforderungen wie z.B. dauerhafter Wetterschutz, klimabedingter Feuchteschutz, baulicher Holzschutz oder Brandschutz. Auf das hohe Potenzial von Holzfaserdämmplatten wird auch in Kapitel 9 und 11 hingewiesen. [„Wärmedämmverbundsysteme mit Holzfaserplatten im Holzbau“, Radovic]

In diesem Zusammenhang sind auch neue Fenster- und Fassadensysteme aus Holz zu nennen. So kann Glas direkt mit dem Holzrahmen verklebt werden, was zu einer Erhöhung der statischen Eigenschaften führt, aber auch zu einer längeren

Lebensdauer des tragenden Holzrahmens, der durch die Glasscheibe vor Witterungseinflüssen geschützt ist. Neue und viel versprechende Bauteile finden sich auch im Bereich großer Hallendächer, wo extrem leichte Holzträger eingesetzt werden. Auch hier sind die Ingenieure noch lange nicht am Ende der Entwicklung angelangt. [„Kielstegelemente“, Krestel]

08 Vollholz, modifiziertes Holz

Die mechanischen Kennwerte von Vollholz können je nach Dichte und Wachstumsstruktur um etwa eine Größenordnung streuen. Daher hat es immer wieder Bemühungen gegeben, Holzbaustoffe und Holzbauteile mit gleichförmigeren Eigenschaften herzustellen. Ein sehr viel versprechender Ansatz dazu ist die technische Verdichtung und Verformung von Vollhölzern. So zeigen Untersuchungen an Pappelhölzern aus Kurzumtriebsplantagen eine hervorragende Eignung zur Herstellung von Formholz, auch wegen ihrer geringen Dichte und der gleichmäßigen Verteilung der Poren. Ähnliche Festigkeitsuntersuchungen an Fichtenpressholz bestätigen die Herstellung von Formholz auch für die Holzart Fichte. Insgesamt sind die gewonnen Baustoffe um einiges homogener und fester als vergleichbares Vollholz. [„Festigkeitsuntersuchungen an Fichtenpressholz (FPH)“, Haller, Wehsener]

Weitere viel versprechende Änderungen der Holzeigenschaften stellen die Holzmodifizierung dar. Dabei werden die Holzzellen thermisch oder chemisch verändert, jedoch ohne Einsatz von bioziden Wirkstoffen. Motivation für die Herstellung modifizierten Holzes ist häufig der Einsatz dimensionsstabiler und dauerhafter Importholzarten aus den Tropen und Subtropen, aber auch der Verzicht auf chemische Holzschutzmittel (s.a. Kapitel 12).

In diesem Bericht werden folgende chemische Modifikationsverfahren näher beschrieben, u. a. die Acetylierung, Furfurylierung oder die Behandlung mit siliziumhaltigen Verbindungen. 2008 wurde in den Niederlanden eine Schwerlastbrücke aus acetyliertem Holz errichtet. Die prognostizierte Nutzungsdauer Brücke liegt bei etwa 80 Jahren, da das modifizierte Holz kaum noch Wasser aufnimmt und daher für Pilze und Insekten keinerlei Nährboden bietet. Daneben wird zunehmend thermisch modifiziertes Holz eingesetzt, vor allem als Parkett- und Fußbodenbelag, aber auch im Außenbereich besitzt es durch sein stark reduziertes Wasseraufnahmevermögen eine hohe Dimensionsstabilität und Dauerhaftigkeit. [„Acetylierung“, IfH]

09 Holzwerkstoffe, Verbundkonstruktionen

Bei den Holzwerkstoffen und Verbundkonstruktionen werden vor allem Systemlösungen für die Bauwirtschaft die Zukunft sein. Diese können im Marktsegment des mehrgeschossigen Bauens ebenso gut eingesetzt werden wie beim Gewerbebau oder beim Bauen in Erdbebengebieten. Ein Engpass ihrer weiteren Markterschließung ist im Bereich der anwendungsbezogenen Forschung

sowie der Normung und Gesetzgebung gesehen. Hier müssen Holzindustrie und Forschung weiterhin ihre Ressourcen bündeln, um Planern und Verarbeitern mit Blick auf den Eurocode und die EU-Bauproduktenrichtlinie schnellstmöglich standardisierte, Einzelnachweis freie Lösungen anbieten zu können. Die Erfahrung der Holzwerkstoffindustrie der letzten fünf Jahre zeigt, dass der europäische Weg zur Erlangung von Prüf- und Klassifizierungsberichten sowie von Zulassungen zwar aufwendig und teuer ist, sich aber mittel- und langfristig lohnt. [„Zukunft der Holzwerkstoffe – Holzwerkstoffe haben Zukunft", Sprockhoff]

Einzelne Holzwerkstoffe und Verbundkonstruktionen haben im Holzbau besonders gute Chancen, insbesondere Vollholzelemente aus Brettsperrholzplatten, leichte Holzfaserplatten sowie Holz-Beton-Verbindungen. Das große Potenzial für Bauelemente aus Brettsperrholz findet sich auf Grund ihrer relativ hohen Masse im Schallschutz sowie im sommerlichen Wärmeschutz, auch leichtere Massivholzplatten sind bereits auf dem Markt. [„DendroLight – leichte Massivholzplatte", Berger, Gaisbauer]

Ebenfalls ein äußerst hohes Potenzial ist den Holzfaserplatten zuzuschreiben. Sie weisen einen Rohdichtebereich von 45 kg/m³ bis über 1000 kg/m³ auf und sind in fast allen Bereichen des Holzbaus, vor allem aber als Wärmedämmstoffplatten, zu finden (vgl. auch Kapitel 11). Sehr interessant für zukünftige Anwendungen ist die Hydrophobierung der Holzfasern vor der Plattenfertigung, durch die sich wasserabweisende Eigenschaften ergeben. [„Holzfaserplatten", Rüther]

Holz-Beton-Verbindungen eignen sich vorzüglich zur Altbausanierung bzw. zur statischen Ertüchtigung alter Holzdecken. Forschungsarbeiten zeigen, dass bei einer Holz-Beton-Verbunddecke trotz des höheren Deckeneigengewichts (durch Einbringen der Betonschicht) im Vergleich zur ursprünglichen Holzdecke eine bis zu 400 % erhöhte Tragfähigkeit erreicht werden kann. Gleichzeitig wird die Steifigkeit der Deckenkonstruktion sowie ihr Schallschutzvermögen durch die Einbringung der zusätzlichen Masse erhöht. Auch diese Entwicklung gilt es weiterhin zu unterstützen. [„Holz-Beton-Verbund", Bathon, Bletz]

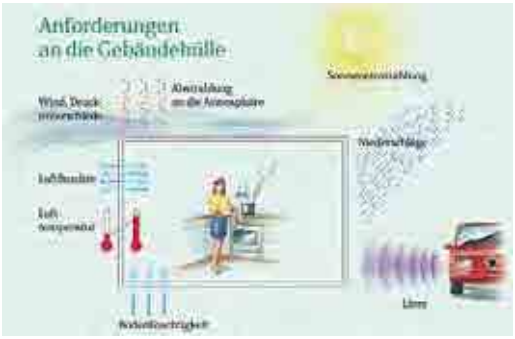
10 Verbindungstechniken

Klebstoffe besitzen nach wie vor ein hohes Innovationspotenzial für den Holzbau, aber auch bei den Metallverbindungsmitteln sind viele Innovationen erkennbar. Für die Holzwerkstoffindustrie wie für den Holzbau gilt gleichermaßen: Die Kombination von Holz und Klebstoff ist unerlässlich, um in sich homogene und damit für den Anwender verlässliche Baustoffe und Bauteile herzustellen.

Kurz vor der Industriereife steht ein Zweikomponenten-Klebstoff, der eine sekundenschnelle Verklebung z.B. in der Brettschichtholz-Herstellung möglich machen soll. Dieser Sekundenkleber stellt die die Maschinen- und Anlagenbauer vor neue Herausforderungen, das für automatisierte Hochgeschwindigkeitsprozesse geeignete Klebsystem soll bereits 2010 auf den Markt kommen. [„Lignofast – ein Quantensprung in der Klebstofftechnologie", Luthiger]

Dynamisch ist die Entwicklung bei den Klebeverbänden mit anderen Werkstoffen. So werden immer häufiger Verbindungsmittel aus Stahl in Holzbauteile eingeklebt mit dem Ergebnis sehr guter Festigkeitswerte. [„Ausziehwiderstand von Gewindestangen“, Steiger, Widmann] Dieser Entwicklung hinterher hinkt die Holzbaunorm DIN 1052, die bisher nur die Verklebung stabförmiger Stahlteile vorsieht. Dieselbe Norm kann derzeit auch nicht Schritt halten beim Korrosionsschutz der eingebrachten Stahlverbinder. Hier stellt sie ein ausgesprochenes Innovationshindernis dar, da Planer und Holzbauer derzeit zu alten und schlechteren Lösungen greifen müssen. Andere Industrien halten mittlerweile eine Fülle von Möglichkeiten zum Korrosionsschutz bereit, wie z. B. Salz abweisende Schichten, die auf der Nanotechnik beruhen.

Eine grundsätzliche andere Richtung der Holzverbindung schlägt die Forschung beim so genannten Holzschweißen ein; dieses Verfahren besitzt das Potenzial, Klebstoffe künftig weitgehend zu ersetzten. Dabei wird durch Vibration zweier aufeinander liegenden Holzflächen eine hohe Temperatur erzeugt wird, aus der eine Erweichung des Lignins und eine entsprechende Verklebung nach Widererkaltung resultiert. Solchen ganz neuen Verfahren könnte die Zukunft gehören, zumal sie ohne fossile Rohstoffe auskommen. [„Holzschweißen“, Ganne-Chédeville]



11 Bauphysik

Bereits in der Entwurfsphase eines Gebäudes sollten die bauphysikalische Faktoren wie der Wärme-, Feuchte-, Schall- und Brandschutz möglichst im Detail berücksichtigt werden. Holz als gewachsener Baustoff weist hervorragende bauphysikalische Eigenschaften auf, darunter einen sehr günstigen Wärmeleitwert. Auch dadurch können innerhalb eines Gebäudes Wärmebrücken verhindert und Heizkosten gespart werden.

Der Wärmedämmung dienen auch Holzwerkstoffe wie Weichfaserplatten oder Schüttdämmungen aus Cellulose. Als seit vielen Jahren erprobte Bausysteme finden sich diese modernen Baustoffe in allen Arten von Wänden, Decken und Dächern, entweder als belüftete Dämmschichten oder unbelüftet direkt unter Putz. Dabei ist immer auf eine diffusionsoffene Bauweise zu achten bzw. auf die Ausbildung einer luftdichten Schicht an der Innenseite der Gebäudehülle. [„Innendämmung von massiven Außenwänden“, Borsch-Laaks]

Im Bereich der Neubauten können Passivhäuser sowie Gebäude des KFW-40-Standards durch moderne Holzgebäude problemlos realisiert werden. Die Erstellung eines Passivhauses in Holzbauweise ist etwa 6 bis 8 % teurer als ein vergleichbares Holzgebäude nach heutigem Dämmstandard. Dieser Mehraufwand wird allerdings innerhalb weniger Jahre kompensiert durch die Einsparung teurer Energieträger.

Der Brandschutz ist sicherlich nach wie vor einer der größten Hindernisse für den Holzbau. Insgesamt kann aus der heutigen Sicht der Forschung und Praxis gesagt werden, dass bei Einhaltung der gesetzlichen Rahmenbedingungen bzw. bei einer gewissenhaften Planung und Realisierung eines Holzgebäudes ein erhebliches Brandschutzniveau erreicht wird. Aufgrund umfangreicher theoretischer und experimenteller Grundlagenun-

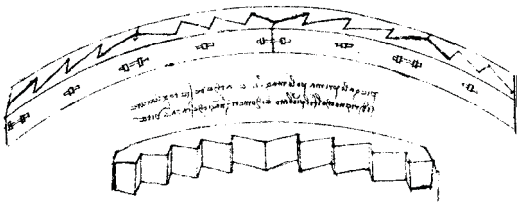
tersuchungen gelingt es allmählich, die Bedenken der Bauaufsicht und der Feuerwehr gegenüber der Holzbauweise auszuräumen. Die deutsche Musterbauordnung 2002 erlaubt in Verbindung mit der Musterrichtlinie für Brandschutzanforderungen an hoch Feuer dämmende Bauteile in Holzbauweise die Erschließung der innerstädtischen Quartiere in mehrgeschossiger Holzbauweise. [„Brandschutz im Holzbau“, Kruse, Dehne]

12 Holzschutz, Oberflächenbehandlung
Der Schutz des Holzes ist immer gefordert, wenn es eine tragende Funktion erfüllt und im Außen- oder Innenbereich dauerhaft nass werden kann. In den vergangenen Jahren ging die Entwicklung innerhalb des Holzbaus weg vom chemischen Holzschutz, gleichzeitig wurde dem vorbeugenden baulichen Holzschutz verstärkt Beachtung geschenkt. Diese Entwicklung greift auch die Holzbaunorm DIN 68800 auf, die derzeit aktualisiert wird: Sie schreibt fest, dass bauliche Maßnahmen beim Schutz des Holzes künftig im Vordergrund zu stehen haben. [„Holzschutz – aktueller Stand der Wissenschaft und Technik“ sowie „Unempfindlichkeit von technisch getrocknetem Holz gegen Insekten“, Radovic]

Sofern es sich nicht um tragende Holzbauteile handelt, kann bewittertes Bauholz auch beschichtet werden. Die Entwicklung der Holzbeschichtungsmittel unterliegt einer relativ hohen Dynamik, vor allem den Schutz gegen UV-Strahlung und Feuchteeintrag betreffend. Herkömmliche Substanzen zur Hydrophobierung von Holzoberflächen basieren auf Paraffin, Wachsen oder Ölen. Dazu kommen neuerdings Präparate der Nanotechnologie, wie z.B. Siliziumverbindungen, welche eine Wasser abweisende Mineralschicht auf dem Holz bilden, aber auch harte Kunststoffschichten. [„Polyurethan-Beschichtungen“, IfH]

Geforscht wird derzeit auch an der Umsetzung des Lotuseffekts, der, ebenfalls von der Nanotechnologie aufgegriffen, eine sich selbst reinigende Holzoberfläche zum Ziel hat. Diese Bemühungen der Holzforschung sollten weiter vorangetrieben werden. Ebenfalls in der Entwicklung sind mehrere Verfahren des UV-Schutzes von Holzoberflächen. Entsprechende Sonnenschutzmittel können die Standzeit von Holzoberflächen erheblich verlängert werden, da sie den UV-bedingten Abbau des Lignins verhindern.

Insgesamt ist für Hölzer und Holzbauteile, die baulich nicht dauerhaft vor der Witterung geschützt werden können, eine steigende Anzahl von Schutzmöglichkeiten zu verzeichnen, deren Umweltauswirkungen im Gegensatz zu früheren Applikationen zumeist stark reduziert sind. Diese zu begrüßende Entwicklung setzt sich derzeit in Forschung und Praxis weiter fort.



13 Planung, Holzbauweisen
Generell ist die Unüberschaubarkeit und Unstrukturiertheit der Branche zu konstatieren. Einzelkämpfer entwickeln neue „Systeme“, Kleinbetriebe versuchen mit neuen Produkten Marktan-

teile zu gewinnen, Bücher und Internet bieten nur wenig fundierte Information, an den Hochschulen besteht nur vereinzelt ein dem Thema entsprechendes Lehrangebot und zudem wird die Forschung nicht unter den Holzländern Europas angestimmt.

Drei bestimmende Themen sind für die Zukunft zu identifizierten. Dies ist zum einen das „gesunde" Bauen: Gefordert sind mit natürlichen Baustoffen konstruierte und gedämmte Objekte für alle Bereiche des längeren Aufenthalts von Menschen. Zum zweiten hat der Trend zum Mischbau bereits eingesetzt: Tragstruktur Stahl oder Beton, Hülle in vorgefertigten und hochwärmegedämmten Fassaden-Teilsystemen. Drittens werden Bauaufgaben mit extrem kurzer Bauzeit immer häufiger. Dafür ist höchste Vorfertigung ebenso notwendig wie einfache Montierbarkeit. [„Gedanken zur Situation des Holzbaus", Kaufmann]

Flächenhafte Elemente aus Massivholz – Brettstapel und Brettsperrholz – sind in den vergangenen Jahren vermehrt zur Anwendung gekommen. Über die damit in Verbindung stehenden Bauweisen liegen bereits entsprechende Erkenntnisse zum Tragverhalten sowie zur Ausbildung einfacher Ausführungen vor. Eine systematische Aufarbeitung schon vorgegebener Lösungen steht jedoch noch aus. [„Brettstapel (BST)" und „Brettsperrholz (BSP)", Mestek]

Der aufgelöste Fachwerkträger weist im Vergleich zu Vollwandträgern aus BS-Holz einige Vorteile auf. Es ist möglich, Fachwerkträger aus BS-Holz im sichtbaren Bereich wirtschaftlich herzustellen, deren Gurte aus BS-Holz und deren Füllstäbe aus Brettsperrholz bestehen. Als Verbindungsmittel werden Gewindestangen mit einem Holzschraubengewinde verwendet. [„Fachwerkträger", Blaß]

14 Gebäudekonzepte, Bauen im Bestand
Holz kommt mit dem Bauen im Bestand in die Stadt. Bei Nachverdichtungsmaßnahmen bestehender Gebäude kommt oft aus statischen Gründen nur ein Holzbau in Frage. Auch beim mehrgeschossigen Holzbau sind die Vorteile wie kurze Bauzeiten, koordinierter und trockener Bauablauf ausschlaggebend. Das ist eine große Chance für den Holzbau. Diese Unterschiede müssen herausgestellt und vermittelt werden.

Bei mehrgeschossigen Bauten ist die schrittweise Eroberung eines wichtig werdenden Marktes zu verzeichnen. Erforderlich dafür ist eine konsequente Weiterentwicklung der Brandschutzvorschriften. In Kombination mit Fertigstellungen auf der Baustelle und mit Vorkonfektionierungen sind hierbei noch administrative Fragen der Verantwortlichkeit und der Überwachungsfähigkeit zu klären. Die neuen Erkenntnisse müssen allerdings in baurechtliche Regelungen Eingang finden. [„Mehrgeschossiger Holzbau – heute und in naher Zukunft", Winter]

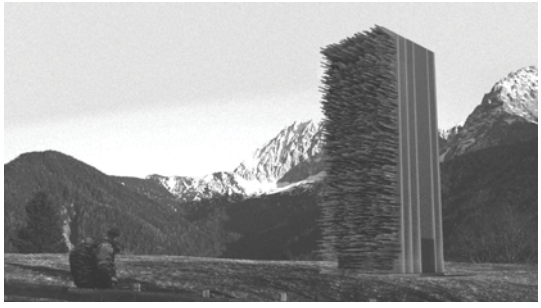
Die den Städtebau der 1950er bis 1970er Jahre prägenden flach gedeckten Gebäude benötigen größtenteils eine energetische Sanierung der Außenfassaden, wobei sich im Zuge der Baumaßnahmen zusätzlich die Möglichkeit der Aufstockung anbietet. Die umfassende Sanierung von Siedlungen dieser Art unter Gewinnung neuer Wohnfläche ermöglicht es, die Gebäude wieder dem Immobilienmarkt zuzuführen. Die techni-

schen Möglichkeiten, die der Holzbau hierfür bietet, müssen von der Holzwirtschaft deutlicher als bisher an die jeweiligen Bauherren – zumeist Wohnungsbaugesellschaften – herangetragen werden. [„Dachaufstockungen“, Seinecke]

15 Konstruktion, Bemessung
Eine Entscheidung für das Holz bedarf trotz ökologischer Vorzüge der Stärkung technischer und wirtschaftlicher Argumente. Naturwissenschaft und Technik sollten daher die Voraussetzungen für eine effiziente Nutzung und stärkere Inanspruchnahme dieser Ressource schaffen. Es ist schwer einzusehen, dass ein Stoff, der auf einem Drittel der Fläche unseres Landes mit Hilfe von Sonnenenergie nachwächst, preislich von Materialien unterboten werden kann, zu deren Herstellung erhebliche Mengen fossiler Energie und Kapital bereitgestellt werden müssen.

Holzbauten eignen sich hervorragend, um Erdbebeneinwirkungen zu widerstehen. Neben dem geringen Gewicht dieser Bauten sind dafür vor allem die Duktilität und die höhere Federsteifigkeit verantwortlich. Die geringere Masse von Holzhäusern erzeugt im Fall eines Erdbebens weniger Trägheitskräfte. Im April 2005 ist die neue DIN 4149 Bauten in deutschen Erdbebengebieten im Weißdruck erschienen und in allen betroffenen Bundesländern bauaufsichtlich eingeführt. Wichtigster Unterschied sind die auf probabilistischer Basis erstellten neuen Erdbebenzonenkarten. Wie bisher sind Nordrhein-Westfalen und Baden-Württemberg am stärksten betroffen. [„Erdbebenbemessung im Holzbau“, Zeitter]

Der Begriff „Mit Schrauben bewehrtes Holz“ veranschaulicht ein Konstruktionsprinzip zum Einsatz von selbstbohrenden Vollgewindeschrauben und Gewindestangen als Bewehrungselemente zur Verstärkung und Versteifung sowie zur Fügung von Bauteilen aus Holz. Die Bewehrung ermöglicht die Verbesserung der Festigkeiten und Steifigkeit kompletter Querschnittsbereiche sowie eine Homogenisierung fehlstellenreicher Hölzer. Dadurch eröffnet sich die Chance, verstärkt niedrige Sortierqualitäten einzusetzen und durch Bewehrung aufzuwerten. Holzarten, die sich bisher wegen ihrer geringen Festigkeitswerte nicht im Bauwesen verwenden ließen, lassen sich durch eine entsprechende Bewehrung nutzen. [„Mit Schrauben bewehrtes Holz“, Trautz]



16 Leuchtturmprojekte
Leuchttürme sind Objekte, von denen man einen weiten Blick in die Holzbauszenerie werfen kann. Hier werden Bauwerke vorgestellt, die jeweils eine Besonderheit der Entwicklung des Holzbaues darstellen. Aus der Geschichte heraus entwickelt sich der Holzbau über die Fachwerkhäuser im Mittelalter bis hin zu modernen Wohnhäusern oder exotischen Wohnboxen. Dass man auch kommunale Bauten und Industrieanlagen in guter Qualität zu normalen Preisen realisieren kann, zeigen die Beispiele. Die technischen Ansprüche an den Brand- und Holzschutz können umgesetzt werden.

Einflußfaktoren

1 Allgemeines

Aus den gesammelten Informationen aus Medienrecherchen, Forschungsberichten, Fachveranstaltungen und Expertengesprächen entstand ein Katalog aus vielen Einzelthemen, die aktuell oder künftig Einfluss auf Entwicklung der Holzbaubranche haben oder haben können. Diese reichen von detaillierten und bereits weit entwickelten technischen Lösungen wie z.B. der Modifikation von Holz durch Acetylierung, bis hin zu Visionen (z.B. kraftschlüssiges Schweißen von Holz) oder Problemstellungen, deren konkrete Umsetzung oder Lösung noch nicht greifbar sind, wie beispielsweise der „Problematik der stark heterogenen Struktur der Holzbauindustrie". Dem entsprechend variieren die bearbeiteten Einzelthemen in Umfang und Detailtiefe, womit aber keine Wertung oder Aussage über die Relevanz für den Holzbau verbunden ist.

Die Einzelthemen wurden, sofern möglich nach den verschiedenen Einflussbereichen, welche direkt oder indirekt Einfluss auf den Holzabsatz nehmen, aufbereitet.

Die Einflussfaktoren bilden die Knoten in einem Netz und stehen natürlich in gegenseitiger Abhängigkeit. Bestimmte Brandschutzanforderungen haben Einfluss auf die Planung oder Ökonomie. Der wünschenswerte Verzicht auf biozide Wirkstoffe wird z.B. von rechtlichen Faktoren bestimmt.

2 Ökonomische Einflussfaktoren

Bei der Beurteilung der ökonomischen Relevanz von Einzelthemen müssen folgende Bereiche untersucht werden:

- Betriebsstrukturen wie Betriebsorganisation, Unternehmensform, Zusammenschlüsse, Verbandsbeziehungen
- Einflüsse auf Standortfaktoren, wie Rechtsraum, Infrastruktur, Personalkapazität und Versorgungssicherheit
- Beurteilung von Marketing und Image des Produzenten
- Einflüsse zum Beispiel von Rohstoffverknappung und -verteuerung z.B. durch wachsende thermische Nutzung oder Einflüsse bzw. Beeinflussung des Nutzerverhaltens.
- Produktökonomische Faktoren wie Wertschöpfung
- Produkt- / Technologieentwicklung
- Produktionsverfahren (Einzel-, Serien-, Massenfertigung, Personalintensität)
- Qualität und Qualitätssicherung, Werterhaltung
- Finanzierung und Versicherungen.

3 Planerische Einflussfaktoren

Einflüsse, die der Planungsprozess des Bauprojektes mit sich bringt (standortabhängige Kriterien) und auf ihn wirken (evtl. Änderungen) bzw. die Entscheidung für die Bauweise (Baustoffwahl) und Konstruktion bestimmen. Unterschiedliche Bauweisen haben unterschiedliche Einflüsse auf die Planung.

Behandelt werden hier nur Planungsprozesse der Bauprojektplanung, nicht jene aus Produktherstellung, Maschinenherstellung, Betriebsorganisation, Forstwirtschaft u. a.

Die verschiedenen Konstruktionsarten (Skelettbau, Holzrahmenbau, Massivholzbau) haben unterschiedlich starken Einfluss auf die Planung.

Der Holzbau verlangt offensichtlich mehr als andere Bauweisen eine vollständige Planung vor der Ausführung. Diese Planung muss von der Gestaltung über die Tragwerksplanung und die Bauphysik bis hin zur Haustechnik alles enthalten.

4 Physikalische Einflussfaktoren

Einflüsse resultierend aus Materialeigenschaften und Eigenschaften unterschiedlicher Konstruktionen und Bauweisen.

Der Themenbereich umfasst Schallschutz, Wärme- und Feuchteschutz, Brandschutz und Holzschutz sowie produkttechnische Faktoren.

Die physikalischen Eigenschaften der Hülle eines Gebäudes beeinflussen Wohnqualität, Raumklima und Behaglichkeit und sind somit ein wichtiger Einflussfaktor, dem man hohe Priorität zuweisen muss.

5 Ökologische Einflussfaktoren

Die ökologischen Einflussfaktoren sind sowohl vom Baustoff Holz, als auch von der Gesamtkonstruktionen her zu betrachten. Klimafaktoren, bezogen auf den Absatz, sind meist erst dann relevant, wenn sie sich in rechtlichen Maßnahmen wieder spiegeln oder in wirtschaftlichen Einflüssen. (Energiepreise, Fördermittel, Importverbote u. a.).

Die wichtigsten ökologischen Einflussfaktoren sind Klima- und Umweltschutz, Baubiologie und Gesundheit, Bauchemie.

Zukünftig wird die Zertifizierung der Nachhaltigkeit nachweisbares Kriterium für Bauentscheidungen (Material, Konstruktion usw.) werden.

Das Deutsches Gütesiegel Nachhaltiges Bauen DGNB vom Bundesministerium für Verkehr und der DGNB bewertet den gesamter Lebenszyklus (Herstellung, Nutzung, End of Life) eines Bauwerks.

DGNB Zertifizierung folgt einem Punktesystem mit folgenden Einzelkriterien:

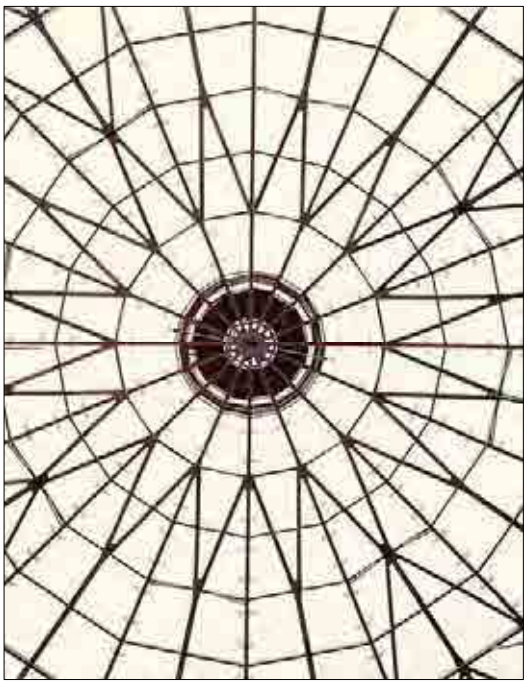
- ökologische Qualität
- ökonomische Qualität
- soziokulturelle und funktionale Qualität
- technische Qualität
- prozessorientierte Qualität
- Standortqualität
-

6 Rechtliche Einflussfaktoren

Holz hemmende und Holz fördernde Vorschriften. Einflüsse der rechtlichen Rahmenbedingungen auf den Holzbau und mögliche Einflussnahme auf politische Entscheidungsträger und rechtliche Rahmenbedingungen.

Förderungsmöglichkeiten und Anreize für den Holzbau und internationale Beispiele für Fördermöglichkeiten. Vereinheitlichung der Normung im Zuge der Europäisierung.

Die Verwendung von Bauprodukten wird über Bauordnungen, Gesetze, Prüfzeugnisse, Zulassungen usw. bestimmt. Da die Anzahl dieser Bestimmungen stark ansteigt, wird die rechtliche Beurteilung immer schwerer.



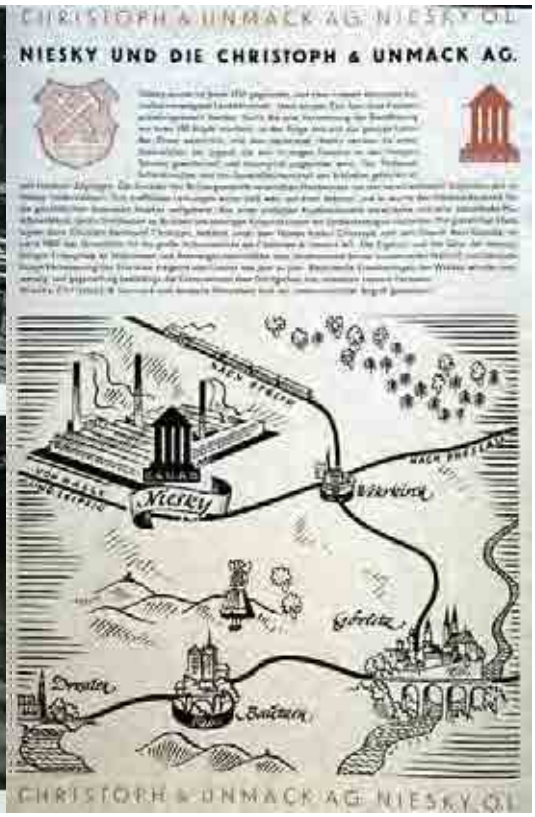
Allgemeine Hinweise zum Bericht:

- Die Inhalte der Einzelthemen entsprechen nicht immer der Meinung der Herausgeber.
- Von einzelnen Autoren durften wir bestehende Veröffentlichungen verwenden. Die Quellen sind am Ende der jeweiligen Artikel angegeben.
- Die Abbildungsrechte liegen bei den jeweiligen Autoren, wenn nicht anders bezeichnet.

Zukunftsthemen

SÄGEWERK

TROCKENRAUM



1 Markterschließung, Ökonomie
Inhaltsverzeichnis

1.1 Marktforschung
Demographische Entwicklung S. 37
Gesellschaftlicher und kultureller Wandel S. 41
Die drei M des zeitgenössischen Holzbaus in der Schweiz S. 45
Holzbauentwicklung in Großbritannien S. 55
Tendenzen und Perspektiven – Holzbau in Frankreich S. 61
Aktivhaus versus Passivhaus – Effektivität versus Effizienz S. 67

1.2 Marketing
Markterschließung S. 75
Marketing im Holzbau S. 91
Die Bedeutung der Fachinformation für Planer S. 95
Holzbau und Architektenwettbewerbe S. 101
Holzbau und Studentenwettbewerbe S. 105
Preisverleihungen im Holzbau S. 117
Holz spüren – ein querdenkerischer Ansatz zur Positionierung von Holzprodukten S. 121

1.3 Absatzformen
Kostengünstige Gebäudekonzepte S. 127
Hausleasing S. 133

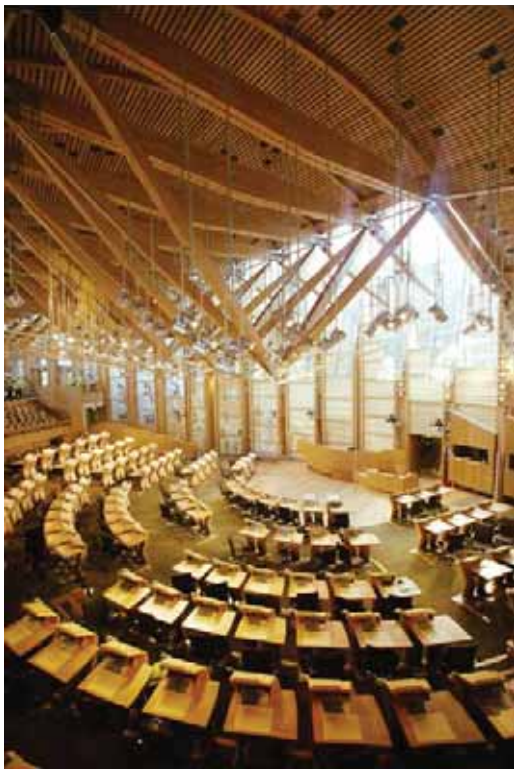
1.4 Betriebsorganisation
Bauen mit Holz in der Stadt S. 139
Bauherrengemeinschaft, Partizipation am Bau S. 145
Zukunft des Holzbaus aus der Sicht der Holzfachhändler S. 151

1 Markterschließung, Ökonomie
Einleitung

Prolog: Holzbau in Europa

Betrachtet man die Holzbauentwicklung bietet sich in Europa ein heterogenes Bild, das von sehr unterschiedlichen baukulturellen Eigenheiten geprägt ist. Die bauwirtschaftliche Ausrichtung in Ländern wie Großbritannien und Frankreich weist bisher eine geringe Nähe zum Holzbau auf. Erst in den vergangenen Jahren ist hier ein Aufbruch zur verstärkten Verwendung von Holz erkennbar, der durch ökologisches Umdenken, aber auch durch die Preisentwicklung am Baustoffmarkt motiviert ist. Der Nachholbedarf gegenüber fortgeschritteneren „Holzbaunationen" ist groß, da die entsprechenden Strukturen, angefangen mit der Ausbildung heranwachsender Baufachleute bis hin zum produzierenden und verarbeitenden Gewerbe, noch unzureichend sind. In solche Länder wird bereits deutsches Know-how erfolgreich exportiert – ein Markt, der sich noch deutlich ausweiten lässt.

Der Beitrag „Holzbauentwicklung in Großbritannien" (Michael Keller) skizziert die derzeitige Situation, die von einer deutlichen Konzentration auf den Massivbau und insbesondere auf den Stahlbau gekennzeichnet ist. Es sind zu wenig Fachkräfte, Architekten und Bauingenieure im Holzbau vorhanden, Zimmerer werden in Großbritannien nicht ausgebildet. Eine andere Planungskultur, die den ausführenden Unternehmen die gesamte Detaillierung wie auch die statische Berechnung überlässt, führt bei Projektsteuerern mangels Erfahrung zu einer hohen Unsicherheit bei der finanziellen Einschätzung von Holzbauprojekten. Bedingt durch die lange Tradition des industriellen, schnellen Bauens in Stahl sowie den im Vergleich zu Deutschland geringeren Anspruch an die Lebensdauer von Gebäuden hat sich in Großbritannien ein äußerst niedrigpreisiges Bauen etabliert, das durch kurze Bauzeiten und einen geringen Anspruch an die Detailausbildung und Wartungsfreundlichkeit gekennzeichnet ist.



Dachkonstruktion Scottish Parliament; Eiche verleimt

Frankreich ist von einer ähnlichen Situation gekennzeichnet, wie der Beitrag „Tendenzen und Perspektiven – wie der Holzhausbau an Bedeutung gewinnt" (Bettina Horsch) zeigt. Hier ist allerdings eine deutliche Hinwendung zum Holzbau spürbar. So verzeichnet der Einfamilienhausbau aus Holz Zuwachsraten von 50 % seit 2001, auch wenn der eigentliche Marktanteil noch bei 4 % liegt und Frankreich mit einem Holzverbrauch von 0,18 m^3/Einwohner zu den Schlusslichtern Europas gehört. Umfragen haben überraschenderweise gezeigt, dass 78 % der Franzosen bereit sind, mehr Geld auszugeben, um ein Haus zu bauen, das den Kriterien des nachhaltigen Bauens entspricht, eine echte Chance für den Holzbau. Die öffentliche Diskussion um die Senkung von CO_2-Emissionen zeigt bereits erste politische Konsequenzen, so dass hier ein erhebliches Entwicklungspotenzial zu sehen ist.

Apotheke und Wohnhaus in Plancher-Bas, Frankreich. Architekten : Rachel Amiot et Vincent Lombard.

Kernländer des Holzbaus

Das Länderdreieck Schweiz, Österreich und Süddeutschland zeichnet sich dagegen in den vergangenen 25 Jahren durch einen kontinuierlichen Innovationsschwung von weltweiter Ausstrahlung aus. Hier stoßen experimentierfreudige Architekten, Bauingenieure und Holzbaubetriebe auf eine aufgeschlossene Bauherrschaft und schaffen außergewöhnliche Gebäude, die in der Fachwelt Anerkennung finden und die Popularität des Werkstoffs in der breiten Öffentlichkeit steigern.

Ohne zu übertreiben kann man sagen, dass sich hier die weltweit innovativste Region im Holzbau entwickelt hat. Gerade Vorarlberg ist zum Paradebeispiel für eine neuerwachte Holzbaukultur erwachsen. Die Sonderrolle von Baden-Württemberg und Bayern innerhalb Deutschlands beschreibt unter anderem der Beitrag „Markterschließung“ (Markus Wehner). Es bleibt aber auch festzuhalten, dass nationale Eigenheiten der Forst- und Holzwirtschaft in den drei genannten Nationen ein gemeinsames, grenzüberwindendes Auftreten auf internationalen Märkten derzeit noch verhindern. Das hier vorhandene Holzbau-Potenzial ließe sich sicher noch wirkungsvoller als bisher ausschöpfen.

Den hochentwickelten Stand des Holzbaus in der Schweiz stellt der Beitrag „Mehrgeschossigkeit, Massivholzbau und Multifunktionalität der Fassade“ (Jürg Fischer) dar. Der Autor beschränkt sich auf drei maßgebliche Themen, die derzeit den Holzbau bestimmen. Zum einen ist dies die seit einigen Jahren bestehende Möglichkeit, ohne zusätzliche Auflagen sechsgeschossige Gebäude in Holzbau errichten zu dürfen. Zusätzlich vollzieht sich in der Schweiz eine ähnliche Entwicklung wie in Deutschland: statt der Leichtbauweise mit dünnen Beplankungen, viel Hohlraum und dazwischenliegender Dämmung (Holzrahmenbau) werden immer häufiger kompakte Konstruktionen mit massiven Holzvolumen (Massivholzbau) eingesetzt. Die dritte Entwicklung betrifft multifunktionale Fassadensysteme, welche Holzbauten von außen nicht mehr unbedingt als solche erkennbar machen. Die Entwicklung multifunktionaler Fassadenbekleidungen aus Glas und Metall oder aus transluzenten Kunststoffen und Textilien wird vorangetrieben.

Transluzente GFK Glasfaserverstärkte Kunststoffplatten. MFH Neumühle Töss, Winterthur. Architekt: Beat Rothen

Wirtschaftliche Bedeutung des Waldes

Der Wald ist Produktionsraum und damit wirtschaftliche Grundlage für die Forstwirtschaft. 11,1 Mio. Hektar Waldfläche in Deutschland erfüllen neben ihrer Funktion als Erholungs- und Naturraum sowie den vielfältigen Schutzfunktionen eine wichtige wirtschaftliche Funktion. Die deutsche Forstwirtschaft liefert nachhaltig zwei Drittel des Holzbedarfs in Deutschland. Jährlich werden rund 64 Mio. m³ Holz geerntet. Der Zuwachs liegt mit rund 120 Mio. m³ weit höher. Das von der Forstwirtschaft bereit gestellte Holz ist die Rohstoffgrundlage für die inländische Holz- und Papierwirtschaft mit rund 800.000 Arbeitsplätzen und einem jährlichen Umsatz von rund 100 Milliarden Euro [Quelle: Clusterstudie Forst und Holz 2005].

Darüber hinaus bildet der Wald und die mit ihm verbundene Forst- und Holzwirtschaft ein wichtiges Strukturelement im ländlichen Raum. Die beiden Wirtschaftszweige sind für viele Menschen außerhalb der Ballungsgebiete die Existenzgrundlage. Der Wald selbst ist für mehr als 450.000 Waldbesitzer – ob staatlich, körperschaftlich oder privat – in Deutschland eine Einkommensquelle und Vermögensanlage. Der deutsche Wald wird von mehr als 440.000 Forstbetrieben (> 1 ha) bewirtschaftet. Davon sind ca. 430.000 private, 1.100 staatliche und ca. 11.500 körperschaftliche Forstbetriebe. Einkommensgrundlage dieser Forstbetriebe ist der Verkauf von Holz. Diese Nutzfunktion trägt die beiden anderen Funktionen – Schutz und Erholung – zu weiten Teilen finanziell mit.

Leitmarkt biobasierter Produkte

Beim Umbau einer bisher weitgehend auf nicht erneuerbaren Ressourcen beruhenden Wirtschaft in eine auf Wachstum und Nachhaltigkeit ausgerichtete Ökonomie, kommt der Forst- und Holzwirtschaft eine zentrale Bedeutung zu. Basierend auf der Nutzung und Verarbeitung erneuerbarer und CO_2-neutraler Rohstoffe kann der Markt für biobasierte Produkte in Zukunft zu einem Leitmarkt werden.

Der erfolgreiche Aufbau der Bio-Ökonomie ist Voraussetzung für die Erschließung neuer Innovations- und Wertschöpfungspotenziale und damit für die Schaffung zukunftssicherer Arbeitsplätze. Im Rahmen der nachhaltigen Entwicklung von Gesellschaft und Wirtschaft gilt es, Produkte aus nicht nachwachsenden Rohstoffen durch benutzerfreundlichere, für die Aufgabenstellung und jeweilige Zielgruppe optimierte biobasierte Produkte mit hoher Wertschöpfung zu substituieren [www.zukunftswald.de].

Wirtschaftsfaktor Holz

Die Absatzmöglichkeiten von Holz und Holzprodukten im Inland sind weitgehend abhängig von der Entwicklung im Bauwesen, das alleine über 50 % Holzprodukte der Sägeindustrie aufnimmt und damit als wichtigstes Marktsegment anzusehen ist. Es muss im Baubereich von einer Sättigungsphase ohne große Wachstumsschübe ausgegangen werden, in der sich die verschiedenen Bauweisen und Baustoffe in allen Gebäudekategorien in einem intensiven Wettbewerb befinden. Vor diesem Hintergrund ist es um so bemerkenswerter, dass trotz zurückgehender Zahl der Baufertigstellungen der Marktanteil von Holzhäusern bei Neubaumaßnahmen im Eigenheimbau und im Nichtwohnbau wächst. Im Hochbau (Wohn- und Nichtwohnbau) als Kernbereich der Nachfrage nach Holz aus inländischer Produktion ist somit eine vielversprechende Marktpositionierung gegenüber der Wettbewerbskonkurrenz eingetreten, bei der auch in Zukunft weitere Entwicklungspotenziale erschlossen werden können.

Der hohe Bedarf an Erzeugnissen der deutschen Forst- und Holzwirtschaft spiegelt sich auch in den Entwicklungen auf der Produktionsseite wider. Auf der Grundlage hoher Vorräte

(3,4 Mrd. m^3) und laufender Zuwächse in deutschen Wäldern, entsprechend steigenden Holznutzungen ist die inländische Schnittholzproduktion 2005 auf den Höchststand von knapp 22 Mio. m^3 gestiegen. Produktionsergebnisse der Sägeindustrie lassen den Schluss zu, dass die positive Produktionsentwicklung ungebrochen ist. Kurz- bis mittelfristig wird sich die Nachfrage auf der ersten Produktionsstufe durch Erst- und Erweiterungsinvestitionen im Bereich der Sägeindustrie weiter erhöhen.

Dadurch steht zu erwarten, dass der Rohstoffbedarf in diesem Bereich auf 40 Mio. fm steigen wird. Ergänzend hierzu hat sich der Markt für die thermische Nutzung von Holz durch Ausbau der Pelletproduktion auf derzeit 550.000 t und die Verdopplung der Nachfrage aus privaten Haushalten auf inzwischen 20 Mio. m^3 deutlich erhöht. Im Rohstoffsegment Schwachholz und Sägenebenprodukte wird gleichzeitig die jährlich Nachfrage aus dem Bereich der Holzwerkstoff- sowie Papierindustrie nicht nur anhalten, sondern sich in den kommenden Jahren erhöhen. [www.infoholz.de]

Baustoff Holz

Die Verarbeitung von Bäumen zum Baustoff Holz benötigt weit weniger fossile Energie als die Herstellung von Stahl, Beton, Kunststoff, Ziegeln oder gar Aluminium. Technisch betrachtet ist Holz ein mit Cellulosefasern bewehrter Verbundbaustoff mit hohem Hohlraumanteil. Sein geringes Eigengewicht ermöglicht den einfachen Transport von Bauteilen in großen Mengen. Holz ist bei gleicher Tragfähigkeit wesentlich leichter als Stahl und hat annähernd die gleiche Druckfestigkeit wie Beton, kann im Gegensatz zu diesem aber auch Zugkräfte in Faserrichtung aufnehmen.

Darüber hinaus ist Holz das tragfähigste aller wärmedämmenden Materialien. Wegen seines Hohlraumanteils hat es günstige Wärmedämmeigenschaften und hilft bei guter Detailgestaltung Wärmebrücken zu vermeiden. Da bei Außenelementen im Holzbau meistens die Dämmebene in der Tragebene liegt, ergeben sich geringere Wanddicken als bei anderen Bauweisen mit gleichen Dämmstoffdicken. Wer heute hoch energieeffiziente Gebäudehüllen für ein Passivhaus oder ein Nullenergiehaus benötigt, kommt nicht am Baustoff Holz vorbei. Siehe hierzu auch „Aktivhaus versus Passivhaus – Effektivität versus Effizienz“ (Richard Adriaans).

Eine besondere Stärke des Holzbaus ist der hohe Grad der werkseitigen Vorfertigung, also die Produktion unter optimalen Bedingungen ohne Witterungseinflüsse mit trockenen und sauberen Bauprodukten. Neben der Qualitätssicherung an sich trägt er zur Vermeidung von Wartezeiten durch Trocknungsprozesse für die nachfolgenden Gewerke zur deutlichen Verkürzung der Gesamtbauzeit bei.

Hohes Entwicklungspotenzial

In den vergangenen Jahrzehnten haben sich die Holztechnologie und der Holzbau mit einer bisher ungekannten Geschwindigkeit verändert. Der Anteil von reinen Holzgebäuden oder auch Mischkonstruktionen am Gesamtbauvolumen hat deutlich zugenommen. Der Baustoff Holz erfüllt alle Anforderungen an zeitgemäßes Baumaterial: Er ist nachhaltig, recyclebar und benötigt einen minimalen Energieaufwand für Herstellung und Verarbeitung.

Der Markt bietet heute eine große Bandbreite hochentwickelter, standardisierter Holzprodukte und Halbfertigteile. Vorwiegend mittelständische Holzbau- und Zimmereibetriebe erstellen individuelle Bauteile in hoher Fertigungsqualität und montieren sie zu hochwertigen Gebäuden. Das Handwerk hat es verstanden, seine Verarbeitungstechnik weiterzuentwickeln, ohne traditio-

nelle Stärken wie Flexibilität und Variabilität einzubüßen.

Die Wandlungsfähigkeit des Holzbaus zeigt sich auch bei ungewohnten Aufgaben wie der Errichtung des ersten siebengeschossigen Wohnhauses in Berlin, dargestellt im Beitrag „Bauen mit Holz in der Stadt“ (Tom Kaden). Städteplaner, Architekten und Soziologen beobachten bereits seit geraumer Zeit die Auflösung des Leitbildes vom Häuschen im Grünen und prognostizieren, dass suburbanes Wohnen bald der Vergangenheit angehört. Durch die Vorstellungen einer aufgeschlossenen Bauherrengemeinschaft angespornt, realisierte ein experimentierfreudiges Bauteam ein neuartiges Projekt, das auf sehr großes öffentliches Interesse stieß und für das bereits ein Nachfolger in Planung ist. Die Holzwirtschaft ist hier gefordert, das neu gewonnene Know-how zu verbreiten und an die entsprechenden Entscheidungsträger in den Städten heranzutragen.

Erster 7-Geschosser aus Holz, Ansicht Rückseite, Esmarchstr. 3, Berlin. Architekt: Kaden + Klingbeil

Den intensiven partizipatorischen Prozess zwischen Bauherr – vertreten durch spätere Nutzer, nämlich Schulkinder – und Architekten bei der Realisierung eines ungewöhnlichen Schulprojekts einer Gesamtschule in Gelsenkirchen beleuchtet der Beitrag „Bauherrengemeinschaft / Partizipation am Bau“ (Peter Hübner). Holz erweist sich als ideales Medium zur Verwirklichung einer menschengemäßen Umwelt.

Neues Gebot: Nachhaltiges Bauen

Keine Diskussion über den Zustand unseres Planeten kommt heute ohne die Feststellung aus, dass der technische Fortschritt mit einem immens steigenden Ressourcen- und Energieverbrauch erkauft wird. Die Baubranche sieht sich gefordert, neben den technischen Qualitäten eines Gebäudes zukünftig auch die ökologischen Eigenschaften zu verantworten. Bis zum Jahr 2020 will Deutschland den Ausstoß des klimaschädlichen Treibhausgases Kohlendioxid um 40 % senken und damit zu einem Vorreiter in der Klimapolitik werden.

Besonders großes Potenzial zur Verringerung der Emissionen bietet die Bau- und Immobilienwirtschaft. In Deutschland werden rund 50 % des gesamten Energieverbrauchs dafür aufgewendet, Gebäude nutzen zu können. Eine nachhaltige Bauweise und eine Verringerung des Heizenergiebedarfs können diesen Anteil erheblich senken. Dabei rücken nachwachsende Rohstoffe wie Holz in den Blickpunkt des Interesses, sind sie für das nachhaltige Bauen bestens geeignet. Holz trägt aktiv zum Klimaschutz bei: Holzprodukte binden langfristig Kohlendioxid und entlasten so die Atmosphäre. Holz ist multifunktional – zuerst Werk- und Baustoff, zu guter Letzt Brennstoff.

Bauen mit Holz erfüllt die Forderung nach einer ökologischen und nachhaltigen Bauweise in besonderem Maße: Der Energieaufwand zur Herstellung von technisch getrocknetem Bauholz ver-

braucht nur etwa 20 % der im Holz gespeicherten Energie. Das Holzhaus der Zukunft ist in der Lage, die für seinen Bau aufgewendete Energie zurückzugeben, indem es mit solarthermischen Maßnahmen oder anderen Energiegewinnungstechniken kombiniert wird. In diesem Zusammenhang steht der Beitrag „Aktivhaus versus Passivhaus – Effektivität versus Effizienz" (Richard Adriaans), in dem der Autor seine Vorstellungen von einem zukunftsweisenden Aktivhaus darlegt: ein Haus aus Holz und weitestgehend nachwachsenden Rohstoffen mit dem Heizenergiestandard eines Passivhauses, das thermisch energieautonom und elektrisch mit „grünem Strom" funktioniert.

Großthema energetische Sanierung

Die energetische Sanierung bestehender Bauten ist gerade in Zeiten einer konjunkturellen Flaute ein Motor für die Bauwirtschaft. In Deutschland werden 90 % der Heizenergie in Häusern verbraucht, die älter als 25 Jahre sind. Ein Großteil dieser Energie geht ungenutzt verloren, weil viele Altbauten eine ungenügende Wärmedämmung haben. Aufgrund seiner wärmedämmenden Eigenschaften und seines geringen Eigengewichts erweist sich Holz als geeigneter Baustoff für die Gebäudehülle von Altbauten. Die hohe Anpassbarkeit, die Ausbildung zu selbsttragenden Elementen sowie die leichte Bauweise ermöglichen die Kombination auch mit massiven mineralischen Konstruktionen. Eine intelligente Systembauweise mit Holz kann den Heizenergiebedarf um bis zu 90 % senken. Bei der Außendämmung lassen sich fertige Elemente vor die Außenfassade hängen. Dabei ermöglicht der hohe Vorfertigungsgrad eine schnelle und damit kostengünstige Montage ohne aufwändige Gerüste. So kann innerhalb kürzester Zeit eine thermisch optimierte Gebäudehülle entstehen.

Auch der Holzhandel bestätigt die aktuelle Situation: Der Urbanisierungstrend führt zu einer steigenden Nachfrage im Geschosswohnungsbau, das Bauen im Bestand hat das Neubauvolumen längst überholt, Energieeinsparmaßnahmen stehen im Vordergrund der Renovierungsinvestitionen – dies betrifft im Wesentlichen Dach, Fenster und Fassade. Siehe hierzu „Zukunft des Holzbaus aus der Sicht der Holzfachhändler" (Josef Plößl).

Image des Roh- und Baustoffes

Da Wald und Bäume tief in der deutschen Kultur verwurzelt sind, steht die deutsche Bevölkerung dem Wald insgesamt positiv gegenüber. Sie ist sogar um seinen Erhalt besorgt. Allerdings sind viele Menschen kaum in der Lage, einzelne Baumarten zu bestimmen. Das Idealbild des Waldes ist das eines gepflegten Forstes. Wenn es aber um die Nutzung dieser regenerativen Ressource geht, dann tritt nicht selten ein gefühlter Widerspruch ein: Obwohl der Rohstoff Holz positiv angesehen wird, ist für die meisten Menschen die Gewinnung von Holz durch die Forstwirtschaft zur weiteren wirtschaftlichen Verwertung negativ besetzt. Ein gefällter Baum trifft auf Ablehnung – wenn er aber zu Holzprodukten verarbeitet worden ist, dann ist diese Nutzung wiederum positiv belegt.

Die Assoziationen mit Holz sind ob seiner ästhetisch-optischen, gestalterischen und gesundheitlichen Eigenschaften generell positiv. Die konstruktiven Eigenschaften und die Verfügbarkeit des Rohstoffs werden allerdings zurückhaltender bewertet. In aller Regel denkt der Verbraucher bei Holz eher an eine Innenraumausstattung als an die Verwendung als Baustoff.

Die Natürlichkeit des Baustoffes Holz wird einmütig hervorgehoben. Holz gilt zudem als warmes Material, das Gemütlichkeit ausstrahlt. Das Argument, dass die Verwendung von Holz umweltverträglich sei, wird generell geteilt. Themen wie Waldrodung oder Zusatzstoffe im Verarbeitungsprozess von Holz verunsichern dabei aber viele. Die Tragfähigkeit von Holz wird überraschend po-

sitiv beurteilt. Außerdem wird Holz als teure und knappe Ressource wahrgenommen. Als größter Vorbehalt gegenüber Holz als Baumaterial wird oft noch die vermutete unzureichende Feuerbeständigkeit und die schlechte Schalldämmung bei den „leichten" Konstruktionen angesehen. [Quelle: Zukunftsmärkte der Forst-Holz-Kette]

Der Holzhausbaubranche selbst ist jedoch ein Defizit in Bezug auf die Markterschließung zu bescheinigen. Dazu zählen fehlende Marktanalysen über die Branche, um zielgerichtete Fragen für Marktstrategien beantworten zu können. Zum Beispiel: Welches Marktsegment eignet sich für den Einstieg in den Holzhausbau besonders oder wie kann das Kundenpotenzial der kommunalen und genossenschaftlichen Wohnungsbaugesellschaften erschlossen werden? Diese Fragen betreffen insbesondere die Marktsegmente des „Bauen im Bestand" und den „mehrgeschossigen Neubau" in Holzbauweisen. Zahlreich vorhandene Daten der amtlichen Statistik über die allgemeinen Entwicklungen der Bauwirtschaft können die folgende Frage bislang nicht beantworten: Wie entwickelt sich der zukünftige Holzhausbau und welche Hemmnisse stehen ihm gegenüber? Siehe hierzu „Markterschließung" (Markus Wehner).

Marketing

Für die Erschließung von Zukunftsmärkten ist von Bedeutung, wie stark Unternehmen Veränderungen im Umfeld antizipieren und in ihren Strategien berücksichtigen. Der wachsende Wettbewerb in der Holzbaubranche zwingt die Unternehmen, neue Geschäftsfelder zu identifizieren und diese mit geeigneten Marketinginstrumenten zu erschließen. Im klassischen Sinne umfasst das Marketing die Planung, Koordination und Kontrolle der auf die Märkte ausgerichteten Unternehmensaktivitäten. Die Orientierung an den sogenannten Nachfragern ist hierbei unerlässlich. Nicht nur neue, innovative Produkte und Dienstleistungen müssen sich an den Wünschen, Anforderungen und Bedürfnissen von bestehenden und potenziellen Kundengruppen orientieren, sondern auch die Kommunikation mit den Nachfragern findet im Internetzeitalter de facto unter anderen Voraussetzungen statt als noch vor fünfzehn Jahren.

Kleine und mittlere Unternehmen verfügen im Vergleich zu großen Betrieben über ein kleineres Produkt- und Dienstleistungsportfolio. Sie sind daher in besonderem Maße von Innovationen abhängig. Dies gilt auch, wenn sie sich auf eine Marktnische spezialisiert haben. Die Umsetzung von Innovationen schließt die Vermarktung neuer Produkte oder Dienstleistungen mit ein. Marketing wird so zu einem wichtigen Bestandteil ihrer Überlebensstrategie. Viele Unternehmen legen bereits Wert darauf, ihre Kundengruppen umfassend zu betreuen. Dies beinhaltet eine umfassende Beratung vor und nach dem Verkauf, Servicedienstleistungen vor Ort sowie Einladungen zu Musterausstellungen, Hausbesichtigungen, Messen und anderen Veranstaltungen. Allerdings nutzen die Unternehmen meist nur einzelne dieser Instrumente, eine gezielte Planung des Maßnahmenpakets zur Kundenbetreuung könnte hier für Verbesserungen sorgen. Inserate in Zeitungen sowie eine Präsentation des Unternehmens im Internet gehören zu den gängigsten Marketingaktivitäten. Im Vordergrund steht hier auch die Vermittlung eines positiven Images von Holz, die die Vorzüge des Baustoffes gegenüber alternativen Produkten hervorhebt. Eine Bewertung des Erfolgs dieser Maßnahmen wird allerdings nur selten durchgeführt. Aufbauend auf einer systematischen Erfolgsbetrachtung ließen sich Verbesserungen in der Kundenbetreuung planen und realisieren. [Quelle: Zukunftsmärkte der Forst-Holz-Kette]

Unternehmenskommunikation

Viele Unternehmen fokussieren sich heute noch auf Produkte und Funktionalitäten, während der Kunde die Befriedigung seiner Bedürfnisse erwartet. Die Kommunikation der Unternehmen und deren Angebote müssen sich also noch stärker an den Fragen und Wünschen des Marktes bzw. der Kunden ausrichten, davon ist die Zukunftsfähigkeit der gesamten Holzbranche abhängig. Der Beitrag „Holz spüren – ein querdenkerischer Ansatz zur Positionierung von Holzprodukten" (Günter Berger, Otmar Bachler) weist auf Basis einer Befragung österreichischer Holzbauunternehmen darauf hin, dass die Möglichkeiten des Marketings von den untersuchten Betrieben nur bedingt ausgenützt werden. Diese Erkenntnis ist auf deutsche Verhältnisse durchaus übertragbar. Besonders in Zeiten des verstärkten Wettbewerbs wird es für die Unternehmen immer wichtiger, sich von einer Technik- und Produktorientierung hin zur umfassenden Kundenorientierung weiterzuentwickeln. Eine Stärkung der Marketing-Kompetenz der Unternehmen könnte strategisch sowohl ein Wettbewerbsvorteil für die Unternehmen als auch für die Einsatzmöglichkeiten des Werkstoffes Holz von Vorteil sein.

Ein guter Preis ist nicht alles

Der Beitrag „Kostengünstige Gebäudekonzepte" (Richard Adriaans) beschreibt als Beispiel ein Bauvorhaben, bei dem ein Wohnquartier mit neun kleinen Einzelhäusern in Holzbauweise und hohem Vorfertigungsgrad, geprüften Energiepässen und trotz niedrigster Kosten von 230.000 Euro inklusive Grundstück aufgrund fehlender Käufer nicht realisiert werden konnte. Die Unterstützung des betreffenden Liegenschaftsamtes wie auch die Planung durch ein renommiertes Architekturbüro konnte nicht verhindern, dass ein gutes Konzept durch unzureichende Kommunikation im Vertrieb scheiterte. Hier besteht sicher auch Nachholbedarf auf Seiten der Holzwirtschaft, da laut Autor „...die Menschen nicht dran glauben, dass sich so etwas verkaufen lässt."

Entwurf Stadtteil Biemenhorst, Bocholt

Fachinformationen für Planer

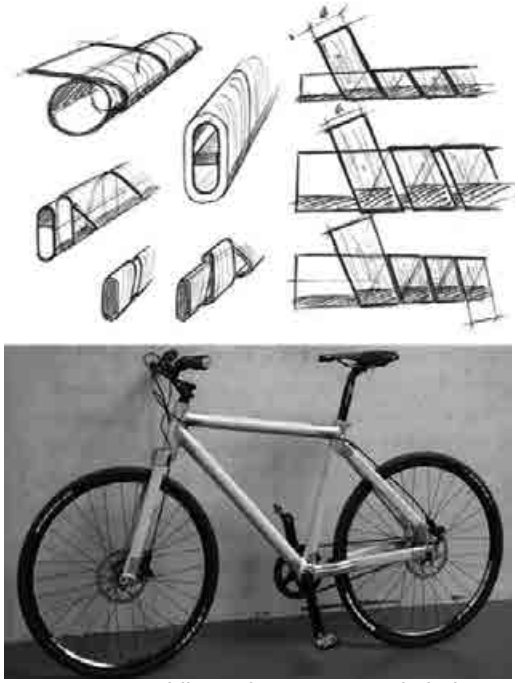
Neben dem Endkunden ist die Ausrichtung des Marketings auf die Zielgruppe der Planer und Bauschaffenden von besonderer Bedeutung. Es ist eine Grundvoraussetzung für die Sicherung und besser noch die Verstärkung der Verwendung von Holz im Bauwesen, diesen Entscheidungsträgern das notwendige Wissen und die erforderliche Sicherheit abgestimmt, praxisbezogen, überbetrieblich und authentisch anzubieten bzw. zu vermitteln. Die im Bausektor Aktiven bedürfen einer spezifischen Ansprache im Sinne eines Dialogs auf gleicher Augenhöhe zur Schaffung des für Planer notwendigen Zutrauens in die ihm angebotenen Informationen. Auf welcher strategischen Ausgangslage eine übergeordnete Gemeinschaftseinrichtung wie der Holzabsatzfonds agiert, wird in dem Beitrag „Die Bedeutung der Fachinformation für Planer und der allgemeinen Information für Bauinteressierte" (Ludger Dederich) dargestellt.

Wettbewerbswesen

Bereits seit etwa 25 Jahren wird in der Bauwirtschaft von größeren Unternehmen oder Gemeinschaftseinrichtungen wie Verbänden die Verleihung von Preisen als probates Mittel zur Ansprache von Entscheidungsträgern oder zur Nachwuchsförderung genutzt. So groß die Verlockung auch ist, zur besseren Unterstützung des Holzbaus nach einem noch prestigeträchtigeren oder breiter aufgestellten Wettbewerb Ausschau zu halten, sind es zunächst die bestehenden Aktivitäten, die besonders bei der Umsetzung der Öffentlichkeitsarbeit einer Verbesserung bedürfen. Näheren Einblick gibt hier der Beitrag „Preisverleihungen im Holzbau“ (Arnim Seidel).

Palettenhaus, A.C. Schnetzer, G. Pils.

Zur Förderung des Nachwuchses an Hochschulen fehlt ein bundesweit ausgelobter Studentenwettbewerb, der den in der deutschen Hochschullehre vernachlässigten Holzbau beflügelt. Hier gilt es, durch einen regelmäßig wiederkehrenden Preis verlorenes Terrain gegenüber anderen Baustoffgruppen zurückzugewinnen. Studenten der Architektur und des Bauingenieurwesens sollten gemeinsam Entwürfe für ein vorgegebenes Wettbewerbsthema entwickeln und sich der Beurteilung durch eine Fachjury stellen. Für das Projekt „Zukunft Holz“ hatte das Institut für Holzbau der Hochschule Biberach einen Ideenwettbewerb für Studenten ausgeschrieben, der vielversprechende Ergebnisse hervorgebracht hat. Das vollständige Ergebnis unter „Holzbau und Studentenwettbewerbe“ (Institut für Holzbau).



nemus concept bike, Rahmen aus Furnierholz.
R. Taranczewski, D. Zimprich, J. Ziege

Noch näher an der Praxis sind Architektenwettbewerbe, die das Ziel verfolgen, alternative Entwürfe für anspruchsvolle Bauaufgaben zu erlangen. Der Architekt beteiligt sich an ihnen, um mit einer überzeugenden Leistung den Planungsauftrag zu erhalten. Im Beitrag „Holzbau und Architektenwettbewerbe“ (Arnim Seidel) wird auf eine Möglichkeit der Einflussnahme mittels eines sogenannten Wettbewerbsmonitorings hingewiesen. Ausgangspunkt dafür können Presseberichte über Bauvorhaben oder Beratungen in Gemeinderatssitzungen sein. Entscheidend ist, potenzielle Bauherren noch vor Bekanntgabe eines Wettbewerbs für den Baustoff Holz zu gewinnen und so auf die Auslobungsinhalte einzuwirken. So bietet sich die Möglichkeit, nicht nur mit Hilfe institutionell geförderter Aktivitäten, sondern durch Engagement aus der Branche selbst für den Baustoff einzutreten.

1.1 Marktforschung
Demographische Entwicklung

Antje Wurz

Die Basisstudie setzt sich mit den Auswirkungen des demographischen Wandels auf Wald und Forstwirtschaft auseinander. Ziel ist es herauszuarbeiten, wie sich die Gesellschaft durch die demographischen Prozesse verändern wird und wie sich diese Veränderungen auf die Nutzung und Bewirtschaftung von Wald, die Inanspruchnahme von Waldflächen, die Waldeigentumsstruktur und die Nachfrage nach Holz und anderen Waldprodukten auswirken werden.

Da es bisher weder eine fachliche Auseinandersetzung noch eine forstpolitische Debatte über die forstliche Relevanz demographischer Veränderungen gibt, können die Auswirkungen des demographischen Wandels auf die Forstwirtschaft nur aus seinen gesamtgesellschaftlichen Auswirkungen analytisch abgeleitet werden. Dazu wird zunächst ein konzeptionelles Modell entworfen, das die Zusammenhänge zwischen Gesellschaft und Bevölkerung einerseits sowie zwischen Forstwirtschaft und Demographie andererseits strukturiert. Ausgehend von einem sozialstrukturellen Ansatz sozialen Wandels, in dem die Bevölkerung der Ebene der gesellschaftlichen Infrastruktur zugeordnet wird, kann erklärt werden, dass qualitative und quantitative Veränderungen der Bevölkerungsstruktur zu inneren strukturellen Spannungen zwischen einzelnen Ebenen der Sozialstruktur führen. Diese Spannungen können nur durch Anpassungen in einem oder mehreren Bereich(en) der Sozialstruktur überwunden werden. Der Aspekt des Handelns der Menschen innerhalb dieser Strukturen rückt damit in den Vordergrund. Die so durch demographischen Wandel ausgelösten gesellschaftlichen Prozesse finden als externe Faktoren Eingang in die Forstwirtschaft als soziales Feld in Abhängigkeit von ihrer Reichwiete, von dem Bereich, auf den sie sich richten und ihrer Geschwindigkeit.

Im weiteren Vorgehen werden die gesellschaftlichen Auswirkungen der Bevölkerungsentwicklung in Deutschland diskutiert. Dazu werden statistische Daten und vorhandene soziodemographische Analysen ausgewertet und auf das vorher entworfene konzeptionelle Modell bezogen. Entsprechend den statistischen Vorausberechnungen wird die Bevölkerung bis zum Jahr 2050 von heute 82,4 Mio. Einwohner auf 66 bis 74 Mio. Einwohner zurückgehen, bis zum Jahr 2100 sogar auf 49,4 bis 69,5 Mio. Da abnehmende Geburtenzahlen die Ursache des Bevölkerungsrückgangs sind, ist er unweigerlich mit einer Alterung der Bevölkerung verbunden, die die Gesellschaft vor allem wegen der Alterung der erwerbsfähigen Bevölkerung (Personen zw. 20 und 64 Jahren) und der Zunahme der Zahl der Hochbetagten (über 80-jährige) vor besondere Herausforderungen stellen wird. Ordnet man die Bevölkerung der gesellschaftlichen Infrastruktur zu, kann gezeigt werden, wie sich diese qualitativen und quantitativen Veränderungen der Bevölkerung auf alle Bereiche unserer Gesellschaft auswirken könnten:

Eine große Zahl der soziodemographischen Analysen folgt dabei eher pessimistischen Szenarien, in denen es ausgehend von einem demographisch bedingten Arbeitskräftemangel zu wirtschaftlicher Stagnation kommt, deren Ursache ein allgemeiner Verlust an Innovations- und Leistungspotenzialen sowie sinkende Produktivität ist. Von dieser Entwicklung könnten alle Ebenen der Sozialstruktur betroffen sein: sinkender Wohlstand, steigende Produktionskosten sowie die Verschärfung der Finanzsituation der öffentlichen Hand könnten zu einer Zunahme von gesellschaftlicher Ungleichheit und zu einer Verschärfung von Verteilungskämpfen (auch zwischen den Generationen) führen. Analytisch betrachtet handelt es sich dabei um strukturelle Spannungen zwischen verschiedenen Ebenen der Sozialstruktur: Die demographischen Veränderungen

wirken sich über ihre wirtschaftlichen Auswirkungen auf die gesellschaftliche Organisation (Personen, Positionen, Organisationen) und die Ebene der Hierarchien (Herrschaft- u. Machtverhältnisse, Ressourcenzugang, soziale Ungleichheit usw.) aus. Andere soziodemographische Analysen sehen das gesellschaftliche Konfliktpotenzial des demographischen Wandels eher auf der regionalen Ebene, indem es zu wachsenden Ungleichheiten in den Lebensverhältnissen zwischen wachsenden und schrumpfenden Regionen kommen könnte. Eine weitere Gruppe von Studien nimmt die sich ändernden Größenverhältnisse der Generationen zueinander zum Ausgangspunkt ihrer Überlegungen und analysiert die daraus resultierenden Bedingungen des zukünftigen Arbeitsmarktes, des Mobilitäts-, Freizeit- und Siedlungsverhaltens und entwirft davon ausgehend Visionen einer informationsbasierten Dienstleistungsgesellschaft, in der bürgerschaftliches Engagement einen großen Stellenwert einnimmt. In dieser Sichtweise wird der demographische Wandel primär zu Anpassungen auf der Ebene der Ideen (z.B. Änderungen gesellschaftlicher Leitbilder in Bezug auf Alter und Älterwerden) und Institutionen führen, die sich in Änderungen auf den übrigen Ebenen der Sozialstruktur fortsetzen.

Es zeigt sich, dass die Auswirkungen des demographischen Wandels ganz maßgeblich davon abhängen werden, wie die Gesellschaft angesichts der bereits sichtbaren demographischen Veränderungen heute handelt. Auch die vermuteten Auswirkungen auf Wald und Forstwirtschaft können sich davon abhängend stark unterscheiden. Für die Szenarienbildung im Projekt erscheint deswegen der gesellschaftliche Umgang mit dem demographischen Wandel (Aspekt des gesellschaftlichen Handelns) als wichtiger Schlüsselfaktor, der das Umfeld von Forstwirtschaft prägt.

Darauf aufbauend werden mögliche Auswirkungen des demographischen Wandels auf die Forstwirtschaft beschrieben. Diese Trends können nur indirekt aus den gesamtgesellschaftlichen Auswirkungen des demographischen Wandels abgeleitet werden. Dazu wird wiederum das vorher beschriebene konzeptionelle Modell herangezogen, indem der demographische Wandel als Phänomen sozialen Wandels betrachtet wird. Als Prozesse des sozialen Wandels verändern demographische Entwicklungen Forstwirtschaft vor allem in Abhängigkeit von ihrer Reichweite (z.B. qualitative Veränderungen in der Sozialstruktur), dem Bereich, auf den sie sich richten (v. a. Änderungen im Naturverhältnis der Gesellschaft) sowie ihrer Geschwindigkeit (schnelle Prozesse haben größeres Veränderungspotenzial als langsame). Im Zusammenhang mit anderen Prozessen des sozialen Wandels erscheinen in Bezug auf die Reichweite demographischer Prozesse vor allem die wirtschaftlichen Folgen des demographischen Wandels sowie Veränderungen auf Leitbildebene für die Forstwirtschaft relevant. So könnte sich eine gesamtwirtschaftliche Stagnation beispielsweise in einem Rückgang der inländischen Nachfrage nach Holz und in einem Arbeitskräftemangel in der Forst- und Holzwirtschaft bemerkbar machen sowie in einer allgemeinen Verschlechterung der Ertragslage. Leitbildveränderungen könnten über veränderte gesamtgesellschaftliche Ziele oder über die veränderte Altersstruktur der Gesellschaft sowie über einen Anstieg der zugewanderten Bevölkerung wirksam werden. Die Alterung der Gesellschaft könnte im Zusammenwirken mit einer zunehmenden Urbanisierung des Lebensstils dazu führen, dass sich insbesondere im Privatwald gravierende Veränderungen der Eigentumsstruktur ergeben, indem zunehmend Wald verkauft wird oder verwildert. Die Finanzsituation der öffentlichen Hand sowie die regionalen und umweltrelevanten Effekte des demographischen Wandels erscheinen als besonders wichtige Bereiche demographischer Verän-

derungen, die die Forstwirtschaft betreffen könnten. So ist es zum Beispiel denkbar, dass sich infolge des demographischen Wandels die Finanzsituation der öffentlich Hand, insbesondere der Kommunen derart verschärft, dass umfassende Gemeinwohlzielsetzungen bei der Waldbewirtschaftung aufgegeben werden oder entsprechende Dienstleistungen privatisiert oder durch vermehrtes bürgerschaftliches Engagement kompensiert werden könnten. Auch Verkäufe öffentlichen Waldes oder der Verkauf von Teilen des Verfügungsrechtsbündels am Wald erscheinen in diesem Zusammenhang als realistische Handlungsoptionen öffentlicher Waldbesitzer, die die Waldbesitzstruktur in Deutschland deutlich verändern würden. Die regional unterschiedlichen Auswirkungen des demographischen Wandels könnten zum einen zu einer Ausdehnung von Waldflächen in Schrumpfungsgebieten führen. Andererseits sind auch unterschiedliche Zielsetzungen der Forstwirtschaft in Wachstums - gegenüber von Schrumpfungsgebieten denkbar, insbesondere was das Angebot von Erholungseinrichtungen in qualitativer und quantitativer Hinsicht betrifft.

Die hier nur beispielhaft aufgeführten Trends werden schließlich einer abschließenden Bewertung unterzogen. Dabei wird zunächst auf die Validität der statistischen Daten zum demographischen Wandel eingegangen sowie auf die neuere Kritik an den Erhebungsmethoden dieser Daten. Außerdem werden die soziodemographischen Studien, die der vorliegenden Analyse zugrunde liegen, einer kritischen Prüfung unterzogen. Um welche Art von Quellen handelt es sich genau? Welche Interessen verfolgen die Autoren jeweils? Wie stark ist die wissenschaftliche Fundierung der Aussagen etc.? Insgesamt soll dadurch der Grad der Unsicherheit des beschriebenen Zukunftsfaktors in seinen Auswirkungen auf die Forstwirtschaft abgeschätzt werden. Wie sicher bzw. wie realistisch erscheinen die abgeleiteten Trends?

Kurzfassung des Basispapiers
Zukünfte und Visionen Wald 2100:
Langfristige Perspektiven von Wald- und Landnutzung – Entwicklungsdynamiken, normative Grundhaltungen und Governance

1.1 Marktforschung
Gesellschaftlicher und kultureller Wandel

Beate Brüggemann, Rainer Riehle

1 Allgemeines

Heutige Kulturlandschaften, heutige Wälder sind gestaltete Räume, gestaltete Landnutzung. Sie sind Resultat gesellschaftlicher Praxis, gesellschaftlichen Wollens, gesellschaftlichen Handelns. Und in dem Maße, wie sich Gesellschaft verändert, werden Wälder davon betroffen.

Freilich, „Gesellschaft" ist keine homogene Größe, vielmehr geprägt von Gruppen, Konflikten und widersprüchlichen Interessen. Und „Gesellschaft" ist in ihren Entwicklungsprozessen nicht prognostizierbar. Schließlich kreuzen sich langsam verlaufende gesamtgesellschaftliche Veränderungsprozesse mit kurzfristig wirksamen „Moden" und in ihrer Langfristbedeutung meist überschätzten Brüchen.

Drei weit reichende Bedingungen, die sich in durchaus unterschiedlichen gruppenspezifischen aber partiell bedeutsamen Trends verdichten, zeichnen sich ab:

1. Der Wandel ökonomischer Strukturen, schwankend zwischen Dienstleistungs- und Hochtechnologie-Ökonomie, zwischen Globalisierung und Regionalisierung, zwischen Verlust einzelstaatlicher Souveränität und regionaler wie internationaler Governance ist Treiber und zugleich Resultat einer Flexibilisierung und Pluralisierung von Arbeit und daran geknüpften Lebensstilen. Dieser Prozess ist nicht abgeschlossen, er ist vielmehr in vollem Gange und entzieht sich mittelfristiger Vorausschau.
2. Das „Jahrhundertthema" Klima mit all seinen Folgen für Lebensbedingungen, Naturräume, natürliche Ressourcen, Energieträger braucht zur Umsteuerung mehrere Jahrzehnte, und trägt in erheblichem Maße zu Veränderungen gesellschaftlicher Orientierungen und Normen bei.
3. Seit Ende der 60er Jahre deuten sich in allen Industriegesellschaften kulturelle Wandlungsprozesse an. Bei aller Problematik seien wenige Stichworte genannt: Materialismus versus Postmaterialismus, Pflicht- und Unterordnungswerte versus Werte der Individualisierung und Selbstverwirklichung, Eigenverantwortung und Flexibilität, Mobilität und Entgrenzung, Urbanisierung und Verödung, usw. Die in je unterschiedlicher Weise daran geknüpften Ausdifferenzierungen in – keineswegs stabile – „Lebensstile", erlauben nur in begrenztem Maße den Blick auf Zukunft.

Die Zerfallszeit kultureller Muster ist, entgegen allen tagesaktuellen Phänomenen von und Studien zu einzelnen Prozessen gesellschaftlichen Wandels, ein äußert langsamer Prozess, der allenfalls intergenerativ deutlich wird. Zudem verweisen gerade Studien zum „gesellschaftlichen" Umweltbewusstsein in aller Deutlichkeit auf die große Differenz zwischen Meinung und Verhalten, zwischen Handeln und Normen. Der Schutz der Wälder wird aus ökologischer Sicht als zentrales Problem angesehen, um das sich Politik und Gesellschaft vordringlich kümmern muss, aber das individuelle Alltagsverhalten entspricht keineswegs der geäußerten Meinung. Mit Blick auf Zukunft von Wald bieten solche Feststellungen allenfalls Hinweise auf sich verändernde Leitbilder, verweisen auf neue bzw. sich verstärkende Elemente im gesellschaftlichen Diskurs, aber nur begrenzt auf tatsächliche Entwicklungen.

Kurz, beobachtbare Megatrends, wie Globalisierung, Klimawandel / Ökologieproblem und Wandel von Lebensmodellen, beobachtbare Einzelphänomene von Veränderungsprozessen, gestützt auf Meinungsumfragen, entziehen sich weitgehend der Prognose, zeigen keine homogenen Einstellungsblöcke, sondern vielfältige Fragmentierungen.

Sie zeigen allerdings an, in welchen Dimensionen Wandel stattfindet und welche kulturellen Werte sich in Veränderung befinden, sie verweisen auf Auflösungsprozesse traditioneller sozialer Bindungsmuster und zugleich deren Neubildung und Umstrukturierung, ohne allerdings eindeutig erkennen zu lassen, in welche Richtungen sie sich letztendlich bewegen. Die ökologische Lebensstilforschung hat Abstand von der Dichotomievorstellung genommen, von Milieukategorisierungen von (z.B.) ökologisch bis unökologisch und spricht stattdessen (in hilflos scheinender, aber die Realität eher widerspiegelnder Weise) von einem „Pluralismus ambivalenter Lebensstile".

2 Indikatoren

Die Verwobenheit, Vielschichtigkeit und Uneinheitlichkeit von Prozessen gesellschaftlichen und kulturellen Wandels erlauben es nur begrenzt, „eindeutige" Indikatoren mit Blick auf ihre Wirkungen auf Wald zu bestimmen. Dennoch sind, generalisierend, drei Indikatorenebenen nutzbar:

1. Befunde aus Studien, die Verhaltensänderungen von Menschen nachzeichnen, liefern ein Bündel von Indikatoren, mehr oder minder „harte" Fakten weitgehend ökonomisch und sozial motivierter Veränderungsprozesse. Sie sind aber nur geeignet für Aussagen zu kurzfristigen Trends und Trendverschiebungen:

Beispielhaft: Studien zum Konsumverhalten verweisen auf einen Trend zu mehr Bioprodukten, zu regionalen Qualitätsprodukten, sie deuten auf eine Zunahme des Interesses an ökologischer Bauweise hin, an Holzbauweise, an (zertifizierten) Holzprodukten. Sie lassen erkennen, dass steigende Energiepreise zur Zunahme von holzbasierten Heizsystemen führen, zugleich aber ist auch Nachfrage nach Energie aus landwirtschaftlichen Produkten deutlich: Flächenkonkurrenz. Die vielfältigen und unterschiedlichen Ansprüche an Wald, unbezahlte Waldbesuche, Ruhe und Erholung, Sportstätte, Entdeckungsraum, CO_2 Speicher, etc. sind relativ konstant geblieben. Weitere Studien lassen erkennen, dass immaterielle Waldprodukte an gesellschaftlicher Bedeutung gewinnen: z.B. die (abstrakte) Bereitschaft, für immaterielle Waldleistungen zu bezahlen. Die Nachfrage nach Freizeit- und touristischer Waldnutzung zeigt sich in neuen Formen von Erlebnisurlaub, Waldpädagogik etc, wenngleich sich Tendenzen zum Rückgang des touristischen Flächenbedarfs durch waldunabhängige virtuelle Erlebniswelten, „virtuelle Wälder", durch Eventangebote jenseits von Kulturlandschaft und Wald abzeichnen. Studien zum Mobilitätsverhalten schließlich zeigen einen Trend zum Zurück-in-die-Stadt (besonderes älterer Menschen), verweisen auf unterschiedlich ausgeprägte regionale Entwicklungsprozesse, verweisen auf neue Wege bürgerschaftlichen und regionalwirtschaftlichen Engagements (sowohl regionale Schrumpfungsprozesse wie eine Renaissance, Inwertsetzung von Regionen in ihren sozialen, wirtschaftlichen, kulturellen und ökologischen Funktionen). Schließlich sind Prozesse erkennbar, die den Bezug von (kleinen) Waldbesitzern zu ihrem Wald und dessen Nutzung in Frage stellen, abnehmendes Interesse an Wald signalisieren.

2. Studien, die Einstellungen und Vorstellungen von Menschen dem Wald gegenüber erfassen, die Vorstellungen von Waldnutzung und Waldbildern enthalten, liefern dagegen Hinweise auf langlebige Werteorientierungen in ihren unterschiedlichen Optionen, ihrer Gruppenspezifikation und ihren Widersprüchen. Sie eignen sich nicht als Kurzfristindikatoren, vielmehr verweisen sie auf kulturelle Orientierungs- und Wahrnehmungsmuster relativer Stabilität.

Noch immer dominiert eine Vorstellungswelt von Wald, die weitgehend verbunden und geprägt ist von Waldtopoi aus der Literatur und Malerei der Romantik: Der Wald als Raum für Naturerlebnis, für Einsamkeit, des Friedens, der Kontemplation etc. Gleichzeitig zeigen viele Menschen, vor allem

Jugendliche „eine große lebensweltliche Distanz oder sogar Entfremdung in Bezug auf den Wald“ (vgl. Verbundprojekt Mensch & Wald). In vielen, in den vergangenen 25 Jahren durchgeführten Studien zur Waldwahrnehmung zeigt sich, dass Wald zwar „Produkt kultureller Überformung“ ist, aber in seiner „Natürlichkeit“ zum Kanon deutscher Befindlichkeit gehört. Die Stabilität und Dominanz der Waldwahrnehmung als kontemplativer Faktor, Ort der Ruhe, der Schönheit, der Unberührtheit ist bemerkenswert. Die weitgehende Ausblendung von Wald als Wirtschafts- und Arbeitsraum entspricht dem. Die Wahrnehmung von Wald in seiner Wirtschaftsfunktion geht gar zurück. Holz und Wald sind in dieser Wahrnehmung getrennte Sphären. Waldwahrnehmungsstudien zeigen allerdings auch, dass im gesellschaftlichen Bewusstsein insbesondere die Bedeutung der ökologischen Funktionen von Wald angestiegen ist, wie auch die Ansprüche an die Wohlfahrtsfunktion des Waldes. Belegt wird dieser Trend (indirekt) in der Vielzahl der in den vergangenen 10 - 15 Jahren durchgeführten Studien zum Umweltbewusstsein. Auf die vielfältigen Diskrepanzen und Brüche zwischen Wahrnehmung, Ansprüchen, Erwartungen und tatsächlichem (subjektiven und kollektiven) Verhalten sei nur allgemein verwiesen.

3. Die Vielfalt von Leitbildern (vgl. dazu die Papiere „Leitbildassessment“ und „Ethikgutachten“ auf www.waldzukuenfte.de) kann Indikatoren nicht nur für Veränderungen von Grundorientierungen, sondern für Interessen- und Machtverhältnisse liefern.

Die Spannbreite gesellschaftlicher Leitbilder reicht von stabilen, traditionellen Entwicklungsvorstellungen bis zu solchen, die auf einen Paradigmenwechsel verweisen. Die unterschiedlichen Ansätze oder Modelle, die das Verhältnis von Ökonomie, Ökologie und Gesellschaft bestimmen, werden von verschiedenen bis widersprüchlichen Interessen, Orientierungen und Institutionen getragen. Insofern stehen sich Indikatoren gegenläufiger Entwicklungsmodelle gegenüber, die gerade in ihrer Widersprüchlichkeit als Alternativen in Szenarien Eingang finden müssen.

Welche der eng miteinander verwobenen Trends und Ambivalenzen in Zukunft dominieren werden, lässt sich nur schwer prognostizieren: Politikverdrossenheit oder zivilgesellschaftliches Engagement, Konsum- und Marktorientierung oder ressourcenschonende Suffizienzorientierung, individuelle Nutzenmaximierung oder ökologisch orientierter Regionalismus, Wald als Natur- und Kulturgut oder Rohstofflager und biotechnische Verfügungsmasse. Gesellschaftlicher Wandel hat seinen „Eigensinn“. „Wenn sich die Frage „Wie wird sich die Gesellschaft entwickeln?“ nicht exakt beantworten lässt, gewinnt die Frage „Wie soll sich Gesellschaft (nicht) entwickeln?“ an Bedeutung“ (Konrad Ott).

3 Probleme und Fragen

Gesellschaftlicher und kultureller Wandel als permanenter und komplexer Prozess mit unzähligen Variablen ist kein eigenständiger verallgemeinerbarer und quantifizierbarer Einflussfaktor für Zukunft von Wald. Zukunft von Wald ist zwar gesellschaftlich bestimmt, aber Gesellschaft und gesellschaftliches Wollen und Handeln steht ihrerseits in enger Wechselbeziehung zu äußeren zukunftsbedeutsamen Rahmenbedingungen.

Die vielfältigen, konfligierenden Nutzungsansprüche und Erwartungen an Wald und seine (Multi-)-Funktionen, die zu einem kulturellen Faktor geronnenen Wahrnehmungsmuster (in ihrer Vielfalt), lassen Wirkungen nur in einzelnen Dimensionen benennen: Die auf der Ebene von Verhaltensänderungen (Konsum, Freizeit, Waldnutzung, Mobilität, Wohnbedürfnisse, regionale Ausdifferenzierung etc.) erkennbaren Trends sind in ihren Folgen uneinheitlich, zeigen sich als Spanne von Möglichkeiten. Daran knüpft sich die Frage, wel-

che Option, welche Leitbilder, welche Elemente dieser Leitbilder setzen sich dann durch? Welche Funktionen von Wald sind gewollt und regulierbar, welchen Wald will die (?) Gesellschaft – mit allen Kosten und Konflikten? Welche Interessen dominieren? In der Spannung zwischen Eigentumsschutz und Allgemeinwohlverpflichtung, starker und schwacher Nachhaltigkeit der Waldbewirtschaftung, Vermarktlichung oder Vergesellschaftung, Regionenkonkurrenz oder –kooperation entscheiden sich Wirkungen auf Waldbaukonzepte, Flächennutzung, regionale Entwicklungsprozesse, regionale Wirtschafts- und Sozialstruktur, regionale und kulturelle Identität sowie Landschafts- und Kulturerbe.

Wird Kulturlandschaft nur noch in bestimmten Regionen als museale, als Bild von traditioneller Bearbeitung und Lebensweise aufrechterhalten bzw. präsentiert? Werden Besucher durch den Erlebnispark Wald und Wildnis geführt? Wie verändern Musealisierungs- und Vorzeigeaktivitäten touristische Angebote und andere Dienstleistungen? Werden Packages und Events angeboten (vergleichbar den „Erlebniswelten" von Disneyland und Europapark)? Verliert Wald an Attraktivität, für wen? Entwickelt sich eine Polarisierung der Regionen, der Wohn- und Arbeitsstandorte, was wiederum Konsequenzen hat für Freizeit- und Erholungsräume, für Natur- und Umwelterfahrungen, für Vorsorge vor Naturgefahren, für Siedlungsbedarf und Klimawandel (Verkehr in solchen Ballungsgebieten)? Oder bildet sich als Alternative ein Mosaik von kleinräumigen multifunktionalen Regionen, gestalteten Kulturlandschaften mit wichtigen sozialen, ökonomischen, ökologischen und kulturellen Funktionen heraus?

3 In jedem Fall ist Waldpolitik Teil der Gesellschaftspolitik

Eine Reihe von gegenläufigen, sich widersprechenden Indikatoren weisen auf langfristig bedeutsame Entwicklungspfade hin, die zwischen zwei Polen verlaufen, dem einer Kultur der Suffizienz und dem einer Kultur weltweiter Ökonomisierung:

- Je mehr sich kulturelle Muster von Suffizienzgesellschaft(en) durchsetzen, umso mehr gewinnen die sozialen und ökologischen Funktionen von Wald an Bedeutung und passen sich die wirtschaftlichen und Waldbaukonzepte diesen an. Wenn also der Suffizienzgedanke sich in seinen sozialen, kulturellen und ökologischen Aspekten als Wirtschafts- und Gesellschaftsmodell umsetzt, umso mehr sind Waldbaukonzepte erwartbar, die regionale und waldwirtschaftliche Nachhaltigkeit befördern und zugleich angepasste technologische Modernisierung zulassen.
- Je mehr sich Gesellschaft in Richtung der globalen Kultur, „eine Markt-Welt", verändert, um so mehr können sich regionale / nationale Waldregionen segregieren und umso mehr bieten sich diese Räume als Rohstofflager, als Flächen für Schnellwuchsplantagen, als biotechnologisch nutzbare Räume an – in weltweiter Arbeitsteilung. Wenn also eine Kultur reiner Ökonomisierung Oberhand gewinnt, und Waldwirtschaft wesentlich mit dem ökonomischen Leitbild Rohstoff Holz verknüpft wird, umso mehr steht die multifunktionale Waldwirtschaft in Frage und umso mehr differenzieren sich Länder wie Regionen zu attraktiven und nicht-attraktiven Lebensräumen aus.

Kurzfassung des Basispapiers
Zukünfte und Visionen Wald 2100:
Langfristige Perspektiven von Wald- und Landnutzung – Entwicklungsdynamiken, normative Grundhaltungen und Governance

1.1 Marktforschung

Die drei M des zeitgenössischen Holzbaus in der Schweiz

Mehrgeschossigkeit, Massivholzbau und Multifunktionalität der Fassade

Jürg Fischer

Holzbau in der Schweiz bedeutet seit 2005 bis sechsgeschossig bauen ohne zusätzliche Bauauflagen. Hinzu kommen nun zwei weitere Entwicklungen, welche die Holzarchitektur markant verändern. Die Entwicklung weg von der Leichtbauweise mit dünnen Beplankungen, viel Hohlraum und dazwischenliegender Dämmung (Holzrahmenbau) hin zu kompakten Konstruktionen mit massiven Holzvolumen (Massivholzbau). Die zweite Entwicklung betrifft die multifunktionalen Fassadensysteme, welche Holzbauten von außen nicht mehr zwingend als solche erkennbar machen. Multifunktionale Fassadenbekleidungen aus Glas und Metall, aus transluzenten Kunststoffen und Textilien sind zunehmend gefragt. Die Kombination dieser drei Entwicklungen bietet der Bauherrschaft die Chance wirtschaftlichen Bauens, den Architekten attraktive Gestaltungsmöglichkeiten und den Bewohnern eine hohe Wohnqualität mit einer effizienten Fassadenhaut.

1 Leben im mehrgeschossigen, massiven Holzhaus

1.1 Die Kultur vom Bauen und Wohnen

Die Kultur des Wohnens gewinnt in unserer Gesellschaft zunehmend an Bedeutung. War die Hütte ursprünglich lediglich eine Behausung, ein Schutz, ein sicheres Dach über dem Kopf, muss ein Haus heute alle Bedürfnisse und Anforderungen des modernen Lebens und Wohnens erfüllen. Das Haus bietet Lebens- und Arbeitsraum, Geborgenheit und Wohlbefinden, verkörpert Lifestyle, bildet unsere dritte Haut und erfüllt höchste Anspruche an Komfort, Ökologie, Architektur und Wirtschaftlichkeit.

Mit der Wahl des Baumaterials für das Haus wird auch die Werthaltung und der Standpunkt der Bauherrschaft in ökologischen Fragen sichtbar. Die Wertmassstäbe haben sich verändert, und der mehrgeschossige Holzbau in massiver Bauweise – Massivholzbau – ist im Aufwind. Er entspricht den Vorstellungen und Wünschen des sensiblen und verantwortungsbewussten Menschen, aber auch des komfortorientierten und kostenbewussten Bauherrn von heute. Ein Blick zurück bringt es an den Tag: Wir haben die Massivholzbauweise nicht im 21. Jahrhundert erfunden. Sie war lange Zeit in Vergessenheit geraten, weil die neuen Baustoffe Stahlbeton und Stahl favorisiert wurden. Wir haben sie lediglich wiederentdeckt, jedoch neu definiert und für die heutigen Anforderungen optimiert.

Abb. 1 und 2: Zwischen den beiden Holzhäusern liegen 350 Jahre. Unten der Blockbau in Ernen (Kanton Wallis) ca. 1650, oben das Wohnhaus in Jenaz (Kanton Graubünden) des Architekten Peter Zumthor von 2002 [1]

1.2 Massiv mit Holz bauen

Es ist kein Zufall, dass sich die neuesten Holzbauweisen vornehmlich in der Schweiz, Deutschland und Osterreich sowie in Skandinavien entwickelt haben. In Ländern also, die auf die umwelt-

freundliche und erneuerbare Ressource Holz setzen. Holz ist in diesen Ländern in großen Mengen und Vorräten vorhanden und wächst laufend nach. Im Schweizer Wald steht pro Hektare europaweit der größte Holzvorrat. Volumenmäßig weisen Schweden und Deutschland den größten Holzvorrat auf. Den Wald zu nutzen bedeutet somit auch, ihn zu pflegen.

1.3 Nachwachsender Rohstoff

Ungefähr 3,6 Mrd. m^3 Holz werden jährlich weltweit geerntet. Im Vergleich der geschatzten globalen Jahresproduktion verschiedener Rohstoffe nimmt Holz mit 2,2 Mrd. Tonnen vor Zement (2 Mrd. Tonnen), Stahl (1 Mrd. Tonnen) und Kunststoffen (0,25 Mrd. Tonnen) eine Spitzenposition ein.

Neben ca. 5 Mio. m^3 Holz, die jährlich aus dem Schweizer Wald genutzt werden, werden jedes Jahr ungefähr 2 Mio. m^3 Holz aus dem Ausland importiert, um den Schweizer Holzbedarf von rund 7 Mio. m^3 zu decken. Dabei ist nur ein Teil dieses Importes durch besondere, hohe Ansprüche an die Holzeigenschaften begründet, die sich mit Schweizer Holzarten nicht befriedigen ließen. Die Ernte im Schweizer Wald ließe sich im Rahmen nachhaltiger Waldbewirtschaftung noch erheblich steigern. Nadelholz überwiegt in der Schweiz das Laubholz. Fichte, Tanne und Buche sind die häufigsten Baumarten.

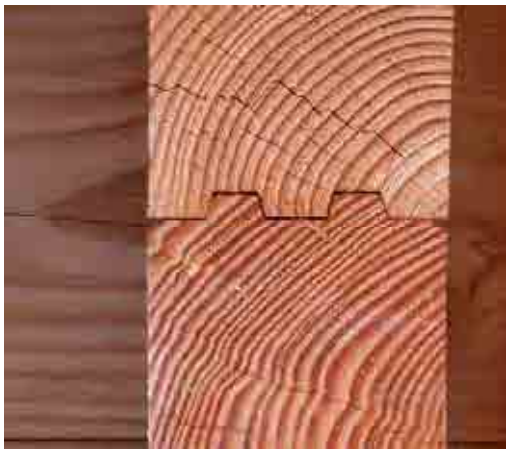


Abb. 3: Holz, von Natur aus massiv [1]

Tab. 1: Der Holzvorrat pro Hektar liegt im Schweizer Wald europaweit an der Spitze. (Quelle: Schweizerisches Landesforstinventar LFI 2, 1993–1995, Eurostat) [1]

Land	Holzvorrat in m^3/ha	Holzvorrat in Mio. m^3	Gesamtfläche des Landes (1000 km^2)
Schweiz	361 (Maximum)	428 (Minimum)	41 (Minimum)
Deutschland	271	2911	357
Osterreich	266	1030	84
Frankreich	116	1959	544
Italien	109	1071	301
Schweden	105	2945 (Maximum)	449
Finnland	86	1954	338
Norwegen	62	742	385
Spanien	23	592	505

Abb. 4: Bäume im Schweizer Wald [1]

1.4 Vom Blockbau zum Massivholzbau

Innerhalb des Holzbaus existieren verschiedene Bausysteme, die sich in Konstruktion, Fertigung und Erscheinungsbild deutlich voneinander unterscheiden. Auch werden diese Systeme je nach Region, Kanton oder Konstruktionsweise oft unterschiedlich benannt. Die Massivbauweise in Holz – die sog. Massivholzbauweise – steht heute quasi am Anfang und am Ende dieser baugeschichtlichen Betrachtungsweise: Zuerst als Block- oder Strickbau handwerklich bearbeitet, roh und urchig, heute als Massivholzbauweise mit CNC-Technologie geplant, gefertigt und von höchstem ökologischem und wohnphysiologischem Wert.

Im Holzbau sind die aktuellen Entwicklungen und Innovationsschübe struktureller Natur. Diesbezüglich nimmt der Holzbau innerhalb der Bauindustrie eine Sonderstellung ein. Auch hier wird jedoch hochtechnologisches Wissen an den Spezialisten auf der Seite der Unternehmer delegiert. Für den Architekten bedeutet dies insofern eine Erleichterung, als er sich nicht mehr detailliert in das Innenleben der Konstruktion hineindenken muss. Der Massivholzbau wird angesichts des zunehmenden Interesses an energetischen, ökologischen und wohn-physiologischen Fragen noch an Bedeutung gewinnen. Dabei sind nicht nur die Holzfachleute, Holztechnologen, Baubiologen oder Energiespezialisten gefordert, sondern wesentlich auch die Architekten, wenn es darum geht, die spezifischen Fähigkeiten der Massivholzbauweise in intelligente Strategien im architektonischen Entwurf umzusetzen. Diese Kombination allein ist Garant für die architektonische Professionalität und damit für die Nachhaltigkeit.

Für die Weiterentwicklung der Holzbausysteme waren seit je her der Zeitgeist mit den wirtschaftlichen, technologischen und sozialen Rahmenbedingungen der jeweiligen Epoche prägend. Stichworte dazu sind u.a. die Verfügbarkeit des Rohmateriales, die Kostenstruktur der Arbeitskräfte, Technik, Transport sowie die Ansprüche an Baukonstruktion, Sicherheit, Haustechnik, Wohnkomfort und Energieverbrauch. Da sich die politischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen auch künftig verändern werden, ist davon auszugehen, dass es nicht bei den folgenden sechs Holzbausystemen bleiben wird. Weitere Innovationen, Veränderungen und Mischformen der Holzbausysteme werden folgen.

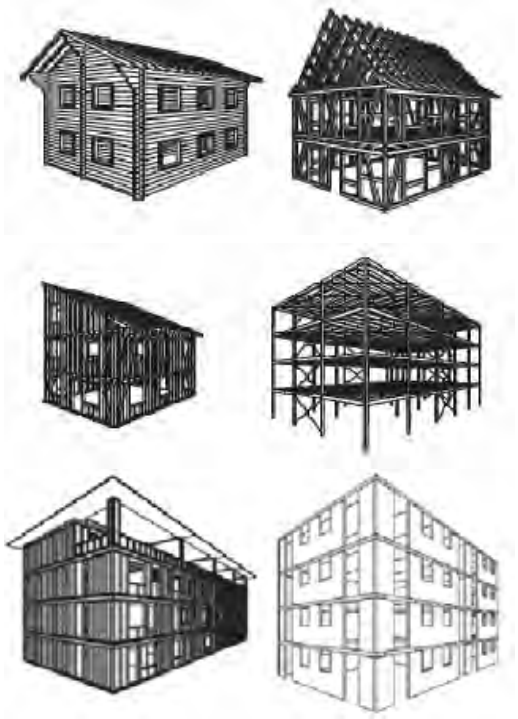


Abb. 5: Die Entwicklung der Holzbausysteme (von oben links nach unten rechts): Blockbau, Fachwerkbau, Ständerbau, Skelettbau, Holzrahmenbau, Massivholzbau [1]

1.5 Produkte und Systeme für den Massivholzbau

Im Laufe der zunehmenden Bedeutung von Massivholzbauten haben innovative und zukunftsorientierte Holzbauunternehmungen in der Schweiz in den letzten Jahren eine Vielzahl unterschiedlicher Massivholzbausysteme entwickelt. Diese Entwicklung wurde zum Teil durch Förderprogramme des Bundes unterstützt und erfolgte in Zusammenarbeit mit den Hochschulen. Die Entwicklungen basieren auf unterschiedlichsten Beweggründen. Entsprechend vielfältig sind die Erscheinungsformen der Produkte und Systeme.

Aufgrund der verwendeten Materialien wie Bretter, Platten und Leisten sowie der Art des Zusammenfügens der Einzelteile mit Klebstoffen, Metallen oder Holz-Holz-Verbindungen weisen die Produkte und Systeme ästhetisch und technisch unterschiedlichste Eigenschaften und Potentiale auf. Dies insbesondere bezüglich des optischen und gestalterischen Ausdrucks, der Verbindungen und Verbindungsmittel, der Lastabtragung, der statischen Leistungsfähigkeit sowie des bauphysikalischen Verhaltens im Einsatz.

Tab. 2: Richtwerte zum Volumen des verbauten Holzes in einem Einfamilienhaus mit unterschiedlichen Holzbausystemen [1]

Konstruktionsart	Holzverbrauch	Faktor
Kellerunterteilung mit Lattenverschlag (1960)	< 1 m³	1
Dachstuhl auf konventionellem Massivbau aus Backstein und Beton (1985)	ca. 5 m³	5
Ständerbau (1990)	ca. 15–20 m³	20
Holzrahmenbau (2000)	ca. 20–40 m³	40
Blockbau (2005)	ca. 50–80 m³	80
Massivholzbau (2008)	ca. 120 m³ ca. 150–200 m³ (System: Appenzellerholz)	120 200

Grundsätzlich ist es Aufgabe des Planers, für die zu realisierende Bauaufgabe das Holzbausystem mit den optimalen Eigenschaften zu bestimmen. Dabei ist es sinnvoll und lohnend, frühzeitig mit den Produzenten / Lieferanten dieser Massivholzbausysteme in Kontakt zu treten.

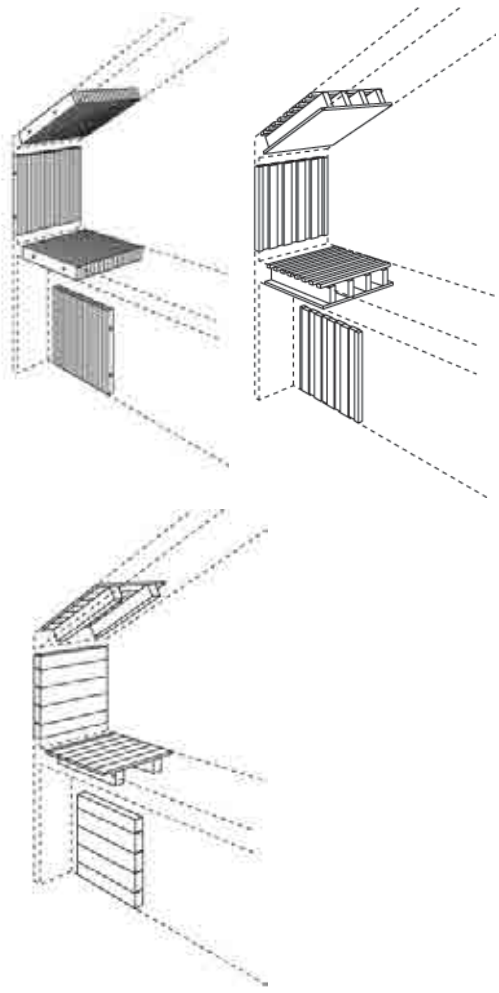


Abb. 6: Beispielhafte Auswahl an Massivholzbausystemen mit unterschiedlichem strukturellem Aufbau, von links nach rechts: Plattenförmig (z.B. Bresta), hohlkastenförmig (z.B. Ligno-Swiss), balkenförmig (z.B. Ruwa) [1]

1.6 Der Gebäudepark Schweiz

Im Schweizer Gebäudepark sind netto rund 45 Mio. Tonnen CO_2 gebunden. Das ist ungefähr soviel wie die Schweizer Emissionen eines ganzen Jahres. Bedenkt man, dass sich der Anteil von Holz am Bau in der Schweiz von derzeit 10–15 % auf künftig 20– 30 % steigern ließe, wird klar, wie groß das Potential dieses CO_2-Lagers in Bauten ist.

Der nachhaltigste Nutzen von Holz im Bauwesen besteht allerdings darin, dass die Herstellung von Holzprodukten markant weniger Energie benötigt als die Fertigung der meisten anderen Produkte für den Bau. Durch die wesentlich energieeffizientere Verarbeitung sinkt der Ausstoß an Treibhausgasen erheblich. Mit einem zusätzlichen Holzverbrauch von einer Million m^3 fester Holzmasse im Bauwesen könnten in der Schweiz rund eine weitere Million Tonnen Kohlendioxid-Äquivalente eingespart werden, wenn die bei der Verarbeitung entstehenden Abfälle konsequent thermisch verwertet werden. Der Baumarkt in der Schweiz ist für Holz so aufnahmefähig, dass die Senkenleistung einer vermehrten Verwendung des Rohstoffes im Bauwesen gegen ein Viertel der Kyoto-Reduktionsziele zu erreichen vermöchte (ca. 2–3 % Reduktion des CO_2- Ausstoßes im Vergleich zu 1990).

Mit Holz bauen ist ein aktiver Beitrag zum Klimaschutz.

Der Massivholzbau als Vorreiter energieeffizienten Bauens in der Schweiz:

Abb. 7: Überbauung Hegianwandweg in Zürich, 2003, EM2N Architekten, Zürich [3]

Abb. 8: Mehrfamilienhaus Holzhausen, Steinhausen (Kanton Zug), 2006, Scheitlin-Syfrig + Partner Architekten AG, Luzern [3]

Abb. 9: Mehrfamilienhaus Casa Montarina, Lugano (Kanton Tessin), 2008, Lorenzo Felder, Lugano [4]

2 Multifunktionale Fassaden

Der Holzbau hat auch im städtischen Raum Einzug gehalten, sei dies mit öffentlichen Bauten oder Wohnsiedlungen. In der Auseinandersetzung mit den neuen Bauaufgaben steht die Fassadengestaltung mit ihren vielen Variablen im Vordergrund. Dabei stellt sich immer auch die Frage, wieviel Holz in der äusseren Hülle in Erscheinung treten soll. Neben den bekannten Materialien Holz, Faserzement- und Kunstharzplatten, Aussenputzsystemen kommen zunehmend auch Glas, Polykarbonat- und Metallbekleidungen sowie textile Materialien zum Einsatz.

Neben den technischen Aspekten in der Planung, Konstruktion und Ausführung ist auch die Diskussion um die Gestaltungsmöglichkeiten mit dem neu vorhandenen Materialmix unumgänglich. Im Rahmen dieser Auseinandersetzung sind in den letzten Jahren neue Bilder des Holzbaus entstanden, welche die Holzarchitektur kontinuierlich verändert und zu prägen beginnt.

2.1 Die Konstruktion der Fassade

Die folgende Auflistung ist nicht Gebot sondern Orientierungshilfe, um etwas präziser und systematischer über die Konstruktion der Fassade nachzudenken. Sie soll den Entwurfsprozess unterstützen und das Verhältnis zwischen Konzeption, Konstruktion und Wahrnehmung anschaulich darlegen. Es ist der Versuch einer Systematik, wobei manchmal auch der intelligente Regelbruch zu neuen Erkenntnissen führt.

- Je weniger Funktionen die äußerste Schicht der Fassade übernimmt, desto mehr Freiheiten ergeben sich in deren Gestaltung.
- Je mehr Funktionen die äußerste Schicht, also die Schutzschicht der Fassade, in sich vereint, desto unveränderlicher ist deren Gestalt.
- Kern jeder Fassadenkonstruktion ist die Materialisierung.

- Die Wahl des Fassadenmaterials ist abhängig von der Verfügbarkeit, den bautechnischen Eigenschaften, dem materiellen und ideellen Wert sowie der ökonomischen und ökologischen Nachhaltigkeit.
- Wie alle architektonischen Entwurfsprozesse ist auch die Konstruktion der Fassade ein iteratives, an Rückkopplungen gebundenes Verfahren, bei welchem die Abhängigkeiten einzelner Entscheidungen nicht immer eindeutig und linear sind.

2.2 Multifunktionalität

Die Planung und Entwicklung einer Fassade erfordert eine intelligente Koordination der Funktionen Tragen, Dämmen und Schützen hin zu einem leistungsfähigen Gesamtsystem. Indessen zeigt sich, dass die Schutzschicht heutiger Fassadensysteme in der Frage des Materials aus konstruktiver Sicht und in Bezug auf die darunter liegende Trag- oder Dämmschicht einen hohen Grad an Freiheit aufweist. Das gilt heute insbesondere auch für Holzbauten.

2.3 Die Materialisierung

Der Einstieg in die Auseinandersetzung, quasi der erste Wurf, kann grundsätzlich frei im kleinen wie auch im großen über technische wie gestalterische Kriterien erfolgen. Wesentlich ist die Motivation, sich kritisch mit den Konsequenzen der gewählten Strategie auseinanderzusetzen und die vielfältigen Abhängigkeiten zu erkennen und zu verstehen.

Es gilt dabei, die Hierarchie zwischen zwingenden und variablen, zwischen sogenannt harten und weichen Parametern herauszukristallisieren. Insofern ist der Fassadenentwurf wiederum gekoppelt an das Konzept des architektonischen Projekts.

Aufgrund seiner unmittelbaren Präsenz an der Oberfläche wirkt das Fassadenmaterial prägend für die Identität einer Baukultur. Zentrale Kriterien für die Materialisierung der Fassadenoberfläche sind die bautechnischen Eigenschaften des Materials sowie das Wissen und die Fähigkeit der Handwerker und Unternehmer im Umgang damit. Die gesetzlichen Bestimmungen zum Brand-

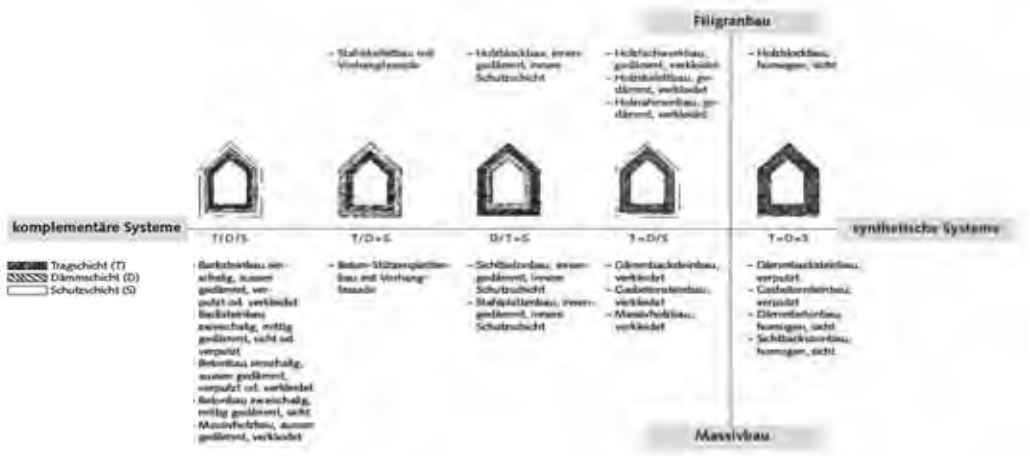


Abb. 10: Konstruktive Systeme unterteilt in Tragschicht (T), Dämmschicht (D) und Schutzschicht (S) [5]

schutz und zur Akustik bilden weitere maßgebende Kriterien. Darauf hin entwickeln das Handwerk und die Industrie materialspezifische Techniken und Konstruktionen. Diese werden über die Planung und Produktion professionalisiert und als Bauweisen oder Systeme etabliert.

Im zeitgemäßen Bauen mit Holz kommen Glas-, Metall-, Kunststoff- und Solarfassaden eine hohe Bedeutung zu. Seit Jahren kommen auch die bekannten Systeme für plattenförmige Bekleidungen und Außendämmungen auf der Basis von Holzfasern und expandiertem Polystyrol zum Zug. Daneben bietet sich Holz in verschiedensten Ausführungen an: naturbelassen, beschichtet und druckimprägniert als Massivholzschalung sowie Thermoholzanwendungen und Schindeln. Diese Vielzahl an Fassadenmaterialien steht zur Verfügung, um die multifunktionalen Aufgaben zu erfüllen.

2.4 Das Angebot der Sonne

Ein Quadratmeter Erde empfängt in der Schweiz jährlich rund 1000 kWh Sonnenenergie, was 100 Litern Öl entspricht. Im Berggebiet ist dieses Angebot noch deutlich höher. Mit wenigen Quadratmetern Kollektorfläche kann die Hälfte des jährlichen Warmwasserbedarfs einer Familie gedeckt werden, mit einer voll genutzten Südfassade sogar mehr als die Hälfte des jährlichen Heiz- und Warmwasserbedarfs. Und der Solarstrom aus einem Hausdach genügt, das Haus zum Nullenergiehaus zu machen, indem der gesamte Strombedarf einer Wärmepumpe gedeckt wird, die Heizung und Warmwasser sicherstellt. Folgende Solarenergie-Anwendungen stehen im Vordergrund: Direktgewinnfassade, Thermische Kollektoren, Photovoltaik und Heizwände. Jede dieser Anwendungen wird objektspezifisch evaluiert.

Tab.3: Materialien /Baustoffe und deren Umsetzung für Fassadenbekleidungen [5]

Materialien, Baustoffe	Gefügte Schichten	Homogenisierte Schichten
Naturstein	Mauersteine Tafeln und Platten Schindeln	
Beton	Vorfabrizierte Formelemente Tafeln und Platten	Ortbeton
Mineralische Verbundstoffe	Tafeln und Platten Schindeln	Verputze
Backstein	Mauersteine	
Keramik	Platten Mosaik	
Glas	Mauersteine (Glasbausteine) Scheiben	
Metall	Tafeln, Platten und Profile Industrie-/Spenglerbleche Gewebe und Folien	
Kunststoffe	Formelemente Tafeln und Platten Gewebe und Folien	Verputze Anstriche
Dämmstoffe	TWD-Elemente Schaumglasplatten	
Farben		Anstriche
Holz	Balken, Bretter Schindeln	

Abb. 11: Thermische Kollektoren: EFH Jehle, Nenzing [2]

Abb. 14: Glas ESG H mit Siebdruck Swissdeco. Casino Basel, 2003. Architekten Burckhardt + Partner AG, Bern [2]

Abb. 12: Photovoltaik: Gewerbehaus Holinger, Bubendorf (Kanton Baselland) [2]

Abb. 15: Faserzementsystem bei Wohnhaus mit Goldschmiede in Schenna (Südtirol), 2006. Architekturbüro Höller & Klotzner, Meran [2]

2.5 Weitere Fassadenbeispiele

Abb. 13: Transluzente GFK Glasfaserverstärkte Kunststoffplatten. MFH Neumühle Töss, Winterthur (Kanton Zürich). 2004. Beat Rothen Architekt, Winterthur [2]

Abb. 16: Schichtstoffplatte über die gesamte Gebäudehöhe. Business-Center Grenchenstrasse, Biel (Kanton Bern) 2006, Werkhof Architekten AG, Biel [2]

Abb. 17: Perlgestrahlte Edelstahlbleche schindelartig verlegt mit feinem Fugenbild. Liner Museum, Appenzell, 1998, Gigon Guyer Architekten, Zürich [2]

Zusammenfassung

Der mehrgeschossige Massivholzbau steigert gegenüber bisherigen Holzbausystemen das verbaute Holzvolumen exponential und damit auch die entsprechende CO_2-Senke. Die Materialvielfalt in der Fassade verleiht dem Holzbau neue Impulse und erweitert das Anwendungsspektrum. Die Kombination dieser Entwicklungen vergrößert das Holzbaupotenzial bezüglich Wirtschaftlichkeit, Ästhetik und Funktionalität. Gesamthaft zielen diese Entwicklungen in die richtige Richtung: Der Holzanteil am Gebäudepark Schweiz wird vergrößert und dadurch ein wertvoller Beitrag an Wald und Umwelt geleistet.

Quellen

[1] Lignum: Lignatec Massivholzbau; Andrea Deplazes, Jürg Fischer, Marco Ragonesi (2007), Zürich.
[2] Lignum: Lignatec Fassadenbekleidung; Andrea Deplazes, Jürg Fischer, Marcel Baumgartner (2009), Zürich.
[3] www.timberconsult.ch
[4] www.lignum.ch
[5] www.deplazes.arch.ethz.ch

1.1 Marktforschung
Holzbauentwicklung in Großbritannien

Michael Keller

1 Einleitung

Großbritannien ist seit der industriellen Revolution geprägt durch den Einsatz von Stahl. Die Entwicklung zum heutigen, sehr industriell geprägten Stahlbau wurde durch die in Großbritannien ansässigen Stahlbaubetriebe soweit perfektioniert, das sich die gesamte Struktur sowohl der ausführenden Industrie als auch der Ausbildung von Architekten und Ingenieuren seit langer Zeit am Stahlbau orientiert.

Die einsetzende Entwicklung des Holzbaus in den deutschsprachigen Ländern seit den 80er Jahren hat in Großbritannien nicht stattgefunden, der Holzbau ist dort auf der Stufe des einfachen Holzrahmenbaus stehen geblieben.

Abb. 1: Skelton Grange Environment Centre [1]

Lediglich im Wohnungsbau und seit 2 Jahren im Schulbau hat sich der Skelett- und Holzrahmenbau etabliert, hier sind je nach Region bis zu 60% Marktanteil erreicht worden. Erst seit 3 Jahren ist jedoch in sehr kleinen Marksegmenten auch hochwertiger Holzrahmenbau mit entsprechender Luftdichtigkeit und Wärmedämmung ausgeführt worden. Auch ist der Bereich des Holzrahmenbaus der derzeit einzige Industriezweig in dem sich nennenswerte Industrien in Großbritannien angesiedelt haben.

In allen anderen Bereichen des Bauens mit Holz hat sich in Großbritannien nur in einem sehr kleinen Rahmen eine örtliche Industrie entwickelt. Namhafte und öffentlichkeitswirksame Projekte in Holz wurden mit wenigen Ausnahmen von Firmen aus Deutschland, Österreich, der Schweiz und Skandinavien ausgeführt.

2 Ausbildung

Durch das Fehlen vergleichbarer Ausbildungsstandards, sowohl im gewerblichen Bereich als Facharbeiter als auch im Hochschulbereich, sind kaum ausgebildete Fachkräfte und Architekten/Ingenieure im Holzbau vorhanden. Der Holzbau wird nach wie vor in der Lehre nur an zwei Universitäten, in Bath und in Edinburgh, gelesen. Zimmerer werden in Großbritannien nicht ausgebildet.

Abb. 2: Sheffield Winter Garden [2]

3 Planung

Resultierend aus der Vernachlässigung der holzbauspezifischen Ausbildung sind die Besonderheiten des Holzbaus in der Regel in englischen Planunterlagen nicht ausreichend berücksichtigt. Angefangen beim konstruktiven Holzschutz, bis hin

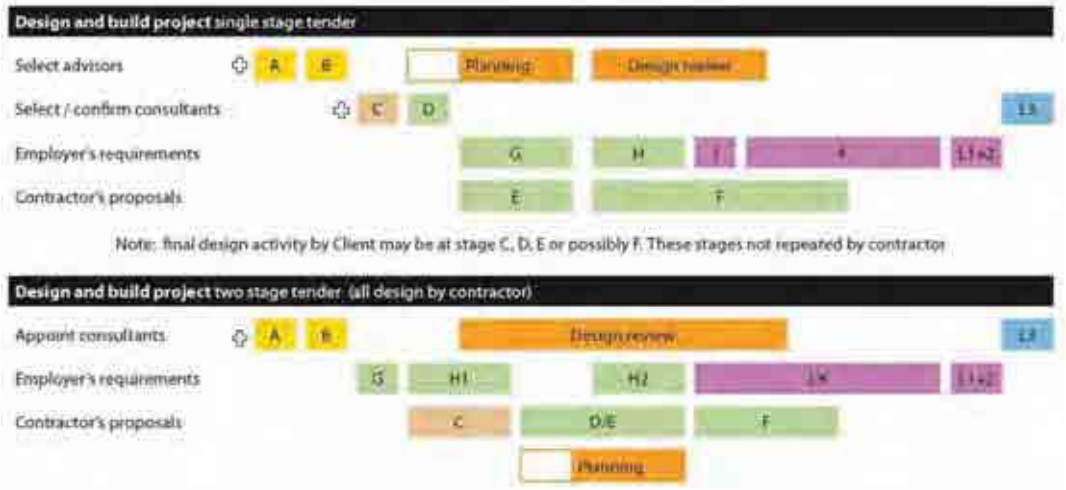


Abb. 3: Grafik Vergabesystem UK [3]

zur Geometrie und Art von Verbindungsmitteln, sind die zur Verfügung stehenden Informationen im Planungsprozess in der Regel nicht ausreichend um einen ökologisch und ökonomisch sinnvollen Holzbau zu erstellen.

Der Planungsablauf orientiert sich zunehmend an „Design and Build", das heißt die ausführenden Firmen bekommen von den Planern nur grundlegende Angaben zum Projekt und müssen die notwendige Detaillierung inklusive der statischen Berechnung in der Regel eigenverantwortlich ausführen. Hieraus resultiert sehr oft eine ungenügende Vorplanung und damit verbunden eine große Kostenunsicherheit in den Projekten.

Die Projektsteurer in Großbritannien sind es nicht gewohnt mit Holz zu bauen und haben keine ausreichende Information um Holzkonstruktionen finanziell einschätzen zu können.

4 Ökologie

Die Tatsache das sich Holz als nachwachsender Rohstoff im Bauprozess hervorragend zur CO_2-Reduktion und als dauerhafte CO_2-Senke einsetzen lässt, ist durch die Öffentlichkeitsarbeit von Organisationen wie „Wood for Good" und „Tra da" (*Timber Research and Development Association)* zunehmend auch bei den Planern und Bauherrn bekannt.

Durch das „The 2003 UK Government's Energy White Paper" ist auch seitens der Regierung in Großbritannien das Ziel einer Reduzierung der CO_2-Emission von 60% bis 2050 vorgegeben worden. Bereits 2020 soll 60% der geplanten Reduzierung erreicht werden. Zunehmend spielt eine gute Bewertung in Sachen CO_2-Bilanz und Energiebedarf eines Gebäudes eine wichtige Rolle in der Öffentlichen Meinung. Dies wird derzeit maßgeblich durch die Einstufung von Gebäuden nach BREEAM Standard vorangetrieben

BREEAM (BRE Environmental Assessment Method, BRE= Building Research Establishment Limited, eine gemeinnützige Organisation) gibt Aufschluss über die umweltrelevante Gesamtleistung eines Gebäudes, von der Planung über die Ausführung bis hin zur Nutzung. Objekte werden nach einer Skala von „bestanden" über „gut" und „sehr gut" bis „exzellent" bewertet und erhalten ein entsprechendes Zertifikat. In den Augen der Bau- und Immobilienbranche im BREEAM-Mutterland Großbritannien gilt das Ver-

fahren als das Maß schlechthin für die Bewertung umweltfreundlichen Designs und Managements.

5 Ökonomie

Bedingt durch die lange Tradition des industriellen und schnellen Bauens in Stahl sowie den im vergleich zu Deutschland stark reduzierte Anspruch an die Lebensdauer von Gebäuden (im Industriebau max. 20 Jahre) hat sich das extrem kostengünstige Bauen in Großbritannien etabliert. Traditionell wird sehr schnell, mit geringem Anspruch an die Detailausbildung und Wartungsfreundlichkeit, gebaut.

Diese Tradition steht im Widerspruch zum hochwertigen Holzbau, der in Deutschland nahezu perfekt in der Detailausbildung, geringem Wartungsaufwand und mit einer sehr langen Lebensdauer der Gebäude ausgeführt wird.

Hieraus resultiert eine signifikante Überbewertung des Holzbaus im monetären Bereich, da oftmals die wesentliche geringere Wartung und verlängerte Lebensdauer nicht mit in die Bewertung einbezogen werden. Hinzu kommt die nur in Ansätzen vorhandene Holzbauindustrie in Großbritannien, nahezu alle größeren Holzbauten in den letzten 10 Jahren in Großbritannien wurden von Firmen aus Deutschland, Österreich, der Schweiz oder Skandinavien ausgeführt.

2007 und 2008 sind dennoch große Fortschritte in der Ausführung von Holzbauten in Großbritannien zu erkennen, der ständig wachsende Druck zur Energieeinsparung und der Preisanstieg beim Stahl hat zu neuen Marktanteilen des Holzbaus, insbesondere bei Industriebauten und bei Schulen geführt. Seit 2006 sind von den großen Supermarktketten in Großbritannien wie Tesco, Asda und Sainsbury mehrere Supermärkte mit bis zu 10.000 m² Fläche in Holzkonstruktionen ausgeführt worden.

Abb. 4: Tesco Markt Cheetham Hill [4]

Abb. 5: Tesco Markt Cheetham Hill [4]

6 Recht

Grundsätzlich sind hier 2 Bereiche zu betrachten, zum einen die Zulassungen und Nachweise der eingesetzten Baustoffe und zum anderen die rechtlichen Randbedingungen bei den Liefer- und Bauverträgen.

Die für den Einsatz in Großbritannien notwendige Zulassungen für Baustoffe und Bausysteme aus Holz werden entweder durch das BBA Institut oder durch Trada geprüft und erteilt. Nachdem zwischenzeitlich auch die entsprechenden Europäischen Normen in Großbritannien nach und nach eingeführt werden sind auch alle ETA-Zulassungen in Großbritannien anerkannt. Das CE-Zeichen alleine reicht nicht aus um einen Baustoff in Großbritannien einzusetzen.

Im Baugewerbe ist je nach Art des Auftrags zwischen einer reinen Lieferung und einer direkten Subunternehmerleistung inkl. Tragwerksplanung, Detailplanung und Montage zu unterscheiden.

Es gibt signifikante Unterschiede zwischen den deutschen und englischen Rechtssystemen, im Bauwesen sind jedoch Standardverträge ähnlich der in Deutschland bekannten VOB-Verträge üblich die in der Regel ohne größere Bedenken akzeptiert werden können.

7 Forschungsbedarf

Durch die Tradition und bedingt durch die abweichenden klimatischen Bedingungen in Großbritannien ist der Einsatz von Harthölzern wie Eiche, Buche und tropischer Hölzer auch für tragende Konstruktionen sehr gefragt. Vor allem im Bereich der Verleimung solcher Holzarten ist jedoch zu wenig Forschung und Entwicklung betrieben worden, sodass hier im Falle der Ausführung solcher Konstruktionen ein sehr hohes Risiko von der ausführenden Firma übernommen werden muss.

Holzwerkstoffe und Bausysteme aus Holz kommen der Bautradition in Großbritannien, schnell und kostengünstig zu bauen, sehr entgegen. Systeme sind meist einfach zu montieren und können auch von weniger qualifizierten Fachkräften montiert werden. Für den Einsatz von holzbasierten Bausystemen, insbesondere großflächige Wand-, Dach- und Deckenelemente, besteht ein schnell wachsender Bedarf in Großbritannien.

Aufgrund der fehlenden Forschung und Entwicklung und fehlender Holzbauindustrie in Großbritannien wird auch in Zukunft die Entwicklung für anwenderfreundliche und wirtschaftliche Bausysteme in Holz von außerhalb Großbritanniens erfolgen.

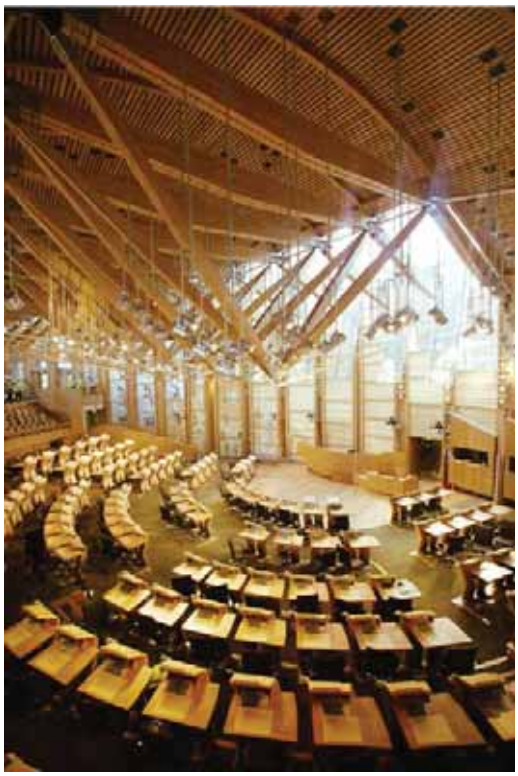


Abb. 6: Dachkonstruktion Scottish Parliament; Eiche verleimt [5]

8 Entwicklungsgrenzen

Großbritannien weißt ein im Vergleich zu Deutschland stark positives Bevölkerungswachstum auf. Es gibt einen klar erkennbaren Trend zur Nachverdichtung und einen sehr hohen Bedarf an bezahlbarem Wohnraum in den Randbereichen der Großstädte wie London, Manchester, und Birmingham.

Dieser Trend wird jedoch durch eine ständige Knappheit von verfügbarem Bauland gebremst. Der Wohnungsmarkt wird auch in Zukunft ein Hauptbestandteil des Wachstums im Holzbau sein. Es gibt jedoch derzeit eindeutige Tendenzen hin zu hochwertigen Holzbausystemen in Verbindung mit Passivhaus- und Niedrigenergiestandard.

Der Industriebau, angeführt von Supermärkten und Logistikunternehmen, hat bereits erste Erfolge erzielt beim Bauen mit Holz und die nachweisbare CO_2-Reduktion wird derzeit sehr stark im Marketing eingesetzt. Allerdings ist im Bereich des Industriebaus kein Geld mehr vorhanden um einen Preisaufschlag zum Stahlbau durchzusetzen. Dies war in den Jahren 2006-2008 möglich und wird mit Abschluss der derzeitigen Rezession neu betrachtet werden müssen.

9 Ausblicke

Der Einsatz von Holz in Großbritannien hat sich in den letzten Jahren etabliert und neue Marktanteile besetzt. Die Öffentlichkeitsarbeit und die Ausbildung von Architekten und Ingenieuren im Holzbau werden den Einsatz von Holz etablieren und somit zusätzliche Marktanteile schaffen.

Quellen

[1] Skelton Grange Environment Centre, Framework Ltd
[2] Sheffield Winter Garden, PRS Architects London
[3] Grafik Vergabesystem UK, RIBA
[4] Tesco Markt Cheetham Hill, BKTS
[5] Dachkonstruktion Scottish Parliament Eiche verleimt ‚Scottish Parliamentary Corporate Body 2009

1.1 Marktforschung
Tendenzen und Perspektiven – Holzbau in Frankreich

Bettina Horsch

1 Ausgangslage

Die Verwendung von Holz im Bauwesen hat nach wie vor mit großen Vorurteilen zu kämpfen. Liegt dies unter anderem an der Geschichte „Die drei kleinen Schweinchen“, die jedes Kind in Frankreich kennt?

Abb. 1: Eine Geschichte, die Vorurteile gegen Holzbau schürt. © Hachette

Sie erzählt von drei Geschwistern, die am Ende ihrer Jugend der Tradition willen ein Haus bauen sollen. Die drei wählen jeweils drei unterschiedliche Baumaterialien: Stroh, Holz und Mauerwerk. Die beiden die ein Stroh- und Holzhaus bauen machen sich über den Dritten lustig, der was „Festes“ bauen will. Weil nämlich der böse Wolf sein Unwesen treibt. So kommt es denn auch. Der Wolf bläst mit einem Atemzug das Stroh- und Holzhaus fort, das gemauerte Haus widersteht seinem bösen Tun.

Diese Geschichte ist so bekannt, dass sie sogar von der Werbung genutzt wird: eine Internetseite für Bauprodukte wirbt mit dem Slogan: Die beste Informationsquelle um die geeigneten Baustoffe zu finden.

Abb. 2: Vorurteile durch Werbung geschürt. © Groupe Moniteur

Dies ist sicher nur einer der Gründe warum Holz es schwer hat in einem Land, in dem der Beton wiederentdeckt wurde und in dem die größten Betonimperien, wie Bouygues, Vinci usw. zuhause sind.

Seit den Weltkriegen war der Holzbau in Frankreich in Vergessenheit geraten. Man sagt, dass ein Grossteil der Zimmerleute im ersten Weltkrieg umgekommen sei, da sie direkt an der Front standen um die Gräben zu befestigen. Dies sei der Grund, weshalb mit Kriegsende auch das gesamte Holzbau-Know-how verschwunden sei.

Frankreich ist jedoch ein sehr waldreiches Land, mit sehr vielen verschiedenen Holzarten. Leider wird das Waldpotential nicht wirklich ausgenutzt, lediglich 64 % des jährlichen Zuwachses wird geerntet.

2 Akteure des französischen Holzwirtschaft

Seit 1989 setzt sich das Comité national pour le développement du bois (CNDB), die französische Holz-Marketingorganisation für das Bauen mit Holz ein. Das CNDB unterhält ein Netzwerk von regionalen Fachberatern, bildet Baufachleute weiter und vertreibt die Architekturzeitschrift „Séquences Bois", in der Holzbauten vorgestellt werden. Im Jahr 2002 wurde die Kampagne „Le bois, c'est essentiel !" ins Leben gerufen, initiiert vom Nordic Timber Council. Heute wird die Zusammenarbeit mit dem CNDB durch Skogsindustrierna (Verband der schwedischen Forstindustrie) weitergeführt. Die Recherche für Holz- und Holzbau wird vom Institut technologique FCBA durchgeführt.

Abb. 3: Werbekampagne Le bois, c'est essentiel! © CNDB/Skogsindustrierna

3 Holzbaustatistik – leider nur im EFH-Bau

Im Oktober 2006 ließ das CNDB eine Marktstudie über Einfamilienhäuser aus Holz durchführen. Eine aktuellere Studie liegt leider nicht vor. Statistiken über andere Bautypen werden zurzeit nicht geführt. Der Einfamilienhausbau aus Holz verzeichnet hohe Zuwachsraten: plus 50 % seit 2001; im Vergleich dazu haben alle Baumaterialien zusammengenommen eine Zuwachsrate von 20 %. Die größten Zuwachsraten werden in der Region „Grand Ouest" (Bretagne, Pays de la Loire) und in den französischen Alpenregionen verzeichnet. Auch wenn diese Zuwachsraten sehr hoch erscheinen, ist der eigentliche Marktanteil sehr gering: 4 %, das heißt von 224.000 Einfamilienhäusern sind 8.900 Einheiten aus Holz gebaut worden. Mit einem Holzverbrauch von 0,18 m^3/Einwohner gehört Frankreich zu den Schlusslichtern.

Der Einfamilienhaus-Markt teilt sich wie folgt auf: 62 % der Häuser werden von Bauträgern gebaut, 20 % von Handwerkern und 18 % von Architekten. Erst ab 170 m^2 muss in Frankreich ein Architekt für den Hausbau hinzugezogen werden.

Mehr als 2000 Baufirmen teilen sich den Markt. Man kann zwischen drei Akteuren unterscheiden:

- Holzbauunternehmen, die schlüsselfertig planen, bauen und verkaufen: 390 Unternehmen haben 4.300 Holzhäuser realisiert
- Handwerksbetriebe, z.B. Zimmerer oder Tischler: 750 Unternehmen haben 1.200 Holzhäuser realisiert
- Architekten und andere Planer planen und verkaufen, aber bauen nicht: 1.130 Unternehmen haben 3.400 Holzhäuser geplant
- Importierte Häuser : 400 Häuser

Insgesamt haben also 2.270 Akteure 8.900 Einheiten gebaut. Hinzu kommen 1.400 Mehrfamilienhäuser aus Holz, also insgesamt 10.300 Einheiten in 2005. Dies entspricht etwas mehr als 4 % der insgesamt 224.000 Einheiten.

Drei Viertel der Architektenhäuser sind in der Kategorie Luxushäuser angeordnet.

Seit mehreren Jahren setzt sich der Holzbau vermehrt auch in anderen Baukategorien durch, auch wenn dies schwer in Zahlen zu fassen ist. Bildungseinrichtungen, sozialer Wohnungsbau, Sportstätten und vieles mehr… . Der Holzbau braucht sich nicht mehr hinter dem traditionellen Baustoffen zu verstecken. Holzbau ist regelrecht im Boom!

Abb. 4: Apotheke und Wohnhaus in Plancher-Bas, Architekten : Rachel Amiot et Vincent Lombard.

2 Holzbausysteme

Die Studie gibt ebenso Auskunft über die angewandten Holzbausysteme im EFH-Bau. Dies kann man sicher auch auf andere Baukategorien übertragen für die, wie bereits erwähnt, keine Statistiken vorliegen. Den größten Anteil hat der mehr oder weniger vorgefertigte Holzrahmenbau mit ca. 75 %. Der Holzbohlenbau verzeichnet einen steigenden Anteil mit 12 %, der Holzskelettbau einen fallenden Anteil mit 7 %. Der Mischbau (Holz / Mauerwerk) nimmt insbesondere für Erweiterungen und Aufstockungen stark zu (6 %).

Innovative Massivholzbausysteme (Brettsperrholz, Brettstapelbauweise…) kommen immer mehr zum Einsatz, waren aber bei der Studie von 2006 zahlenmäßig vernachlässigbar.

Abb. 5: Typischer Vorfertigungsgrad in der Holzrahmenbauweise: Holzrahmen mit einseitig aufgebrachter Holzwerkstoffplatte. © Wigwam

3 Entwicklungshemmer des Holzbaus

Fehlendes Know-how:

Der Holzbau wird, von wenigen Ausnahmen abgesehen, fast gar nicht an Architektur- und technischen Hochschulen gelehrt. Es gibt zwei Holzfachschulen, in Epinal in den Vogesen und in Nantes, wobei die letztere sich relativ spät dem Bauwesen zugewandt hat.

Mangelnde Holzqualität:

Kalibriertes und getrocknetes Bauholz wird oft importiert aus Deutschland, Österreich und den skandinavischen Ländern. Die heimischen Säge-

werke sind meist nicht in der Lage, qualitätsvolles Holz in ausreichender Menge bereitzustellen.

Nachfrage höher als Angebot:
Die gestiegene und relativ hohe Nachfrage an Einfamilienhäusern und anderen Holzbauten kann teilweise nicht gedeckt werden, außer vielleicht im Marktsegment der hochpreisigen Häuser. Oftmals bleiben Ausschreibungen zum Holzbaugewerk unbeantwortet oder Unternehmen bieten zu hochpreisig an.

Bauschäden: Mangelndes Wissen und schlechte Ausführungsqualität haben in der Vergangenheit zu Bauschäden geführt. Dies ist auch heute noch ein Problem und führt dazu, dass der Holzbau weiterhin an einem schlechten Image leidet und Vorurteile nur schwer abgebaut werden können. Auch Kreditgeber und Versicherungen haben Vorurteile und fordern höhere Prämien.

Mangelnde Schlagkraft der Holzindustrie: Die Holzindustrie ist im Vergleich zu den anderen Baustoffen klein, zersplittert und (noch) nicht sehr gut organisiert.

4 Nachhaltiges Bauen : eine Gelegenheit für den Holzbau

Einige interessante Initiativen dürften den Holzbau auf längere Sicht mehr oder weniger positiv beeinflussen:

Das 1996 verabschiedete Gesetz « Loi sur l'air" (Gesetz zur Luftreinhaltung) wollte eine Mindestquote für die Verwendung von Holz einführen. Daraufhin haben mehrere Ministerien sowie Vertreter der Holzindustrie den sogenannten „Plan bois construction environnement" (Holz, Bau und Umweltplan) unterzeichnet, der der Holzwirtschaft helfen sollte, sich auf die Umsetzung des Gesetzes durch Weiterbildung und ähnlichen Maßnahmen vorzubereiten. Das zur Umsetzung des Gesetzes notwendige Richtlinie wurde allerdings erst in 2005 unterzeichnet und die ambitionierten Vorschläge wurden aufgrund von Lobbyeinflüssen stark verwaschen. Je nach Gebäudeklasse soll ein Mindestvolumen an Kubikmeter Holz verbaut werden. Dies entspricht leider nur dem Volumen von Sockelleisten eines Gebäudes! Überdies ist dies eine rein freiwillige Angelegenheit. Einige Regionalräte haben die Initiative ergriffen und Subventionen für Holzbauten eingeführt, so die Region Lorraine, die mehrere Schulgebäude in Holzbauweise gefördert hat. Die Region Poitou-Charentes subventioniert Einfamilienhäuser aus Holz.

Eine zweite Maßnahme ist die Einführung einer Methode mit der umweltfreundliche Bauten zertifiziert werden sollten, die Haute qualité environnementale HQE (Hohe Umweltqualität). Dieses Label existiert jetzt seit ungefähr zehn Jahren, hat es aber nicht geschafft, sich zu etablieren, da die 250-Seiten umfassende Methodik von den Baufachleuten als wenig pragmatisch angesehen wird. Relativ wenige Bauten sind zertifiziert.

Tab 1: Die 14 Ziele der Zertifizierung HQE

Ziele 1 – 3	Beziehung zur Umwelt Baustoffe Baustelle
Ziele 4 – 7	Energie Wasser Bauabfall Instandhaltung
Ziele 8 – 11	Feuchtigkeit Schallschutz Visueller Komfort Gerüche
Ziele 12 – 14	Strahlung Innenraumluftqualität Wasserqualität

Seit der vom französischen Präsident wiederbelebten öffentlichen Debatte Grenelle de l'environnement ist nachhaltiges Bauen und Umweltschutz jetzt endlich auch in Frankreich salonfähig geworden. Gewerkschaften, Arbeitgeber, Umweltorganisationen und staatliche Institutionen haben im Hebst 2007 in verschiedenen Ateliers Ideen ausgearbeitet, die zurzeit im französischen Parlament debattiert werden. Das Problem ist die finanzielle Umsetzung. Es ist mit einigen Einbussen bei der Umsetzung zu rechnen. Das Bauwesen repräsentiert in Frankreich 40 % des Energieverbrauchs und 25 % der CO_2-Emissionen. Ziel des Grenelle de l'environnement ist es, alle öffentlichen Bauten bis 2010 in Niedrigenergiebauweise zu errichten, bis 2012 alle anderen Gebäude und bis 2020 sollen alle Gebäude energiepositiv sein. Ziel für die Sanierung des Altbestandes, welches natürlich den größten

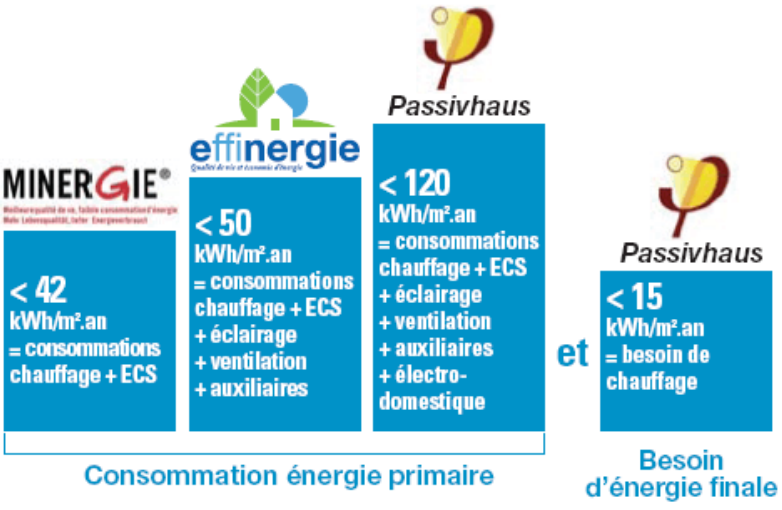


Abb. 6: Vergleich der Labels. © Effinergie

Teil ausmacht, ist die Reduzierung des Energieverbrauches um 38 %. Ab 2013 sollen jährlich 400.000 Wohnungen saniert werden.

Im Zuge des steigenden Bewusstseins rund um Energiefragen ist vor drei Jahren der Verband Effinergie gegründet worden, um einen neuen Energiestandard im Bauwesen einzuführen. Es sind dort Regionalräte, Städte, Industriepartner, Banken, Forschungsinstitute und Verbände vertreten. Der Primärenergieverbrauch ist auf 50 kWh/m²/Jahr festgelegt worden, kann aber je nach Höhenlage und geographischem Standort variieren. In einigen klimatischen Regionen kommt dies dem Passivhausstandard sehr nahe. Es wird sich in der nahen Zukunft zeigen, ob die gewählten 50 kWh weiten Kreisen zugänglich sein werden oder ob es wieder ein Nischenlabel wie der HQE-Label ist, den sich nur wenige leisten können. Zum heutigen Zeitpunkt ist noch kein Holzbau zertifiziert worden, einige sind jedoch in Planung. Leider beschränkt sich Effinergie auf Energiefragen und umfasst (noch) nicht den gesundheitlichen Aspekt.

Abb. 7: „Maison Phénix" ist eines der ersten Effinergie-zertifizierten Häuser. Die tragende Konstruktion ist aus Stahl und Beton, nur die Außenfassade ist aus Holz. © Phénix

5 Ausblick

Frankreich hat im Holzbau einige Jahre Rückstand auf die deutschsprachigen Länder. Dies stellt gleichzeitig aber auch ein erhebliches Entwicklungspotential dar. Die Entwicklung des nachhaltigen Bauens geht im Moment so schnell voran, dass pragmatische, leicht umsetzbare Lösungen gefunden werden müssen. Weiterbildung der Baufachleute wird dabei eine zentrale Rolle spielen, bei der alle Akteure der Holzindustrie an einem Strang ziehen müssen.

Linkliste

www.bois.com
www.bois-construction.org
www.acteurboisconstruction.com
www.maisons-bois.org
www.statistiques.equipement.gouv.fr
www.ademe.fr
www.uncmi.org
www.effinergie.org
www.sentinel-haus.eu

1.1 Marktforschung
Aktivhaus versus Passivhaus – Effektivität versus Effizienz

Richard Adriaans

Aktivhaus
Unter AktivHaus versteht der Autor ein Haus aus Holz und weitestgehend nachwachsenden Rohstoffen mit dem Heizenergiestandard eines Passivhauses, das thermisch energieautonom und elektrisch mit „grünem Strom“ funktioniert.

Passivhaus
Unter Passivhaus versteht man allgemein ein Haus mit einem Heizenergiebedarf ≤ 15kWh/m²a bzw. einem Gesamtprimärenergiebedarf von 120 kWh/m²a, unabhängig davon, ob es wie ein AktivHaus oder aus energieintensiven Baustoffen wie Stahl, Glas, Alu, Beton, Ziegel oder Kunststoffen hergestellt wurde und auch mit fossiler Energie betrieben werden darf.

Passivhäuser sind angesagt
In einer Zeit, in der alle möglichst aktiv leben, arbeiten, Urlaub machen - und daraus nicht selten Aktivismus, oft auch Hektik entsteht, scheint die Entwicklung beim Wohnen rückläufig zu sein.

Der aktive Autofahrer, der mit seinem "All-Terrain-Sport-und-Spaß-Auto" mit Allrad-Antrieb von seinem anstrengenden Job in der City zurück in sein Haus auf dem Land fährt, dokumentiert sein Umwelt-Bewusstsein und sein Interesse an technisch ausgefeilten Lösungen natürlich damit, dass dieses Haus auf dem Land ein Passivhaus ist.

Ein Haus, dass in seiner Nutzung einerseits natürlich einen zeitgemäßen Komfort haben soll und dafür auch einiges an Energie benötigt, z.B. für Heizung und Lüftung, warmes Wasser, Beleuchtung, Medien, Haushaltsstrom etc., in dem andererseits die dafür benötigte Energie aber möglichst effizient eingesetzt wird.

Solche Häuser, die sich in der gebauten Wirklichkeit - aus Umweltbewusstsein- passiv einfügen, werden entsprechend konsequent Passivhaus genannt.

Dass ein solches Passiv-Haus i.d.R. mehr als 180 m² Wohnfläche aufweist, auch um den rechnerischen Nachweis des durch die KfW förderfähigen Heizwärmebedarfs zu erreichen, wissen viele Zeitgenossen nicht.

Obwohl es letztlich einfache Phänomene sind, die dazu führen:
- je kleiner ein Gebäude ist, umso ungünstiger ist das Verhältnis des Volumens zur abkühlenden Außenfläche, also umso mehr Wärme muss pro Außenflächeneinheit nachgeschoben werden, um den Wärmeverlust auszugleichen
- je größer ein Gebäude ist, umso günstiger ist dieses Verhältnis

Es kommt unserem SUV-Fahrer (Sport Utility Vehicle) und seiner Partnerin sehr entgegen 200 m² bauen zu können und locker die 1,5 l/m² zu unterschreiten, immerhin 200 m^2 Passivhaus lassen sich mittlerweile mit 300 l Heizöl im Jahr beheizen.

Dürfte der Fahrer nur diese 300 l als Brennstoff im oben zitierten SUV verbrauchen, würde er damit lediglich 2700 km weit kommen.

Wenn der Zweitwagen z.B. ein Smart mitgerechnet wird, hätten beide immerhin je etwa 2000 km zur Verfügung.

Und das würde gerade reichen, bei einer angenommenen Entfernung zwischen Wohnung und City von vielleicht 30 km damit 1,6 Monate auszukommen.

Dieser kleine Vergleich zeigt wieder einmal, was längst bekannt ist:

Angesichts von 39 Mio. Bestandswohnungen mit einem Energiebedarf von ca. 60.000.000 t/a wäre allerdings trotzdem das Einsparpotential nur sehr gering.

Insbesondere dadurch, dass in Passivhäusern auch alle anderen nutzungsabhängigen Energieverbräuche für Beleuchtung, Duschen, Waschen, Kochen, Geschirr spülen, Fernsehen, Radio hören, im Internet surfen etc etwa in der gleichen Höhe wie in Standardhäusern gebraucht werden, wäre der Effekt, selbst wenn alle neu gebauten Wohnungen Passivhaus-Standard hätten, bezogen auf den Energieverbrauch für Raumwärme in Deutschland unbedeutend.

Jede neue Wohnung bzw. jedes neue Haus, auch wenn es im Passivhaus-Standard realisiert wird, bedeutet zunächst eine Erhöhung des Energie-Verbrauchs - wenn nicht gleichzeitig eine alte Wohnung/ein altes Haus abgerissen wird.

Auch wenn man alle neuen Häuser als Passivhäuser baute, könnte man den Energiebedarf nicht in dem Maße senken, wie es notwendig ist und wie es auch von der EU-Kommission und dem Bundeskabinett beschlossen wurde:

Ziel: 20-20-20 bis 2020
- 20 % Einsparung beim Energieverbrauch
- 20 % Reduktion des CO_2-Ausstoßes
- 20 % Erhöhung der Energie-Effizienz

Was bedeutet dies bezogen auf das Bauen?

Wie oben festgestellt, ist die Effizienz eines Passivhauses (Reduktion des Heizenergie-Bedarfs um Faktor 10, des Gesamt-Primärenergie-Bedarfs für die Nutzung eines solchen Hauses etwa um den Faktor 5) völlig unzureichend, die Energie- und CO_2-Probleme der Gegenwart und Zukunft zu lösen. Es braucht im Neubau die Effektivität eines AktivHauses, um Neubau überhaupt noch verantworten zu können.

Wenn neu gebaut wird, muss es in Zukunft immer weitestgehend mit Holz und anderen nachwachsenden Baustoffen realisiert und vor allem energieautonom – also als AktivHaus - betrieben werden.

Ein neues Passivhaus mit hoher Effizienz aber aus Baustoffen, die mit fossilen Brennstoffen hergestellt sind, muss in seiner Umweltwirkung als viel schlechter gegenüber einem Altbau eingeschätzt werden, der mit dem Faktor 10 saniert wird.

Insoweit kommt es nicht nur auf die Energie-Effizienz an, sondern auf die Effektivität einer Maßnahme im Sinne einer angestrebten Maßnahme.

effizient vs. effektiv

Die allzu häufige Verwendung des Adjektivs „effizient“ oder des davon abgeleiteten Substantivs „Effizienz“ lässt vergessen, dass es basiert auf der Beschreibung einer Tätigkeit, die in der lateinischen Urform keineswegs beinhaltet hat, dass das wirtschaftlich zu geschehen hat.

Es kommt nämlich vom lateinischen *efficere* und heißt wörtlich übersetzt nur *„zustande bringen“.* Das früher eher gebräuchliche „effektiv“ oder die davon abgeleitete „Effektivität“, vom lateinischen *effectivus* abgeleitet heißt dagegen *„bewirkend“* und wird wohl deshalb weniger angewendet, weil wir uns – quasi evolutionär - darauf geeinigt haben, das *efficere* gleichzeitig auch für *„möglichst wirtschaftlich etwas zustande bringen“* stehen soll und wir mittlerweile alle Dinge nur unter dem vordergründigen Zwang der kurzfristigen Wirtschaftlichkeit stellen.

Die ursprüngliche Herkunft wird zwar durchaus richtig begründet, die Ableitung aber der mittlerweile vorherrschenden „modernen“ Meinung angepasst.

Effektivität (v. lat.: effectivus „bewirkend“) ist das Verhältnis von erreichtem Ziel zu definiertem Ziel. Das Kriterium für das Vorhandensein von Effektivität ist ausschließlich die Frage, ob das definierte Ziel erreicht wurde oder nicht. Ein Verhalten ist dann effektiv, wenn es ein vorgegebenes Ziel erreicht.

Dies ist im Unterschied zur Effizienz unabhängig vom zur Zielerreichung nötigen Aufwand. Effektiv arbeiten bedeutet, unter Einsatz aller Mittel ein Ziel zu erreichen, effizient arbeiten hingegen bedeutet, ein Ziel mit möglichst geringem Mitteleinsatz zu erreichen (vgl. Ökonomisches Prinzip, Effizienz). Effizienz setzt also Effektivität voraus und geht über diese noch hinaus.

Effektivität ist ein Maß für die Zielerreichung (Wirksamkeit, Output, Qualität der Zielerreichung) und Effizienz ist ein Maß für die Wirtschaftlichkeit (Kosten-Nutzen-Relation, Produktivität).

Dies ist besonders deshalb interessant, weil es auch eine völlig andere Sichtweise dazu gibt, der sich der Autor deutlich überzeugt angeschlossen hat!

Michael Braungart, ein weltweit anerkannter Wissenschaftler, der sich inbesondere mit den Wechselwirkungen zwischen der Gesellschaft und ihrer Umwelt beschäftigt, hat nicht nur gesagt:
„Die Evolution ist die pure Vielfalt, weil das langfristig das einzig wahre Prinzip ist. Die Natur ist nicht sparsam oder vermeidet gar etwas, sondern ist im Gegenteil ungeheuer verschwenderisch. Es gibt von allem immer viel mehr, als nötig ist.“

„Effizienz steht für Kurzfristigkeit, Effektivität für Langfristigkeit. Das Effizienzdenken ist ein Mangelsystem. Man versucht, mit immer weniger von etwas auszukommen, zu vermeiden, zu sparen. Doch das ist der falsche Weg. Effektivität heißt, die Dinge grundlegend richtig zu machen.“ Oder als Beispiel, um es deutlich zu machen:

„Mit dem output an Stickoxiden, die in Katalysatoren heute noch nutzlos verbrannt werden, kann man den größten Teil des Weltbedarfs an Stickstoffen (Dünger) decken. Er wird heute mit enormem Energieverbrauch und unter beträchtlicher Umweltschädigung extra erzeugt.“

Im Weiteren wird es darum gehen, unter der Maxime der Effektivität - also der Wirkung - der Frage nachzugehen, wie das Bauen und insbesondere das Bauen mit Holz hier eingestuft werden kann.

Dass fängt beim Rohstoff an, der nicht vom Holzhändler oder dem Holzwerkstoff-Hersteller hergestellt wird, sondern von der Natur, die ihn ganz einfach wachsen lässt.

Inklusive aller damit einhergehender Randbedingungen wie:
- CO_2 – Abbau + Sauerstoffproduktion
- Wasserhaltung + Vermeidung von Bodenerrosion
- Schutz von Flora + Fauna
- Erholungsfunktion + Landschaftsschutz

gibt es keine Baustoff-Produktion die auch nur annähernd die Effektivität der Holzproduktion erreicht. Auch wenn mancher da u. U. anderer Auffassung ist – die Produktion ist zunächst höchst wirtschaftlich.

Abb. 1 [Peter Russe]

Kostenlos zur Verfügung stehende Solar-Energie bildet das mit großem Abstand vielfältigste und leistungsfähigste Bauprodukt, das es auf diesem Planeten gibt – unter Verwendung von Regenwasser und kostenlos zugefügten Mineralstoffen und eines derzeit weltweit geächteten Schadstoffes – des Kohlendioxids.

Dass natürlich alle Menschen, die diesen Stoff unter ggf. schwierigen Umständen aus der Natur bergen, aus rund- eckigmachen, sortieren, trocknen, raspeln oder schälen, wieder verkleben, vertreiben, damit bauen das nicht permanent vor Augen haben, ist nicht nur menschlich – es verstellt leider auch den Blick dafür, dass viele andere – nicht-Bauleute – sich mittlerweile für diesen Stoff sehr interessieren, um ihn zu Papier, Pellets oder Petroleum-Ersatz zu verarbeiten.

Und genau da liegt eine Krux, die wir, auch wenn wir Michael Braungart grundsätzlich zu glauben bereit sind, nicht aus den Augen verlieren dürfen:

Seine Aussage, dass die Natur verschwenderisch ist, impliziert, dass sie den Menschen irgendwann wie einen lästigen Schädling abstreift.

Weil sie aufgrund seiner Eingriffe die Lebensbedingungen neu zusammengestellt hat und der Mensch in seiner evolutionären Veränderung nicht so schnell mitkommt, wie es die vom ihm selbst geänderten Lebensbedingungen erfordern würden.

Zum Beispiel wird sich die Verbrennung von Holz und anderen nachwachsenden Rohstoffen, die derzeit noch als sinnvolle Nutzung erneuerbarer Energie gilt, in wenigen Jahren als völlig ungeeignet zur Lösung der Energie- insbesondere aber der CO_2-Problematik herausstellen:

Ohne exorbitante Effizienzsteigerungen und Verbrauchsreduzierungen können die nachwachsenden Rohstoffe in thermischer Verwertung in keinem Fall ausreichen, die bisher verbrauchte fossile Energie auch nur annähernd zu substituieren. Die CO_2-Problematik, die weitgehend für den Klimawandel verantwortlich ist, wird sich – wie oben ausgeführt – durch eine Substitution fossiler Energie durch Verbrennung nachwachsender organischer Masse nicht reduzieren sondern ungebremst fortsetzen.

Die Nutzung erneuerbarer Energien, wie sie im EEWG (20 % der Raumwärme müssen ab dem 1.1.2009 aus erneuerbaren Quellen stammen), ist also im Zusammenhang mit der Klimaproblematik ineffektiv, wenn als erneuerbare Energien auch jene gelten, die durch das „CO_2-neutrale“ Verheizen von Holz oder anderer Biomasse realisiert werden.

Jede Kilowattstunde Wärme aus Holz bedingt den gleichen CO_2-Ausstoss wie eine kWh Wärme aus Erdgas, Heizöl oder Kohle – und zusätzlich ggf. noch Feinstäube.

Auch die immer wieder gerühmte Umweltwärme über Wärmepumpen bietet erst deutlich über einer Arbeitszahl von 4 eine CO_2-Entlastung – bei einer Arbeitszahl von 3 und darunter und unter Verwendung fossilen Stroms als Antriebsenergie ist die Nutzung der Erdwärme ein Nullsummenspiel oder sogar die Fortsetzung „fossiler" Technik – in die man aus bekannten Gründen auch die Kerntechnik einbeziehen kann.

Wie die nachfolgende Grafik zeigt, ist lediglich die Solarenergie und die daraus induzierte Wasserkraft- und Windenergie eine unerschöpfliche Energieform.

Die Konsequenz insbesondere aus der CO_2- bzw. Klimaproblematik heißt:

Nicht nur weil ein Drittel des Energiebedarfs in die Nutzung von Gebäuden geht, sondern auch weil die Baustoffproduktion einer der material- und energieintensivsten Wirtschaftszweige überhaupt ist, wird sich das Bauen insgesamt so verändern, dass sowohl die Produktion als auch die spätere Nutzung so umweltfreundlich geschehen kann, wie es der Baubereich als die Sparte mit dem größten mittelbaren und unmittelbaren Anteil am Primärenergieverbrauch der Volkswirtschaft und den Menschen schuldig ist. Auf Dauer wird eine Wirtschaft versagen, die permanent mehr Ressourcen verbraucht als vorhanden sind.

Insoweit steht das Bauwesen, der Sektor der Wirtschaft, der die größten Material- und Energieströme unmittelbar oder mittelbar verantwortet, vor einer ebenso großen Veränderung wir z.B. die Automobil-Industrie.

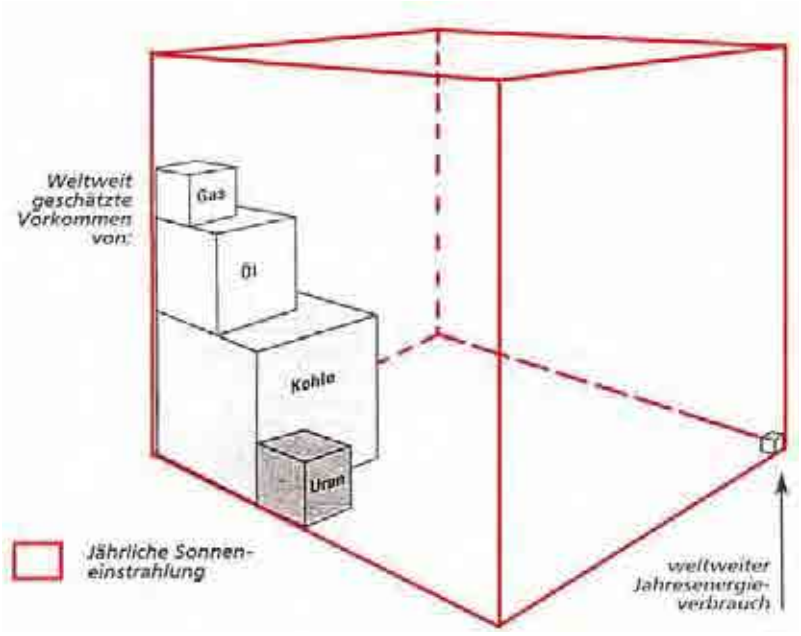


Abb. 2

Abb. 3

Bisher nahm man an, dass die Nutzenergie-Effizienz, z.B. des Passivhauses ausreichen würde, die Energie- und Klimaproblematik von Gegenwart und Zukunft zu lösen.

Wie Abbildung 3 zeigt, wird das für die Zukunft nicht reichen.

Eine Änderung der Bautätigkeit weg von bisher genutzten mineralischen, metallischen und synthetisch organischen Baustoffen hin zur kurzfristigen und signifikanten Substitution durch Holz und nachwachsende Baustoffe ist dringend geboten!!

Es ist möglich, mit heute schon erprobten Materialien, Bautechniken und mit heute schon verfügbarem Personal.

Die thermische Nutzung von Holz und nachwachsenden Rohstoffen kann im Sinne einer Kaskaden-Nutzung nach der Nutzungsphase immer noch geschehen.

Ausblick

Zunächst zurück zu unserem SUV-Fahrer:

Der 200 kW-Motor hat einen Wirkungsgrad von nur 35 %.

65 % der aufgewendeten Energie oder etwa 130 kW gehen verloren. Diese Energie würde für die Beheizung eines sanierten Altbau-Wohnblocks mit 65 Wohnungen reichen, oder für den kompletten Primärenergiebedarf von über 20 Menschen.

Dieser Energiebedarf liegt heute bei 6 kW pro Person – rund um die Uhr. Dieser Verbrauch muss

wieder auf 2 kW reduziert werden, dies entspricht dem Verbrauch in den 1960er Jahren in Mitteleuropa, um die Lebensfunktionen auf der Erde aufrecht erhalten zu können.

Heute Anlagen zu bauen, mit denen mit einem Rohstoffnutzungsgrad von 50 % Treibstoffe (BTL= biomass to liquid) aus Holz und nachwachsenden Rohstoffen hergestellt werden und diese für Fahrzeuge einzusetzen, die keine Faktor-10-Effizienzsprünge wie beim Passivhaus hinter sich haben, ist aus Sicht der Umweltverträglichkeit frevelhaft und wird sich deshalb nicht lange halten.

Auch moderne Elektromobile, die mit Solar immer wieder aufgeladenen, jedem Porsche den Schneid abkaufen, zeigen hier nur einen der zukünftigen Wege auf.

Zwar werden Autos mit Verbrennungsmotoren abgelöst werden, sobald Leistung und Preis von Akkus den komfortablen Betrieb ermöglichen wird, die Lösung wird u. U. aber dennoch anders funktionieren als nur durch Substitution der Vortriebsenergie.

Schon jetzt soll die für die IT weltweit benötigte Energiemenge der für den gesamten weltweiten Flugverkehr benötigten Kerosin-Menge entsprechen – und die Menge an mineralischen und metallischen Ressourcen für hochwertige IT- und Speichertechnologie nimmt schon heute beängstigende Größen an.

Insoweit ist davon auszugehen, dass das Bauwesen den schwarzen Peter als größter Verursacher von Abfall und Ressourcenknappheit schon bald abgeben wird an die Sektoren wie Verkehr und IT.

Wenn es den Bauschaffenden gelingt, den Auftraggebern für die gestellten Bauaufgaben attraktive Lösungen unter Verwendung von nachwachsenden Roh- und Baustoffen anzubieten, wird das Bauen mit Holz einen noch vor kurzer Zeit ungeahnten Schub erfahren.

Und die Produktion von Kunststofffenstern aus PVC für Häuser mit einer Haustechnik, die nur mit Nutzenergie aus fossilen Rohstoffen funktioniert, werden ebenso schnell der Vergangenheit angehören wie Fußbodenbeläge, Werkzeugschränke oder Kinderrutschen aus erdölbasierten Kunststoffen.

Bei Balkonbekleidungen und Terrassen-Sitz-Möbeln scheint es längst zu einer Umorientierung gekommen sein. Hier ist Holz wieder gefragt, auch wenn dies selten wegen der Nachhaltigkeit sondern vor allem wegen der Optik und wegen der besseren Haptik geschieht. Die Nachhaltigkeit der Herstellung und Herkunft sollten allerdings genau hinterfragt werden.

Zusammenfassung

Weil die Energiekosten für alle „verbrennbaren" Energien, Holz eingeschlossen, in den nächsten Jahren um mehr als 5 % im Jahr steigen werden, wird im Neubaubereich nur das Bauen von Aktivhäusern – Holzhäusern mit einem weitestgehenden Anteil nachwachsender Baustoffe und energieautonomer Gebäudetechnik – wirtschaftlich sein.

Noch konsequenter und wirtschaftlicher wird es sein, gar nicht neu zu bauen, sondern bestehende Häuser energetisch zu sanieren - frei nach dem Motto:

„Das echte Passivhaus ist das, dass gar nicht neu gebaut wird sondern der Altbau, der mit Hilfe von Holz und nachwachsenden Baustoffen mit dem Faktor 10 saniert und mit einer postfossilen Haustechnik betrieben wird, die mehr Energie produziert als das Haus benötigt – das ist das AktivHaus“.

1.2 Marketing
Markterschließung

Marcus Wehner

1 Einleitung

Die wissenschaftlich-technischen Entwicklungen in der Holzbaubranche sind vielfältig. An Universitäten und anderen Hochschulen, in Verbänden sowie in der Industrie werden konstruktive und technische Lösungen erarbeitet, um neue Werkstoffe zu entwickeln und somit vorhandene Defizite auszugleichen. Dies führt dazu, dass die Branche deutliche Entwicklungsfortschritte erringt, um sich einen Know-how-Vorsprung zu erarbeiten.

Die Holzhausbaubranche hat jedoch ein großes Defizit in Bezug auf die Markterschließung. Dazu zählen fehlende Marktanalysen über die Branche, um zielgerichtete Fragen für Marktstrategien beantworten zu können. Zum Beispiel: Welches Marktsegment eignet sich für den Einstieg in den Holzhausbau besonders? Oder: Wie kann das Kundenpotential der kommunalen und genossenschaftlichen Wohnungsbaugesellschaften erschlossen werden? Diese Fragen betreffen insbesondere die Marktsegmente „Bauen im Bestand“ und „Mehrgeschossiger Neubau in Holzbauweisen“. Zahlreich vorhandene Daten der amtlichen Statistik über die allgemeinen Entwicklungen der Bauwirtschaft können die folgende Frage bislang nicht beantworten: Wie entwickelt sich der zukünftige Holzhausbau und welche Hemmnisse stehen ihm gegenüber?

Die vom Bundesamt für Statistik, dem Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung und dem Bundesamt für Verkehr-, Bau- und Wohnungswesen erarbeiteten Daten bilden die Basis für allgemeine Markteinschätzungen. Sie dienen, gemeinsam mit den verschiedensten Veröffentlichungen von Verbänden, z.B. des Zentralverbandes des Deutschen Baugewerbes, als Basis für konkrete Fragestellungen zur Entwicklung der Bauwirtschaft.

Für die Beurteilung der Marktentwicklung der spezialisierten Holzhausbauweise sind eine Vielzahl detaillierte Daten erforderlich. Diese wiederum werden nur zum Teil von den Statistischen Landesämtern und Fachverbänden, z.B. dem Bundesverband Deutscher Fertigbau e.V. (BDF) in Bad Honnef, dem Bund Deutscher Zimmerer (BDZ) in Berlin, dem Deutschen Fertigbauverband e.V. (DFV), dem Verband Fenster und Fassaden (VFF) und privatrechtlichen Marktforschungsinstituten, z.B. B+L Marktdaten in Bonn, der Versuchsanstalt für Holz- und Trockenbau (VHT) in Darmstadt und der Heinze Bauoffice GmbH erarbeitet, gepflegt und veröffentlicht. So ist bekannt, dass im Auftrag des Holzabsatzfond die Heinze Bauoffice GmbH, seit 2002 jährlich die relativen Marktanteile des Ein- / Zweifamilienhausbaus am Gesamtbauvolumen, die Anzahl errichteter Mehrfamilienhäuser und die der errichteten Nichtwohngebäude veröffentlicht. Das Datendefizit aller Veröffentlichungen besteht jedoch darin, dass die Marktanteile je überwiegend verwendeter Materialart und Gebäudetyp, die Aufstockungen in Holzbauweisen und mehrgeschossige Wohngebäude und Nicht-Wohngebäude nach Anzahl der Geschosse nicht erfasst werden.

Der mehrgeschossige Holzhausbau und das Bauen im Bestand in Holzbauweisen in Deutschland werden zahlenmäßig nicht erfasst. Das wurde in den vorangegangenen Erläuterungen deutlich. Zahlen, Daten und Fakten über die Entwicklung der verschiedenen Geschäftsfelder des Holzhausbaus müssen mühsam recherchiert werden. Nicht zuletzt, weil es in der Vergangenheit kaum finanzielle Kapazitäten für Zahlenerhebungen gab. Deshalb führte die Hochschule Rosenheim im Rahmen des interdisziplinären Forschungsprojektes „Holzbau der Zukunft“ im Rahmen der „High-Tech-Offensive Bayern“ mit den Wirtschaftsverbänden „Bund Deutscher Zimmermeister“ (BDZ) mit der angeschlossenen „Gütege

meinschaft Holzbau, Ausbau, Dachausbau“ (GHAD), „Bundesverband Deutscher Fertigbau“ (BDF) mit der „Bundes-Gütegemeinschaft Montagebau und Fertighäuser“ (BMF), „Deutschen Fertigbauverband“ (DFV) mit der „Gütegemeinschaft Deutscher Fertighausbau“ (GDF) und dem Verband „Zimmermeister Haus“ (ZMH) in Kooperation eine Primärbefragung aller gütegesicherten (RAL-GZ422) Holzhausbauunternehmen durch. Die Abbildung 1 zeigt die Aufteilung der gütegesicherten (RAL-GZ422) Holzhausbauunternehmen je Bundesland. Nachfolgend werden alle Ergebnisse zur Markterschließung in Holzbauweisen in zusammengefasster Form wie folgt dargestellt.

Neubau im Wohnungs- und Nichtwohnungsbau in Holzbauweisen:

- Wohngebäude bis zwei Geschosse in Holzbauweise
- Wohngebäude mit drei und mehr Geschossen in Holzbauweise
- Kindergärten und Schulgebäude in Holzbauweise
- Büro- und Verwaltungsgebäude in Holzbauweise

Umbau im Wohnungs- und Nichtwohnungsbau in Holzbauweisen

- Anbauten und Verdichtungsbauten
- Bauvorhaben mit großflächigen Fassadenelementen
- Dachaufstockungen in Holzbauweise
- Sanierungen von Holzgebäuden

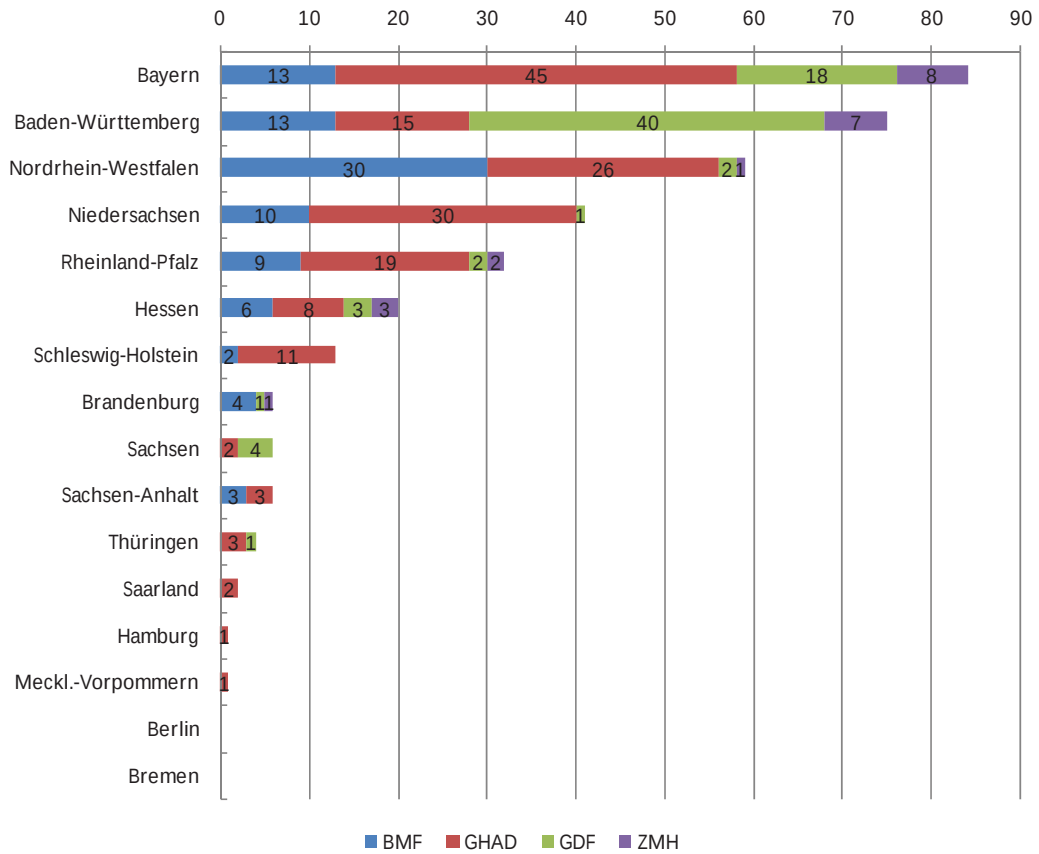


Abb. 1: Balkendiagramm, Zusammensetzung der gütegesicherten Unternehmen je Bundesland

2 Neubau im Wohnungs- und Nichtwohnungsbau in Deutschland

Zunächst sei anhand der Abb. 2 gezeigt wie sich die Baugenehmigungen von Gebäuden und Wohnungen im Wohnbau in Deutschland im Zeitraum 1991 bis 2008 entwickelt haben.

Im Segment des Mehrfamilienhausbaus (MFH) gab es 1994 einen einmaligen Bauboom mit seinem Maximum von 44.981 Wohnungsbaugenehmigungen, in denen 381.098 Wohnungen errichtetet wurden. Nach einem verheerenden Rückgang der Baugenehmigungen für MFH in den Jahren 1995 bis 2001 liegt nun, im Jahr 2008, die Rate der Genehmigungen bei nur noch 1 / 7 des Jahres 1994.

Interessant ist die Entwicklung, die das Marktsegment der Ein- und Zweifamilienhäuser (EFH / ZFH) im selben Zeitraum genommen hat. Mit der Einführung der Eigenheimzulage im Jahr 1996 sollte die Schaffung von selbstgenutztem Wohnungseigentum gefördert und somit die Baukonjunktur angekurbelt werden. Die Wirkung dieser Maßnahme spiegelt sich in dem Anstieg der Baugenehmigungen für EFH / ZFH von ca. 5 % pro Jahr von 1996 bis 1999 wider. Bis zum Jahr 2004 hat der Staat dafür rund 11,4 Mrd. € aufgewendet. (ca. 1,43 Mrd. / Jahr) Die große Koalition hat die Eigenheimzulage jedoch mit dem Gesetz zur Abschaffung der Eigenheimzulage gestrichen. Die Eigenheimzulage wird seit 1. Januar 2006 nicht mehr neu gewährt und war somit eine der größten staatlichen Subventionen in Deutschland.

Der aktuellste Stand zeigt, dass im Jahr 2008 insgesamt 146.842 Wohnungen neu genehmigt wurden, wovon 88.307 (60 %) auf Wohnungen in Ein- und Zweifamilienhäusern und 58.635 (40 %) auf Wohnungen in Mehrfamilienhäusern entfallen. Somit stellt das Jahr 2008 das bis dahin schlechteste Ergebnis für Baugenehmigungen in Deutschland dar.

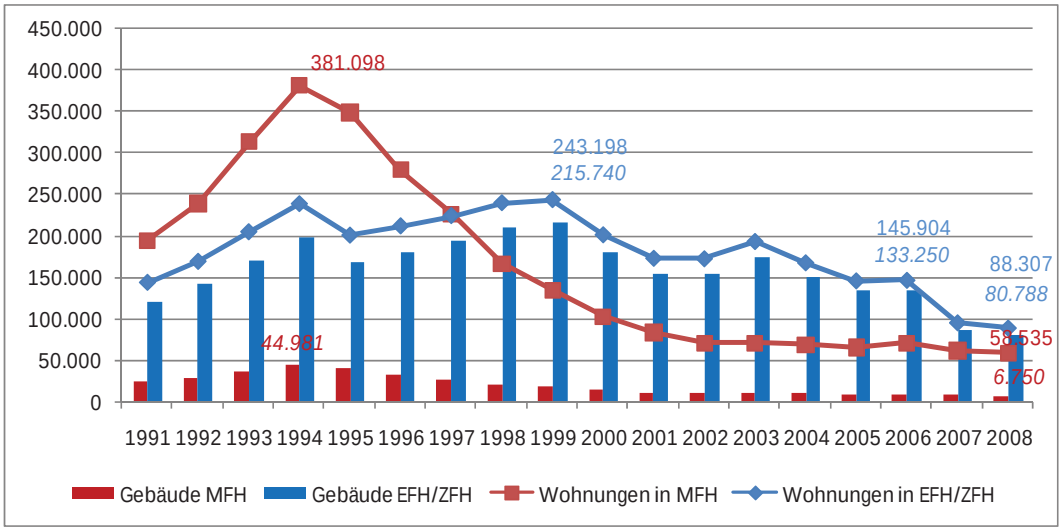


Abb. 2: Neubaugenehmigungen von Gebäuden und Wohnungen (MFH, EFH, ZFH) in Deutschland, Stand 13.03.2009

2.1 Neubau im Wohnungs- und Nichtwohnungsbau in Holzbauweisen

2.1.1 Wohngebäude bis zwei Geschosse in Holzbauweise zusammengefasst

Jedes der 350 gütegesicherten (RAL-GZ422) Holzhausbauunternehmen errichtet Wohngebäude bis zwei Geschosse. Pro Jahr stellen diese Unternehmen hochgerechnet ca. 12.500 zweigeschossige Wohngebäude her. Das entspricht ca. 65 % aller jährlich in Holzbauweisen erstellten EFH / ZFH in Deutschland. Die restlichen 35 % werden von kleineren Zimmereien bis max. 20 Mitarbeiter gefertigt oder aus dem Ausland importiert. Interessant ist, dass über 80 % dieser Gebäude durch Unternehmen gefertigt werden, die eigene Architekten und / oder Ingenieure beschäftigen. Schließlich ist dies das von den Holzhausbauunternehmen zu beherrschende Kerngeschäft.

Die zukünftige Auftragslage schätzen mehr als die Hälfte der gütegesicherten (RAL-GZ422) Holzhausbauunternehmen, trotz der schlechten Gesamtsituation, als gut bis sehr gut ein. Darunter bewerten die Unternehmen mit Architekten die Entwicklung am optimistischsten von allen.

Durch die eingeschränkten förderpolitischen Maßnahmen der Bundesregierung für Eigenheimneubauten, welches die Flächenreduzierung zum Ziel hat, sowie die Erhöhung der Mehrwertsteuer, brachen die Zahlen für die Baugenehmigungen für Ein- und Zweifamilienhäuser bis Ende 2008 deutlich ein. Jedoch reduzierten sich die Baugenehmigungen für EFH / ZFH in Holzbauweisen nicht so stark wie erwartet.

Nun wird die Einführung eines neuen Gebäudetypus „KfW-Energieeffizienzhaus“ seitens der KfW-Bankengruppe propagiert. Das wiederum dürfte dazu führen, dass das Bauen mit Holz in diesem Marktsegment generell in den nächsten Jahren seinen relativen Marktanteil von derzeit 13,8 % [1] weiter wird halten und sogar steigern können. Aus den Ergebnissen der Befragung aller gütegesicherten (RAL-GZ422) Holzbaubetriebe prognostizieren wir für die nächsten drei Jahre, bis 2012, ein moderat ansteigendes Wachstum des relativen Marktanteils von jährlich 0,3 – 0,5 Prozentpunkten.

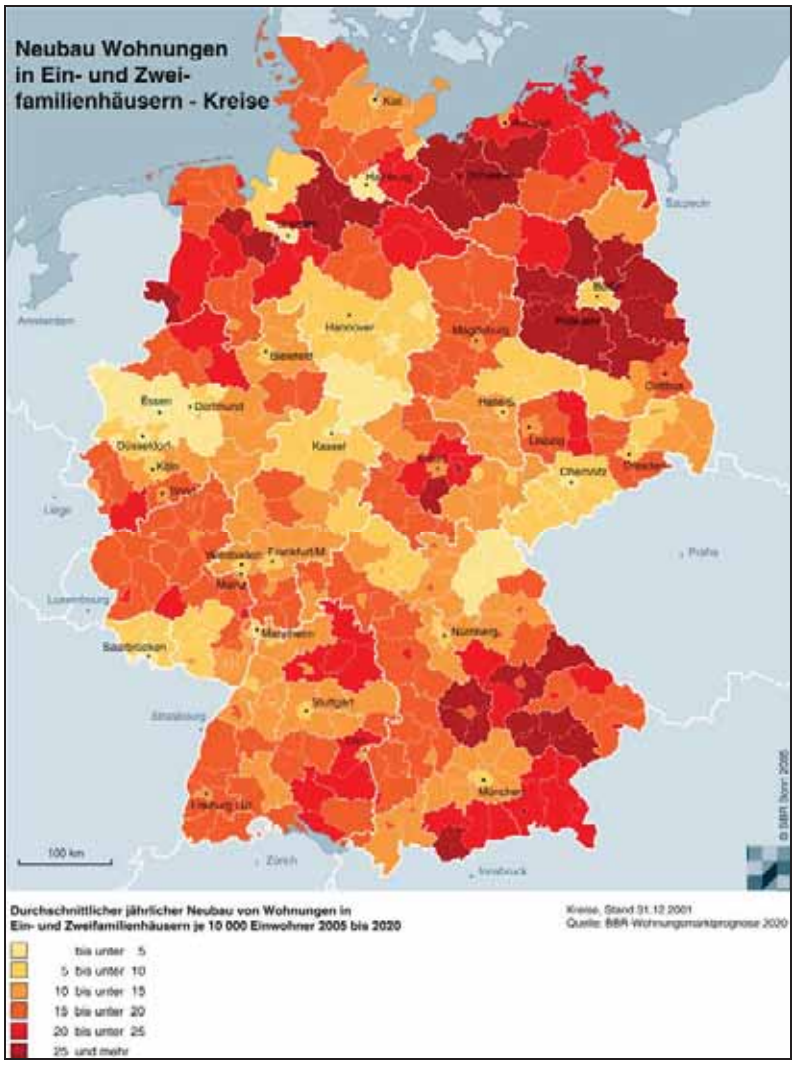


Abb. 3: Deutschlandkarte mit durchschnittlichem jährlichem Neubau von Wohnungen in Ein- und Zweifamilienhäusern

Der Holzhausbau wird sich generell in den Gebieten weiter etablieren, in denen sich der demographische Wandel positiv auf den Ein- und Zweifamilienhausbau bis 2020 auswirken wird und insbesondere dort, wo die landespolitischen Baubestimmungen und Förderprogramme das ökologische Bauen weiter fördern. In der dargestellten Deutschlandkarte (siehe Abb. 3) werden die Wachstumsgebiete für den Ein- und Zweifamilienhausbau aufgezeigt.

2.1.2 Wohngebäude mit drei und mehr Geschossen in Holzbauweise zusammengefasst

Derzeit hat der Holzbau einen relativen Marktanteil bei Mehrfamilienhäusern im Wohnbau von 2,1 % (siehe Tabelle 1). Wichtig zu verstehen ist, dass die amtliche Statistik nur die Baugenehmigungen und –fertigstellungen für Wohngebäude mit drei und mehr Wohnungen auswertet. Nicht jedoch, wie viele Mehrfamilienhäuser, differenziert nach dem überwiegend verwendetem Baustoff und nach Geschoss, fertig gestellt wurden. Deshalb wurde bei der Primärbefragung aller gütegesicherten (RAL-GZ422) Holzbauunternehmen ein besonderer Fokus auf dieses Marktsegment gelegt.

Eine Gegenüberstellung der amtlichen Zahlen für Baufertigstellungen für Gebäude mit 3 und mehr Wohnungen der Jahre 2001 bis 2005 mit denen der Umfrageergebnisse (Hochrechnung) zeigt, dass nahezu 100 % dieser Gebäude durch die gütegesicherten (RAL-GZ422) Holzbaubetriebe gebaut werden (siehe Tabelle 2). Im Durchschnitt wurden in den Jahren 2001 bis 2005 pro Jahr 191 (94 %) 3-geschossige Wohngebäude, 10 (5 %) 4-geschossige Gebäude und 3 (1,5 %) 5- und mehrgeschossige Wohngebäude errichtet.

Tab. 1: Holzbauquote für MFH je Bundesland ohne Wohnheime, 2007

Bundesländer	Fertigstellungen Gesamt Gebäude 2007	davon Fertigstellungen mit überwiegendem Baustoff Holz Gebäude 2007	Anteil in % 2007	Veränderung des **Marktanteils Holz in Prozentpunkten** zum Vorjahr 2005/2007
Baden-Württemberg	1.611	40	2,5%	-0,7
Bayern	1.665	31	1,9%	-0,1
Berlin	71	0	0,0%	-1,4
Brandenburg	92	2	2,2%	-4,5
Bremen	33	0	0,0%	0
Hamburg	170	1	0,6%	0,6
Hessen	587	20	3,4%	-0,1
Mecklenburg-Vorpommern	178	10	5,6%	-2,6
Niedersachsen	525	10	1,9%	-1,6
Nordrhein-Westfalen	1.737	21	1,2%	-0,1
Rheinland-Pfalz	357	11	3,1%	1,9
Saarland	48	0	0,0%	-1,4
Sachsen	75	2	2,7%	-2
Sachsen-Anhalt	61	0	0,0%	-4,1
Schleswig-Holstein	206	8	3,9%	-0,5
Thüringen	76	3	3,9%	3,9
Deutschland	**7.492**	**159**	**2,1%**	**-0,4**

Tab. 2: Vergleich der durch die gütegesicherten (RAL-GZ422) Holzbaubetriebe fertig gestellten Gebäude mit den Zahlen des Bundesamtes für Statistik, 2001-2005

Mehrgeschossige Wohngebäude überwiegend in Holz gebaut, 2001 - 2005			
Wohngebäude nach Geschossen	StBa*)	Summe (Hochrechnung 350 Betriebe)	pro Jahr
3	1.044	957	191
4		48	10
5		17	3
> 5		1	0
*) Statistisches Bundesamt; Zahlen für Wohngebäude mit zwei bzw. drei und mehr Wohnungen ohne Wohnheime			

Die Auswertungen zeigen weiterhin, dass bislang 30 % aller gütegesicherten (RAL-GZ422) Holzbauunternehmen Gebäude mit drei und mehr Geschoßen produzieren. Die Hälfte der Unternehmen die es bislang nicht tun, können es sich aber vorstellen, bei steigender Nachfrage Gebäude mit drei und mehr Geschossen zu errichten.

Ein Viertel der gütegesicherten (RAL-GZ422) Holzbaubetriebe schätzt die zukünftige Auftragslage als gut bis sehr gut ein. Vorwiegend sind es die Unternehmen mit 20 bis 49 und 50 bis 249 Mitarbeitern, die mehrgeschossige Gebäude bauen. Es sind nicht die großen Fertighausunternehmen, da ihre Organisations- und Vertriebsstrukturen scheinbar zu starr für eine projektorientierte Abwicklung sind.

Aufgrund dessen, dass die zukünftige Städtebaupolitik den Flächenverbrauch weiter stark reduzieren wird und der Bau von nachhaltigen, mehrgeschossigen Wohngebäuden in Holzbauweisen unter Beweis gestellt wurde, prognostizieren wir für die nächsten drei Jahre, bis 2012, ein Wachstum des relativen Marktanteils von jährlich 1,5 bis 2,0 Prozentpunkten. So werden pro Jahr etwa zwischen 170 bis 220 Mehrfamilienhäuser gebaut werden. Darunter wird jedes Jahr mindestens ein neues mehrgeschossiges Wohnhochhaus zwischen 6 bis 9 Geschossen entstehen. Diese Gebäude verstehen sich als Leuchtturmprojekte, deren Aufgabe es sein wird, weitere potentielle Bauherren von der schnellen und trockenen Holzbauweise zu überzeugen.

Aktuell gibt es in Europa vier gebaute Wohngebäude mit über 5 Geschossen. Das sind das Mehrfamilienhaus „Holzhausen“ in der Schweiz, das Wohnhochhaus „e3“ in Berlin, die 4 x 8-geschossigen Wohnhochhäuser „Limnologen“ in Schweden und der 9-geschossige „Murray Grove Tower“ in London. Es lässt sich fast schon von einem Wettbewerb sprechen, getreu dem Motto „Wer baut noch höher, schneller und preiswerter in Holz“. Eines scheint jedoch sicher, Architekten und Holzbauunternehmen können diesem Segment nur mit gemeinsamen Lösungen begegnen. Diejenigen von ihnen, die dieses Segment im In- und Ausland als erstes bedienen, werden sich rasch als Technologiemarktführer etablieren können. So planen bereits die Architekten Kaden-Klingbeil an ihrem zweiten 7-Geschosser „C13“, auch wieder in Berlin.

Das Marktsegment des mehrgeschossigen Wohnungsbaus in Holzbauweise wird sich aber nur dann nachhaltig entwickeln, wenn

1. die Qualität des Holzhausbaus weiter gesteigert wird
2. mehr Bauherren über den Stand der Entwicklungen des Marktsegmentes in Holzbauweise informiert werden
3. die Werterhaltung dieser Gebäude in der öffentlichen Diskussion nicht mehr dem Nassbau untergeordnet werden
4. aus politischer Sicht das Bauen mit nachwachsenden Rohstoffen erste Priorität erhält und
5. mehr Architekten bereit sind mit den gütegesicherten Holzbauunternehmen die Planungen solcher Projekte voranzutreiben.

Die Abbildung 4 zeigt eine Deutschlandkarte, auf der die Wachstumsgebiete für den Neubau von Wohnungen in Mehrfamilienhäusern bis 2020 abgebildet sind.

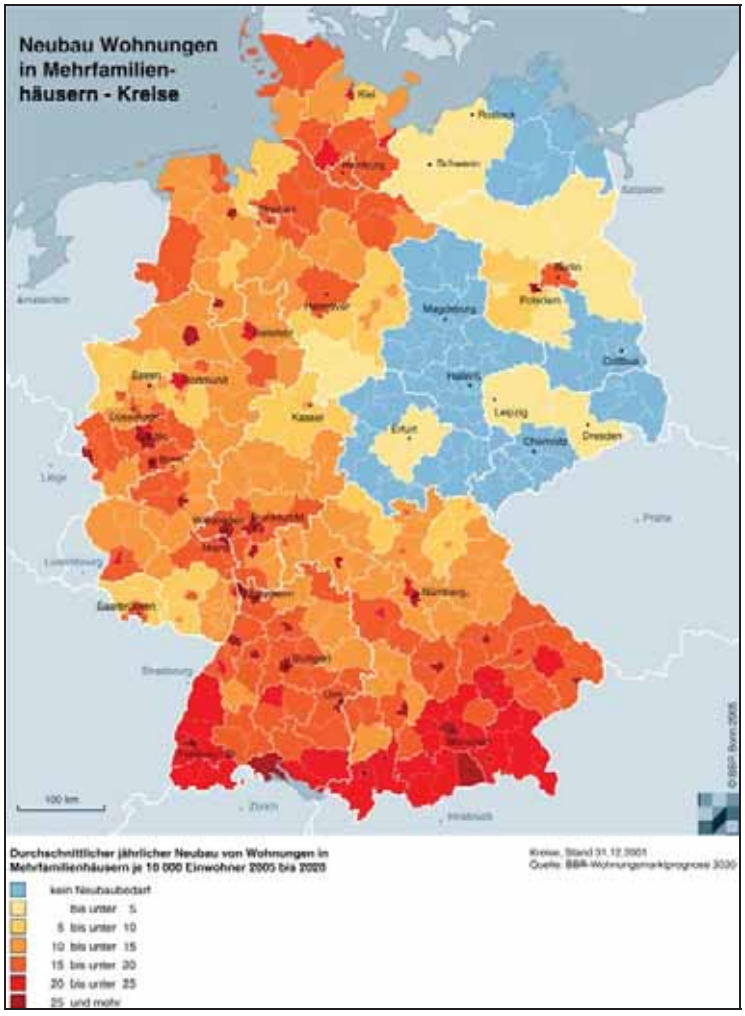


Abb. 4: Deutschlandkarte mit durchschnittlichem jährlichem Neubau von Wohnungen in Mehrfamilienhäusern

2.1.3 Kindergärten und Schulgebäude in Holzbauweise zusammengefasst

Fast jedes zweite Unternehmen der 350 gütegesicherten (RAL-GZ422) Holzhausbauunternehmen errichtet Kindergärten und / oder Schulgebäude in Holzbauweisen. Pro Jahr werden hochgerechnet ca. 350 solcher Bauvorhaben in Deutschland durchgeführt. Dabei haben die kleinen und mittelgroßen gütegesicherten (RAL-GZ422) Holzhausbauunternehmen, welche 10 bis 49 und 50 bis 249 Mitarbeiter und einen oder mehrere Ingenieure beschäftigen, einen besonders hohen Marktanteil. Dieses Marktsegment ist ein in allen Bundesländern existierender Nischenmarkt. Unternehmen, die diese Aufträge ausführen, eignen sich besondere Fachkompetenzen an und werden zukünftig auch von Bauherren aus ganz Deutschland angesprochen.

Durch die förderpolitischen Maßnahmen der Bundesregierung in Bezug auf die Familienpolitik und das ökologische Bauen wird sich dieses Marktsegment für das Bauen mit Holz besonders positiv entwickeln. So schätzen ein Drittel der gütegesicherten (RAL-GZ422) Holzhausbauunternehmen die zukünftige Auftragslage in diesem Segment als gut bis sehr gut ein. Wir prognostizieren deshalb ein moderates Wachstum des relativen Marktanteils von jährlich 1,0 bis 3,5 Prozentpunkten bis 2012.

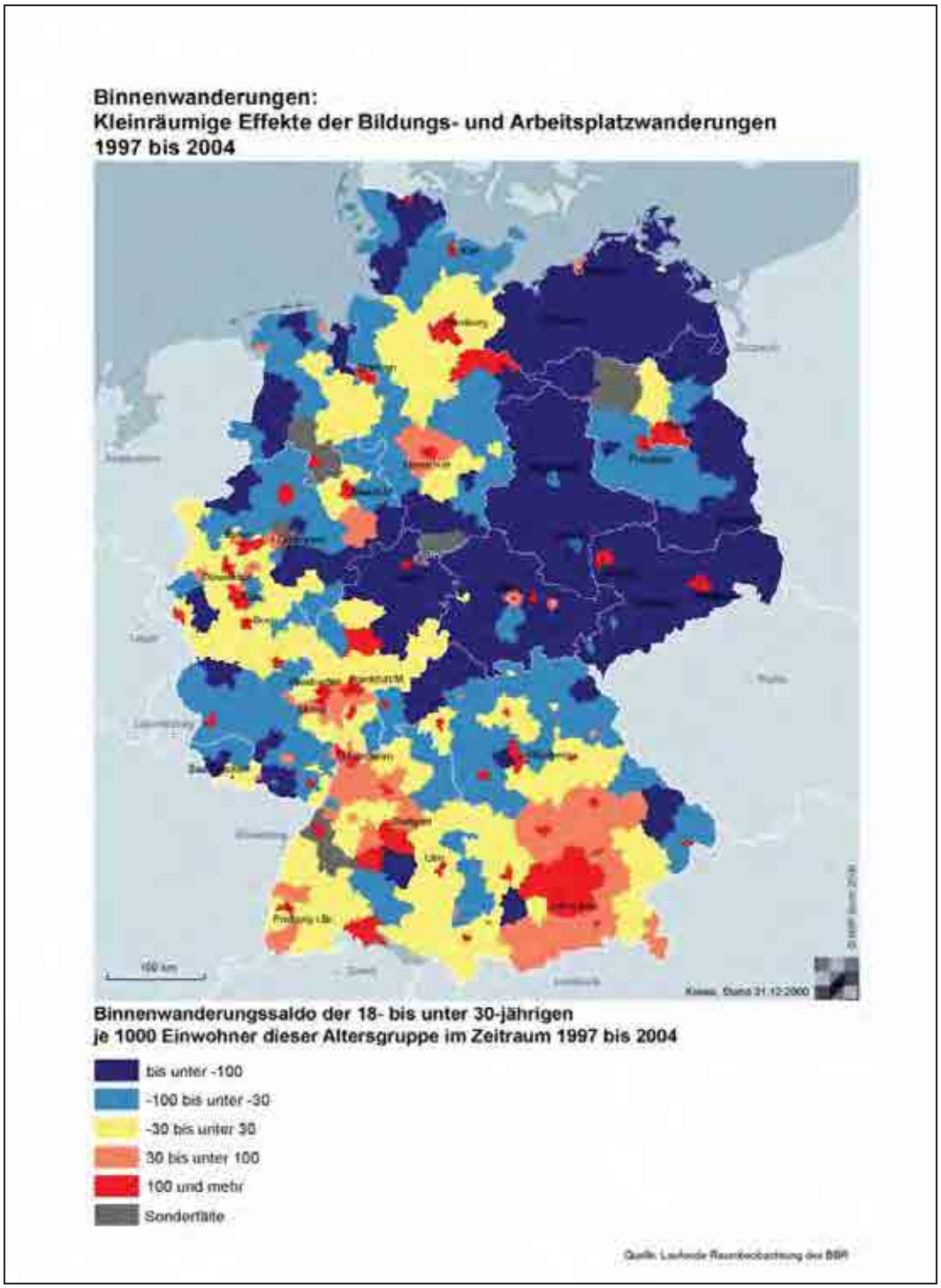


Abb. 5: Deutschlandkarte mit durchschnittlicher Binnenwanderung von über 18- bis unter 30-jährigen Personen von 1997 bis 2004

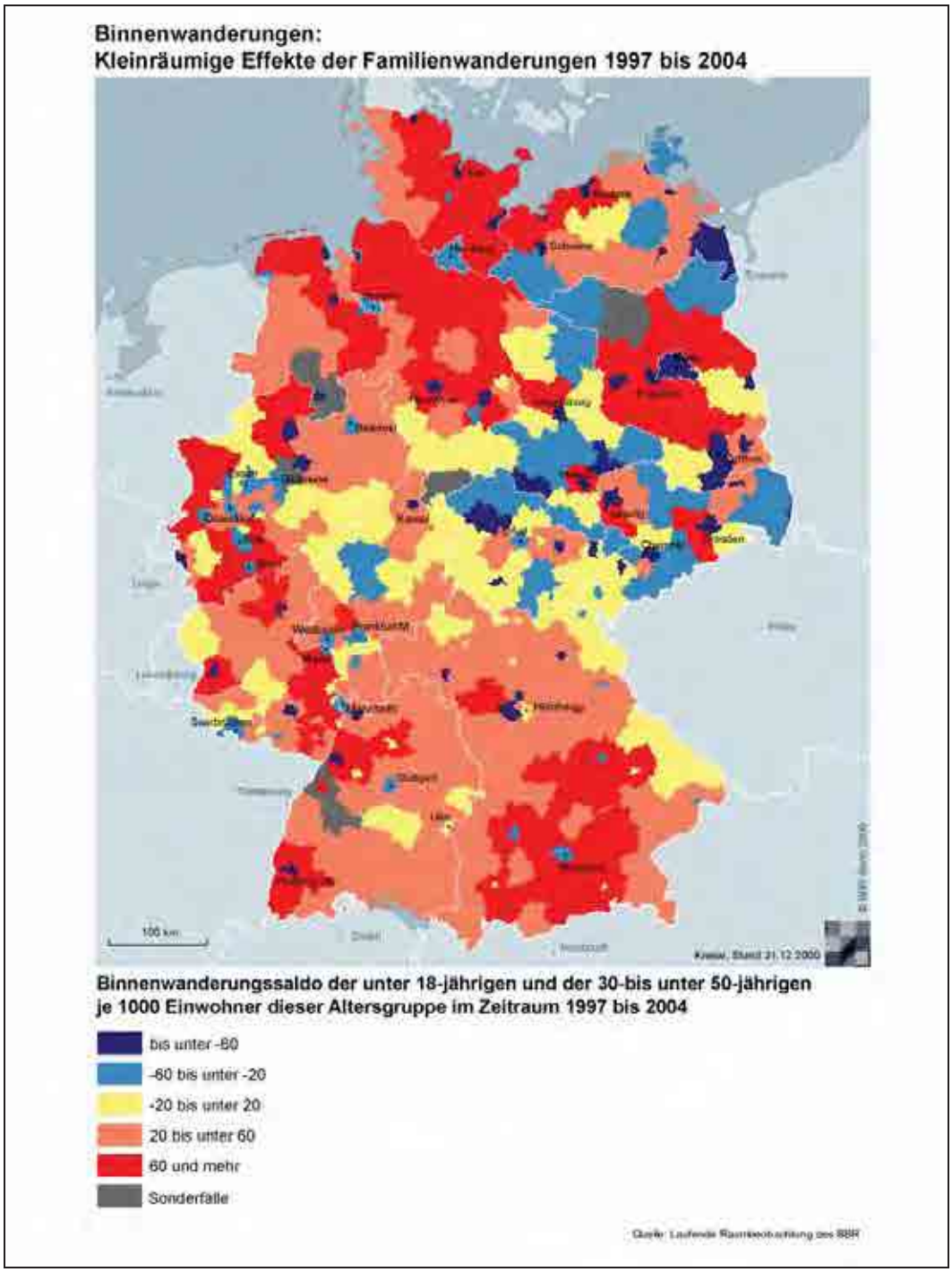


Abb. 6: Deutschlandkarte mit durchschnittlicher Binnenwanderung von jungen Familien von 1997 bis 2004

Wachstumsgebiete sind vor allem Bundesländer und Kreise, in denen sich die Binnenwanderung von über 18- bis unter 30-jährigen Personen (Abb. 5) und jungen Familien zwischen über 30 bis unter 50 Jahre (Abb. 6) positiv auswirken wird. Das gilt besonders für die Bundesländer Bayern, Baden-Württemberg und Niedersachsen.

2.1.4 Büro- und Verwaltungsgebäude in Holzbauweise zusammengefasst

Jedes zweite bis dritte Unternehmen der 350 gütegesicherten (RAL-GZ422) Holzhausbauunternehmen errichtet Büro- und Verwaltungsgebäude. Pro Jahr werden hochgerechnet ca. 360 solcher Bauvorhaben durchgeführt. Die mittelgroßen bis großen gütegesicherten (RAL-GZ422) Holzhausbauunternehmen, ab 50 Mitarbeiter und mehr, haben prinzipiell sehr gute Voraussetzungen, um dieses Marktsegment zu bedienen. Sie sollten jedoch strategische Überlegungen anstellen, ob sie dieses Marktsegment noch professioneller erschließen könnten oder es bei gelegentlichen Bauvorhaben belassen. Dabei hängt es nicht wesentlich davon ab, in welchem Bundesland das Holzhausunternehmen liegt, denn die überregionale Lieferbereitschaft wird vom Kunden ohnehin verlangt.

Dieses Marktsegment ist ebenso ein Nischenmarkt wie Kindergärten und Schulgebäude, jedoch mit sehr hohen Anforderungen an das Produkt und die Dienstleistung des Unternehmens. Prinzipiell stellt dieses Marktsegment die Schwelle dar, die ein Holzhausbauunternehmen in der Entwicklung vom Hersteller für konventionelle Holzhäuser zu einem Unternehmen, das sich in allen Bereichen des Holzhausbaus auskennt, überwinden muss. Hier bedarf es neben hervorragendem technischem Fachwissen in der Entwicklung von Statik-, Schallschutz- und Brandschutzkonzepten vor allem auch Know-how bzgl. der logistischen Abwicklung. Diese Unternehmen müssen projektorientiert und mit Architektur- und Ingenieurbüros zusammenarbeiten, welche sich auf derartige Planungsleistungen spezialisiert haben.

Weil 38,0 % der Unternehmen die zukünftige Auftragslage als gut bis sehr gut einschätzen und die ökologischen Bauweisen mehr Beachtung finden, prognostizieren wir ein langsames Wachstum des relativen Marktanteils von jährlich 1,0 bis 2,5 Prozentpunkten bis 2012.

Wachstumsgebiete sind vor allem die süd- bis mitteldeutschen Bundesländer und Kreise, in denen sich der demographische Wandel der 18- bis 50 jährigen Personen positiv auswirkt (siehe Abbildung 5 und 6). Besonders die Länder, die landespolitisch die richtigen Weichen gestellt haben. Das gilt vor allem für Baden-Württemberg.

3 Umbau im Wohnungs- und Nichtwohnungsbau in Deutschland

Zunächst sei anhand der Abb. 7 gezeigt, wie sich die Baugenehmigungen für Modernisierungsmaßnahmen von Gebäuden im Wohnbau und Nichtwohnbau in Deutschland seit 1996 bis 2008 entwickelt haben. Insgesamt wurden in Deutschland im Jahr 2008 116.000 Baugenehmigungen im Wohnbau erteilt. Davon entfallen auf die Modernisierungen 48.000 (41 %) und auf den Neubau 68.000 (59 %) aller Baugenehmigungen. Eine Aufschlüsselung der Baugenehmigungen für Modernisierungen nach dem überwiegend verwendeten Baustoff existiert genauso wenig wie eine Statistik über die durchgeführten Einzelmaßnahmen während einer Modernisierung. Deshalb liefern die Ergebnisse der Primärbefragung erstmals Zahlen, Daten und Fakten zu durchgeführten Dachaufstockungen, Anbauten und Verdichtungsbauten, Bauvorhaben mit großflächigen Fassadenelementen und Sanierungen von Holzgebäuden in oder mit Holzbauweisen in den Jahren 2001 bis 2005.

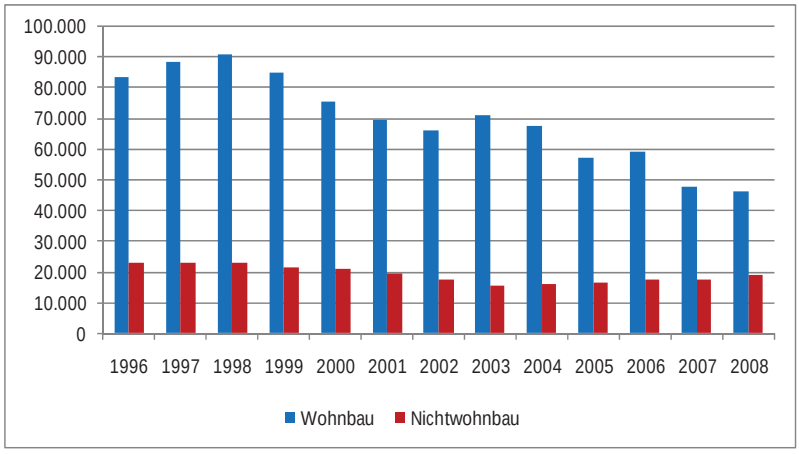


Abb.7: Baugenehmigungen für Modernisierungsmaßnahmen im Wohnbau und Nichtwohnbau in Deutschland, Stand 13.03.2009

Tab. 3: Hochrechnung der durch die gütegesicherten (RAL-GZ422) Holzbaubetriebe durchgeführten Baumaßnahmen im Bestand, 2001-2005

Baumaßnahmen im Bestand überwiegend in Holz durchgeführt, 2001 - 2005				
Baumaßnahmen im Bestand	StBa*)	Summe (Befragung 169 Betriebe)	Summe (Hochrechnung 350 Betriebe)	pro Jahr
Dachaufstockungen	k.A.	2.022	4.188	838
Anbauten/ Verdichtungsbauten		1.307	2.707	541
großflächige Fassadenelemente		330	683	137
Sanierungen von Holzhäusern		682	1.412	282
Summe		4.341	8.990	1.798

*) Statistisches Bundesamt; keine Daten vorhanden

Tab.4: Übersicht Baumaßnahmen im Bestand durch die gütegesicherten (RAL-GZ422) Holzbaubetriebe, 2001-2005

2001 - 2005	Betriebsgröße nach Beschäftigten						
Bauen im Bestand	1-9	10 - 19	20 - 49	50 - 249	250 - 499	> 500	Summe
Dachaufstockungen	214	824	701	201	12	70	2.022
Anbauten/ Verdichtungsbauten	128	427	482	165	25	80	1.307
großflächige Fassadenelemente	35	75	187	33	0	0	330
Sanierungen von Holzhäusern	13	109	215	203	2	140	682
Summe	390	1.435	1.585	602	39	290	4.341

3.1 Umbau im Wohnungs- und Nichtwohnungsbau in Holzbauweisen

Im Durchschnitt wurden in den Jahren 2001 bis 2005 pro Jahr 20.800 Bauvorhaben im Wohnbau in Holzbauweisen fertig gestellt. Davon entfielen 19.000 (91 %) Bauvorhaben in den Neubau und 1.800 (9 %) Bauvorhaben in den Umbau im Bestand. Tab. 3 und 4 zeigen, wie sich die 1.800 Bauvorhaben im Bestand auf die einzelnen Rubriken aufteilen. So entfallen 838 (46 %) auf Dachaufstockungen, 541 (30 %) auf An-/ Verdichtungsbauten, 137 (7,6 %) auf Bauvorhaben mit großflächigen Fassadenelementen und 282 (16 %) auf Sanierungen von Holzgebäuden. Im Gegensatz zur gesamten Bauwirtschaft, in der das Bauen im Bestand 40 % aller Bauvorhaben ausmacht, sind es im Holzbau nur 10 %.

3.1.1 Dachaufstockungen in Holzbauweise zusammengefasst

Fast jedes der 350 gütegesicherten (RAL-GZ422) Holzhausbauunternehmen (90 %) führt Dachaufstockungen durch. Pro Jahr werden hochgerechnet ca. 840 solcher Bauvorhaben durchgeführt (Tab. 3). Die kleinen und mittelgroßen gütegesicherten (RAL-GZ422) Holzhausbauunternehmen mit 10 bis 49 Mitarbeitern (Tab. 4), welche in den südlichen bis südwestlichen Bundesländern liegen, partizipieren besonders an diesem Marktsegment. Dabei werden diese Unternehmen überwiegend Neukunden gewinnen, die größeren Unternehmen mit 50 und mehr Mitarbeitern, hingegen werden ihre bisherigen Kunden bedienen und dadurch die Kundenbindung stärken.

Es gilt insbesondere darauf zu achten, dass die Formgebung für Dachaufstockungen in Holzbauweisen sich nicht als stereotype „rechteckige Kisten mit Pultdach“ in den Köpfen der kommunalen und genossenschaftlichen Bauherren verankert. Daraus könnte bei den Bauherren möglicherweise ein zu enges Bild von Dachaufstockungen in Holzbauweisen entstehen. Dies zeigen die

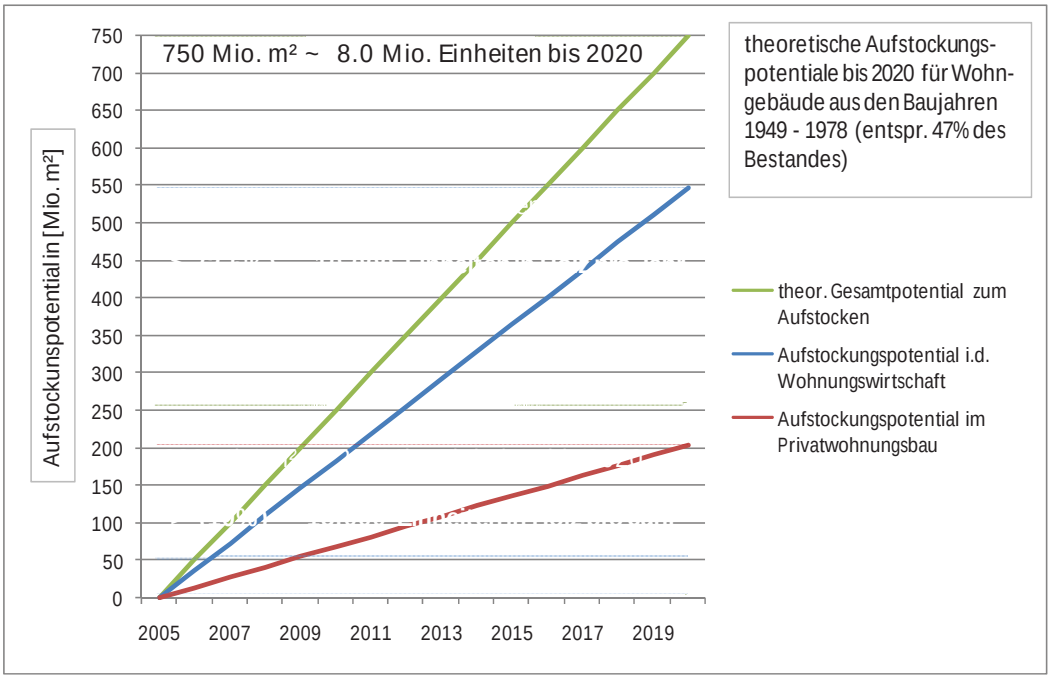


Abb. 8: Theoretische Aufstockungspotentiale bis 2020 für Gebäude aus den Baujahren 1949 bis 1978 [entspricht ~ 47 % des Bestandes, davon sind ~ 80 % < 4 Geschosse]

ersten Ergebnisse aus Umfragen mit öffentlichen Bauherren. Abb. 8 zeigt die theoretischen Aufstockungspotentiale für die Gebäude aus den Jahren 1949 bis 1978. Insgesamt, so haben wir errechnet, beträgt das Aufstockungspotential 750 Mio. m². Diese teilen sich zu 550 Mio. m² (73 %) auf die Wohnungswirtschaft und zu 200 Mio. m² (27 %) auf den Privatwohnungsbau auf. Geht man davon aus, dass abzüglich aller Unwägbarkeiten 12,5 % der Aufstockungspotentiale in Holzbauweisen ausführbar sind, dann entspricht dies einem Potential von ca. 25.000 Wohneinheiten à 90 m² Wohnfläche.

Durch die Förderung der städtebaulichen Verdichtung und der geförderten energetischen Sanierung von Gebäuden wird sich dieses Marktsegment sehr positiv entwickeln. So schätzen 83 % der gütegesicherten (RAL-GZ422) Holzhausbauunternehmen die Auftragslage als gut bis sehr gut ein. Wir prognostizieren deshalb ein deutliches Wachstum des relativen Marktanteils von jährlich 7,0 – 9,0 Prozentpunkten bis 2012. Dies entspricht einer jährlichen Steigerung von ca. 60 bis 75 Bauvorhaben.

Wachstumsgebiete sind alle Bundesländer und Kreise, in denen ein jährlicher Neubau von Wohnungen in Ein-, Zwei- und Mehrfamilienhäusern zu erwarten ist (Abb. 3 und 4).

3.1.2 Anbauten und Verdichtungsbauten zusammengefasst

Jedes vierte der 350 gütegesicherten (RAL-GZ422) Holzhausbauunternehmen errichtet Anbauten und Verdichtungsbauten. Pro Jahr werden hochgerechnet ca. 550 solcher Bauvorhaben durchgeführt (Tab. 3). Da An- und / oder Verdichtungsbauten im Bestand immer auch Neubauten sind, lässt sich festhalten, dass dies einem relativen Anteil von 4,5 % aller errichteten Wohngebäude, der gütegesicherten (RAL-GZ422) Holz-

hausbauunternehmen entspricht. Die kleinen bis mittelgroßen gütegesicherten (RAL-GZ422) Holzhausbauunternehmen, mit 10 – 49 Mitarbeitern, partizipieren besonders an diesem Marktsegment. Sie werden dadurch überwiegend Neukunden gewinnen können.

Grundsätzlich werden diese Bauvorhaben überall in der Bundesrepublik durchgeführt, so dass der Standort des Unternehmens eine untergeordnete Rolle spielt. Die Wachstumsgebiete sind Baden-Württemberg, Schleswig-Holstein und Nordrhein-Westfalen.

Durch den ersatzlosen Wegfall der Eigenheimzulage, der Förderung der Städtebauliche Verdichtung und der geförderten energetischen Sanierung von Gebäuden wird sich auch dieses Marktsegment sehr positiv entwickeln. So schätzen auch hier 77 % der Unternehmen die künftige Auftragslage als gut bis sehr gut ein. Wir prognostizieren daraus ein deutliches Wachstum des relativen Marktanteils von jährlich 7,0 bis 8,0 Prozentpunkten bis 2012. Das entspricht einer jährlichen Steigerung von ca. 38 bis 45 Bauvorhaben.

3.1.3 Bauvorhaben mit großflächigen, vorgefertigten Fassadenelementen zusammengefasst

Fast jedes vierte Unternehmen der 350 gütegesicherten (RAL-GZ422) Holzhausbauunternehmen führt Bauvorhaben mit großflächigen, vorgefertigten Fassadenelementen aus Holztafelelementen durch. Pro Jahr werden hochgerechnet ca. 140 bis 150 solcher Bauvorhaben durchgeführt (Tab. 3). Dieses Marktsegment wird bislang überwiegend durch die kleineren Unternehmen, welche 10 bis 19 und 20 bis 49 Mitarbeiter beschäftigen, bedient. Ausschlaggebend dafür sind das vorhandene Fachwissen, die notwendige Flexibilität in der Fertigung und die überregionale bis nationale Lieferbereitschaft. Größere Unternehmen prognostizieren diesem Markt zwar generell ein gutes Wachstum, bedienen diesen aber nur im Einzelfall. Kleineren Unternehmen mit bis zu 9 Mitarbeitern bleibt dieses Marktsegment aufgrund der fehlenden fertigungstechnischen Voraussetzungen meist vorenthalten.

Durch eine engere Zusammenarbeit zwischen den kompetenten Fenster- und Fassadenherstellern und den Holzhausbauunternehmen, in Bezug auf die Produktentwicklung und den Produktvertrieb von großformatigen, vorgefertigten Fassadenelementen, könnten Synergie-Effekte genutzt werden, um zukünftig auch Großaufträge abwickeln zu können.

Abb. 9 zeigt, in Analogie zu Abb. 8, die theoretischen Fassadenflächenpotentiale für die Gebäude aus den Jahren 1949 bis 1978. Insgesamt beträgt das Fassadenflächenpotential ca. 1,45 Mrd. m². Dieses teilt sich zu 1,0 Mrd. m² (73 %) auf die Wohnungswirtschaft und 450 Mio. m² (27 %) auf den Privatwohnungsbau auf. Geht man auch hier davon aus, dass abzüglich aller Unwägbarkeiten 4,0 % der Fassadenflächenpotentiale in großformatigen, vorgefertigten Fassadenelementen in Holztafelbauweise ausführbar sind, dann entspricht dies einem Potential von ca. 1,5 bis 1,7 Mio. m² Fassadenfläche. Bei durchschnittlich 170 m² Fassadenfläche je Gebäude handelt es sich um ca. 8.500 bis 9.000 Gebäude.

Die zukünftige Auftragslage schätzen 82 % der Unternehmen als gleichbleibend bis gut ein. Wir schlussfolgern daraus ein moderates Wachstum des relativen Marktanteils von jährlich 4,0 – 6,0 Prozentpunkten bis 2012. Das entspricht einer jährlichen Steigerung um ca. 6 bis 10 Bauvorhaben.

Wachstumsgebiete sind vor allem Baden-Württemberg, Bayern, Schleswig-Holstein und Niedersachsen.

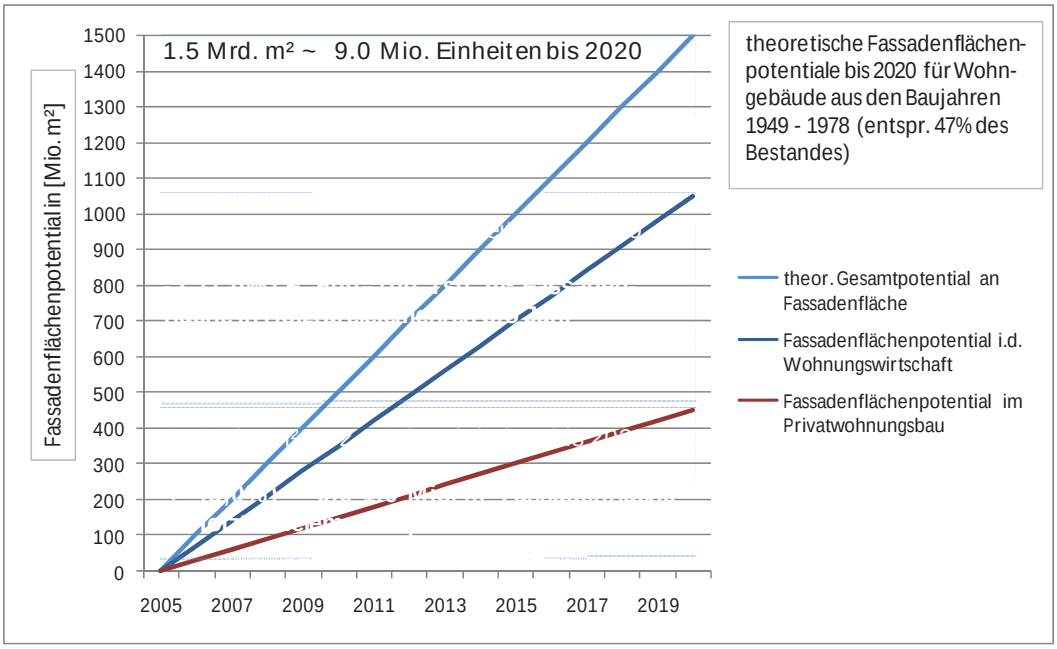


Abb. 9: Theoretische Fassadenflächenpotentiale bis 2020 für Gebäude aus den Baujahren 1949 bis 1978 [entspricht ~ 47 % des Bestandes, davon sind ~ 90 % < 7 Geschosse]

3.1.4 Sanierungen von Holzgebäuden zusammengefasst

Jedes zweite der 350 gütegesicherten (RAL-GZ422) Holzbauunternehmen führt energetische Sanierungen von Holzgebäuden durch. In der Summe sanieren diese Unternehmen etwa 280 bis 300 Holzgebäude pro Jahr. Bei größerer Marktnachfrage könnten sich fast alle (95 %) Unternehmen vorstellen, Sanierungen durchzuführen. Auch dieses Marktsegment wird überwiegend durch die kleineren bis mittleren Unternehmen, welche 10 bis 249 Mitarbeiter beschäftigen, bedient.

Das Marktsegment der Sanierungen von Holzhausbauten sollte als Einstieg in den Holzhausbaumarkt genutzt werden. Kleine Zimmereien, welche bislang keine eigenen Holzhäuser bauen, können sich in diesem Bereich spezialisieren und später selbst Häuser bauen. Sie könnten durch die gesammelten Erfahrungen Fachwissen erlangen, welches sie möglicherweise sonst erst durch die Sanierungen eigener Gebäude erhalten würden.

Weil 77 % der Unternehmen die zukünftige Auftragslage als gleich bleibend bis gut einschätzen, prognostizieren wir, dass dieses Marktsegment jährlich um moderate 2,5 bis 3,5 Prozentpunkte wachsen wird. Das sind jedes Jahr etwa 7 bis 11 Sanierungen mehr.

4 Schlussfolgerung und Thesen

Die gütegesicherten (RAL-GZ422) Holzhausbauunternehmen, welche bis zu 10 Mitarbeiter beschäftigen und bis zu 10 Gebäude pro Jahr fertigen können, müssen sich entscheiden, ob sie sich auf den Holzhausbau spezialisieren wollen oder ob sie nur gelegentlich ein Holzhaus bauen. Mit dieser Entscheidung ist eine Reihe von qualitätsbestimmenden Maßnahmen verbunden. Diese sollten bei der Entscheidung für den weiteren Ausbau der Produktion von Holzhäusern unbedingt berücksichtigt werden. Hinzu kommt, dass

der Markt für Holzhäuser nicht immer vor der eigenen Tür liegt. Damit verbunden sind notwendige Investitionen, die sehr gut durchdacht sein müssen. Erster Ansprechpartner sind die einschlägigen RAL-Gütegemeinschaften sowie die regionalen Bausparkassen. Sie können Auskunft über den Einstieg in den Holzhausbaumarkt bzw. über die Neubauquote je Baustoff in der Region geben.

Die gütegesicherten (RAL-GZ422) Holzhausbauunternehmen, welche 10 bis 49 Mitarbeiter beschäftigen und bis zu 40 bis 50 Gebäude pro Jahr fertigen können, liefern bislang regional sehr hochwertige Häuser. Sie werden dieses Marktsegment aber nur dann erfolgreich bedienen können, wenn sie durch ihre einzigartige Kundenbetreuung in der Region weiterhin bekannt bleiben oder werden. Bestes Marketing für diese Unternehmen ist die Kundenempfehlung. Diese Unternehmen sollten die regionale, demographische und wirtschaftliche Entwicklung ihrer Region bestens kennen.

Die gütegesicherten (RAL-GZ422) Holzhausbauunternehmen, welche 50 und mehr Mitarbeiter beschäftigen und zwischen 50 bis 700 Gebäude pro Jahr fertigen können, liefern ein breites Angebot an hochwertigen Häusern. Sie bedienen den anspruchsvollen Kunden genauso wie die breite Mittelschicht. Um die vorhandenen Kapazitäten weiter nutzen zu können, bedarf es zielgerichteter Marktstrategien. Jedes dieser Marktsegmente muss, aufgrund der soziodemographischen Entwicklungen in Deutschland, gut abgesteckt werden. Die Anbieter müssen sich deshalb regional auf die wirtschaftlich wachsenden Ballungsräume und / oder auf die ausländischen Wachstumsländer konzentrieren. Die Strategie, als Bauträger aufzutreten, kann in großen, dicht besiedelten Ballungszentren wie beispielsweise München, Düsseldorf, Stuttgart / Böblingen der Schlüssel zum Erfolg sein. Ab dieser Betriebsgröße spielt die Organisation des Betriebes eine wesentliche Rolle für den Erfolg des Unternehmens. Kaufmännische und technische Kompetenzen müssen gut verteilt werden. Ein Einzelner kann dem nur schwer gerecht werden.

Wenn mehrere spezialisierte Holzbauunternehmen gemeinsam den kommunalen und genossenschaftlichen Bauherren der Wohnungsbauwirtschaft ganzheitliche Sanierungsstrategien zur Modernisierung von Wohngebäuden anbieten, somit als Generalunternehmen (GU) auftreten, könnten die einzelnen Rubriken wohl am besten erschlossen werden. Dem entgegen stehen jedoch die notwendigen finanziellen sowie personellen Kapazitäten und nicht zuletzt die unbekannten Risiken eines GUs. Es zeigt sich jedoch, dass potentielle, größere Bauvorhaben, wie z.B. 7.000 m² Fassadenflächensanierung mit vorgefertigten und vorgehängten Fassadenelementen in Holzelementbauweisen, bislang nicht durch ein einzelnes Holzbauunternehmen abgewickelt werden konnten. Demnach geht es nur in Form von Kooperationen. Nur so können sich Dachaufstockungen und großflächige, vorgehängte Fassadenelemente in oder mit Holzbauweisen bei der Zielgruppe der Bauherren der Immobilien- und Wohnungswirtschaft weiter etablieren.

Abschließende Bemerkungen

Um zukünftig den erhaltenen Kenntnisstand zu pflegen empfiehlt es sich, weitere Umfragen mit den Verbänden und RAL-Gütegemeinschaften zu erarbeiten und Marktstudien durchzuführen. Ebenso empfehlen wir den bereits vorhandenen ifo-Geschäftsklimaindex „Fertigteil-Hochbau Einfamilien-Fertighäuser“ grundsätzlich auf mehrere Marktsegmente zu erweitern. Wir schlagen deshalb vor, einen Geschäftsklima-Index „Hochbau gütegesicherter Holzbau“ einzuführen.

Dieser sollte folgende Parameter monatlich abfragen:

- Beurteilung der Geschäftslage allgemein
- Bautätigkeit, Entwicklung im Vormonat
- Bautätigkeit, Behinderung aufgrund von
  - Arbeitskräftemangel
  - Materialknappheit
  - Witterung
  - Finanzierungsmangel
  - Auftragsmangel
  - Anderen Ursachen
- Auftragsbestand, Entwicklung Vormonat
- Beurteilung des Auftragsbestands Neubau
  - Ein-/Zweifamilienhäuser
  - Mehrgeschossige Wohngebäude
  - Büro-/Verwaltungsgebäude
  - Kindergärten/Schulen
  - Import
  - Export
- Beurteilung des Auftragsbestands Bauen im Bestand
  - Dachausbau
  - Dachaufstockungen
  - Anbauten / Verdichtungsbauten
  - Fassadenelemente
  - Sanierungen von Holzbauten
- Kapazitätsauslastung
- Baupreise, Entwicklung Vormonat
- Baupreise, selbstkostendeckend
- Bautätigkeit, Erwartungen für 3 Monate
- Baupreise, Erwartungen für 3 Monate
- Geschäftslage, Erwartungen für 3 Monate
- Geschäftsklima, Gesamtauswertung

Anhand dieser Informationen wäre es jederzeit möglich, die Branchenentwicklung in den wichtigsten Marktsegmenten zeitnah zu analysieren.

Quellen

[1] Quelle: Bundesamt für Statistik; Tabelle: FSTab3_2_2_2007, Baufertigstellungen nach überwiegend verwendetem Baustoff Holz 2007

[2] Sommer, B.: Bevölkerungsentwicklung bis 2050 – Annahmen und Ergebnisse der 10. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung, Wiesbaden: Wirtschaft und Statistik (8). 693-701, 2003

[3] Juliane, B., Effenberger K.-H.: Deutschland 2050 – Auswirkungen des demographischen Wandels auf den Wohnungsbestand, Dresden, 08/2006

[4] BBR - Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung: Bericht zur Inanspruchnahme der Eigenheimzulage in den Jahren 1996-2000, Bonn, 2002

[5] Waltersbacher, M.; Schürt, A.; Göbel, N.: Der Wohnungsmarkt: Raumordnungsprognose 2020 / 2050, Bonn, BBR-Berichte (23), 71-103, 2006

[6] Schlömer, C.: Die privaten Haushalte: Raumordnungsprognose 2020 / 2050, Bonn. BBR-Berichte (23), 39-55, 2006

[7] Jäger, Frank, P.: Weltpremiere Das erste Stadthaus ganz aus Holz, Berlin: Archikontext, 2007

[8] Arnold M., Jahnke K., Hoffmann E.: ZUFO – Zukunftsmärkte der Forst- und Holz-Kette, Arbeitsbericht 9: Berlin, 2007

[9] Wehner M., Bacher H.: Marktumfrage Holzbau bei Bauherren und Investoren, Holzbau der Zukunft, Teilprojekt 8: Rosenheim, 2007

1.2 Marketing

Marketing im Holzbau –Das Marketingverständnis der Klein- und Mittelunternehmen

Günter Berger, Otmar Bachler

40 Klein- und Mittelunternehmen im Bereich des Holzbaues in zwei Bundesländern von Österreich wurden zu Ihrem Marketingverständnis und den eingesetzten Marketinginstumenten befragt. Es sollte das vorherrschende Verständnis von Marketing in der Holzbaubranche erhoben und dokumentiert werden. Die ernüchternde Realität zeigt, dass manche Unternehmen geplant, viele Unternehmen intuitiv Marketingaktivitäten setzten, die Potenziale einer abgestimmten Vorgehensweise entsprechend der vier P's (Produkt, Preis, Placement, Promotion) von den Unternehmen noch nicht ausgenützt werden.

1 Einleitung

Marketing ist ein häufig gebrauchter aber auch missverstandener Begriff. Auch in der Holzbranche wird immer wieder auf die Defizite in der Vermarktung des Bau- und Werkstoffes Holz hingewiesen. Aktivitäten der Interessensvertretungen und von Promotionsorganisationen wie pro:Holz in Österreich oder dem Holzabsatzfond in Deutschlang sollen langfristig das Image des Werkstoffes verbessern, doch wie sehen die Verarbeiter, nämlich die Holzbaubetriebe dieses Konzept der Kundenorientierung, um am Markt erfolgreich zu sein?

Im Rahmen einer Umfrage wurden 40 Holzbaubetriebe aus Salzburg und Kärnten zu Ihrem Verständnis von Marketing und den entsprechenden Aktivitäten befragt [1].

Das grundsätzliche Konzept der abgestimmten Aktivitäten in den Bereichen der „4-P's" im Marketing (Product, Price, Placement, Promotion) ist als Übersicht der abgestimmten Handlungsmöglichkeiten bereits seit den 60er-Jahren des vergangenen Jahrhunderts bekannt. Viele Unternehmen legen aber auch heute noch den Fokus auf Produkte und Funktionalitäten, während der Kunde die Befriedigung seiner Bedürfnisse erwartet [2].

„Heute wird Marketing überwiegend als Ausdruck für eine umfassende Philosophie und Konzeption des Planens und Handelns gesehen, bei der – ausgehend von systematisch gewonnenen Informationen – alle Aktivitäten eines Unternehmens konsequent auf die gegenwärtigen und künftigen Erfordernisse der Märkte ausgerichtet werden, mit dem Ziel der Befriedigung von Bedürfnissen des Marktes und der individuellen Ziele." [3]

2 Die Kaufentscheidung

In einer gestützten Befragung sahen die Unternehmen die Merkmale des Produktes und die Qualität als die wichtigsten Bereiche in der Kaufentscheidung des Kunden. Abb. 1 zeigt in der Übersicht, dass als wichtigste Einzelnennung der Preis genannt wurde, während die Person des Verkäufers, die Serviceleistungen und die Werbeaktivitäten als nachrangig gesehen werden. Dieses Bild aus Sicht der Unternehmen muss jedoch aus Sicht der Verfasser differenziert betrachtet werden, da ein Großteil der Unternehmen die Teilaspekte alleinstehend betrachtete und die Integration der verschiedenen Teilbereiche zu einem gesamten und schlüssigen Marketing-Konzept nicht durchführte. Aktuell laufen weitere Befragungen, um die Entscheidungskriterien bei der (komplexen) Entscheidung im Holzbau differenzierter zu untersuchen.

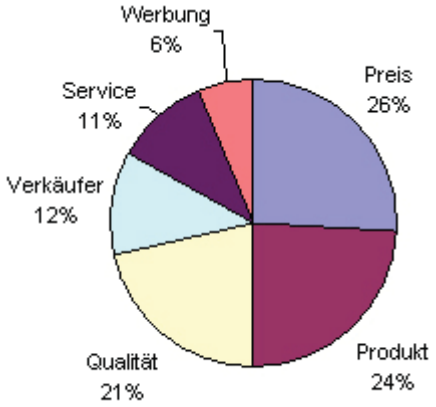


Abb. 1: Einflussgrößen für die Kaufentscheidung (n=40, Mehrfachnennungen möglich) [1]

3 Die Produktpolitik – Wodurch hebt man sich von der Konkurrenz ab?

Bei einer so komplexen Entscheidung wie dem Hausbau ist der Käufer stark gefordert und oft überfordert, die Argumente der verschiedenen Anbieter richtig einzuschätzen. Es wurden die Unternehmen nach den Eigenschaften und Eigenheiten befragt, die sie von der Konkurrenz unterscheiden – der unique selling proposition (usp).

Die am häufigsten genannte technische Qualität wird heutzutage vom Kunden prinzipiell als Hygienefaktor vorausgesetzt. In Unterscheidung dazu ist die vom Kunden wahrgenommene Qualität ein umfangreiches Gestaltungsfeld für die Betriebe.

Technische Einrichtungen wie CNC-Maschinen werden immer mehr zum Standard, als Unterscheidungsmerkmal eignen sie sich aus Sicht der Verfasser jedoch hauptsächlich für technisch orientierte Argumentationen, Kundenemotionen können damit nur bedingt adressiert werden. Man kann entsprechend der Literatur das Marktverständnis von vielen Holzbaubetrieben als produktions- oder produktorientiert festlegen, was bei aktuellen Marktbedingungen jedoch schwer zu Erfolg führt [4].

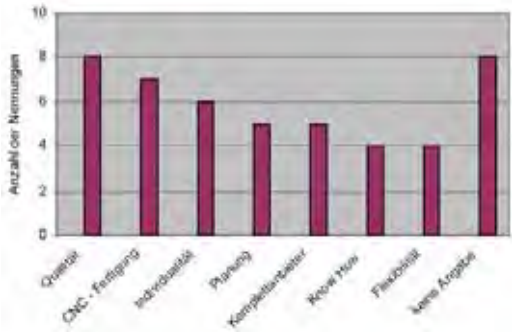


Abb. 2: Alleinstellungsmerkmale der Holzbaubetriebe (n=40, Mehrfachnennungen möglich) [1]

Die Individualität der Planung wird sowohl im Holzbau als auch von der Fertighausindustrie sehr oft als Argument strapaziert.

20 % der Unternehmen konnten auf die Frage, wodurch man sich von der Konkurrenz abhebt, keine Antwort geben. Diese fehlende Profilierung erschwert auch die Orientierung für den potenziellen Kunden.

4 Preispolitik

67 % der Unternehmen geben an, im „durchschnittlichen Preissegment“ zu agieren. 30% der Unternehmen sehen sich als eher/ oder hochpreisig, 3 % der Unternehmen agieren „günstig oder zu Kampfpreisen“.

Nur sehr wenige Unternehmen nutzen die Chance, sich preislich zu profilieren, sprich von der Konkurrenz bewusst zu unterscheiden. Es gäbe sowohl die Option einer Premium-Strategie, nämlich von Preisen über dem Mitbewerb als auch von Kampfpreisstrategien, deren Erfolg jedoch auch von entsprechenden Produktionsmöglichkeiten abhängig ist.

Der durchschnittliche Auftragswert der errichteten Häusern unterscheidet sich zwischen ca. 60.000 bis 80.000 € bei kleiner Unternehmen und 120.000 bis 150.000 € bei größeren Unternehmen.

Bereiche, in denen gegenüber der Konkurrenz Preisvorteile für den Kunden geboten werden, sehen ein Drittel der Unternehmen in der Produktionsweise, 20 % im Produkt, 10 % in Eigenleistungen für den Kunden und 5 % in günstigeren Personalkosten. 30% können keine Preisvorteile bieten, 7,5 % lieferten keine Angaben.

Der Preis wird als das wichtigste Argument in der Kaufentscheidung gesehen, aber zwei Drittel der Unternehmen orientieren ihre Preispolitik hauptsächlich am Mitbewerb.

5 Placement – die Vertriebswege

92% der Unternehmen verkaufen überwiegend durch den Chef, nur 8 % überwiegend durch Verkäufer. Der Vorteil des direkten Kontaktes mit dem Kunden gegenüber den Vertriebsystemen der Fertighausindustrie muss betont werden, jedoch könnten auch Cluster-Konzepte eines gemeinsamen Vertriebes verschiedener Anbieter angedacht werden, um einen breiteren Kundenkreis zu erreichen.

6 Promotion – die Kommunikation

Hauptinstrument der Kommunikation ist die Mundpropaganda (98 %) Nennungen, gefolgt von Messen (53 %), Internet (48 %) jedoch hauptsächlich von den größeren Unternehmen genannt.

Der Erstkontakt wird von 86% der Unternehmen durch Mundpropaganda hergestellt, eine aktive Gestaltung und ein Ausbau dieser sehr authentischen und glaubwürdigen Form der Kommunikation kann Chancen auch für Klein- und Mittelunternehmen bieten.

7 Der Marketing-Mix

Der geplante und koordinierte Einsatz von Aktivitäten in den vier gerade erläuterten Bereiche ist der Kern des Marketing-Ansatzes. Die Erhebung bei den Unternehmen in der Branche brachte jedoch ein differenziertes Bild. Als geplanten Marketingaktivitäten für das nächste Jahr wurden überwiegend nur Kommunikationsaktivitäten genannt. Die Hauptnennungen waren Veranstaltungen und Printmedien, während Aktivitäten im Internet, Rundfunk und Außenwerbungen vereinzelt auch noch genannt wurden.

Ein Marketingkonzept kann jedoch nur erfolgreich sein, wenn die vielfältigen Tätigkeiten des Unternehmens genau auf einander abgestimmt sind. Dies wurde von keinem der befragten Unternehmen konsequent durchgeführt.

Ein Drittel der befragten Unternehmen sieht kein Verbesserungspotenzial im eigenen Marketing, ein Fünftel äußerte sich nicht zu dazu. Das größte Verbesserungspotenzial wird in der Kommunikation gesehen.

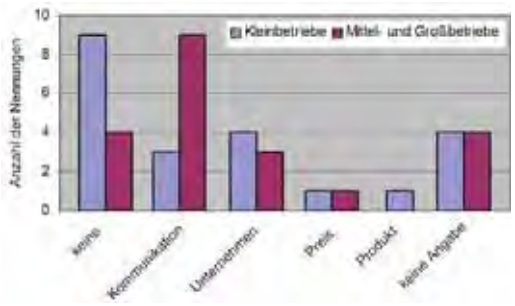


Abb. 3: Verbesserungspotenziale des eigenen Marketings (n=40, Mehrfachnennungen möglich)

Das Marketing-Budget der Holzbaubetriebe ist im Vergleich zu ausgewählten Fertighausbetrieben sehr niedrig. Pro verkauftem Haus wird durchschnittlich ca. 500 € für das Marketing aufgewendet, wobei die verglichenen Fertighausbetriebe zwischen vier- und zehnmal so viel in das Marketing investieren.

8 Fazit

Die Möglichkeiten und Chancen des Marketings werden von den untersuchten Betrieben nur be-

dingt ausgenützt. Besonders in Zeiten des verstärkten Wettbewerbs wird es für die Unternehmen immer wichtiger, von einer Technik- und Produktorientierung sich hin zur umfassenden Kundenorientierung weiterzuentwickeln. Es bestehen in allen Bereichen des Marketingmix viele bekannte Handlungsmöglichkeiten, die auch von Klein- und Mittelunternehmen umgesetzt werden können. Eine Stärkung der Marketing-Kompetenz der Unternehmen könnte strategisch sowohl ein Wettbewerbsvorteil für die Unternehmen sein als auch für die Einsatzmöglichkeiten des Werkstoffes Holz vorteilhaft sein.

Die Unternehmen könnten Alleinstellungsmerkmale hervorheben, die sowohl in unterschiedlichen Produkten und deren Eigenschaften, in einer unterschiedlichen Preispolitik, über vielfältige Vertriebswege oder durch Kommunikationsaktivitäten sich ergeben. Erfolgreich können solche Aktivitäten sein, wenn ein abgestimmtes Agieren der verschiedenen Bereiche des Marketings im Betrieb umgesetzt wird.

Quellen

[1] Bachler, O. (2005): Marketing im Holzbau. Diplomarbeit Studiengang Holztechnik und Holzwirtschaft der Fachhochschule Salzburg

[2] Kotler,P., Amstrong, G., Saunders, J., Wong, V.(2003): Grundlagen des Marketing Grundlagen des Marketing, 3. Auflage, München. S. 191ff.

[3] Weis, H. C. (2004): Marketing, 13. Auflage Ludwigshafen(Rhein). S. 19.

[4] Kotler, P., Bliemel, F.(2006) Marketing Management. Analyse, Planung und Verwirklichung. 10. Auflage, München. S. 29ff.

1.2 Marketing
Die Bedeutung der Fachinformation für die Planer und der allgemeinen Information für die Bauinteressierten

Ludger Dederich

1 Voraussetzungen

Die Notwendigkeit der Bereitstellung von allgemeinen Informationen für Bauinteressenten und von Fachinformation für Baufachplaner rund um das Planen, Bauen, Wohnen und Arbeiten mit Holz beruht auf zwei zentralen Aspekten:

- Überwindung von Vorbehalten und Ausgleich von Wissensdefiziten sowie
- Schaffung von Zutrauen und Sicherheit im Sinne der Gewährleistungsverantwortung der Planer bzw. im Sinne des Verbraucherschutzes für Bauinteressenten.

Verknüpft mit diesen beiden Maßgaben zur Konzeption und Umsetzung einer auf Kontinuität angelegten, zentralen Kommunikation pro Holz und seiner Verwendung im Bauwesen sind die Aufgaben des Holzabsatzfonds. Nicht von ungefähr heißt es daher in § 2 des Holzabsatzfondsgesetzes, dass dieser den Absatz und die Verwertung von Erzeugnissen der deutschen Forst- und Holzwirtschaft durch Erschließung und Pflege von Märkten im In- und Ausland mit modernen Mitteln zentral zu fördern habe [1]. Und allein schon vor dem Hintergrund, dass die modernen Kommunikationsmittel einem beständigen Wandel unterworfen sind, lässt sich daraus der entsprechende Bedarf ableiten.

Da im Bausektor mehr als 60% der Produktionsmenge der Forst- und Holzwirtschaft abgesetzt werden, bedürfen allerdings die im Bausektor Aktiven einer spezifischen Ansprache im Sinne eines Dialogs auf gleicher Augenhöhe zur Schaffung des für Planer notwendigen Zutrauens in die ihm angebotenen Informationen.

2 Beeinträchtigungen

Globaler Hintergrund ist, dass sich Holz als der einzige im großen Maßstab verfügbare nachwachsende Bau- und Werkstoff gegenüber konkurrierenden Rohstoffen nur dann behaupten kann, wenn die positiven Holzeigenschaften stärker herausgearbeitet und für die am Bau Beteiligten aufbereitet sowie parallel dazu weitere Einsatzbereiche im Bauwesen erschlossen werden. Gleichzeitig muss im Umkehrschluss aus dem Bausektor „herausgehört“ werden, welche konzeptionellen Entwicklungen sich dort abzeichnen, auf die der Baustoff Holz mit eigenständigen Lösungen und Angeboten im Sinne von Forschung und Entwicklung reagieren kann bzw. muss. Dabei zeigt der aktuelle internationale Abgleich mit den Situationen in Regionen wie Skandinavien oder Nordamerika, aber auch mit Österreich und der Schweiz, dass dort die Akzeptanz des Bauens mit Holz ungebrochen viel größer ist als hierzulande, so dass die Kommunikation mindestens auch unvermindertem Niveau erforderlich ist, um in Deutschland das Bauen mit Holz alltäglicher zu machen, gilt es doch, eine neue Holzkultur zu schaffen.

Dazu zählt, strategisch Möglichkeiten aufzubauen und Ergebnisse zu vermitteln, die einer sich ändernden, da natürlichen Bedingungen unterworfenen Rohstoffbasis zuzuschreiben sind. Denn angesichts der verschiedenen entwickelten Klimaszenarien liegt bereits heute deutlich zu Tage, dass zukünftig vertraute Holzarten weniger, gleichzeitig bislang im Bauwesen nicht übliche Holzarten mehr Bedeutung zukommen wird. Als Konsequenz aus Katastrophenereignissen (Sturmschäden) wurden bereits in den zurückliegenden zwei Jahrzehnten unter Berücksichtigung der für die Forstwirtschaft notwendigen langen Produktionszeiträume verstärkt Laubhölzer angepflanzt. Deren Bestand nimmt mittlerweile 41 % der Waldfläche [2], aber nur 5 % der Schnittholzproduktion in Deutschland ein. Somit sind neben den Entwicklungen dahingehend, für Laubholzarten das Anwendungsspektrum im Holzbau zu erweitern, Vorbereitungen zu treffen, Multiplikatoren wie Planer und Lehrende, aber eben auch

Bauinteressenten darauf einzustimmen, dass Laubhölzer in heute noch unvorstellbaren Bereichen des Bauwesens und des Holzbaus zur Anwendung kommen werden – ohne dass die dazu notwendige Akzeptanz zu Lasten von Zutrauen und Sicherheitsbedürfnissen erfolgt.

3 Vorurteile

Bis dahin gilt, zumal uns augenblicklich alle Bereiche unserer Gesellschaft als nachhaltig verkauft werden, die unvermindert bestehenden Beeinträchtigungen und Nachteile des Baustoffs Holz aufzulösen. Diese bestehen ungeachtet des Umstandes, dass die Deutschen eine starke emotionale Bindung zum Holz und seinem Produktionsstandort, der ‚Fabrik Wald', haben. Hinsichtlich letzterem ist die Haltung aber ebenso von einer gewissen Sorge geprägt, die von falschen Annahmen ausgeht. So haben entgegen der landläufigen Annahme, die Waldfläche im Bundesgebiet wäre kleiner geworden [3], in Deutschland seit den 1980er Jahren die Holzvorräte zugenommen [4]. Dabei ist die verbreitete Skepsis hinsichtlich der wirtschaftlichen Nutzung der Wälder nicht unwesentlich auf die kontinuierliche und negative Berichterstattung in den Medien zur Zerstörung etwa der tropischen oder borealen Urwälder zurück zu führen [5].

Darüber hinaus prägen im Bauwesen Vorurteile den Umgang mit dem Baustoff Holz. Sicherlich, es ist nicht von der Hand zu weisen, dass Holz ein brennbarer Baustoff, anfällig für Insektenbefall und bei gegenüber Feuchtigkeitseinwirkung empfindlich ist. Angesichts der Verantwortung, die die am Bau Beteiligten bei der Umsetzung von Investitionsentscheidungen jeweils auf sich nehmen, bedarf es an dieser Stelle erheblichen Zutrauens, sich in diesen Fällen für den Baustoff Holz zu entscheiden.

Wohl kann man den oben genannten Nachteilen durch geeignete Maßnahmen wie der Bereitstellung qualitativ hochwertiger Vollholzprodukte, mittels konzeptionellem wie konstruktiv vorbeugendem Brandschutz und konstruktivem Holzschutz entgegenwirken, doch haben sich ungeachtet der in den zurückliegenden Jahrzehnten geleisteten Entwicklungs- und Informationsarbeit sowohl in der Bevölkerung wie in bautechnischen Fachkreisen die Vorbehalte nur unverhältnismäßig aufgelöst.

Beispielsweise konnte bislang nicht den Vorstellungen, Holz verfüge nur über eine ungenügende Tragfähigkeit und auch die schallschutztechnischen Eigenschaften von Holzbauteilen würden nicht annähernd den geforderten Standards entsprechen können, nicht in ausreichend erfolgreichem Maße begegnet werden. Zudem wird Holz und Holzbauten – und nicht nur aus Kreisen der Immobilienwirtschaft oder –kreditwirtschaft - eine nur geringe Lebensdauer bzw. Werthaltigkeit zugesprochen [6].

4 Nachteile

Im Gegensatz zu anderen Baustoffe wie Stahl oder Beton ist Holz ein natürlicher Baustoff mit inhomogener Zusammensetzung und individuellen Materialeigenschaften, so dass der Baustoff Holz nicht ohne Weiteres an die jeweiligen Anwendungserfordernisse und Bedürfnisse angepasst werden kann. Das Planen und Bauen mit Holz erfordert daher mehr planerische Grundkenntnisse, Wissen um die und Erfahrung mit den mechanisch-technischen Eigenschaften und Möglichkeiten hinsichtlich der Be- und Verarbeitung sowie der konkreten Umsetzung, um den bautechnischen wie baurechtlichen Anforderungen entsprechen zu können. Somit ist es eine Grundvoraussetzung für die Sicherung und besser noch die Verstärkung der Verwendung von Holz im Bauwesen, den Planern und Bauschaffenden das notwendige Wissen und die erforderliche Sicherheit abgestimmt, praxisbezogen, über-

betrieblich und authentisch anzubieten bzw. zu vermitteln.

Da der Holzbau an den Hochschulen mit bautechnischen Fachrichtungen (Architektur und Bauingenieurwesen) im Vergleich zu den konkurrierenden Baustoffen nur bedingt vermittelt wird, damit nur ein kleiner Teil der Studierenden mit fundiertem wissen um Holz und den zeitgemäßen Holzbau ins Berufsleben eintritt, muss die fachtechnische Kommunikation als ergänzendes Angebots an die Lehre auf allen ebenen ausgebaut werden. Denn schließlich sind die Studierenden von heute die Entscheidungsträger und Multiplikatoren von morgen.

Ein Stück weit ist die grundsätzliche Benachteiligung des Baustoffs Holz gegenüber den konkurrierenden Baustoffen historisch bedingt. Während bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts auch in Deutschland die Realisierung von Baumaßnahmen in Holzbauweise in größerem Umfang in Holz üblich gewesen ist, wurde Holz in Folge der Industrialisierung und insbesondere durch das Erstarken der Konkurrenzbaustoffe in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts aus den ihm eigenen Verwendungsbereichen verdrängt. Von daher denkt hierzulande ein Bauherr - im Gegensatz zur Haltung in den USA, Kanada oder Skandinavien – im Vorfeld einer investiven Bauentscheidung spontan an die Massivbauweise. Zusätzlich verschärft wird die Situation dadurch, dass, wie Studien belegen, Architekten ihren Bauherren im Zuge deren Entscheidungsfindung häufig von der Holzbauweise abraten. Selbst zunächst mit dem Holzbau sympathisierende Bauherren werden auf diese Weise dazu bewegt, sich für eine der konventionellen Bauweisen zu entscheiden. Diese Vorgehensweise der Architekten beruht nicht unwesentlich auf ihren Kenntnisdefiziten hinsichtlich des Holzbaus und seiner zeitgemäßen Ausprägung. Die Ursache für die Defizite liegen in der bereits angesprochenen nur geringfügigen Vermittlung von Holzbauwissen in den bautechnischen Studiengängen begründet. Da holzbaukompetente Architekten und Ingenieure innerhalb der jeweiligen Berufsgruppen nur Minderheiten darstellen, ist die Wahrscheinlichkeit, dass ein holzbauwilliger Bauherr auf einen solchen Planer trifft, gering.

Zwar konnte auch aufgrund der zentralen Kommunikation pro Holz die Holzbauquote seit 1990 von 7 % auf etwa 14 % heute gesteigert werden, doch liegt dieser wert nach wie vor deutlich unter der Quote anderer Länder. Dabei ist belegt, dass eine Holzbauquote von 40 % im Bereich der EFH möglich wäre [7].

Die Feststellungen im Bezug auf den Sektor der EFH gelten in ungleich umfassenderem Maße für die mehrgeschossigen Wohn- und Bürogebäude wie für den Industrie- und Gewerbebau. Bei letzterem liegt die aktuelle Holzbauquote unterhalb von 3 %, was um so problematischer ist, als dass perspektivisch aufgrund der anstehenden demographischen Entwicklung von einer deutlichen Reduzierung der Bautätigkeit im Wohnungsbau auszugehen ist [8].

Nicht zuletzt bedarf es einer zentralen Kommunikation bzw. Informationsbereitstellung, da die Forst- und Holzwirtschaft in Deutschland im Wesentlichen klein- und mittelständig strukturiert ist. Daher kann einerseits ein einzelnes Unternehmen keine flächendeckende (d.h. bezogen auf die Planer wie die Bauinteressenten), sondern maximal regional eigene Werbung bewerkstelligen – und schon gar keine vorwettbewerblichen Markthemmnisse beheben -, andererseits ist es besonders angesichts der Haftungsverantwortung der Planer notwendig, technische Entwicklungen und Informationen abgestimmt, d.h. im Zuge eines Diskurses unter den verschiedenen Branchengruppen wieder und wieder erörtert, vorzuhalten und anzubieten. Zudem spielt im Diskurs techni-

scher Entwicklungen die aus überbetrieblichen Erwägungen vorzunehmende Einbindung der obersten Bauaufsicht eine nicht zu unterschätzende Rolle, da diese in Projekte eingebunden ist, um den übergeordneten Schutzzielen Rechnung zu tragen, was wiederum vertrauensbildend mit Blick auf die Zielgruppen wirkt.

5 Instrumente

Die in diesem Sinne eingesetzten und wirkungsvollen Instrumente sind

- das Aufklärungs- und Informationsangebote für die Endverbraucher sowie
- das Angebot des INFORMATIONSDIENST HOLZ für die Fachzielgruppen.

In der Ansprache der Bauinteressierten geht es einerseits darum, „Lust“ auf das Bauen und Wohnen mit und in Holz zu machen, während gleichzeitig darauf hingewirkt wird, den tradierten Vorbehalte auf nachvollziehbare Art und Weise zu begegnen. Dazu gehört, den Sinn und die Notwendigkeit einer wirtschaftlichen Waldnutzung mit den sich daraus ergebenden positiven Nebeneffekten für die Gesellschaft (von Klimaschutz bis hin zur Naherholung) zu kommunizieren. Im Übergang zur Ansprache der Fachzielgruppen ist es bezogen auf das Sicherheits- und Vertrauensbedürfnis der Bauinteressenten vonnöten, die entsprechende Kommunikation bzw. Informationsvermittlung vorwettbewerblich und überbetrieblich aufzustellen.

Letztere Qualität ist mit Blick auf die Erwartungen der am Bau Beteiligten zentral, da es hierzulande im Bauwesen keine Produkt-, sondern nach wie vor die persönliche Haftung des Planers gegenüber seinem Auftraggeber gibt. Daher ist es äußerst wichtig, dass über den INFORMATIONSDIENST HOLZ als der zentralen Plattform zur fachtechnischen Kommunikation der deutschen Forst- und Holzwirtschaft nur entsprechend abgestimmte und aufbereitete, belastbare Informationen den Planern zur Verfügung gestellt wird. Die Darstellung der fachtechnischen Inhalte als überbetriebliche, die daraus folgende Interpretation als dem Stand der Technik schafft das für die Planer notwendige Zutrauen. So werden die Inhalte der praxisorientiert ausgelegten Publikationen des INFORMATIONSDIENST HOLZ in der Regel von praktizierenden Planern für ihresgleichen verfasst, sind die Regionalen Fachberater als in eigenen Büros tätige Architekten und Ingenieure in ihren Aussagen gegenüber den beratenen Kollegen glaubwürdig, da sie wie diese in gleicher Haftungsverantwortung stehen, ist die Betreuung der Zentralen Fachberatung nicht an ein Callcenter, sondern an ein Ingenieurbüro mit erheblicher Holzbaukompetenz vergeben.

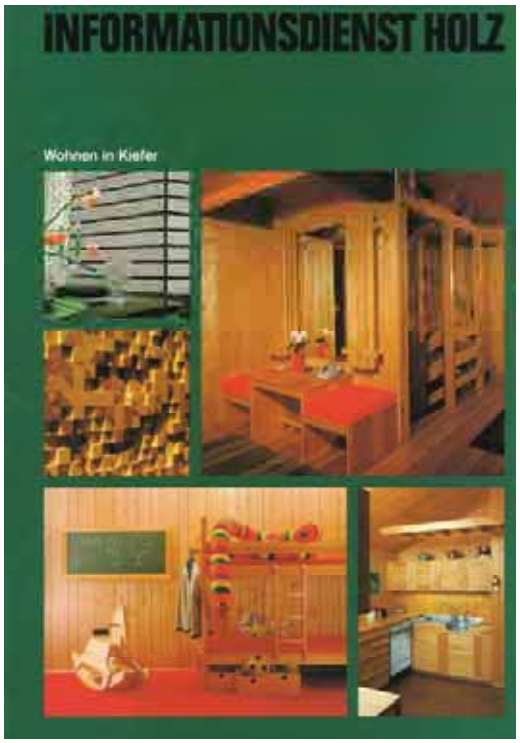


Abb. 1: Beispiel für die emotionale Kommunikation pro Holz zur Ansprache von Endverbrauchern aus den 1980er Jahren, Repro: Dederich

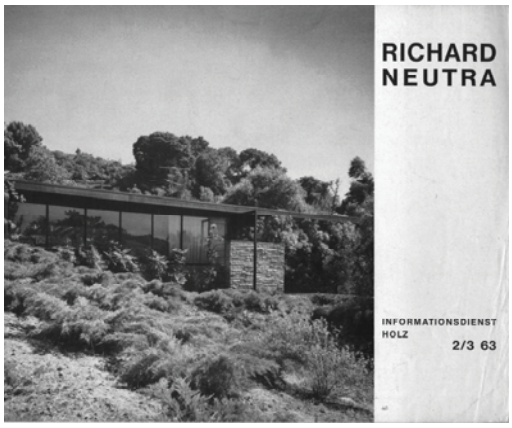


Abb. 2: Beispiel für die fachtechnischen Kommunikation pro Holz zur Ansprache bautechnischer Entscheidungsträger aus dem Jahr 1963, Repro: Dederich

6 Fazit

Vor diesem Hintergrund ist die auf Fakten und wissenschaftlicher Zuarbeit basierte, kontinuierlich fortzuführende fachtechnische wie allgemeine Kommunikation gegenüber so konkreten Akteuren wie den Architekten und Ingenieuren, der Bauaufsicht wie den bautechnischen Vertretern institutionellen Investoren, den bautechnisch Lehrenden wie Lernenden, Baustoffproduzenten wie Ausführenden, aber nicht minder den Bauherren unerlässliches Instrument. Dieses zielt darauf ab, allen das notwendige Maß an Sicherheit zu geben, dass das eigene Tun mit den sich daraus ergebenden Verbindlichkeiten fordert, um eine Position pro Holz oder mit Holz treffen zu können.

Quellen

[1] Gesetz über den Holzabsatzfonds (Holzabsatzfondsgesetz – HafG) vom 6. Oktober 1998, zuletzt geändert am 26. Juni 2007

[2] Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Bundeswaldinventur, Bonn 2006

[3] IFAK-Institut, „Imagebarometer“ Forst und Holz, Taunusstein 2008

[4] Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Bundeswaldinventur, Bonn 2006

[5] Gross, J., Sonst kommen wir auf keinen grünen Zweig, in: Frankfurter Allgemeine Sonntagszeitung, 22. Februar 2009, Frankfurt

[6] Kompetenzzentrum, „kostengünstig qualitätsbewusst Bauen“ im IEMB, Lebensdauer von Bauteilen und Bauteilschichten, Berlin 2003

[7] Roland Berger Forschungsinstitut für Markt- und Systemforschung, Image und Zukunftsperspektiven des Zimmerer- und Holzbaugewerbes in Bayern und Umgebung, München 2001

[8] Knauf, M., Mantau, U., Die Holzbauweise im Industrie- und Gewerbebau, Bielefeld Celle 2008

1.2 Marketing
Holzbau und Architektenwettbewerbe

Arnim Seidel

1 Einleitung

Architektenwettbewerbe sind fachliche Leistungsvergleiche, durch die der Auslober alternative Entwürfe für anspruchsvolle Bauaufgaben erhält. Der Architekt beteiligt sich an diesem Prozedere, um mit einer überzeugenden Leistung den Planungsauftrag zu erhalten. Zunehmend müssen auch Fachplaner wie z.B. Bauingenieure eingebunden werden.

Alle Wettbewerbsverfahren werden bundesweit einheitlich durch die GRW 1995 – Grundsätze und Richtlinien für Wettbewerbe auf den Gebieten der Raumplanung, des Städtebaues und des Bauwesens – geregelt. Mit Wirkung vom 1.1.09 hat das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung vereinfachte Richtlinien für Planungswettbewerbe (RPW 2008) für den Bundesbau verbindlich eingeführt und die Behörden der Länder wie auch den kommunalen Bereich gebeten, ebenfalls die RPW 2008 anzuwenden. Diese Richtlinien lösen aller Voraussicht nach die bisherige Wettbewerbsvorschrift GRW 1995 ab.

Die Richtlinien bieten unterschiedliche Wettbewerbsabläufe und Verfahrensformen für spezifischen Aufgaben an, so etwa Ideen- oder Realisierungswettbewerbe, offene und nichtoffene Wettbewerbe, zweiphasige oder kooperative Verfahren. Alle Verfahren sind öffentlich-rechtlich gesichert; die Landesarchitektenkammern haben die Aufgabe, bei der Regelung und Förderung des Wettbewerbswesens mitzuwirken.

Wettbewerbe werden in der Regel durch den Bauherrn veranstaltet. Das kann neben kommunalen Gebietskörperschaften jedes Unternehmen und auch jede Privatperson sein. Gerade private Bauherren haben in Zeiten zunehmender Konkurrenz erkannt, dass der Wettbewerb Innovationen fördert und z.B. die Firmenidentität unnachahmlich nach außen vermittelt.

Von jedem Wettbewerbsteilnehmer werden die gleichen Leistungen verlangt, um sie fair miteinander vergleichen zu können. Ein unabhängiges Preisgericht prüft, bewertet und urteilt. Ihm gehören Fachpreisrichter – meistens bau- und wettbewerbserfahrene Architekten – sowie Sachpreisrichter an, die vor allem die Interessen des Auslobers vertreten. Das Qualitätsurteil wird vom Preisgericht in einem demokratischen Verfahren gefällt. Es berücksichtigt gestalterische, wirtschaftliche, funktionale, technische und ökologische Aspekte.

Im Normalfall wird der von der Jury empfohlene Entwurf des Erstplatzierten realisiert. Meistens werden für die ersten Plätze Preisgelder ausgelobt. Die vom Wettbewerbsteilnehmer erbrachten Leistungen gehen rechtlich auf den Auslober über und stehen zu seiner freien Verwendung.

Abb. 1: 1. Preis WBW Nettersheim

2 Die Festlegung des Baustoffes

Vorab ist zu sagen, dass die Realisierung der meisten Holzbauten nicht auf Architektenwettbewerbe zurückzuführen ist. Entweder zeichnen holzbauaffine Bauherren verantwortlich, die ihren Auftrag direkt vergeben, oder Architekten, die ihre Bauherren von der Sinnfälligkeit eines Holzbaus überzeugen.

Architektenwettbewerbe werden in der Regel ohne verbindliche Vorgaben für Baustoffe oder Bauweisen ausgelobt. Die Bauherren erwarten von den teilnehmenden Architekten einen Entwurf, der in organisatorischer, gestalterischer, technischer und wirtschaftlicher Hinsicht überzeugt. Die Beantwortung der Frage nach dem Baustoff soll sich im Idealfall aus der individuellen Disposition des Bauwerks ergeben, die für die geforderte Aufgabe entwickelt wurde.

Zielen Architektenwettbewerbe auf die reine Entwicklung von Vorentwürfen, werden ohnehin keine genauen Aussagen zum Konstruktionsmaterial getroffen. Sind allerdings durch den Auslober einzuhaltende Kostenbudgets für den Entwurf vorgegeben, so ist eine Kostenschätzung zu erstellen, die zumeist ohne Festlegung auf das Konstruktionsmaterial nicht auskommt.

Bei nicht baustoffgebundenen Wettbewerben ist es natürlich besonders erfreulich, wenn sich der Entwurf eines Holzbaus gegen andere Entwürfe mit konkurrierenden Baustoffen durchsetzen kann. Nicht unerwähnt sollte bleiben, dass bei einigen Großprojekten der ursprünglich im Wettbewerb favorisierte Baustoff nach der Ausschreibung aus Kostengründen (durch fallende bzw. steigende Baustoffpreise) geändert worden ist.

Grundsätzlich ist es zulässig, in einer Wettbewerbsauslobung die überwiegende Verwendung eines konstruktiven Baustoffs wie Holz zur Teilnahmevoraussetzung zu erklären. Entscheidend ist dabei, dass der Auslober ein nachvollziehbares Motiv für diesen Schritt hat – seien es rein technische oder nutzungsbezogene Gründe oder auch ökologische Motive des Bauherren.

Die Einflussnahme auf Materialvorgaben zugunsten des Baustoffs Holz im Rahmen eines Architektenwettbewerbs sollte sich also immer zuerst an den Auslober richten.

Beabsichtigt der Bauherr mit Holz zu bauen und schreibt dies in der Auslobung fest, fühlen sich nicht nur holzbauerfahrene Architekturbüros angesprochen, sondern auch holzbaufremde Planer, die eine gute Gelegenheit sehen, sich auf das für sie ungewohnte Material einzulassen – letzterer Effekt ist im Sinne der Holzbauförderung von großer Bedeutung.

Alle an Wettbewerben teilnehmenden Architekten sind Multiplikatoren, die sich aktuelles Wissen über den Holzbau aneignen, Firmenkontakte knüpfen und durch ihre Wettbewerbsbeiträge – auch wenn sie nicht zu den Preisträgern gehören – Anstöße für Kollegen geben. Die Veröffentlichung von Wettbewerbsentscheidungen über Ausstellungen oder die Fachpresse (z.B. „Wettbewerbe aktuell“ oder www.competitionline.de) wird von Architekturbüros, die sich regelmäßig an Wettbewerben beteiligen, mit großem Interesse verfolgt. Gerade jüngere Büros versuchen sich, über Wettbewerbe Aufträge zu verschaffen und können so an den Holzbau herangeführt werden.

3 Wettbewerbsmonitoring

Zur systematischen Erschließung von Marktpotenzialen verfolgt die Holzwirtschaft in einigen Bundesländern ein sogenanntes Bautenmonitoring. Über Presseberichte zu geplanten Bauvorhaben oder öffentliche Ausschreibungen werden Bauherren oder bereits beauftragte Architekten proaktiv über die für die Bauaufgabe sich anbietenden Möglichkeiten des Holzbaus aufgeklärt. Diese Aufgabe obliegt den regionalen Fachberatern des Informationsdienst Holz oder den Landesbeiräten Holz, sollte aber auch von Holzbau-Unternehmen wahrgenommen werden.

Die Methode lässt sich auf ein Monitoring von Wettbewerben ausweiten. Ausgangspunkt dafür können auch hier Presseberichte über Bauvorhaben oder Beratungen in Gemeinderatssitzungen sein. Entscheidend ist, potenzielle Bauherren

noch vor Bekanntgabe eines Wettbewerbs für den Baustoff Holz zu gewinnen und so auf die Auslobungsinhalte einzuwirken. Wie schon bei dem Bautenmonitoring bietet sich hier die Möglichkeit, nicht nur mit Hilfe institutionell geförderter Aktivitäten, sondern durch Engagement aus der Branche selbst für den Baustoff einzutreten.

4 Wettbewerbssponsoring

Realisierungswettbewerbe, bei denen der Baustoff Holz von Beginn an Teilnahmebedingung ist, stellen bisher noch eine Ausnahme dar. Um dies etwas gebräuchlicher werden zu lassen, könnte ein Wettbewerbssponsoring Hilfestellung bieten.

Abb. 2: WBW Neumünster

Als gelungene Maßnahme für die unmittelbare Förderung des Holzbaus erwiesen sich zwei Realisierungswettbewerbe, die im Jahr 2008 die Gemeinde Nettersheim in Nordrhein-Westfalen und die Hallenbetriebe Neumünster in Schleswig-Holstein ausgelobt haben – ein kommunaler und ein privater Bauherr. Beiden Ausschreibungen lag die zwingende Vorgabe zugrunde, die geforderten Gebäude in Holzbauweise zu planen. Teilgenommen haben je 25 Architekturbüros, die über Erfahrungen bei Planung und Bau von Holzbauwerken verfügen und dies anhand von Projektreferenzen nachweisen konnten.

Diese Wettbewerbe kamen durch finanzielle Unterstützung der Deutschen Bundesstiftung Umwelt und des Holzabsatzfonds zustande. Beide Einrichtungen erwarteten – mit unterschiedlichen Motiven, aber einem gemeinsamen Ziel – die Entwicklung innovativer Konstruktionen, die Modellcharakter für andere Projekte haben.

Trotz der gelungenen, mit Preisen ausgezeichneten Arbeiten war nicht zu übersehen, dass selbst renommierte Architekturbüros Baulösungen vorstellten, die den technischen Anforderungen an ein beispielgebendes Holzbauwerk nicht immer standhielten. Es zeigte sich, dass der übliche, knapp bemessene Zeitrahmen wie auch die nicht auskömmlichen Preisgelder die intensive Auseinandersetzung mit der „Materie Holz“ bremsten. Ein Grund ist sicher, dass für die meisten Architekturbüros die Bearbeitung eines Wettbewerbs ein betriebswirtschaftliches Wagnis darstellt.

Als Fazit muss jedoch festgehalten werden, dass die finanzielle Unterstützung den beiden wettbewerbs- wie auch holzbauunerfahrenen Bauherren den entscheidenden Impuls gaben, einen Wettbewerb mit einem klaren Bekenntnis zum Baustoff Holz auszuloben und die anstehenden Bauaufgaben dementsprechend zu realisieren.

5 Neue Kriterien für Wettbewerbe

Eine große Chance, den Anwendungsbereich des Baustoffs Holz auszuweiten, ergibt sich durch die steigenden Anforderungen an nachhaltiges und energieeffizientes Bauen. Der im Wohnungsbau immer häufiger geforderte Passivhaus-Standard befördert die Verwendung hochwärmegedämmter Bauteile in Holzbauweise vornehmlich in der Außenhülle. Passivhäuser sind in Holzbauweise preiswerter und effektiver zu errichten als in allen anderen Bauweisen.

Aus vielen Wettbewerben im Wohnbau, bei denen hohe Energiestandards als eine Maßnahme nachhaltigen Bauens zu realisieren waren, gingen ohne konkrete Materialvorgabe Objekte in Holz-

bauweise als Sieger hervor. Da die Vorgaben noch weiter steigen, ist also zu erwarten, dass der Holzbau nicht nur in diesem Segment immer wichtiger werden wird. Hier ist noch Aufklärung der Bauherren gefragt, die Vorbehalte gegenüber dem Holzbau und demzufolge Schwierigkeiten haben, sich mit der für Sie verbindlichen Preisgerichtsentscheidung anzufreunden.

Abb. 3: Umweltbundesamt Dessau

Ein gelungenes Beispiel der jüngsten Vergangenheit stellt der Wettbewerb für das Umweltbundesamt in Dessau dar, bei dem ein Verwaltungsgebäude für 800 Beschäftigte unter höchsten Anforderungen an Nachhaltigkeit und Energieeffizienz zu entwickeln war. Es wurden keine Forderungen an die zu verwendeten Baustoffe gestellt. Zur Realisierung kam der Entwurf des Büros sauerbruch hutton aus Berlin. Er sah eine Mischbauweise vor, bei der die Fassaden außen wie innen im überdachten Atrium als Bauelemente in Holzbauweise konzipiert waren.

1.2 Marketing
Holzbau und Studentenwettbewerbe

Studenten- / Ideenwettbewerb „ZUKUNFT HOLZ“

Wettbewerb

Um im Rahmen des Projektes zukunftsfähige Ideen und Entwürfe bekannt zu machen, schrieb das Institut für Holzbau der Hochschule Biberach einen Stegreif Studenten-/Ideenwettbewerb „ZUKUNFT HOLZ“ aus. Der Grund hierfür lag darin, dass wir der Meinung sind, dass das Know-how, die Einschätzungen und vor allem die unverbrauchten Ideen und Visionen der Studentinnen und Studenten phantasiereiche, unkonventionelle und innovative Arbeiten hervorbringen, was durch die nachfolgenden Arbeiten eindrücklich bestätigt wurde.

Teilnahmeberechtigt waren Studentinnen und Studenten aller Fachrichtungen an Hochschulen, Fachhochschulen und Akademien im deutschsprachigen Raum, wobei Einzel- oder Gruppenarbeiten zugelassen waren.

Hintergrund

Der Reichtum an unterschiedlichen Möglichkeiten der Holzverarbeitung bietet seit jeher einen abwechslungsreichen und variablen Einsatz des Materials Holz für das Bauwesen. Über die Entwicklung bekannter Konstruktionen und Systeme hinaus können mit diesem Material neue, zeitgemäße und innovative Einsatzformen geschaffen werden. Durch unterschiedliches Fügen und Verbinden der Grundelemente des Werkstoffes Holz galt es in diesem Wettbewerb den Einsatz von Holz und seiner Nebenprodukte zu festigen, gegebenenfalls neu zu definieren und zu gestalten.

Ideen und Entwürfe

Bei den einzureichenden Arbeiten sollte die Auseinandersetzung mit dem Werkstoff Holz deutlich erkennbar sein. Die Vielfalt der Ideen und Entwürfe konnte sich die auf alle Bereiche der Holzanwendung beziehen. Gesucht wurden Ideen, die den Werkstoff Holz und dessen Produkte in innovativer Weise einsetzen. Gestalterische, konstruktive und technologische Lösungen waren möglich.

Bewertungskriterien

Die Jury bewertete sowohl Arbeiten, die in der Praxis umsetzbar sind, als auch Ideen, die Potential für die Umsetzung in naher oder ferner Zukunft bieten. Phantasiereiche und unkonventionelle Arbeiten wurden in gleicher Weise, unabhängig vom Ausarbeitungsgrad, bewertet. Bewertet wurde in erster Linie der Innovationsgrad der eingereichten Arbeiten.

Auslober

Institut für Holzbau, Hochschule Biberach
Karlstraße 11
88400 Biberach / Riss

Jury
Prof. Dipl.-Ing. Peter Cheret, Architekt
Vorsitzender der Jury
Universität Stuttgart

Dipl.-Ing. Norbert Baradoy, Architekt, Regionaler Fachberater Informationsdienst Holz, Tübingen

Dipl.-Ing. (FH) Thomas Deines
Ministerium für Ernährung und Ländlichen Raum Baden-Württemberg, Stuttgart

Dipl.-Ing. (FH) Carola Scheytt
Ministerium für Ernährung und Ländlichen Raum Baden-Württemberg, Stuttgart

Prof. Dipl.-Ing. Kurt Schwaner, Bauingenieur
Institut für Holzbau, Hochschule Biberach

Prof. Dipl.-Ing. Gerhard Bosch, Architekt
Institut für Holzbau, Hochschule Biberach

Vorprüfung
Dipl.-Ing. (FH) Johannes Sessing, Architekt
Dipl.-Ing. (FH) Karen Spanninger, Architektin

Preisträger Preisgruppe 1

Holzschindelpaneel
Abele Peter, Schieber Roman
Universität Stuttgart

Landpoint
Eberhard Eric, Hochschule Biberach

Lebendiger Steg
Fischer Patrick, Fachhochschule Dortmund

Behausung auf Zeit
Herzog Julia, Müller Thomas
Hochschule für Technik Stuttgart

EuroSpar Reutte
Schauer Julia, Prader Renate, Mark Pia
Leopold Franzens Universität Innsbruck

Palettenhaus
Schnetzer Andreas Claus, Pils Gregor
Universität Wien

sväng
Sunder Stephan, Fachhochschule Dortmund

nemus concept.bike
Tarancewski Robert, Zimprich Dominique, Ziege Julian, Hochschule für Kunst und Design Burg Giebichstein Halle (Saale)

Lobende Erwähnung

multiStap
Lindner Frank, Stahl Sebastian
Leibnitz Universität Hannover

Bug – Skulptur
Esterbauer Stefan, Kunstuniversität Linz

minimum Bett
Rieser Florian Elias, Hochschule für Kunst und Design Burg Giebichstein Halle (Saale)

Flat Flat – Bett
Weickenmeier Anne, Hochschule für Kunst und Design Burg Giebichstein Halle (Saale)

3-D Holzwandverkleidung
Märker Ferdinand, Hochschule Biberach

Holzschindelpaneel
P. Abele, R. Schieber, Universität Stuttgart

Das Produkt
Im Rahmen des Seminars „Holz“ am IBK1 der Universität Stuttgart haben wir ein Holzschindel - Paneel entwickelt, das universell als Außenhaut für Fassade und Dach verwendet werden kann.

Produktion
Im Gegensatz zu herkömmlichen Holzschindeln wird unser Produkt - wie es einst Konrad Wachsmann forderte - vollautomatisch im Werk vorgefertigt. Die Paneele werden in verschiedenen Größen und Holzarten (z.B. Lärche, Douglasie, Weißtanne) hergestellt, um die Gestaltungsfreiheit und Individualität der Gebäude sicherzustellen. Ausgangsmaterial für die Schindel sind Bretter mit stehenden Jahrringen, Holz das häufig als „Abfallholz“ übrig bleibt, da es für tragende Konstruktionen nicht geeignet ist. Diese Bretter werden zu großen, homogenen, astreinen Brettern keilgezinkt; anschließend gebürstet, zu Brettern gesägt und gefast. Die fertigen Schindeln werden auf die Unterkonstruktion „geschossen“.

Fügung - Klick, Klack, Fertig!
Fügung und Montage könnte einfacher nicht sein. Die Elemente werden an die Fassade gehängt; horizontal werden die Elemente lediglich zusammengeschoben; sodass sich die einzelnen Schindeln gegenseitig überlappen. Das jeweils obere Paneel überlappt das untere; somit entsteht eine homogene Fläche, die sich über das gesamte Gebäude zieht. Die einzelnen Elemente sind nicht mehr sichtbar.

Details
Hinterlüftung muss überall gewährleistet sein. An First und Traufe verhindert ein dezentes Blech das Eindringen von Wasser. Gelangt dennoch Regenwasser hinter das Paneel, wird dieses von der darunterliegenden Schicht hinter dem Fassadenelement nach unten geleitet. Überstehende Schindeln eines Paneels z.B. oberhalb eines Fensters werden vor Ort abgesägt und unterhalb des Fensters wieder angebracht, ohne dass „Abfall“ entsteht. Damit bleibt die Lagigkeit an jeder Stelle erhalten. Bei Gebäuden mit Satteldach benötigt man oben an der Giebelseite abgeschrägte Elemente – hier werden die Elemente ebenfalls einfach passend zugeschnitten. Zuvor müssen lediglich die einzelnen Schindeln von hinten an einer parallel zur Schnittkante verlaufenden Holzleiste fixiert werden.

Würdigung der Jury
Die Idee aus sogenanntem „Abfallholz“ eine nachhaltige Außenhaut für Dach und Fassade zu entwickeln, wird von der Jury gewürdigt. Aus einem traditionell-handwerklichen Produkt der Schindel wird sowohl hinsichtlich der Herstellung als auch in der Verarbeitung ein industrielles Produkt. Die hohe Präzision und die schnelle Montage der vorgefertigten Fassadenelemente an der Baustelle lassen eine hohe Marktakzeptanz erwarten. Insgesamt wurde ein stimmiges System entwickelt, das nicht nur theoretisch durchdacht ist, sondern auch seine Umsetzbarkeit nachweist.

Landpoint
E. Eberhard, Hochschule Biberach

Ideenfindung
Der Brettstapel – ein Motiv welches Sinnbild für die Baukultur und Wirtschaft alpenländischer Gegenden sein kann. Die Idee für diesen Wettbewerb war, einen Punkt zu kreieren welcher – bezugnehmend auf die alpenländische Tradition des Holzbaus – einen Akzent in dieser Landschaft setzen soll. Dieser Bau – ein kraftvoller und zugleich schlichter Holzstapel – soll neugierig machen und zum Verweilen einladen.

Organisation
Das Gebäude hat eine dem ankommenden Betrachter zugewandte Hauptseite und drei untergeordnete Rückseiten. Über ein kleines vorgelagertes Podest erschließt der Besucher das Innere des 19 m hohen Aussichtsturmes.

So wie das Holz ein ehrliches Material ist, so will die Konstruktion ebenso ehrlich sein. Die sich abwechselnden Schichten aus Lattung und Konterlattung bilden Scheiben, die sich aufeinander gestapelt und verschraubt zu einem Turm addieren. Die innere Treppe entwickelt sich konsequenterweise ebenfalls nur aus den geschichteten Brettern. Auch im Kontext mit der umliegenden Landschaft will dieser Entwurf für das Material Holz sensibilisieren.

Die verschiedenen Witterungsverhältnisse wie Schneefall, Regen, Wind oder Sonne lassen das Holz sprechen. Die Wetterseite ergraut. Das Holz bekommt eine Patina. Ehrlichkeit in Bezug auf Materialität kann auch bedeuten, Alterungsprozesse und Vergänglichkeit bewusst zu zeigen.

Würdigung der Jury
Holz bestimmte schon immer Bauweise und Gestaltfindung im alpenländischen Raum. Der kraftvolle, architektonisch beeindruckende Entwurf des überdachten, 19 Meter hohen Aussichtsturms steht im Kontext dieser Tradition und demonstriert mit dem Motiv des „Bretterstapels“ an fiktivem Standort sinnbildhaft die baukulturelle und wirtschaftliche Bedeutung des Baustoffs über die Region hinaus.

Konstruktion und Fügung des Bauwerks berücksichtigen die Aspekte des einfachen Stapelns und der Werthaltigkeit; der Alterungsprozess der Holzoberflächen durch Witterungseinflüsse ist kalkuliertes, landschaftsgerechtes Gestaltmerkmal.

Mit der Arbeit ist es dem Verfasser in überzeugender Weise gelungen, die hohen Qualitäten des nachhaltigen, zukunftsfähigen Baustoffs Holz darzustellen.

Lebendiger Steg
P. Fischer, Fachhochschule Dortmund

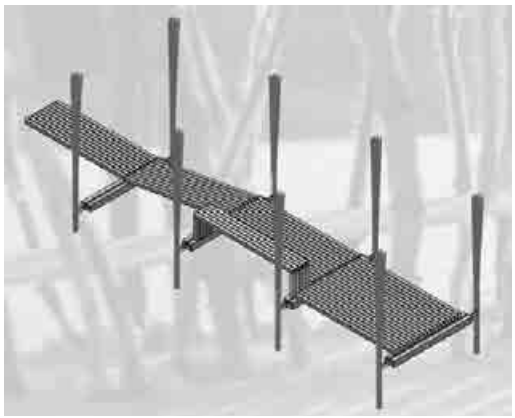
Idee / Leitgedanke

Die Grundidee besteht darin, eine lebende Struktur mit einer gebauten „toten" Struktur zu verbinden und die positiven Eigenschaften der erstgenannten konstruktiv und gestalterisch sinnvoll zu nutzen.

Im Vergleich zu konventionellen Tragwerken, die durch Verschleiß, Umwelteinflüsse und Materialfehler etc. nur eine begrenzte Lebensdauer aufweisen, optimieren sich lebende Tragwerke mit der Zeit sogar selbstständig.

Konstruktion

Das Tragwerk und die Fundamente des Steges bestehen aus ca. 5-6 m langen, zusammengebundenen Weidenbündeln. Diese werden anfangs als „Stecklinge" ca.100 cm in den Boden gesteckt, bevor sie bereits einige Monate später anfangen Wurzeln zu schlagen. Der Steg hat eine Länge von 150 m. Diese enorme Länge unterliegt einem Konstruktionsraster mit einem Achsmaß von 3 m in Längsrichtung. Zwischen den Tragweiden befinden sich jeweils zwei Trägerbalken. Die gelenkige Lagerung in Längsrichtung wird durch Bolzen gewährleistet, die in den Trägerbalken eingelassen sind. In Querrichtung sorgen dafür Bolzen in der Edelstahlkonstruktion. Durch die Gelenkigkeit werden die Höhenunterschiede der Stegabschnitte aufgenommen, aber auch das ständige Wachsen bzw. Arbeiten der Weiden und der Holzbalken zugelassen. Das Edelstahlbauteil ist eine Kombination aus Rundstäben und Flachstählen. Die Spannweite der Trägerbalken beträgt 2,30 m. Die Balken der Laufebene sind 2,95 m lang und liegen in Laufrichtung auf den Trägerbalken auf. Durch einen rechteckigen, eingenuteten Edelstahlstab können die Balken in beliebiger Anzahl modulweise zusammengefügt und von unten verschraubt werden. Die Befestigung auf den Trägerbalken geschieht durch punktuelle Verschraubungen von oben. So ist eine schnelle Montage bzw. Demontage sichergestellt.



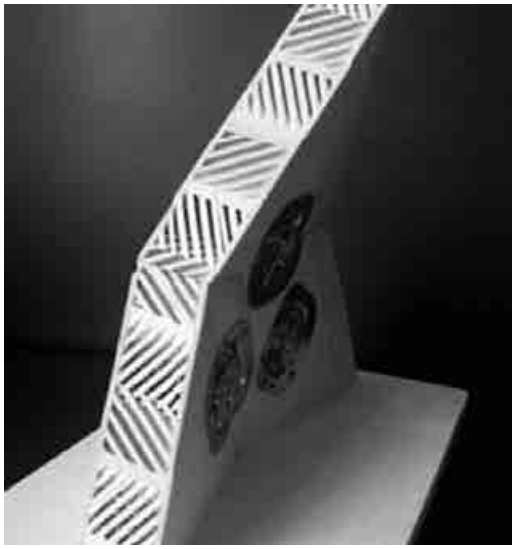
Würdigung der Jury

Der Verfasser versucht seine Idee vom „Lebendigen Steg" durch das Zusammenbringen einer lebenden mit einer künstlichen Struktur zu verwirklichen. Bei dieser Arbeit geht es nicht um die technische Funktion einer Brücke, sondern um einen Steg, der den Nutzer zwingt, in der natürlichen Umgebung seinen Gedanken und Empfindungen nachzugehen. Die außerordentlich zurückhaltende Einbindung in eine sensible Seenlandschaft zusammen mit der Verknüpfung von ökologischer und zugleich zukunftsorientierter Bauweise ist preiswürdig. Der Auslober würde sich eine Realisierung wünschen.

Behausung auf Zeit
J. Herzog, T. Müller, HFT Stuttgart

Aufgabenstellung
Entwurf und Konstruktive Durchbildung einer Behausung auf Zeit, nach Naturkatastrophen für vier Personen mit einer Grundfläche von ca. 16-20m^2. Die Materialien für Tragwerk und den Ausbau sind frei wählbar. Die Behausung muss ausreichend isoliert und gedämmt sein. Transport und Montage der Behausung sind ebenfalls zu bearbeiten.

Entwurfsgedanke
Für den Transport stehen Flugzeug, Schiff, LKW, PKW, Lastentier oder der Mensch zu Verfügung. Die Einzelteile des Iglus (Basismaterial Dendro-Light) sind auf den Menschen abgestimmt, d.h. eine Person könnte die Dreiecke übereinander stapeln und somit das Iglu, welches sich wie ein Fußball aus Fünf– und Sechsecken zusammensetzt, alleine aufbauen.



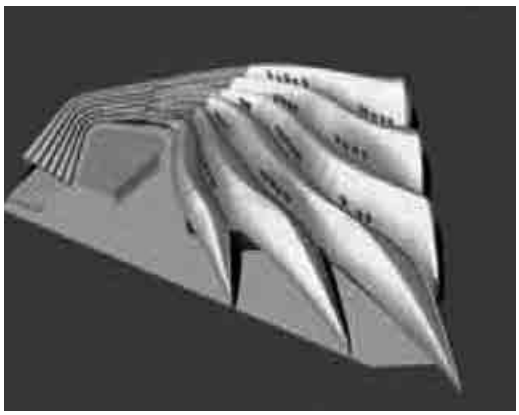
Das Iglu kann in mehreren Stufen ausgebaut werden. In der ersten Stufe, wird ein Basismodul mit Bodenplatte geliefert, welches den Bewohnern ein Dach über dem Kopf bietet, in den weiteren Ausbaustufen können einzelne Dreiecke durch Solarmodule oder Fenster ausgetauscht werden, es ist auch angedacht weitere Iglus miteinander zu verbinden oder das Iglu durch Anbauten zu erweitern.

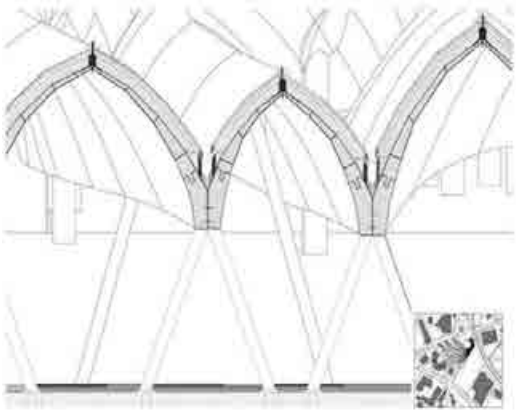
Die Montage und Demontage der einzelnen Dreiecke funktioniert über einen Butterflyverschluß, der sehr einfach zu bedienen ist. Um die Einfachheit des Aufbaus zu gewährleisten sind die einzelnen Dreiecke mit unterschiedlichen Profilen, farblichen Markierungen und Winkeln umrahmt, so dass nur die Teile zusammenpassen die auch zusammengehören.

Würdigung der Jury
Nach Naturkatastrophen sind die Behausung und die Versorgung der Bevölkerung das primäre Problem. Hilfsgüter müssen schnellstmöglich vor Ort zur Verfügung stehen. Bezogen auf bauliche Strukturen ist dies der Grundparameter für die Modularität von Komponenten, allen voran das Transportmodul und das physische Modul. Ein Iglu aus flächigen Elementen in leichter Holzkonstruktion kann die elementaren Anforderungen gut lösen. Zum einen ist die Bauform einer Halbkugel wegen der im Vergleich zum Volumen geringen Hüllfläche bestens geeignet, sich den unterschiedlichsten Klimazonen anzupassen. Zum anderen ist ein Baukasten mit standardisierten Fügungen entwickelt, dass selbst komplexe Gebilde von ungelernten Arbeitskräften rasch aufgebaut werden können. Die Fragen der Fundierung und der Dichtigkeit sind zwar nicht abschließend geklärt, jedoch sind der Entwurfsansatz und die konstruktive Idee schlüssig.

EuroSpar Reutte
P. Mark, R. Prader, J. Schauer, Universität Innsbruck

Dünnwandige Holzschalen als Tragprinzip
Das Funktionsprinzip des Dachsystems basiert auf dem Tragprinzip dünnwandiger Schalen, deren Spannungsoptimierung und Formgenerierung durch ein Schalenprogramm übernommen wird (Dome Design). Ausgangsmaterial dieser Schalenkonstruktion ist Parallam, welches auf ein textiles Trägergewebe aufgeklebt ist. Der gesamte Herstellungsprozess verläuft flächeneben und benötigt keinerlei Rüstung. Nach Anheben der Flächenelemente mittels Kran werden diese in vorbereitete Holzbinder montiert. Dadurch stellt sich die gewünschte räumliche Form ohne Zwischenunterstützung ein. Das System stabilisiert sich durch Fugenschluss und überträgt zunächst Normalkräfte in die Auflager, wodurch ein stabiler Montagezustand erreicht wird. Durch Einspannung der Auflagerpunkte sowie das Einbringen einer Vorspannkraft wird die Biegesteifigkeit des Systems hergestellt. Die Aufbringung einer Deckschicht in Form einer glasfaserverstärkten Epoxytharzschicht führt zur gewünschten Schubsteifigkeit und Schalenwirkung.



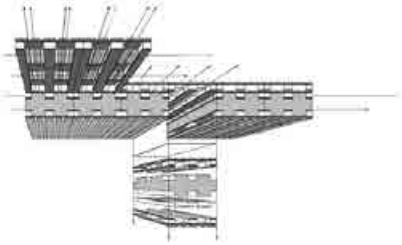


Würdigung der Jury
Supermärkte am Stadtrand sind im Allgemeinen problematische Gebäude. In zumeist heterogenem Umfeld gelegen, der ökonomischen Effizienz und dem funktionalen Pragmatismus dienend, gelten architektonische Gestaltung und Atmosphäre bestenfalls als schmückendes Beiwerk. Nicht so beim Entwurf der drei Innsbrucker Studentinnen für den Eurospar in Reutte. Aus den Standards der inneren Funktionen und aus dem direkten Bezug zum gewachsenen Ort entwickeln sie die Gestalt des Gesamtkomplexes. Das Ergebnis ist eine expressive Gebäudeskulptur als spektakuläres Wegzeichen. Die Verwendung und der Einsatz des Baustoffs Holz sind bemerkenswert. Das Bauprinzip zur Überdeckung der Hallenkonstruktion sind dünnwandige Holzschalen als Komposit aus Furnierstreifenholz und textilem Traggewebe. Vom Ordnen der funktionalen Zusammenhänge über computergenerierte Formfindung bis hinein in die Fertigungstechnik der ebenflächigen Elemente ist der Entwurf in bemerkenswerter Qualität durchgearbeitet. Es werden nicht nur die technologischen Potenziale des Holzbaus aufgezeigt, sondern auch die dem Material innewohnende Ästhetik.

Palettenhaus
A.C. Schnetzer, G. Pils, Universität Wien

Programm
Paletten dienen als standardisiertes Transportmittel von Waren, weshalb sie weltweit genormt und erhältlich sind. Die Palettenmaße sind auf verschiedenste Transportmittel wie Schiffscontainer, Bahnwaggons bzw. LKW-Ladeflächen optimiert. Die Palette als Baustoff verhindert lange Transportwege, da diese weltweit produziert bzw. gehandelt wird.

Lage Infrastruktur
Die einfache Struktur des Gebäudes, welche sich durch die standardisierten Abmessungen der Paletten ableitet, ermöglicht unterschiedlichste Nutzungen. Es besteht die Möglichkeit sich an die aktuellen Gegebenheiten des Ortes anzupassen.
Somit entsteht ein Objekt mit einer breit gestreuten Nutzungsvielfalt. Das Palettenhaus als low cost building funktioniert nicht nur als Wochenendhaus für den Stadtbewohner sondern auch als Teil eines Flüchtlingslagers, oder als ein Wohnhaus in Slums.

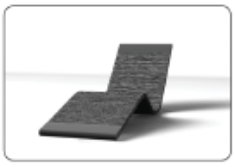


Material
Durch die Verwendung von 800 gebrauchten Europaletten als Grundstruktur sowie der Einsatz von Zellulose als Dämmmaterial kann das Gebäude als sehr ökologisch und nachhaltig bezeichnet werden. Die Verwendung anderer Materialien wurde auf ein Minimum reduziert. Der Baustoff Europalette dient nicht nur als Tragstruktur sondern auch als Fassaden bzw. Begrenzungselement der Dämmebene sowie als Trägerebene für diverse Folien. Weiters bietet die Palette als Bauelement den Vorteil, dass sie sowohl als Sicht-, als auch als Sonnenschutz eingesetzt werden kann. Die Zwischenräume der Paletten dienen auch als Installationsebene für diverse Leitungen und Belichtungskörper.

Heizungskonzept
Durch das Dämmen des Gebäudes in den Zwischenräumen der Europaletten ist eine sehr geringe Heizleistung erforderlich. Diese geringe Heizlast kann durch ein Lüftungs- & Kompaktgerät erreicht werden. Dieses Gerät dient nicht nur zum Heizen sondern ermöglicht auch eine kontrollierte Frischluftzufuhr und eine natürliche Abkühlung der Raumluft im Sommer.

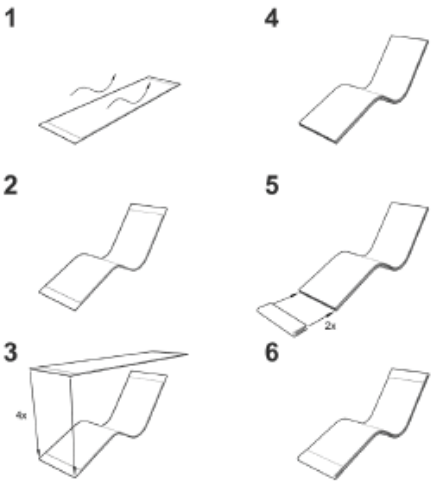
Würdigung der Jury
Das Palettenelement zwingt zu einfachen Strukturen, die sich dementsprechend überall problemlos anpassen. Die weltweit zu findenden genormten Paletten werden in unterschiedlichen neuen Nutzungsmöglichkeiten beim Bauen eingesetzt, vom Niedrigenergiegebäude in Europa, als Zeltersatz in Katastrophengebieten oder als „Ersthaus“ in den Spontansiedlungen der Megacities. Passend zum einfachen Grundmodul der Palette haben es die Autoren verstanden, mit einfachen örtlichen Ergänzungsmaterialien den jeweiligen Anforderungen an Konstruktion und Bauphysik Rechnung zu tragen. Die Jury würdigt die Idee, mit einem eigentlich baufremden Massenprodukt ein so großes Anwendungsspektrum aufgezeigt zu haben.

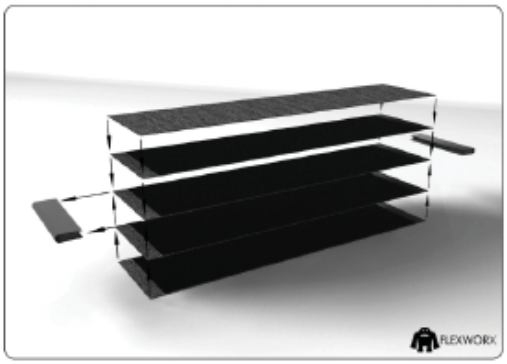
sväng
S. Sunder, Fachhochschule Dortmund



Montageanleitung:

Bild 1 • Schicht 1 in die gewünschte Form biegen
Bild 2 • Form halten und fixieren
Bild 3 • Schicht 2-5 an einem Ende der Schicht 1 ansetzen und in Form biegen
Bild 4 • Klett gut andrücken
Bild 5 • Endstücke zur Sicherung der Schichten fixieren
Bild 6 • Fertig





Würdigung der Jury

Es wurde ein verblüffend einfaches, jedoch umso überzeugenderes System aus Sperrholz, Klettband und Silikonprofil entworfen, durch das die unterschiedlichsten Möbelformen herstellbar sind.

Die dünnen Sperrholzplatten lassen sich in nahezu beliebige gekrümmte Formen bringen. Durch die Addition mehrer Platten, jeweils durch Klettbänder verbunden, fixiert sich die Form und ein Silikonprofil bildet den schützenden Randabschluss.

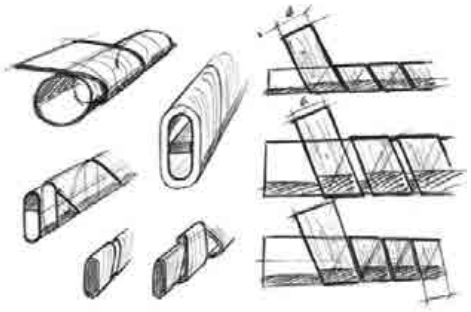
Das einfache, ästhetische und kostengünstige System ist prädestiniert für Möbelmitnahmemärkte, der Name sväng bringt das System schon in die Nähe einer Möbelhauskette.

nemus concept bike

R. Taranczewski, D. Zimprich, J. Ziege
Hochschule für Kunst und Design Halle (Saale)

Bei unserem Projekt „nemus concept.bike" geht es um die Konstruktion sowie die Umsetzung eines Fahrradkonzeptes mit ökologischem Hintergrund. In diesem wollen wir auf die Nachhaltigkeit sowie auf die Problematik des Leichtbaus mittels Naturwerkstoffen eingehen.

Die Holzrohre bestehen aus einzelnen Furnierlagen, welche zunächst um einen Kern gewickelt und anschließend unter hohem Druck miteinander verklebt werden. Nach dem Entformen ergibt sich aus den verpressten Lagen ein Holzrohr, welches nicht nur leicht ist, sondern auch enorm belastbar. Zusätzlich zeichnet sich dieses durch sehr positive Eigenschaften gegenüber bisherigen im Fahrradbau verwendeten Materialien aus. Das Verbundrohr besitzt sehr gute Dämpfungseigenschaften, gerade durch die Verwendung von Esche, welches an sich bereits ein flexibles, aber dennoch festes Holz ist, und somit ideal zum Bau von schwingungsbelasteten Teilen wie z.B. Fahrradrahmen oder anderen Sportgeräten geeignet ist. Des Weiteren ist das Bruchverhalten im Falle eines Versagens weitaus günstiger als bei Kohlefasermaterial.



Recycling

Durch die Verwendung von Bioharz anstelle des sonst üblichen Epoxydharzes, besteht die Möglichkeit, nach erfolgreicher Trennung der zwei verwendeten Materialien, die Holzrohre CO_2-neutral zu verbrennen sowie das Aluminium einzuschmelzen und in den Stoffkreislauf zurückzuführen. So entsteht keinerlei Restprodukt, was dem Sinn der Nachhaltigkeit entspricht.

Nachhaltigkeit

Bei unserer Studie arbeiten wir stets mit dem Gedanken an die Gesamt-Ökobilanz. Das heißt, dass wir insbesondere Rücksicht auf die Ressourcen nehmen. Wir verwenden ausschließlich einheimische Hölzer und versuchen deshalb auch die uns unterstützenden Firmen nach ihrer Philosophie auszuwählen.

Würdigung der Jury

Die eingereichte Arbeit beschäftigt sich mit der Problematik des Leichtbaues mittels nachhaltigen, natürlichen Werkstoffen. Mit der Entwicklung eines Fahrrad-Prototypen, dessen Rahmenkonstruktion aus Holzrohren besteht, ist den Verfassern ein bemerkenswerter Beitrag gelungen.

Die beim Fahrrad exemplarisch verwendeten Rohre bestehen aus mit Bioharz verklebten Eschenholz-Furnierstreifen. Durch intelligente Fertigungsweise entstehen Verbundrohre mit überzeugenden Festigkeitseigenschaften und bilden leichte, hoch belastbare Elemente mit beachtlichem Potenzial für breite Anwendungsgebiete z.B. im Bauwesen.

Als eine Alternative zu den üblichen Glas- und Kohlefaserverbundwerkstoffen verdient die Lösung hohe Anerkennung.

Eingereichte Arbeiten

Insgesamt wurden 33 Arbeiten aus Österreich, Schweiz und Deutschland eingereicht. Die Inhalte der Arbeiten erstrecken sich vom Industriedesign bis hin zu großvolumigen Holzbauwerken.

Das bewegte Tragwerk
Reus Andreas, Hochschule Biberach
Kletterhalle
Hormann Jan, Fachhochschule Aachen
Dynamisches Gittertragwerk
Graner Sina, Hochschule Biberach
EuroSpar Reutte
Schauer Julia, Prader Renate, Mark Pia
Leopold Franzens Universität Innsbruck
Mobiles Baukastensystem
Böhmer Teresa , Heinz Carolin, Jarvis Ann-Sophie
Hochschule Karlsruhe Technik und Wirtschaft
energy_tube
Popfinger Beate, Hochschule Augsburg
houses on demand
Hoke Ulrich, Lange Martin; FH Augsburg
Wohnanlage zur Seetreppe
Zapf Elisabeth, Technische Universität Dresden
Haus in Systembauweise
Rutenfranz Hannes, Bauhaus-Universität Weimar
Landpoint
Eberhard Eric, Hochschule Biberach
TubeHouse
Bayer Katharina, Klemmer David
Fachhochschule Joanneum Graz
Palettenhaus
Schnetzer Andreas Claus, Pils Gregor
Universität Wien
Bambuspavillon
Haupt Alexandra, FH Weihenstephan
multiStap
Lindner Frank, Stahl Sebastian
Leibnitz Universität Hannover
Pavillon aus Holzstangen
Mannes Norbert, FH Weihenstephan
Behausung auf Zeit
Herzog Julia, Müller Thomas
Hochschule für Technik Stuttgart
Pavillon Dresden
Panier Stefan; HTW Dresden
Schutz in der Muschel
Teske Miriam, FachH Weihenstephan
Lebendiger Steg
Fischer Patrick, Fachhochschule Dortmund
Bug – Skulptur
Esterbauer Stefan, Kunstuniversität Linz
Pavillons LGA Neu-Ulm
Singer Bettina, Fachhochschule Augsburg
Bahnschwellen-Recycling
Genctuerk Korkut, Hochschule Biberach
landscape – framework
Struckmann Felix, Fachhochschule Dortmund
Holzschindelpaneel
Abele Peter, Schieber Roman, Univ. Stuttgart
Fassade, Dach in Schindeloptik
Kumpf Holger, Hochschule Biberach
Innovation Holzwandsystem
Eberhard Eric, Hochschule Biberach
IKEA Family Möbelrecycling
Albert Johannes, Hochschule für Kunst und
Design Burg Giebichstein Halle (Saale)
minimum Bett
Rieser Florian Elias, Hochschule für Kunst und
Design Burg Giebichstein Halle (Saale)
Flat Flat – Bett
Weickenmeier Anne, Hochschule für Kunst und
Design Burg Giebichstein Halle (Saale)
MySpace
Flatz Johannes
Akademie der Bildenden Künste Wien
sväng
Sunder Stephan, Fachhochschule Dortmund
3-D Holzwandverkleidung
Märker Ferdinand, Hochschule Biberach
nemus concept.bike
Tarancewski Robert, Zimprich Dominique,
Ziege Julian, Hochschule für Kunst und
Design Burg Giebichstein Halle (Saale)

Dank

Unser Dank gilt allen Beteiligten, die mit Ihrem Engagement den Wettbewerb zu einem spannenden und vielfältigen Ereignis werden ließen.

Fazit

Das Beispiel des Studentenwettbewerbs zeigt auf, dass es für die gesamte Holzbaubranche unerlässlich ist, die junge Generation durch solche Maßnahmen, in die Branche mit einzubinden. Man kann hier mit vergleichsweise geringen Mitteln die künftige Entscheidergeneration motivieren, sich ungezwungen mit dem Material Holz auseinander zusetzten.

Beispiele wie das „Holzschindelpaneel" von Abele / Schieber, die Ihre Idee bis zur Marktreife weiterentwickelten und heute von einem namhaften Holzbauunternehmen vertrieben wird, zeigen, dass es sich lohnt und sogar praxisnahe und direkt umsetzbare Ideen entstehen können.

Die Arbeit „Behausung auf Zeit" von Frau Herzog und Herr Müller zeigt auf, was die Holzbaubranche mit Ihren Produkten im Bereich Katastrophenschutz bewirken kann, ein Themengebiet, mit dem sich auch die Holzforschung intensiv beschäftigt. Für die Umsetzung der Idee verwendeten Sie einen am Markt neu eingeführten Holzwerkstoff. Dieses Vorgehen zeigt, dass die Studenten unbefangen mit innovativen neuen Produkten arbeiten.

Der Ansatz von Schnetzer und Pils ist im Hinblick auf die Wiederverwendung von Holzprodukten eine gänzlich neue Ansatzweise. Durch die Verwendung eines Massenproduktes aus Holz, wie der Europalette, die weltweit erhältlich ist, entwickelten Sie ein „Palettenhaus", welches in den unterschiedlichsten Nutzerbereichen eingesetzt werden kann. Diese Arbeit wurde zeitgleich bei der Biennale in Venedig ausgezeichnet.

Schließlich ist auch die Arbeit von Schauer / Prader / Mark zu erwähnen, die für Ihren anspruchsvollen Entwurf „EuroSpar Reutte" einen neuen Weg der Verbundkonstruktion einschlugen. Der innovative Einsatz von Holz-Textil im Verbund, macht es möglich eine komplexe Tragstruktur planerisch umzusetzen. Ähnliche konstruktive Ansätze sind in den Kapiteln „Faltwerke aus Holz" und „Textile Verbindungen" beschrieben.

Diese und weitere Ergebnisse des Wettbewerbs zeigen, dass es für die Branche sinnvoll wäre, ähnliche Wettbewerbe fest zu installieren. So könnten enge Kooperationen mit den Hochschulen entstehen, welche ihrerseits eine Beteiligung fest in Ihren Lehrplan einbinden könnten.

Es gibt vielfältige Möglichkeiten, solche Ideenwettbewerbe umzusetzen. Der Holzabsatzfonds war bis dato in diesem Bereich erfolgreich aktiv, was von der Holzbaubranche weiter unterstützt bzw. unbedingt vertieft werden sollte.

In dem Zusammenhang sollte auch erwähnt werden, dass eine materielle und geistige Unterstützung von Studenten bei der Teilnahme an nationalen wie internationalen Wettbewerben unerlässlich ist. Ein hervorragendes Beispiel hierfür ist der „Solar Decathlon" in Washington welchen die Technische Hochschule Darmstadt 2007 für sich entscheiden konnte. Solche Projekte sind publikums- und medienwirksam und können Multiplikator für Motivation und Innovation sein.

1.2 Marketing
Preisverleihungen im Holzbau

Arnim Seidel

1 Einleitung

Bereits seit etwa 25 Jahren wird in der Bauwirtschaft von größeren Unternehmen oder Gemeinschaftseinrichtungen wie Verbänden die Verleihung von Preisen als probates Mittel zur Ansprache von Entscheidungsträgern (Architekten, Bauingenieure, öffentliche und private Bauherren) oder zur Nachwuchsförderung genutzt. Die Vielzahl dieser Auszeichnungen ist unüberschaubar, so dass die Etablierung eines neuen Preises sorgfältig auf den gewünschten Effekt hin zu prüfen ist. Letztlich haben aber die vielen Preisverleihungen der Wertschätzung bereits etablierter Auslobungen nicht geschadet. Angesichts wirtschaftlich schwerer Zeiten auf dem Bausektor sind potenzielle Preisstifter aufgrund des hohen finanziellen Aufwands zur Abwicklung ohnehin zurückhaltender mit solchen Aktivitäten geworden.

In der Forst- und Holzwirtschaft haben sich zwei regelmäßig durchgeführte Preisverleihungen etabliert, die unter allen Veranstaltungen als herausragend anzusehen sind: der vom Bund Deutscher Zimmermeister mit finanzieller Unterstützung durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt und den Holzabsatzfonds verliehene Deutsche Holzbaupreis (Dotierung 25.000 Euro), der realisierte Bauwerke und Produktinnovationen mit Holz auszeichnet, sowie der von der österreichischen „Schweighofer Privatstiftung Beteiligungsverwaltung“ ausgelobte Schweighofer Prize (Dotierung 300.000 Euro), ein europäischer Innovationspreis für Forstwirtschaft, Holztechnologie und Holzprodukte. Im Gegensatz zum Deutschen Holzbaupreis richtet er sich weniger an Architekten, Bauingenieure und Bauherren, sondern spricht eher die Insider der Forst- und Holzwirtschaft an. Damit stellen die prämierten Einreichungen der beiden Wettbewerbe einen deutlich voneinander abweichenden Ausgangspunkt für die Wahrnehmung in der Öffentlichkeit dar.

Abb. 1: Preisträger „Deutscher Holzbaupreis“

2 Intensive Kommunikation

Entscheidend für den Erfolg einer Preisverleihung ist neben der professionellen Durchführung des Wettbewerbs, etwa mit Hilfe einer neutralen und prominenten Jurybesetzung oder durch den gelungenen Rahmen der Verleihung selbst, vor allem die intensive Kommunikation zur Verbreitung des Ergebnisses. Die prämierten Arbeiten sollen Aufmerksamkeit erzielen, zur Nachahmung anregen und insgesamt die öffentliche Wertschätzung des Roh- und Werkstoffes Holz stimulieren. Es sind breit angelegte und im Detail mühsame Kommunikationsmaßnahmen notwendig, die vom Preis im Ganzen über das prämierte Bauwerk oder Produkt bis zu den Beteiligten vor Ort führen. Der Aufwand hierfür wird zuweilen unterschätzt oder sogar vermieden, so dass die gewünschte Außenwirkung unbefriedigend bleibt bzw. in keinem angemessenen Verhältnis zu den Kosten der Gesamtmaßnahme steht. Eine empfehlenswerter Schritt in diese Richtung ist die frühzeitige Kooperation mit einem Fachverlag, der für die angestrebten Zielgruppen entsprechende Titel veröffentlicht (Architekturzeitschriften oder Bauspar-Magazine).

In diesem Zusammenhang sollten die in Deutschland, Österreich und der Schweiz regelmäßig ausgelobten regionalen Holzbaupreise nicht unterschätzt werden, da sich die Ergebnisse in ihrer räumlichen Begrenzung leichter unter deutlichem

Lokalbezug verwerten lassen. Es gibt zahlreiche Möglichkeiten, um auf realisierte Bauwerke aufmerksam zu machen: Dies können Ortstermine der Planer, Bauherren oder Holzbauunternehmen mit der ansässigen Tagespresse oder lokalen Hörfunk- oder TV-Sendern oder ein Tag der offenen Tür für den interessierten Besucher sein. Hierzu gehört speziell aufbereitetes Presse- und Dokumentationsmaterial. Die Durchführung sollte mit dem Holzbau vertrauten Kommunikationsfachleuten vorbehalten sein und kann nicht Laien überlassen werden, die naturgemäß über wenig Erfahrung im Umgang mit der Presse oder bei der Vermittlung holzbauspezifischer Aussagen verfügen.

So sehr die Verlockung groß ist, zur besseren Unterstützung des Holzbaus nach einem noch prestigeträchtigeren oder breiter aufgestellten Wettbewerb Ausschau zu halten, sind es zunächst die bestehenden Aktivitäten, die besonders bei der Umsetzung der Öffentlichkeitsarbeit einer Verbesserung bedürfen. Das Motto „Think global, act local“ ist auch in diesem Zusammenhang nicht aus den Augen zu verlieren.

3 Publikumspreise

Eine Sonderform des Wettbewerbs, die in der Forst- und Holzwirtschaft bisher nur selten und nicht konsequent umgesetzt wurde, ist die Vergabe eines Bauherren- oder Publikumspreises. Entscheidend bei diesen Verfahren ist, dass nicht ausschließlich eine Fachjury über die zu vergebenden Preise befindet, sondern jeder Bürger aufgefordert ist, sich mit Bauwerken zu beschäftigen und sein Votum abzugeben. Ein Motiv für diese Art des Wettbewerbs ist der Umstand, dass die Auffassung besonders von Architekten über die Schönheit und Qualität eines Gebäudes von der nicht architektonisch geschulten Auffassung eines Laien deutlich abweichen kann. Untersuchungen haben gezeigt, dass bei Fachleuten zwar eine szeneintern konsensfähige, letztlich aber wenig realitätsnahe Vorstellung von dem besteht, was der normale Mensch über Architektur weiß. Das Fachvotum einer Jury und der breite Publikumsgeschmack stoßen deshalb immer wieder konträr aufeinander.

Für die Vergabe eines Publikumspreises empfiehlt sich dennoch, die von Laien eingereichten Gebäude einer Vorauswahl durch eine Fachjury zu unterwerfen, damit notwendige technische wie ästhetische Qualitätsstandards aufrecht erhalten werden. Anschließend darf im Rahmen der möglichst breit angelegten Öffentlichkeitsarbeit jeder Interessierte über seine Favoriten entscheiden. Hier hat sich vor allem die Kooperation mit einer auflagenstarken Tageszeitung als guter Weg erwiesen. Ein erfolgreiches Beispiel ist der Publikumspreis des bayerischen Landesverbandes des Bund Deutscher Architekten (BDA). Er lobt seit einigen Jahren in Kooperation mit der Süddeutschen Zeitung seinen Publikumspreis aus, bei dem Laien über die vorgestellten Bauwerke abstimmen. Stimuliert durch redaktionelle Beiträge und die Verlosung eines Teilnahmepreises verfolgen viele Menschen den Wettbewerb und beteiligen sich per Stimmabgabe auf der Website der Zeitung.

Abb. 2

Die ausgezeichneten Arbeiten werden am Tag der Architektur, den die Landesarchitektenkammern organisieren, der Öffentlichkeit präsentiert. Dieser Aktionstag mit umfangreichem Rahmenprogramm gilt als die publikums- und medienwirksamste Architekturveranstaltung in Deutschland.

Ein jeder ist am letzten Juni-Wochenende eingeladen, zeitgenössische Architektur in seiner unmittelbaren Umgebung zu besichtigen. Architekt und Bauherr empfangen Interessierte, erläutern und führen durch ihr Haus. Es ist durchaus vorstellbar, dass die Holzwirtschaft auf dieser Basis einen eigenen „Tag des Holzbaus“ initiiert. Hier gilt es unter anderem, die Kooperation mit den jeweiligen Landesarchitekten- bzw. Ingenieurkammern zu suchen.

Um eine Preisverleihung auf ein breiteres, für Außenstehende ungewohntes Fundament zu stellen und damit neue Zielgruppen anzusprechen, empfiehlt sich generell die Kooperation mit nicht unmittelbar dem Holzbau zuzuordnenden Einrichtungen. So befinden sich derzeit alle Energieunternehmen in einem Wettlauf, nachhaltige Szenarios für die zukünftige Versorgung abseits fossiler Energieträger zu entwickeln. Warum soll die Holzwirtschaft nicht zusammen mit BP einen Preis für Holzbau-Architektur unter Verwendung von solarelektrischen Anlagen stiften? BP ist weltweit der größte Anwender von Solarstrom und eines der größten Solarunternehmen. In dieser Spielklasse ist natürlich ein geeintes Auftreten der Deutschen Forst- und Holzwirtschaft gefragt.

3 Studentenwettbewerbe

Zur Förderung des Nachwuchses an Hochschulen fehlt ein bundesweit ausgelobter Studentenwettbewerb, der den in der deutschen Hochschullehre vernachlässigten Holzbau beflügelt. Hier gilt es, durch einen regelmäßig wiederkehrenden Preis verlorenes Terrain zurückzugewinnen. Studenten der Architektur und des Bauingenieurwesens sollen gemeinsam Entwürfe für ein vorgegebenes Wettbewerbsthema entwickeln und sich der Beurteilung durch eine Fachjury stellen.

Ein wichtiger Aspekt dabei ist die Realisierbarkeit der Arbeiten. Es wäre ein Novum unter den vielen Studentenwettbewerben, wenn den Gewinnern in Aussicht gestellt wird, zusammen mit Holzbaufachleuten – also auch Zimmerern – ein Gebäude eigenhändig zu bauen. Dieser Ansatz ist sicher nicht leicht zu realisieren, sollte aber im Sinne des Anreizes für Studenten nicht aus dem Auge gelassen werden.

Ein gelungenes Beispiel stellt die Betonkanu-Regatta des Bundesverbandes der Deutschen Zementindustrie dar, die bereits zum zwölften Mal erfolgreich durchgeführt wird. Bei dieser Regatta entwickeln Studenten Kanus und Wasserfahrzeuge aus Beton, die sich anschließend im sportlichen Wettkampf untereinander bewähren müssen. Die Studenten befassen sich dabei spielerisch mit Betonkonstruktionen, arbeiten bei der Ausführung handwerklich und dokumentieren am Ende ihre theoretischen Überlegungen zu Konstruktion und Ausführung. Das Engagement der Zementindustrie ist hier sicher vorbildlich.

Abb. 3: Betonkanu-Regatta

Mangels einer zündenden Idee erscheint die Übertragbarkeit auf den Holzbau schwer, aber warum sollen Studenten nicht auch Elektrofahrzeuge oder Fluggeräte aus Holz gegeneinander antreten lassen? Ein nicht unmittelbar vom Holzbau herrührender Ansatz, der aber zu einer intensiven Beschäftigung mit dem Baustoff führt, ist der amerikanische Studentenwettbewerb „Solar Decathlon“ des US-Ministeriums für Energie.

Seitdem die TU Darmstadt im Jahr 2008 den internationalen Preis gewonnen hat, wünschen sich eine Reihe von Hochschulen auch ein solches Medienecho auf einem vergleichbaren Themenfeld. Die Teilnahme lässt sich natürlich ohne Sponsoring aus der Industrie nicht realisieren. Das Darmstädter Team von „Solar Decathlon“ wurde beispielsweise durch den Holzabsatzfonds in Bonn unterstützt.

Es muss nicht gleich ein internationaler Wettbewerb sein. Ebenso wichtig ist die Förderung der Lehre, indem die Holzwirtschaft hochschulinterne Wettbewerbe innerhalb eines Semesters oder auch Wettbewerbe zwischen mehreren Hochschulen unterstützt. Hier kommt es auf eine enge Zusammenarbeit mit den Hochschullehrern an, damit die Themenstellung in das Lehrangebot eingebunden wird. Zur Vor- oder Nachbereitung können die Hochschulen von praxiserfahrenen Baufachleuten bei Exkursionen, Seminaren oder Workshops gefördert werden.

Es müssen auch nicht immer nur die baunahen Ausbildungsstätten sein, die zur Teilnahme an einem Wettbewerb aufgefordert werden. Nach dem Vorbild des Deutschen Journalistenpreises, der die Beiträge von Meinungsbildnern in den Kategorien Print, Hörfunk und TV auszeichnet, ist es durchaus vorstellbar, dass beispielsweise in Zusammenarbeit mit der Hamburg Media School und eventuell einem TV-Sender ein „Studenten-Oscar“ für einen gelungenen Beitrag über den Baustoff Holz an den Filmnachwuchs verliehen wird.

1.2 Marketing

Holz spüren – ein querdenkerischer Ansatz zur Positionierung von Holzprodukten

Günter Berger

Österreichische Konsumenten berührten im Blindtest barfuß und mit den Händen verschiedene Holzoberflächen und bewerteten die Eigenschaften der Oberflächen und den Grad des Wohlbefindens beim Begreifen. Mit diesem Test sollte herausgefunden werden, ob Testpersonen in der Lage sind, konsistent die Eigenschaften und Unterschiede von Laminat-, und Lackoberflächen zu bewerten.

Eine Mehrheit der Testkandidaten konnte die Unterschiede der Produkte schlüssig bewerten. Es konnten keine signifikanten Unterschiede in der Wahrnehmung der Hände und der Füße festgestellt werden, ebenso konnte kein geschlechtsspezifischer Unterschied der Präferenzen ermittelt werden.

In der vorliegenden Testreihe wurde ein Laminatboden mit rustikaler Oberfläche als am angenehmsten bewertet. Die vorgestellte Methode eignet sich zum Test der Wahrnehmung von Oberflächen und könnte zur Verbesserung von Produkteigenschaften und für den Aufbau von Argumentationen im Marketing eingesetzt werden.

1 Einleitung

Holz hat ein Image als angenehmer und warmer Werkstoff und Baustoff. Diese Eigenschaften werden auch sehr oft in Kommunikationsaktivitäten als Besonderheiten und Alleinstellungsmerkmale gegenüber anderen Werkstoffen zitiert. Die Messung der Konsumentenwahrnehmungen als Überprüfung dieser Pauschalurteile stellt sich als komplex heraus, bietet aber erweiterte Möglichkeiten für das Marketing, besonders in den Bereichen der Produkt- und Kommunikationspolitk.

Präferenzbildungen beim Konsumenten sind ein komplexer Prozess. Die üblichen Stimulus-Organismus-Response-Modelle [1] verdeutlichen, dass letztendlich für die Adressierung der Kundenwahrnehmung nur die fünf Grundsinne zur Verfügung stehen.

Die Intermodalität, nämlich die subjektiv verschiedene Wahrnehmung und Verarbeitung von Sinnesreize bedingt Vorkehrungen in der Marktforschung, damit die einzelnen Wirkungsgrößen auf die Präferenzbildung isoliert werden können.

In Abbildung 2 ist erkennbar, dass die optischen und akustischen Reize den größten Einfluss auf unsere Wahrnehmung haben. Diese beiden In-

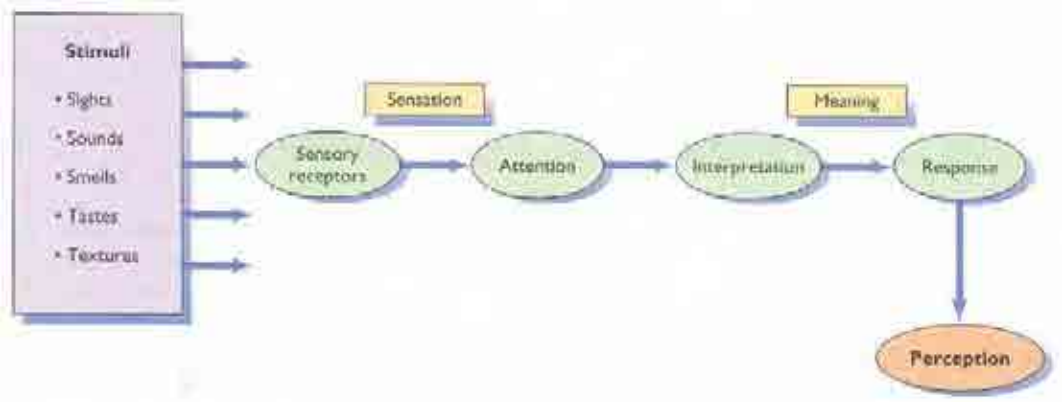


Abb. 1: Überblick des Wahrnehmungsprozesses lt. Solomon [1]

formationskanäle sind in der oft diskutierten Reizüberflutung entsprechend gefordert, wohingegen die haptische Wahrnehmung Potenziale zur Erlangung der Kundenaufmerksamkeit birgt. Entsprechende Untersuchungen zum optischen Eindruck von Holzoberflächen oder Möbel wurden bereits untersucht [2] [3], ebenso die Auswirkungen auf den menschlichen Organismus bei der Wohnraumgestaltung mit spezifischen Holzarten, wie dem Zirbenholz[4].

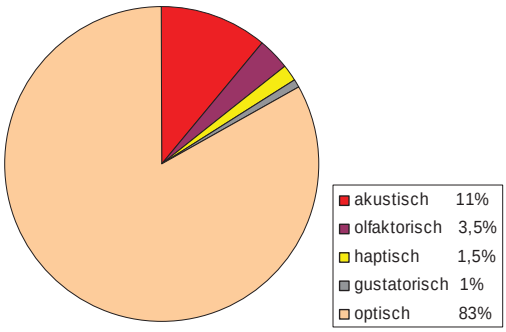


Abb. 2: Verteilung der Sinneswahrnehmungen [5]

Im Rahmen einer Argumentationsanalyse wurden im Jahr 2007 die Werbematerialien der Parkett- und Laminatbodenerzeuger in der Weise untersucht, dass die Beschreibungen der Produktvorteile und Produkteigenschaften der verschiedenen Hersteller gegenüber gestellt wurden.

Tab. 1 zeigt exemplarisch für die Laminatbodenhersteller, welche Verkaufsargumente strapaziert werden und, dass sowohl im Bereich der Laminatböden als auch bei den Parkettböden die Haptik als Verkaufsargument sehr unterrepräsentiert ist.

Tab. 1: Vergleich der kommunizierten Produkteigenschaften und Verkaufsargumente für Laminatböden

Argumente	Hersteller	Prozent
robust		89%
UV-Beständigkeit		78%
schwer entflammbar		78%
Strapazierfähigkeit		67%
Kratzfestigkeit (Anti-Scratch)		67%
Unempfindlich gegen Wasser, Wein, Bier ...		67%
Leicht zur reinigen/pflegen		67%
Kombination mit hochwertiger HDF		56%
Fussbodenheizungs-tauglich		56%
Hygiene		56%
Langlebigkeit/"Dauerhaftigkeit		44%
höchste Ansprüche an Ästehtik und Funktionalität		44%
Speichel- und Schweißecht		44%
Sicherheit von Kinderspielzeug		44%
Hochwertig und langlebig		44%
wasserdichte Unterlage		44%
formstabild durch Aufbau		44%
geringer Trittschall/Trittschallkaschierung		44%
Trendig /Design		44%
Stuhlrollentauglich		44%
V-Fuge		44%
gesunde (Materialien)		33%
Click-System, problemlos DIY		33%
10 Jahre Garantie (WB)		33%
Atmosphäre		33%
keine statische Aufladung		33%
bis Abriebklasse 33		33%
Atmungsaktive Oberfläche, Raumklima		22%
Umweltfreundliche Verarbeitung		22%
20 Jahre Garantie (WB)		22%
25 Jahre Garantie		22%
natürliche Ausstrahlung		22%
Schmutzrestistent		22%
leicht zu verlegen		22%
Formaldehyd und Lösungsmittelfrei		11%
Partiell renovierbar		11%
Geringe Einbauhöhe/Renovierbarkeit		11%
30 Jahre Garantie		11%
15 Jahre Garantie		11%
High-Tech		11%
Nanotechnologie der Oberfläche		11%
zeitlose Schönheit		11%
bis Abriebklasse 32		11%
spezielle Dämmung (Waldbodeneffekt)		11%
Fugenfestigkeit		11%
Unbedenklichkeitserklärung Lebensmittel		11%

2 Die haptische Wahrnehmung von Holzprodukten

Zur haptischen Wahrnehmung von Holz, die durch den direkten Kontakt zum Produkt, wie bei Möbel und Fußböden relevant sein kann, liegen jedoch nur wenige Ergebnisse vor. In der vorliegenden Untersuchung wurde die Blindtestmethode von Berger, Katz und Petutschnigg [6] zur Messung der Oberflächenwahrnehmung von lackierten und geölten Holzoberflächen sowie Laminatböden für drei verschiedene Arten von Laminatböden im Vergleich zu lackiertem Parkett angewendet. Diese Produkte repräsentieren den derzeit überwiegenden Anteil am Holzfußbodenmarkt, jedoch ist der wahrnehmbare Unterschied zwischen diesen artverwandten Produkten geringer als in der Vorstudie, weshalb ermittelt werden soll, ob diese Befragungsmethode für diese Produkte anwendbar ist.

Ziel der Untersuchungen war die Messung der Konsumentenwahrnehmung von Holzoberflächen spezifischer marktüblicher Produkte.

Folgende Forschungsfragen wurden untersucht:

1. Können Konsumenten die Unterschiede der Temperatur, Härte und Rauheit von Fußböden mit verschiedenen Holzoberflächen konsistent bewerten.
2. Gibt es Unterschiede in der Hautwahrnehmung von Holzoberflächen bei Händen und Füßen?
3. Gibt es einen Präferenzunterschied durch den Blindtest?
4. Gibt es Präferenzunterschiede zwischen den Geschlechtern?

3 Material und Methode

Es wurde eine Umfrage mit 280 Personen durchgeführt. Alle Teilnehmer gingen barfuss über die fünf Testflächen und wurden auf dem Retourweg zu den einzelnen Fußböden befragt. Anschließend wurden die Testflächen in anderer Reihenfolge von den Teilnehmern mit der Hand bewertet.

Ein Fußboden wurde doppelt in den Versuchaufbau integriert, womit jene Teilnehmer ermittelt werden konnten, die tatsächlich in der Lage waren, eine konsistente haptische Beurteilung vorzunehmen. Zudem wurden von den Versuchspersonen Alter, Geschlecht, Postleitzahl, Gewicht und Schuhgröße festgehalten.

Abb. 3: Der Versuchsaufbau für den Fuß- und den Handtest

Es wurden handelsübliche Produkte verwendet, wobei drei verschiedene Laminatböden einem lackierten Mehrschicht-Parkett gegenübergestellt wurden. Folgende Produkte wurden getestet:
Standard Laminat, Laminat Matt, Laminat Rustikal, lackierter Parkett und Standard Laminat als Referenzfläche.

	trifft zu	trifft eher zu	trifft eher nicht zu	trifft nicht zu	weiß nicht	
Warm						Kalt
Glatt						Rau
Hart						Weich

Abb. 4: die abgefragten Kriterien

Von jedem Boden wurden die Kriterien wie in Abbildung 3 dargestellt abgefragt. Für die statistischen Auswertungen wurden die Werte 1="trifft zu" bis 4="trifft nicht zu" und 5="weiß nicht" zugewiesen. Anschließend wurde gefragt, ob der Boden angenehm empfunden wurde. Am Ende der Testreihe mussten die Teilnehmer beur-

teilen, welcher Boden am angenehmsten empfunden wurde.

Anhand des Referenzbodens wurde die Konsistenz der Aussagen getestet. Jene Personen, die bei der Beurteilung der beiden Standard-Laminatböden maximal einen Unterschied von einer Kategorie pro Merkmal angaben, wurden bei der Auswertung berücksichtigt. Zudem durften sie die Frage, ob der Boden ein angenehmes Gefühl vermittelt, nicht widersprüchlich beantworten. Somit wurden von den 200 Personen 136 für die Auswertung des Fußtests und 141 für die Auswertung des Handtests ausgewählt.

4 Ergebnisse

Für die inferenzstatistische Analyse wurde der Friedman-Test verwendet, der für alle Merkmale signifikante Unterschiede aufzeigt, obwohl bezüglich der einzelnen Merkmale nicht alle Böden unterschiedlich bewertet wurden. Beispielsweise gibt es beim Merkmal „warm-kalt" keine Unterschiede zwischen dem Standard Laminatboden und dem rustikalen Laminatboden. Beim Merkmal „hart-weich" unterscheiden sich der Standard Laminatboden, der matte Laminatboden und der lackierte Parkettboden nicht voneinander. Ähnliches gilt beim Merkmal „glatt-rau" für den Standard-Laminatboden und den lackierten Parkettboden.

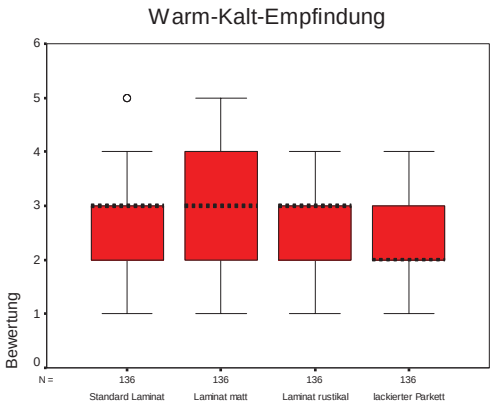


Abb. 5a: Temperaturempfinden beim Fußtest

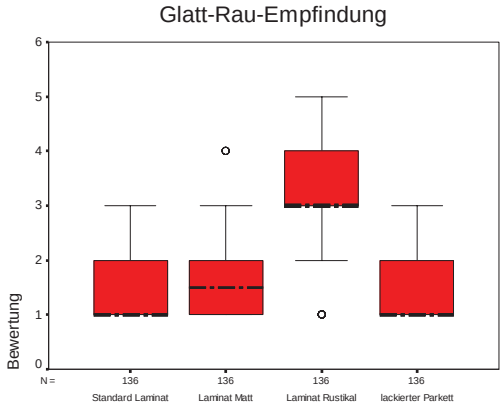


Abb. 5b: Rauheitsempfinden beim Fußtest

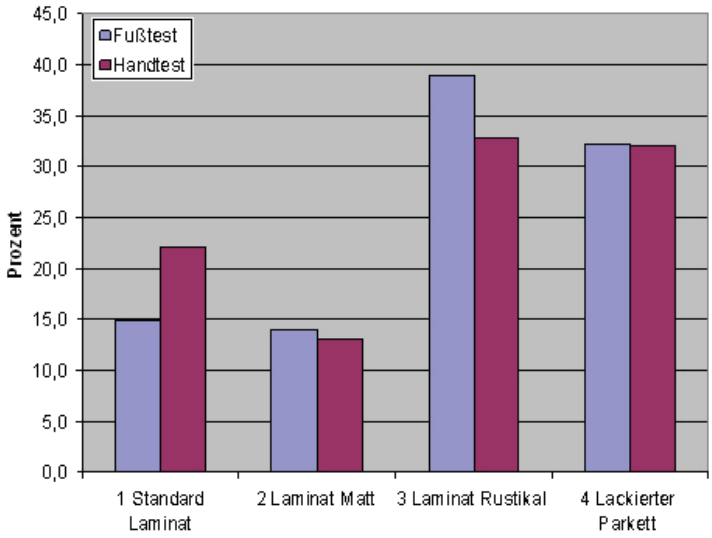


Abb. 6: Präferenzen der Kunden

Zu den Forschungsfragen konnten folgende Resultate ermittelt werden:

1. Es können die Konsumenten die Unterschiede der Temperatur, Härte und Rauheit von Fußböden mit verschiedenen Holzoberflächen konsistent bewerten.
2. Außer beim Laminatboden mit matter Oberfläche konnten keine Unterschiede in der Hautwahrnehmung bei Händen und Füßen festgestellt werden
3. Abbildung 6 zeigt die Präferenzen der Konsumenten. Der Laminatboden mit der rustika-

len Oberfläche war der beliebteste Boden, gefolgt vom Parkettboden mit der lackierten Oberfläche.

4. Es konnte kein signifikanter Unterschied der Wahrnehmungen zwischen den Geschlechtern ermittelt werden.

5 Diskussion

Die Messung der Kundenwahrnehmung liefert wichtige Informationen für zukünftige Produktentwicklungen und Marketingkonzepte. Kunden bevorzugen im Blindtest warme und eher raue Oberflächen. Aus den Ergebnissen von zwei bisher durchgeführten Studien lässt sich sowohl bei Lackoberflächen und noch stärker bei Laminatoberflächen das Verbesserungspotenzial bei der Wärmeleitfähigkeit ableiten. Bei Lacken und Overlay-Schichten der Laminaböden sollte die Wärmeleitfähigkeit reduziert werden, damit die Oberfläche wärmer wahrgenommen wird. Auch Variationen der Rauheit der Oberfläche können die Bedürfnisse der Kunden stärker treffen, womit die Hersteller von Fußböden über die Produkthaptik Alleinstellungsmerkmale kreieren können, um aus dem aktuellen Verdrängungswettbewerb am Markt zu entkommen. Interessante Forschungsfragen für die Zukunft wäre die Feststellung der Wahrnehmung von verschiedenen Holzoberflächen in verschiedenen geografischen Regionen wie z.B: Nord- und Südeuropa, Asien und Amerika, da für den global eingesetzten Werkstoff Holz die Bedürfnisse in verschiedenen Regionen differieren könnten.

Der vorgestellte Ansatz sollte generell als querdenkerische Herangehensweise gesehen werden, dass Holz und Holzprodukte mit einem Perspektivenwechsel aus der Sicht der Kundenwahrnehmungen anders eingesetzt werden kann.

Quellen

[1] Solomon, M., Bamossy, G., Askegaard, S. and Hogg, M. 2002. Consumer Behaviour: A Europeas Perspective. 2nd ed. Financial Times Prentice Hall. Harlow. pp 42-43.

[2] Nordvik, E. and Broman, O. 2005. Visualizing wood interiors: A qualitative assessment of what people react to and how they describe it. Forest Prod J 55(2): 81-86.

[3] Ridoutt, B.Ball, R. et al. 2002. Wood In The Interior Office Environment: Effects On Interpersonal Perception. Forest Prod. J. 52(9): 23-30.

[4] Grote V, Lackner H., Muhry, F. et al, Evaluation der Auswirkungen eines Zirbenholzumfeldes auf Kreislauf, Schlaf, Befinden und vegetative Regulation. Joanneum Research Graz 2003.

[5] Killian K. and Brexendorf O., Multisensuale Markenführung als Differenzierungs- und Erfolgsgröße, Campus02 Business Report, Vol. 2, 2005: 12-15.

[6] Berger G., Katz H., Petutschnigg A. What Customers Feel and Prefer – Haptic Perception of Various Wood Flooring Surfaces. Forest Prod. J. 56(10): 42-4

1.3 Absatzformen
Kostengünstige Gebäudekonzepte

Richard Adriaans

Billig ist teurer als richtig – sagt der Volksmund.

…und meint, dass man bei Wirtschaftsgütern, die langfristig genutzt werden sollen, wie Häusern, nicht an den falschen Stellen spart.

1 Vorwort
Unter diesem Thema lässt sich natürlich sehr viel subsumieren, was der Auftraggeber für diesen Beitrag vermutlich aber nicht gemeint hat.

Zunächst wird es sich sicher um Wohngebäude handeln, was das Thema insoweit eingrenzt, dass hier psychologisch andere Voraussetzungen herrschen.

Wo bei einem Betriebsgebäude vor allem der wirtschaftliche Aspekt im Vordergrund steht, wird bei der Entscheidung für das Wohngebäude eher mit: „kommst Du übern Hund, kommst du auch übern Schwanz!“ argumentiert und meint: wir bauen ja schließlich nur einmal, und deshalb müssen z.B. bestimmte Ausstattungen einfach sein.

Hier gelten ähnliche Gesetze wie beim Auto. Auch hier leistet man sich eher mehr als man braucht. Häuser sind wie Autos letztlich auch Statussymbole.

2 Sachverhalt:
Das Bauen eines Hauses steht auf der Wunsch- und Werteliste bei den meisten Menschen an oberster Stelle.

Für die Mehrheit ist es aber und wird ggf. auch für immer einer der unerfüllbaren Wünsche bleiben – es ist halt einfach zu teuer!

Warum aber geht es nicht preiswerter, sind es wirklich die Grundstückskosten?

Obwohl man bei allen Beteiligten (Verbraucher/ Bausparer, Kreditgeber, Bauunternehmer Hausanbieter) davon ausgehen kann, dass die Argumente des Öfteren ausgetauscht und hin- und hergewogen wurden, lohnt eine Auseinandersetzung mit diesem Thema.

Insbesondere deshalb, weil sich gleichzeitig mehrere Parameter des Bauens von Wohngebäuden so erheblich verändert haben, dass dieses Bauen, explizit von Ein- bis Zweifamilienhäusern unter völlig anderen Bedingungen steht als noch vor wenigen Jahren.

3 Feststellungen
- Mitteleuropa ist gebaut
- Die Demografie frisst ihre Kinder
- Re-Urbanisierung schlägt Stadtflucht
- Häuser sind zunehmend keine Energiezehrer mehr sondern solare Heizkraftwerke

Diese o.g. Schlagworte, angereichert um die derzeit akute wirtschaftliche Situation, beeinflussen das Bauen von Einfamilienhäusern so erheblich, dass derzeit nur etwa 80.000 Einfamilienhäuser im Jahr in Deutschland gebaut werden. Das ist gegenüber der Zeit vor der Jahrtausendwende eine Halbierung. Es war nicht anders zu erwarten.

Dass Mitteleuropa gebaut ist – mehr als 60 Jahre nach dem zerstörerischen Zweiten Weltkrieg ist insbesondere unter Berücksichtigung der Demografie kein Geheimnis. Keine neuen Menschen brauchen auch keine neuen Wohnungen

Neuer Wohnraum wird nur noch erforderlich, weil die Wohnungsgrößen pro Bewohner noch zunehmen und die lassen sich sicher auch über die derzeit mehr als 45 m² Wohnfläche pro Person in Deutschland sogar noch steigern.

Aber lassen die sich im Winter auch noch mit vertretbarem Aufwand beheizen?

Insbesondere unter unstreitig notwendiger Berücksichtigung des begonnenen Klimawandels ist dabei nicht nur die ökonomische Betrachtung angesagt. Wer kann sich die Beheizung von 45 m² Wohnfläche mit 1500 l Öl-äquivalent dauerhaft leisten? Es steht auch die ökologische Fragestellung im Vordergrund:

Warum sollte die Gesellschaft solche Stinker akzeptieren?

Ist deshalb nicht die Sanierung der 17 Mio. Altbauten in Deutschland das Gebot der Stunde?

Der Kabinettsbeschluss der Bundesregierung 20-20-20 bis 2020, - der nach Auffassung des Autors ambitionierter ist, als es sich auf den ersten Blick anfühlt - führt ja immerhin dazu, das man angesichts von 39 Mio. Wohnungen jährlich etwa 1,1 Mio. Wohnungen auf einen 3-Liter-Haus-Standard bringen müsste.

Dies würde angesichts von etwa 10.000 einschlägiger Handwerksbetriebe pro Gewerk dazu führen, dass jeder dieser Betriebe, die im Schnitt kaum mehr als 5 Beschäftigte haben, mehr als 100 Wohnungen im Jahr zu sanieren hätte.

Oder sollte man jährlich 750.000 Wohnungen abreißen und etwas näher zusammenrücken– und am energetischen Standard der verbleibenden Wohnungen nichts ändern und neue Objekte auf alten Baugründen errichten??

4 Erste Folgerungen

In Zeiten, in denen die Kaltmiete von Altbauwohnungen von den nutzungsbedingten Kosten insbesondere Heizungskosten überholt werden, ist die Frage nach kostengünstigen Gebäudekonzepten relativ einfach zu erschlagen.

Es ist längst erwiesen, dass sich die Mehrkosten für Passivhäuser so schnell über die sehr geringen Heizkosten amortisieren lassen, dass der Passivhausstandard der ökonomisch richtigste Standard ist.

Oder kostengünstiger als Passivhäuser sind nur Energieautonome Häuser, Häuser die keine Nebenkosten für Energie mehr haben sondern sogar einen Nebenerwerb durch den Verkauf selbst erzeugter Energie ermöglichen.

Lange Zeit war die Lage eines Objektes die wichtigste Randbedingung, dass wird auch noch länger so bleiben. Gleichzeitig hat die Frage nach der energetischen Qualität eine überragende Bedeutung bekommen.

Beides zu verbinden, nämlich eine gebrauchte (Schrott-) Immobilie in hervorragender Lage zu kauen, energetisch zu ertüchtigen und einen Wert zu schaffen, der mit einem Neubau in einem nichtssagenden Neubaugebiet gar nicht zu erzielen ist, ist sicher eine phantastische Alternative.

5 Zweite Folgerungen

Wie auch immer, partiell abreißen und neu bauen wäre auch in Fällen nicht so guter Lage eine gute Alternative dazu, bestehende Objekte mit allen nicht änderbaren Randbedingungen nur unvollständig zu sanieren und damit ggf. sogar Schwachstellen, wie Wärmebrücken, zusätzlich zu generieren.

Mittlerweile wirbt der Bundesverband Deutscher Fertigbau (BDF), der größte deutsche Hausanbieterverband ganz offensiv damit, alte Einfamilienhäuser abzureißen und neu zu errichten.

Den BDF könnte man natürlich auch für die erste Adresse halten, die richtigen Antworten auf die Frage nach kostengünstigen Gebäudekonzepten zu haben.

Schließlich wird dort eine der zur Preisreduktion notwendigen Techniken seit langem beherrscht:

Das Bauen unter konditionierten Randbedingungen, ist kostengünstiger:
- unter Dach, mit immer gleichen Witterungsbedingungen
- mit Vervielfältigungs-Faktor
- mit entsprechender Einkaufsmacht (Kostenreduktion durch Einkauf größerer Chargen)
- auf hohem Qualitätsniveau, was Kosten für Mängelbeseitigungen kaum entstehen lässt.

Dass die Häuser der Fertighausindustrie dennoch nicht preiswerter sind als vergleichbare Objekte, ist auf die erheblichen Vertriebskosten zurück zu führen.

6 Dritte Folgerungen

Solange Vertriebskosten bei ohnehin hoch kostenträchtigen Investitionen eine so entscheidende Rolle spielen wie oben geschildert, dass sie die ansonsten für kostengünstige Gebäudekonzepte erforderlichen nötigen Randbedingungen, wie z.B. die Vorfertigung sogar kontakarieren, stellt sich die Frage, wie man diesen Widerspruch auflösen könnte.

Dazu soll ein Beispiel gebracht werden, das tatsächlich so passiert ist:
Auf der Suche nach kostengünstigen Wohnhäusern entstand beim Liegenschaftsamt der Stadt Bocholt, einer aufstrebenden Stadt im westlichen Münsterland direkt an der holländischen Grenze die Idee, vom Arbeitskreis Ökologischer Holzbau (AKÖH) entwickelte Häuser für eine interessierte Klientel anzubieten.

Man war sich zwar nicht sicher, wie diese Klientel aussähe, aber bei 98.000 € ab Oberkante Keller bzw. Bodenplatte für ein AktivHaus (3 l Haus mit Solarer Heiz-Energie-Versorgung) mit 98 m² Wohnfläche konnte man sich gar nicht vorstellen, etwas falsch zu machen.

Die Recherchen des städtischen Amtes, das eine einerseits ausgewogene Grundstückwirtschaft betrieb und andererseits mit einer Passivhaussiedlung auch schon Erfahrungen mit der Vereinbarung ordnungsrechtlicher Beschränkung und zivilrechtlicher Freiheit gemacht hatte, ergaben z.B. die folgenden allgemeinen Randbedingungen:

6.1 Aufgrund einer im Frühjahr 2005 veröffentlichten Studie, der Empirica-Studie für die LBS, ergaben sich folgende Erkenntnisse
„Neue Erwerbertypen am Wohnungsmarkt - Motive, Potentiale, Konsequenzen“

- Hintergrund: demografische und gesellschaftliche Entwicklung zu verstärkt kleinen und durchschnittlich älteren Haushaltungen.
- Auch in Bocholt treten neben „Nestbauern“ (Begriff LBS-Studie = Familie mit Kindern bzw. Kinderwunsch) verstärkt kinderlose Paare und „junge Alte“ („Generation+“) als Nachfrager auf und wollen bedarfsgerechte Häuser errichten (ggf. mit Barrierefreiheit nach DIN mit Möglichkeit einer späteren Aufzugsanlage)
- Bei Fehlen bedarfsgerechter Angebote weichen diese oft auf größere Grundstücke aus oder der Bauwunsch scheitert; Angebote im Geschosswohnungsbau bieten oft nicht die gesuchten Qualitäten (frei stehend, eigener Garten, usw.)
- Nach dem Auszug der Kinder ist das familiengerechte Haus „zu groß“ geworden. Die Eheleute („empty-nesters“= leeres Nest; Empirica-Begriff) suchen ein kleineres Haus mit gleichen Qualitäten (frei stehend, Garten) im vertrauten Ortsteil.
- Die junge Generation möchte das familiengerechte Wohnhaus der Eltern übernehmen. Ein Umbau für beide Generationen ist nicht möglich oder wirtschaftlich nicht sinnvoll. Das Vor-

haben scheitert ohne ein Angebot an die ältere Generation mit den erwarteten hohen Qualitäten.
- Ein kinderloses Paar möchte unabhängig ein frei stehendes Einfamilienhaus bauen. Das Projekt soll bedarfsgerecht sein und auch ein Verbleiben im hohen Alter im vertrauten Lebenskreis ermöglichen (Barrierefreiheit, ggf. mit ambulanten Serviceangeboten).

Zusätzlich ergaben sich für Bocholt folgende Vorüberlegungen.

6.2 Erstens: freistehende Bebauung als überwiegender Bauwunsch

85 % der Bewerber in Bocholt bevorzugen eine frei stehende Bauweise. Gründe hierfür sind unter anderem, dass keine Kompromisse mit Nachbarn eingegangen werden müssen. Konzeptionelle Vorteile und größere individuelle Entfaltungsmöglichkeiten gegeben sind.

Allerdings ist die freistehende Bauweise die teuerste aller Bauformen, hat den höchsten Flächenverbrauch und die energetisch schlechteste Optimierungsmöglichkeit (Grund: schlechtes Verhältnis von Außenfläche zu Volumen).

6.3 Zweitens: Bedarf für kleine Einheiten ?
- demografische Entwicklung:
  Anstieg des Anteils der älter als 44-Jährigen in Bocholt von 1980 bis 2004 von 33 % auf 44 % der Gesamtbevölkerung
- Zahl der kleinen Haushalte steigt von ca. 360 Wohnungen/1.000 Einwohner (1980) auf ca. 415 Wohnungen/1.000 Einwohner (2004)
- immer weniger Bewohner je Wohnung
  Anzahl der Räume je Einwohner von 1,65 Personen (1980) auf 1,98 (2004)

6.4 Drittens: finanzielle Aspekte bei Hausfinanzierungen

Sinkende Realeinkommen und vielfältigere Lebensziele (Konsum, Urlaub, Alterssicherung), gepaart mit strengeren Finanzierungskriterien der Banken, haben zur Folge, dass die Finanzierung großer Häuser schwieriger wird und die Bedeutung kleinerer Häuser am Markt wächst.

6.5 Überlegungen zur Problemlösung

Grundsätzlich ist das frei stehende Einfamilienhaus „ökologisch und ökonomisch nicht vertretbar“ (Zitat Baufrösche Kassel). Jedoch wird dieses am Markt vorrangig nachgefragt. Daher müssen flächensparende Konzepte in verdichteter Bauweise und energetisch hochwertigen Gebäudehüllen und Versorgungskonzepte gefunden werden. Die Häuser müssen dennoch bezahlbar bleiben. Erfolgreiche Konzepte müssen daher auch kostengünstige Wege aufzeigen.

6.6 Innovationen

Der städtebauliche Entwurf (Abb. 1) sieht kleine Einzelhäuser, auf kleinen Grundstücken vor. Ziel ist die Beibehaltung des Wohnwertes auch bei Unterschreitung von üblichen Abstandsflächen. Die Bildung eines eigenständigen Quartiers soll erreicht werden. Nahe der holländischen Grenze werden solche „Abweichungen“ von deutschen Vorschriften durchaus hingenommen.

Durch weitgehende Vorfertigung inkl. vorgefertigtem „Infrastruktur-Container“ meta-Box, wird die Bauzeit zusätzlich beschleunigt.

6.7 Umsetzung

Der Siedlungsentwurf (Abb. 1) mit neun ähnlichen Häusern (Grundrisse gemäß solarer Ausrichtung variiert), hätte ein richtiges Quartier ergeben.

Abb. 1: Städtebaulicher Entwurf Stadtteil Biemenhorst, Bocholt (Architekten Archplan)

Ein fertig entwickeltes Hauskonzept mit ~ 100 m² Wohnfläche und innovativer Technik mit modularer Fassaden-Konzeption samt geprüfter Energiepässe und Gebäudebriefe (mit Angabe der Baustoffe und Haustechnikkomponenten) lagen vor.

Trotz Kosten von 230.000 € incl. Grundstück gelang es nicht, ausreichend Bewerber zu bekommen.

7 Zusammenfassung

Das Konzept und die politische Unterstützung in diesem Fall von Gerd Deckers, dem zuständigen Referenten des Bocholter Liegenschaftsamtes, die Leistung des renommierten Städteplanungs- und Architekturbüros Archplan, Münster und die kreative Leistung des Architekten Nikodemus Helms haben im vorliegenden Fall nicht ausgereicht, den Flaschenhals eines zwar sehr bemühten aber gleichwohl nicht ausreichend professionellen Vertriebs von zwei technisch guten Holzbaubetrieben zu überwinden.

Es geht immer wieder nur um die zwei Substantive, Kommunikation und Konsequenz.

Noch so gute Konzepte, die auch wie in diesem Fall nicht nur den Hauspreis miteinbezogen sondern neben der immer wichtiger werdenden Nutzung und deren Kosten auch die Grundstücksfrage mit abdeckte, reichen nicht, wenn beim Verkauf die Professionalität fehlt.

Abb. 2: [Nikodemus Helms]

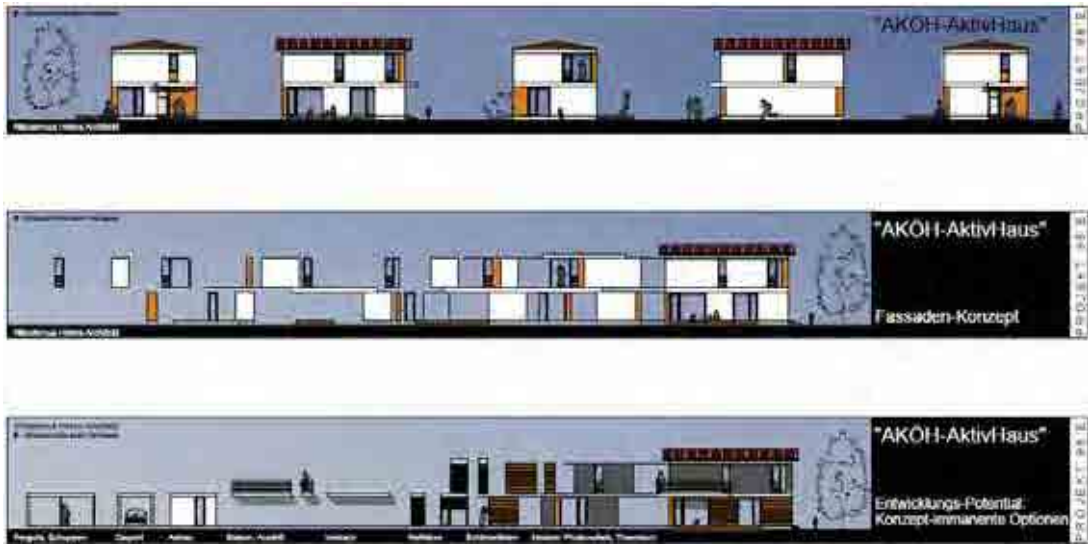


Abb. 3: [Nikodemus Helms]

Kostengünstige Gebäudekonzepte scheitern nie an den technischen Möglichkeiten, sie scheitern immer daran, dass die Menschen, die sie anbieten, nicht dran glauben, dass sich so etwas verkaufen lässt und sich deshalb auch nicht ausreichend bemühen.

Eine zugegeben enttäuschende Erkenntnis eines an dieser Stelle immer noch ratlosen Autors, der allerdings ohnehin davon ausgeht, dass der Einfamilienhausneubau nur noch auf Grundstücken in der Nachverdichtung bzw. nach vorherigem Abriss alter untauglicher Substanz eine Chance hat.

1.3 Absatzformen
Hausleasing

Richard Adriaans

Ein Haus bauen, einen Sohn zeugen, einen Baum pflanzen, das sei die Aufgabe eines Mannes, so sagt eine Volksweisheit.

Vorwort

Angesichts zunehmend geänderter Lebensweisen, die wohlwollend auch gern als „neue Lebensentwürfe" bezeichnet werden, obwohl der Änderung der Lebensweise kein Entwurf (dem ja Freiwilligkeit innewohnt) zugrunde liegt, sondern Zwang oder mindestens Unfreiwilligkeit oder Versagen, steht naturgemäß auch das Bauen eines Hauses unter einigen Fragezeichen:

- Grundstücke sind, insbesondere in Ballungsräumen so teuer, dass der eigentliche Hausbau/Hauspreis daneben relativ preiswert scheint,
- wer Karriere machen will, muss ggf. schnell seinen Wohnort wechseln können, was wird aus dem selbstgenutzten Eigenheim?
- Partnerschaften zur Familiengründung werden deutlich später geschlossen und deutlich schneller wieder aufgelöst, gemeinsame Häuser stören dabei ggf.

Alles Argumente, die die früher übliche oben genannte Orientierung als nicht mehr ganz zeitgemäß erscheinen lassen.

Gleichzeitig ist gerade unter der derzeit fragwürdigen Sicherheit finanzieller Zukunftssicherung die Immobilie eine sichere Alterversorgung, den steigenden Energiepreisen kann man u.U. am besten durch das eigene Passiv- oder Plusenergiehaus begegnen und das Bedürfnis nach einer ruhigen Insel in einer sich immer schneller drehenden Welt nimmt eher zu als ab.

In solchen widersprüchlichen Zeiten muss man auch bei der Finanzierung quer denken. Man muss nach Finanzierungssystemen oder besser Realisierungsmustern schauen, die nicht unbedingt gewohnt aber unter den gegebenen Verhältnissen zukunftsorientiert sind.

Hier kann „Haus-Leasing" eine Rolle spielen, die bisher völlig unterschätzt wurde.

1 Sachverhalt

Im geschäftlichen Bereich ist Leasing als Finanzierungsform für mobile Güter und auch Immobilien lange bekannt, für private Verbraucher ist Leasing mittlerweile im Automobilbereich geläufig.

Wenngleich hier nicht der Charme wie für ein Unternehmen im Vordergrund steht, die im Leasing angeschafften Maschinen, Anlagegüter jedweder Art liquiditäts- und steuerschonend nicht kaufen, d.h. finanzieren und aktivieren zu müssen - für einen Privatmenschen ist es die einfache Abwicklung, die so attraktiv ist.

Man muss keinen Kredit bei einer Bank aufnehmen, Geld und Auto kommen vermeintlich aus einer Hand, es ist meistens auch nicht teurer als eine Bankfinanzierung, man kann ein Auto fahren, ohne vorher darauf gespart zu haben.

Weil auch sonst Auto und Haus immer wieder assoziiert werden, z.B. wenn es um Preis-Leistungs-Vergleiche, zumal im Ausstattungsbereich, entsteht die Frage, warum sich das leasen bisher für Häuser nicht angeboten hat?

2 Feststellungen

Der Begriff „Leasing" stammt aus dem Englischen und bedeutet übersetzt Mieten. Und das heißt – juristisch- „Gebrauchsüberlassung eines Wirtschaftgutes auf Zeit gegen Entgelt".

Obwohl es ja sicher völlig üblich ist, ganze Häuser zu vermieten (oder zu mieten) entsteht die Frage: Ist ein Haus ein Wirtschaftsgut? Was unterscheidet Miete von Leasing?

Tatsächlich gibt es neben einigen Gemeinsamkeiten zur Miete eine ganze Reihe wesentlicher Unterschiede. Damit ist nicht in ersten Linie das in Deutschland verbraucherfreundliche Mietrecht gemeint, dass in den Augen privater Wohnungs- und Hausvermieter zu dem schwierigsten rechtlichen Phänomen gehört, das es gibt, und viele Grundbesitzer davon abhält, ihre Immobilien zu vermieten. Auch ein Haus-Leasing mit einem privaten Leasingnehmer würde zunächst näherungsweise unter das restriktive Mietrecht fallen.

Einen Unterschied zwischen Leasing und Miete beim Haus als Wirtschaftsgut macht der Eigentümer aus: Ein privater Hausbesitzer, der sein Objekt selbst nicht benötigt – oder sogar für die Vermietung gebaut hat – wird es i.d.R. vermieten. Dabei spielt neben der eher kurzen bis mittelfristigen Mietdauer die größte Rolle, dass er ggf. schneller selbst wieder drüber verfügen will.

Der erheblichste Unterschied ist aber sicher, dass Mietzahlungen üblicherweise nicht auf eine spätere Übereignung hin angerechnet werden, Mietzahlungen sind verlorene Nutzungsentgelte.

Anders bei Leasing: Hier kann die spätere Verwertung durchaus das Ziel sein.

Beim Leasing handelt es sich um einen professionellen Leasinggeber, dessen Business es ist, Immobilien für Leasingnehmer zu errichten, zu „verleasen“ und anschließend zu verwerten, d.h. gegen Erstattung des Restwertes dieses dem Leasinggeber zu überlassen oder einem dritten zu verkaufen.

3 Doch zunächst zu den Gemeinsamkeiten

Anders als beim - kreditfinanzierten - Kauf ist der Nutzer eines Wirtschaftsgutes sowohl beim Leasing wie bei der Miete nicht zugleich dessen juristischer Eigentümer. Deshalb müssen gewerbliche Leasingnehmer und Mieter dieses Gut auch nicht in ihrer Bilanz aktivieren.

Nicht der Nutzer des Wirtschaftsgutes finanziert dessen Anschaffungskosten, sondern der Leasinggeber/Vermieter. Damit entfallen für Leasingnehmer/Mieter der Liquiditätsabfluss und/oder die Fremdfinanzierung des Investitionsobjektes zu einem Zeitpunkt, der - beispielsweise bei Betriebsgebäuden - teilweise sogar weit vor der ersten Nutzungsmöglichkeit liegt. Vielmehr wird es nach dem "Pay-as-you-earn"-Prinzip möglich, die Kosten für ein Wirtschaftsgut aus den Erträgen zu finanzieren, die nach und nach damit erwirtschaftet werden.

Etwas anders sieht es beim privaten Leasingnehmer aus. Er erwirtschaftet nicht mit dem „geleasten“ Objekt die Leasingraten. Er sucht nur eine geeignetere Finanzierungsform für ein selbstgenutztes Eigenheim, die gegenüber dem selbst finanzierten Neubau den Vorteil hat, dass er die gewünschte Unabhängigkeit eines quasi Eigenheimes mit der flexibleren Form der Miete verbinden kann.

Dabei sind zunächst noch einmal die offenkundigen Unterschiede zwischen Miete und Leasing interessant:

Miete: Wenn es sich nicht um ererbtes Objekt handelt, dass er als Eigentümer sogar zu einem zufälligen Zeitpunkt und in einem zufälligen Zustand erhält, entscheidet im Regelfall allein der Vermieter über den Anschaffungszeitpunkt, die Beschaffenheit und z.B. Bauunternehmer und Planer des Objektes, weil zum Zeitpunkt der Erstellung der Mieter ggf. auch gar nicht bekannt ist. Die Mietdauer kann mit einem Zeitmietvertrag längerfristig festgelegt werden, kann aufgrund der gesetzlichen Regelungen aber auch sehr kurz sein. Die Miete eines Objektes ist gegenüber dem Leasing von Zufällen gekennzeichnet. Das Risiko

einer nicht adäquaten Neuvermietung trägt der Vermieter, der Mietpreis unterliegt deshalb Mietsteigerungen, die durch direkt nicht vom Mieter beeinflussbare Parameter, z.B. den Mietspiegel bedingt sind.

Leasing: Der Leasingnehmer definiert - in Abstimmung mit seinem Leasinggeber - nach seinen spezifischen Bedürfnissen das Anforderungsprofil für das Investitionsobjekt und legt das Beschaffungsdatum und die Laufzeit des Engagements fest. Er wählt die Architektur / das Objekt selbst aus, wirkt gegebenenfalls selbst an Kauf- / Vertragsverhandlungen mit und wickelt die Übernahme, ggf. sogar einen Teil des Baumanagement in eigener Regie ab. Je nach individuellem Bedürfnis kann er diese Aufgaben aber auch teilweise oder ganz an die Leasinggesellschaft übertragen.

Aus diesen Unterschieden abgeleitet gibt es in einer gewissen Bandbreite auch viele Vorteile für private Verbraucher, sich dem Thema Leasing zu öffnen. Hier wird es allerdings dann eher um die Relation zum Kauf statt einer Miete gehen.

Weil es sich in allen Fällen um erhebliche finanzielle Engagements handelt, muss man sich genau anschauen, wie die rechtlichen Bedingungen sind.

4 Dschungel der zivilrechtlichen Vorschriften

Einen speziellen, in sich geschlossenen Rechtsrahmen gibt es für Leasing trotz einer mittlerweile über vierzigjährigen Geschichte in Deutschland immer noch nicht, eine gesetzliche Definition von Leasing existiert ebenfalls nicht.

Die Regelungen, die für das Leasinggeschäft maßgeblich sind, finden sich verstreut im Bürgerlichen Gesetzbuch (BGB), im AGB-Gesetz, im Verbraucherkreditgesetz, im Haustürwiderrufsgesetz, im Produkthaftungsgesetz, in der Insolvenzordnung, im Handelsgesetz, in der Abgabenordnung, im Gewerbesteuergesetz, im Einkommensteuer- und Körperschaftssteuergesetz sowie neuerdings sogar im Geldwäschegesetz.

Daneben gibt es Erlasse von Bund und Ländern wie den Teilamortisationserlass und den Vollamortisationserlass für das Mobilienleasing. Außerdem spielt europäisches Recht eine immer größere Rolle, so beispielsweise die EU-Kaufrechtsrichtlinie, die zum 1. Januar 2002 in deutsches Recht umgesetzt wurde.

In erheblichem Maße folgt Leasing dem Mietrecht im BGB – sicher dann wenn es sich um Hausleasing zwischen einem Vollkaufmann und einem privaten Verbraucher geht - die Rechtsprechung war allerdings gestaltend tätig. Ähnliches gilt für das Steuerrecht, das allerdings für Verbraucher wenig relevant ist.

Es ist also davon auszugehen, dass weder ein (zufälliger) Anbieter z.B. eines oder sogar mehrerer bestehender Wohnhäuser noch ein Bauunternehmer, der ein Objekt zur Vermietung errichtet kaum in der Lage sein werden, die mit einem „Hausleasing“ einhergehenden Randbedingungen soweit abzudecken, dass sie einen Leasingvertrag als Leasinggeber unterschreiben können.

Neben den o.g. zivilrechtlichen Regelungen wird schon die Kalkulation eines sehr lange laufenden Leasingvertrages einem normalen Vermieter oder Bauunternehmer Schwierigkeiten machen.

Für die Ausgestaltung eines Vertrages, der beiden Seiten gerecht wird, bedarf es spezieller Leasingfirmen, die auch die beiden folgenden typischen Vertragsarten genau einschätzen können.

In diesem Zusammenhang sind die Voll- und die Teilamortisation wesentliche juristische Begriffe:

1. Vollamortisation
   Die Anschaffungskosten des Leasing-Objektes werden während der Vertrags-Laufzeit vollständig über die Leasing-Raten abgegolten.
2. Teilamortisation
   Die Anschaffungskosten des Leasingobjektes werden während der Vertragslaufzeit nur teilweise abgegolten. Es verbleibt ein Restwert, der durch die anschließende Verwertung ausgeglichen werden muss.

Im Hausleasing sind beide Varianten denkbar. Hier kommt es auf die Vertragslaufzeiten und die im Vertrag festgelegte Verwertung des Objektes an.

Angesichts einer Vertragslaufzeit von 25 Jahren und einem grundbuchlich abgesicherten Ankaufsrecht nach Vertragsende kann es sich eine Teilamortisation handeln - dann wären die Leasingraten eher etwas niedriger – oder um eine Vollamortisation mit entsprechend hohen Leasingraten, die aber die grundbuchlich gesicherte Objektübernahme für 1 obligatorischen € sicherstellen kann, wenngleich das Objekt einen hohen Wert hat.

Angesichts von Vertragslaufzeiten von ggf. zehn Jahren wird es sich sicher immer um Teilamortisationen handeln.

Auch hier sind die Bedingungen für die Verwertung nach Ablauf der Vertragsdauer sehr unterschiedlich zu handhaben:

1. Man kann ein grundbuchlich abgesichertes Ankaufsrecht mit festgelegtem Wert vereinbaren,
2. Man kann der Leasinggeber auch freie Hand bei der Verwertung geben
3. Es sind auch Verträge vorstellbar, in denen ein Andienungsrecht vereinbart ist: der Leasingnehmer muss dann das Objekt nach der Vertragslaufzeit übernehmen.

Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass derjenige, der das Risiko der späteren Verwertung trägt, für sich die günstigeren Randbedingungen für die Vertragslaufzeit herausholen kann.

Die diffizilen rechtlichen Rahmenbedingungen erfordern insbesondere bei der zivilrechtlichen Ausgestaltung von Leasingverträgen viel Know-how.

Anhand der nachstehend aufgeführten neun Schritte kann nachvollzogen werden, wie Hausleasing funktionieren kann:

1. Am Anfang steht ein Beratungsgespräch zu Investitions- und Liquiditätsplanung. Dabei wird der Rahmen für das Leasinggeschäft abgesteckt.
2. Anschließend werden gemeinsam das benötigte Objekt und das ggf. vorliegende Angebot besprochen. Dabei unterstützt der Leasinggeber den Leasingnehmer mit seinen breiten Markt- und Produktkenntnissen.
3. Danach wird ein individuelles Leasingangebot ausgearbeitet.
4. Es folgt der Abschluss des Leasingvertrages für das ausgewählte Objekt.
5. Die Leasing-Gesellschaft schließt daraufhin mit dem Werkunternehmer den Kaufvertrag ab.
6. Nach der Fertigstellung bestätigt der Leasingnehmer per Abnahmeerklärung den einwandfreien Zustand des Leasingobjektes.
7. Die Rechnung des Werkunternehmers wird vom Leasingeber beglichen.
8. Während der Laufzeit des Leasingvertrages entrichtet der Leasingnehmer die vereinbarten Leasingraten.
9. Nach Ablauf der vertraglichen Leasingzeit wird das Leasingobjekt an den Leasinggeber zurückgegeben oder gemäß Ankaufsrechtvereinbarung bezahlt und übernommen.

5 Folgerungen

Das Hausleasing bietet nicht nur für private Verbraucher Vorteile, die man auf den ersten Blick nicht vermutet, sie bietet auch Vorteile für den Unternehmer:

Vorteile für den Verbraucher:

1. Das gewünschte Objekt wird ausführlich mit der Leasinggesellschaft besprochen und auf die finanziellen Möglichkeiten des Leasingnehmers abgestimmt. Wie beim privaten Neubau häufig überschrittene Kosten gibt es nicht!!
2. Das fertige Objekt wird nach entsprechender Abnahme vom Leasingnehmer übernommen – oder solange nachgebessert, bis es übernommen werden kann. Da die Leasinggesellschaft als Auftraggeberin (zukünftige Eigentümerin) eine völlig andere, stärkere Position gegenüber der Bauunternehmung hat, kann Ärger zwischen dem Leasingnehmer , dem „privatem Bauherrn“ und der Bauunternehmung fast völlig ausgeschlossen werden. Der Leasinggeber ist Auftraggeber, nicht nur Geldgeber wie eine finanzierende Bank!
3. Der Verbraucher hat über einen vertraglich vereinbarten langen Zeitraum völlig festliegende Kosten bei größtmöglicher Freiheit. Er ist zwar eigentlich Mieter, aber in einem Haus, das er durch seine Leasingraten genauso sukzessive erwirbt wie bei einer Bankfinanzierung, hat aber mit dem Leasingunternehmen einen Partner an seiner Seite, der nicht nur finanziert sondern als Auftraggeber gegenüber dem Bauunternehmen auch auf die Qualität achtet.
4. Der Leasingnehmer hat trotz festen Vertrages die bessere Möglichkeit, seinen Vertrag außerordentlich zu beenden, als bei einem bankfinanzierten Objekt: Er kann entsprechend seinem Vertrag einen vom Leasinggeber akzeptierten Nachfolger präsentieren oder mit der Leasinggesellschaft als potentem Partner gemeinsam einen Nachfolger suchen. Der Leasinggeber versteht im Zweifel mehr von Immobilienverwertung als ein Kreditgeber bei der Bank.

Vorteile für den Bau-Unternehmer:

1. Der Unternehmer hat mit dem Leasinggeber eine professionellen Auftraggeber, nicht einen „einmal-im-Leben-Bauherren“. Die Entscheidungen werden einfacher und schneller, ein zufriedener Leasinggeber baut auch öfter und benötigt entsprechende Unternehmer.
2. Der Unternehmer bekommt ganz sicher sein Geld, wenn er seinen Teil des Werkvertrages einhält.
3. Ein Bauunternehmer könnte sich einen Leasinggeber quasi als Verkäufer suchen, der in jedem Fall durch die sehr interessante Finanzierung ein besserer Verkäufer sein wird als er selbst.

6 Zusammenfassung

Warum man das Hausleasing als eine äußerst interessante Form des Eigentumserwerbs an Immobilien bisher nicht gefunden hat, ist dem Autor schleierhaft.

Ein Grund wird der gleiche sein, der für diesen Beitrag auslösend war:

Man hat einfach nicht danach gesucht – man wurde beauftragt, sich mit dem Thema auseinander zu setzen!

1.4 Betriebsorganisation
Bauen mit Holz in der Stadt

Tom Kaden

1 Einleitung

Die Bauherrengemeinschaften der so genannten "freien Baugruppen" gewinnen derzeit gerade in den östlichen Innenstadtbezirken Berlins, zunehmend jedoch auch in anderen Städten und Regionen immer mehr an Bedeutung. Zweck ist zum einen die Zurückweisung einer auf Boden- und Immobilienspekulation beruhenden Gewinnmaximierung durch Bauträgergesellschaften in besonders beliebten Wohnbezirken und zum anderen ein Höchstmaß an architektonischer Individualität verbunden mit einer optimalen Anpassung der Preis-Leistungs-Bilanz an diese individuellen Bedürfnisse. Im Rahmen der gemeinsamen Projektentwicklung, Planung und Ausführungsbetreuung werden die Belange des gemeinschaftlichen Wohnens durch den „kritischen Stadtbürger“ im urbanen Umfeld gestärkt und das Quartier um den Gemeinschaftsaspekt der Baugruppentätigkeit nach Prinzipien des energetisch optimierten und nachhaltigen Bauens erweitert.

Stadtsoziologisch betrachtet muss man allerdings die Baugemeinschaften gerade im Berliner Stadtbezirk Prenzlauer Berg auch kritisch betrachten: Sie tragen zumindest zur Verfestigung des Gentrifizierungsprozesses bei.

2 Definition

Der Bergriff Baugemeinschaft impliziert die Schaffung von selbst genutztem Wohneigentum, das auf Wunsch einer Gruppe von Bauherren in Eigenregie mit professioneller Unterstützung und in der Regel als mehrgeschossiges Gebäude baulich umgesetzt wird. Im Vordergrund steht dabei das gemeinschaftliche Bauen und Wohnen unter Beteiligung der Bauherren an der Planung und Einflussnahme an der Umsetzung individueller Bedürfnisse mit dem Vorteil des kostengünstigeren Bauens in der Gemeinschaft.

3 Vorteile

Die Baugemeinschaft verbindet das Ziel, sich gemeinsam ein Wohnhaus zu bauen, um selbst darin zu wohnen. Häufig übernehmen die Bauherren dabei Aufgaben, die sonst ein Investor oder Bauträger ausführt. Damit ist in der Regel für den Einzelnen der Aufwand höher, dafür ist er jedoch in den laufenden Prozess eingebunden und kann das Gebäude aktiv mitgestalten.

Ein wesentlicher Grund für die aktuell große Nachfrage liegt in der Tatsache, dass das Bauen in einer Baugemeinschaft gegenüber dem Erwerb einer Wohnung von einem klassischen Investor oder Bauträger deutlich günstiger ist, da der Aufschlag für Gewinn und Risiko entfällt.

Ein weiterer positiver Aspekt betrifft die niedrigeren Nebenkosten, die bei einem gemeinschaftlichen Bauvorhaben gegenüber traditionellen Projekten einzelner Bauherren sowohl für den Bau selbst als auch während der Nutzung anfallen. So ist die Grunderwerbssteuer für Mitglieder einer Baugemeinschaft bei Beachtung der steuerlichen Rahmenbedingungen deutlich geringer, da sie im Gegensatz zum Kauf vom Bauträger nur auf die Kosten des Grundstücksanteils erhoben wird.

Des Weiteren gibt es bei gemeinschaftlichen Bauprojekten die Möglichkeit der Umsetzung eigener Wohnvorstellungen, bei der ggf. auch neue Arten von Lebenskonzepten einfließen können.

Die Baugemeinschaft ermöglicht darüber hinaus das Zusammenleben in einer selbst gewählten und sich organisierenden Gruppe, welches über die herkömmliche nachbarschaftliche Kontaktpflege hinausgeht und zu einer stabilen Hausgemeinschaft führen kann. Durch den gemeinschaftlichen Planungs- und Bauprozess entsteht schon vor dem Einzug eine enge nachbarschaftliche Bindung unter den Mitgliedern. Da die Bau-

gemeinschaft neben dem privaten Wohnraum auch Gemeinschaftsflächen plant, setzen sich die zukünftigen Bewohner bewusst damit auseinander, wie sie das soziale Leben in ihrem Objekt gestalten möchten. Es können Möglichkeiten der gegenseitigen Unterstützung entstehen, wie z.B. der Kinder- und Seniorenbetreuung, der Einrichtung gemeinsamer Gästewohnungen oder eines Kindergartens.

Mit der Schaffung von Wohnraum in baugemeinschaftlicher Form besteht für Städte und Kommunen durchaus die Chance, eine aktive Bewohnerschaft in die Innenstädte zu holen bzw. dort zu halten.

4 Die Baugemeinschaft als Akteur des städtischen Verdrängungsprozesses

Gleichzeitig jedoch besteht auch eine große Gefahr: Es gibt gerade im Berliner Stadtbezirk Prenzlauer-Berg seit Mitte der 90iger Jahre starke Tendenzen der klassischen Gentrifizierung, der Verdrängung durch Aufwertung; ca. 80 % der vorhandenen Bevölkerungsstruktur wurde bereits „ausgetauscht" – aus einem relativ sozial durchmischtem Stadtbezirk wurde innerhalb weniger Jahre ein homogen besetzter Bereich: hier wohnt die einkommensstarke Akademikerfamilie im Alter von 30 bis 45 Jahren mit ihren 1 bis 2 Kindern.

Während der soziale Wohnungsbau zum Stillstand gebracht wurde, blüht in Berlin die Bautätigkeit im Bereich luxuriöser Wohnungen und die Idee der sozial durchmischten Stadt ist längst zu einem Lippenbekenntnis verkommen.

Es ist davon auszugehen, dass die Baugruppen zur Verdrängung der auf soziale Transferleistungen angewiesenen Bewohnerschaft zumindest beitragen. Im Übrigen verkaufte der Berliner Senat Tausende von kommunaleigenen Wohnungen und Grundstücken an private Anleger und entzog sie damit einer sozial orientierten kommunalen Steuerung.

Abb. 1: erster 7-Geschosser aus Holz, Ansicht Straßenseite, Esmarchstr. 3, Berlin [1]

5 Der Weg

Baugemeinschaften entstehen im Wesentlichsten aus drei Motivationen: private Interessenten gründen eine Bauherreninitiative, Architekten entwickeln ein Projekt oder eine Stadt initiiert eine Kommunalinitiative.

Generell zeichnen sich gemeinschaftliche Bauprojekte durch einen wesentlich höheren Organisationsaufwand für Bauherren und Planer aus als herkömmliche Bauvorhaben. Je mehr Übereinstimmung in der Zielsetzung und Vorgehensweise herrscht, desto erfolgreicher stellt sich die Entwicklung eines Projektes dar.

Um Entscheidungsprozesse zu beschleunigen und zu vereinfachen ist es ratsam, dass die Gruppe zu einem frühen Zeitpunkt eine klare thematische Aufgabenverteilung definiert. Folgende Felder sind zu besetzen: Organisation, Finanzen, Recht, Gestaltung und Technik sowie die Öffentlichkeitsarbeit. Des Weiteren ist es wichtig, dass bei den Treffen jeweils eine Person die Gesprächsleitung und eine weitere die Protokollführung übernimmt. Zudem muss sich die Gruppe darüber

einigen, mit welchen Mehrheitsverhältnissen Beschlüsse gefasst werden.
Unbedingt sollte ein erfahrener Rechtsbeistand beteiligt werden, der die relevanten Vereinbarungen entwirft, den Interessen der Gemeinschaft anpasst sowie während der gesamten Bauzeit gegebenenfalls beratend zur Verfügung steht.

6 Initiativen

6.1 Bauherren-Initiative

Diese Initiative ist ein selbst organisierter Zusammenschluss von Bauherren, die sich ein passendes Grundstück sowie weitere Partner für die Realisierung suchen. Diese Form der Initiative erfordert ein nachhaltiges Engagement der Beteiligten, bietet allerdings auch den größten Einfluss auf die Zusammensetzung der Gruppe und die Umsetzung des Vorhabens. Der Selbstfindungsprozess nimmt in der Regel einen längeren Zeitraum ein und zu Beginn herrscht innerhalb der Gemeinschaft noch eine hohe Fluktuation.

Für die Realisierung des Vorhabens in Eigeninitiative ist meist die Grundstücksbeschaffung die größte Hürde, da geeignete Angebote in der Regel nicht so lange vorgehalten werden, bis eine Gruppe den Planungs- und Abstimmungsprozess abgeschlossen hat.

Die wichtigsten Kriterien bei der Auswahl des Architekten sind seine architektonische Qualität, Kooperationsbereitschaft und seine Kommunikationsfähigkeit, die teilweise divergierenden Wünsche in realisierbare und tektonisch anspruchsvolle Pläne um zu setzen.

6.2 Architekten-Initiative

Ein wesentlicher Vorteil der Architekten-Initiative liegt in der von Beginn an professionellen Erarbeitung des Projektes für ein in der Regel bereits ausgewähltes Grundstück mit Kaufoption unter Berücksichtigung der baurechtlichen Belange.

Bei diesem Modell finden sich die Mitglieder der Baugemeinschaft aufgrund des vom Architekten erstellten Konzeptes und haben in der Regel wenig Einfluss auf die Zusammensetzung der Gruppe. Der Architekt moderiert die Gruppe entweder selbst oder zieht einen Projektsteuerer hinzu. Der Planungs- und Bauprozess wird straff, aber unter weitgehender Berücksichtigung individueller Realisierungswünsche organisiert.

Das Maß der Beteiligungsmöglichkeiten am Planungsprozess kann jedoch abhängig von den festgelegten Parametern des Architekten sein. Häufig sind hierbei die Gebäudestruktur, das architektonische Erscheinungsbild und die prinzipielle Materialauswahl sowie die konstruktive Bauweise bereits definiert. Veränderungsmöglichkeiten für die Nutzer ergeben sich in den Bereichen Grundriss, Ausstattung und Größe der einzelnen Wohnungen.

6.3 Kommunale Initiative

Einige Kommunen nutzen das Potential der Baugemeinschaften, um bei der Umnutzung oder Neuerschließung von größeren städtischen Arealen einen attraktiven neuen Stadtteil mit hoher Identifikation der zukünftigen Bewohner zu schaffen. Dies kann so umgesetzt werden, dass Stadt oder Kommune die Baugrundstücke vorzugsweise an Baugemeinschaften vergibt, die Gruppenbildung durch Informationsveranstaltungen anstößt und bis zur Beauftragung eines Architekten beratend begleitet.

7 Realisierung

7.1 Realisierung - Interessensfindung

In dieser Phase besteht meist ein loser Zusammenschluss von Bauwilligen auf der Suche nach weiteren Mitgliedern mit ähnlichen Beweggründen und Zielsetzungen. Es werden die ersten Vorstellungen über das gemeinsame Bauen und Wohnen entwickelt. Da in dieser Phase die Zusammensetzung der Gruppe ein hohes Maß an

Unverbindlichkeit aufweist und noch keine Investitionen getätigt werden, hat die Interessensfindung meist keinen festen Rahmen.

7.2 Realisierung - Planungs- und Bauphase

In diesen Phasen werden auf gemeinschaftlichen Versammlungen, je nach Bedarf ein bis vier Mal pro Monat, Beschlüsse hinsichtlich der Zuteilung der Wohnungen sowie Gemeinschaftsflächen, der Gebäudekonzeption, der Auswahl der Architekten, Fachplaner und Baufirmen bis hin zur Auswahl von Materialien und der Klärung von Kosten- und Finanzierungsfragen getroffen.

Wenn die Bauwilligen sich zu einer festen Gemeinschaft zusammengeschlossen haben und erste fachliche Beratungen in Anspruch nehmen, benötigen sie zur gegenseitigen finanziellen Absicherung rechtliche Rahmenbedingungen. Die gewählte Rechtsform (GbR oder Genossenschaft) regelt insbesondere die finanziellen Verpflichtungen, die Verteilung der Kosten, die Mitspracherechte und letztlich auch den möglichen Austritt aus der Gemeinschaft.

7.3 Realisierung - Wohnphase

Die in der Bauphase bestehenden Rechtsformen münden in eine der zwei möglichen Eigentumsformen:

- Die Gesellschaft bürgerlichen Rechts (GbR) wird in der Wohnphase in eine Wohneigentumsgemeinschaft nach WEG umgewandelt oder mündet in eine Mietergenossenschaft
- Die genossenschaftliche Baugemeinschaft (eG) aus der Bauphase bleibt auch in der Wohnphase erhalten.

8 Baugemeinschaften

8.1 Gesellschaft bürgerlichen Rechts (GbR)

In der Planungsphase enthält der Gesellschaftervertrag im Wesentlichen die Regelungen der Abstimmungsverhältnisse, Ein- und Austritte sowie Vertretungsformen. Das Ausscheiden aus der Gesellschaft in dieser Phase ist noch relativ einfach möglich, soweit der bestehenden Gesellschaft kein nachweisbarer Schaden entsteht.

Der Baugesellschaftsvertrag stellt eine systematische Erweiterung des Planungs-GbR-Vertrages dar und umfasst insbesondere die allgemeine Bauverpflichtung der Gesellschafter, Festlegungen hinsichtlich der Kostenverteilung sowie der Liquiditäts- und Zahlungsmodalitäten. Eine Absicherung gegen den Ausfall eines Gesellschafters bietet dieser Vertrag nicht.

Jeder Interessent, der sich am Bauvorhaben beteiligt, wird Gesellschafter. Die Geschäftsführung und Vertretung kann entweder von allen Gesellschaftern gemeinsam oder aus den Reihen der Gesellschaft sowie auch extern, z.B. an den Architekten, vergeben werden. Die Finanzierung erfolgt über eine Eigenkapitaleinlage der einzelnen Gesellschafter von 20 bis 30 % und über Darlehen für die restlichen 70 bis 80 %. Die laufenden Kosten werden individuell, ja nach zukünftigem Anteil am gemeinsamen Eigentum, berechnet. Für Verbindlichkeiten während der Planungs- und Bauphase haften die Gesellschafter persönlich unmittelbar, unbeschränkt und gesamtschuldnerisch.

8.2 Eigentümergemeinschaft nach dem Wohneigentumsgesetz (WEG)

Durch den notariell zu beurkundenden Teilungsvertrag für das Gebäude wird die Gesellschaft des bürgerlichen Rechts aus der Bauphase in eine Wohnungseigentümergemeinschaft nach dem Wohneigentumsgesetz (WEG) überführt. Bei der Wohnungseigentümergemeinschaft erhalten die einzelnen Eigentümer das Sondereigentum an den einzelnen Wohnungen und einen so genannten ideellen Bruchteil an Grund und Boden sowie den gemeinschaftlichen Gebäudeteilen. Zusätzlich können Sondernutzungsflächen festgelegt werden. Dabei wird für jede Wohnung ein eige-

nes Grundblatt angelegt. Im Rahmen der Finanzierung kann darin eine individuelle Grundschuld eingetragen werden. Das bedeutet, dass kein Eigentümer für die Kreditverpflichtung das anderen aufkommen muss.

8.3 Genossenschaftliche Baugemeinschaften

Auch die genossenschaftliche Eigentumsform kann für Baugemeinschaften interessant sein. Neuerdings werden über diese Rechtsform verstärkt Projekte im Neubaubereich realisiert, in die soziale Dienstleistungen mitintegriert werden. Bei vielen genossenschaftlichen Baugemeinschaften stehen sozialkulturelle, integrative Ziele im Vordergrund und bilden häufig das Motto der Genossenschaft.

Der Genossenschaftsansatz stützt sich auf die Prinzipien gemeinschaftlichen Eigentums, Selbstverwaltung, Selbsthilfe sowie Selbstverantwortung. Bei diesem Erwerbermodell wird von der Initiativgruppe eine Genossenschaft gegründet, die als Bauherr auftritt und deren Mitglieder die späteren Bewohner sind. Diese beteiligen sich als Anteilseigner an der Genossenschaft, welche wiederum Eigentümer des Gebäudes sowie des Grundstücks ist. Die Genossenschaftsmitglieder verfügen damit über ein Dauernutzungsrecht – eine Art Wohnrecht auf Lebenszeit, das langfristig bezahlbaren Wohnraum sichert. Sie haben jedoch kein Eigentumsrecht an der Wohnung. Genau wie bei der GbR ist die Mitgestaltung der künftigen Bewohner bei der Projektentwicklung möglich.

9 Zusammenfassung

Es ist sicher kein Zufall, dass die erste 7-geschossige innerstädtische Holzkonstruktion durch eine Baugruppe ins Leben gerufen wurde - und eben nicht durch einen renditeorientierten Investor.

Dieses Baugruppenprojekt „e3 GbR“ versteht sich als Prototyp für einen innovativen städteplanerischen und bautechnischen Ansatz, der das Zusammenwirken von architektonischer Attraktivität, maximaler Umweltschonung und Nachhaltigkeit bei der Verdichtung im urbanen Binnenbereich mit neuen Ideen bereichern will.

Leider sind die klassischen Vorurteile zum Thema Holzbau in der Stadt in der Berliner Verwaltung noch sehr manifest und können unserer Meinung nach nur mittels innovativer und öffentlichkeitswirksamer Projekte sowie erweiterter Qualifizierungsmaßnahmen der kommunalen Mitarbeiter relativiert werden. Da sehen wir vor allem die städtischen Verwaltungen im Dialog mit den Ingenieur- und Architektenkammern in der Pflicht.

Quellen

[1] Architekturbüro Kaden + Klingbeil, Abb. Holzabsatzfonds HAF, Bonn

Abb. 2: Rückseite [1]

Abb. 3: Detail Fassade [1]

Abb. 4: Innenraum [1]

Abb. 5: Innenraum [1]

1.4 Betriebsorganisation
Partizipation am Bau- und Planungsprozess

Peter Hübner

1 Zusammenfassung

Eine menschengemäße Umwelt zu bauen, soll hier unter einem anderen Aspekt beleuchtet werden: planen und bauen unter Einbeziehung der späteren Nutzer, also Partizipation und Selbsthilfe wurde von uns begonnen, um sozialschwachen Gruppen kostengünstige Räume zu schaffen und es dauerte lange, bis wir begriffen haben, welch überraschender Nebeneffekt dabei sichtbar wurde.

Bauen ist nicht nur ein technischer, sondern auch ein sozialer Prozess, der darüber hinaus weit in die psychischen Bedürfnisse der Menschen eingreift. Der Mensch ist durch seine genetische und historische Entwicklung hausbedürftig und hausbaufähig.

Die Beteiligung der Menschen an der Planung und am Bau ihrer Häuser ist ein urmenschliches Bedürfnis und führt deshalb besonders auch bei jungen Menschen zu einer unglaublichen Identifikation mit den Häusern, die in Partizipation entstanden sind.

Ich bin auf das partizipative Bauen durch meine Lehrtätigkeit an der Universität Stuttgart gekommen, wo die Studenten und Studentinnen in Selbsthilfe Häuser gebaut haben, die sie selbst entworfen hatten. Bei der Beobachtung dieser Projekte wurde offensichtlich, dass Bauen nicht nur ein technischer sondern auch ein sozialer Prozess ist. Da die so entstandenen Bauten auch 20 Jahre später von den nachfolgenden Generationen noch genauso geliebt werden, wurde klar, dass darüber hinaus noch eine psychische Bedürftigkeit nach einer menschengemäßen Behausung besteht.

2 Einleitung

Es gibt so etwas wie die Aura eines Ortes, die dann entsteht, wenn eine hohe Übereinstimmung zwischen den Wünschen und Bedürfnissen der Nutzer und der gebauten Umwelt existiert.

Abb. 1: Workshop zum Raum der Stille in Ludwigshafen

Wir haben lange gebraucht, um herauszufinden, worin dieses Besondere besteht und wie es auf nahezu selbstverständliche Art und Weise entstehen kann. Wenn man den Entwurf und den Bau von Häusern nicht als einen diktatorischen von wenigen Spezialisten zu leistenden Schöpfungsakt sieht, sondern als einen langsam wachsenden Prozess, bei dem sich die späteren Nutzer ideell und tatkräftig einbringen können, dann entsteht so etwas, wie eine maßgeschneiderte Lebensumwelt.

Wir haben entdeckt, dass gerade der Anfang eines solchen Entwicklungsprozesses von ausschlaggebender Bedeutung ist und es darauf ankommt, den Laien ein Gefühl zu vermitteln, dass gerade ihre Wünsche, Anregungen, Ideen und Kreativität gewünscht und gewürdigt werden.

Das spätere Haus fängt diesen Entwurfsprozess in all seinen unterschiedlichen Facetten ein und bildet ihn auf geheimnisvolle Weise irgendwie ab, indem jeder Mensch, der ein solches Gebäude

später betritt, das Gefühl haben wird, hier hätte etwas ganz Besonderes stattgefunden.

Häuser erinnern die Geschichte ihres Gemachtseins. Auf subtile Weise werden die Spuren der verschiedenen Personen, ihrer Herzen und Hände sowohl konserviert als auch für Dritte lesbar gemacht.

Aus vielen bereits realisierten Projekten wissen wir, dass Entwerfen und Bauen in der Gruppe möglich ist und dass dies eine wirksame soziale Komponente beinhaltet, bei der alle am Entwurf und Bau Beteiligten langfristig davon profitieren und über ein tiefes gegenseitiges Verständnis und freundschaftliches Miteinander in der Regel zu einer sehr starken Gruppe zusammenwachsen.

Bauen ist also weit mehr als ein technischer auch ein sozialer Prozess. Dass hiervon Nachbarschaft und Stadt profitieren, war früher selbstverständlich und zeigen viele historische Beispiele.

3 Schulbau

Obwohl auch in der BRD viel für die Reform des Schulhausbaus getan wurde: Vor fast einem halben Jahrhundert hat Hans Scharoun in Marl und in Unna zwei Schulen gebaut, die so innovativ sind, dass sie heute noch Vorbild sein könnten, bedauern wir sehr, dass es nicht mehr Experimente gibt, da ohne flächendeckende Erneuerung der Schulpädagogik und Schulbauten die Chance einer nachhaltigen Bildung unserer Kinder vertan werden wird. Der Andrang an den Privatschulen zeigt dieses eindringlich.

Bedingt durch den vertrauensvollen Partizipationsprozess und die enge Einbindung der Pädagogen entsteht eine so dichte und intensive Projektentwicklung, dass zum Schluss das gemeinsame Schulgebäude viele Väter hat. Prof. Christoph Rittelmeyer hat in seinem Buch „ Pädagogische Anthropologie des Leibes, Biologische Voraussetzungen der Erziehung und Bildung“ aufgezeigt, wie sehr der Raum besonders auch bei Schulen die Entwicklung und das Wohlbefinden, das Lernverhalten und die sozialen Interaktionen beeinflusst. Es gibt sie also tatsächlich die pädagogische Architektur und das Wort, dass der Schulraum der dritte Lehrer sei, ist wahr.

Schule wird von uns als ein Interaktionsprozess zwischen Lehrern, Schülern und bestenfalls auch Eltern verstanden, als ein Stück Lebensaktivität für alle Beteiligten.

Den Lebensraum, die schützende Hülle für diesen Lebens- und Erziehungsprozess, stellt das Schulgebäude mit seinem Umfeld dar und ihm kommt, eine weit wesentlichere Bedeutung zu, als viele Architekten und Pädagogen ahnen.

Genauso wie zwischen Lehrenden und Lernenden so etwas wie ein positives Beziehungsgeflecht an emotionalen Bindungen entstehen kann, so gibt es dieses auch zwischen Menschen und ihren Häusern.

Schule muss ein lebendiger und anregender, kleinteiliger, differenzierter, individueller Ort sein und insofern ist das Bild der gewachsenen Stadt sicher gut geeignet, als Vorbild zu dienen.

3.1 Evangelische Gesamtschule EGG, Gelsenkirchen-Bismarck

In Gelsenkirchen-Bismarck wurde 1993 ein internationaler Wettbewerb der IBA Emscher Park in Zusammenarbeit mit der Evangelischen Kirche für eine Gesamtschule ausgelobt, die als Stadtteil-Schule, als neuer Mittelpunkt von Bismarck, mit 30% Arbeitslosigkeit und 30% türkischer Bevölkerung, konzipiert war. Die Schule sollte darüber hinaus multikulturell und multikonfessionell sein und sie sollte in dem Sinne ökologisch sein, dass ein umweltbewusstes Handeln zum täglichen Alltag gehören würde.

Neben Ihrer vielgestaltigen Ausbildung ist insbesondere auch dieses Wachstum als eine Analogie zur gewachsenen Stadt gedacht und es zeigt sich tatsächlich, dass hierdurch so etwas wie Geschichte entsteht. Die Gesamtschule selbst wird 900 Schüler haben, die Sekundarstufe 2 noch einmal 450, so dass sich beim Wettbewerbsentwurf das Problem darstellte, wie kann man bei 1350 Schülern ökologisches Bewusstsein als "learning by doing" verwirklichen.

Unser radikaler Ansatz war, die große Zahl der Schüler in überschaubare Gruppen zu teilen und diesen ihre eigene Autonomie zu geben. Es lag nahe, hierfür die Klasse zu wählen, die bei unserem Konzept jeweils ein "Reihenhausgrundstück" zur Verfügung gestellt bekommt, um auf diesem ein eigenes Haus und einen eigenen Garten zu entwerfen und zu realisieren.

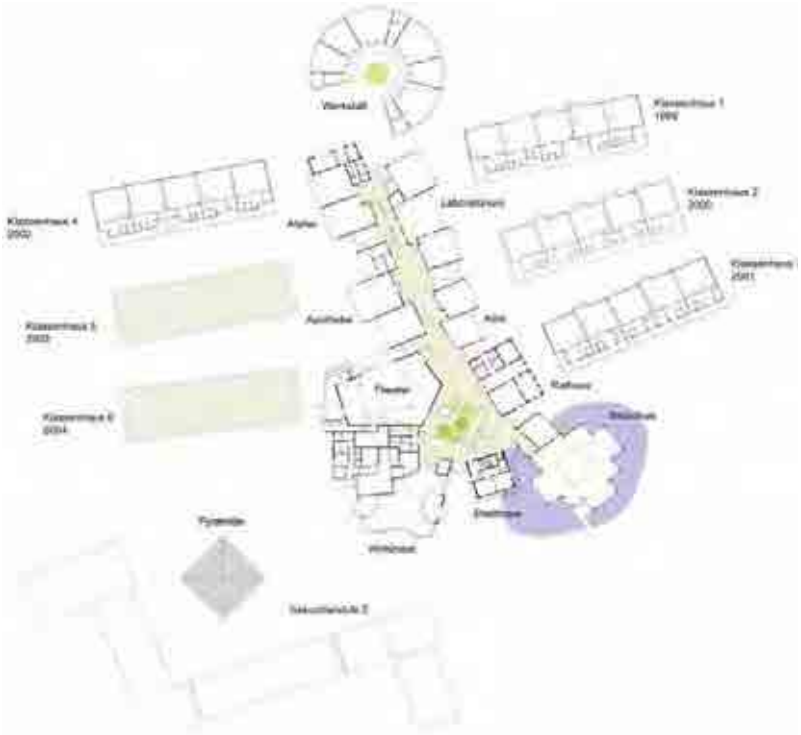


Abb. 2: Lageplan Evangelische Gesamtschule Gelsenkirchen

Abb. 3: Arbeitsmodell 1/10 wird zur Präsentation getragen

Diese auf den ersten Blick unmöglich scheinende Vorgehensweise, nämlich 10 und 11-jährige Kinder mit dem Entwurf Ihrer eigenen Klassen zu betrauen und sie dann auch noch an der Realisation zu beteiligen, bringt als entscheidenden Gewinn, dass man mit keiner anderen Art und Weise eine so hohe Identifikation zwischen Bewohner und Haus, in unserem Fall also zwischen Schüler und Schule, erzeugen kann.

Die Schulstadt der evangelischen Gesamtschule in Gelsenkirchen-Bismarck besteht aus Marktplatz, Hauptstraße, sowie seitlich angeordneten sechs Gassen an denen die Reihenhausgrundstücke der Klassen liegen.

Marktplatz und Hauptstraße werden gesäumt vom Stadthaus (das eigentlich nicht zur Schule sondern zur Kommune gehört und für soziale Beratungsdienste genutzt wird), der Bibliothek, der Kapelle, dem Rathaus, dem Kino, dem Laboratorium, dem Atelier, der Apotheke, dem Theater, sowie dem Wirtshaus. Am Nordausgang der Straße steht das runde Werkstattgebäude um einen Werkhof, seitab die Arena, eine dreiteilige Sporthalle, sowie die Pyramide und der Altbau, der später die Sekundarstufe 2 aufnehmen wird.

Abb. 4: Arbeitsmodell 1/10 wird der Öffentlichkeit präsentiert. Die Reihenhäsuer werden zusammengefügt.

Abb. 5: Gegenseitiges Mass nehmen, wie groß sind wir, wie viel Platz brauchen wir.

Diese Gebäude wurden in unserem Büro von jeweils einem Architekten / einer Architektin selbstverantwortlich geplant, sodass auch von hier aus ein vielfältiges Erscheinungsbild garantiert war. Es wurde bewusst in Kauf genommen, keine Schule aus einem Guss zu realisieren, die kleinen Fehler sind so tröstlich, wie der Leberfleck im Gesicht der allzu Schönen.

Die Realisation der Klassenhäuser geschieht nun zeitversetzt zur Ankunft der jeweiligen Fünftklässler, die am Beginn ihrer Schulzeit zusammen mit uns Architekten mit großem Eifer ihr eigenes Klassenhaus entwerfen. Dies geschieht in zwei Projektwochen, jeweils an zwei Tagen und es ist erstaunlich, wie weit die Entwürfe mit unserer Hilfe in dieser Zeit gedeihen.

Am Ende des Schuljahres sind dann die Häuser von Handwerkern gebaut und die Schüler helfen beim Treppenbau und bei der Inneneinrichtung sowie der Gartenanlage.

Abb. 6: Fertiges Modell mit Erbauern der Fünften Klasse.

Abb. 7: Ausschnitt einer Klassenhauszeile 1 Baujahr 1999

Abb. 8: Innenraum Klassenzimmer der Zeile 5 Baujahr 2003

Spätestens jetzt ist die Klassengemeinschaft eine eingeschworene Gruppe, die mit großer Begeisterung ihr Haus bezieht, das wie bei einem richtigen Einfamilienhaus einen eigenen Eingangsbereich mit Vorplatz, Garderobe und WC, den Klassenraum mit Galerie und Erker, sowie einen Garten besitzt.

Die Schüler bleiben jetzt die nächsten fünf Jahre in ihrem eigenen Haus, für dessen Ausschmückung, Sauberhaltung und energetischen Betrieb sie zuständig sind und dessen Garten sie pflegen und beernten.

Wie bei anderen Partizipations- und Selbsthilfeaktionen auch, haben wir in Gelsenkirchen wiederum erlebt, welche stimulierende Wirkung auf das soziale Zusammenleben und das persönliche Selbstwertgefühl durch eine solche Maßnahme entsteht.

Die gruppendynamischen Prozesse schweißen die einzelnen Klassen zusammen und geben ihr das Gefühl von einer großen Identität, von Besitzerstolz und Verantwortungsgefühl für die eigene Welt.

Abb. 7: Erker Klassenzimmer als Sitzecke

Neben dem pädagogischen Konzept, das der Gründungsrektor Prof. Rainer Winkel in einem besonders auch für Schulbauarchitekten sehr interessanten Buch "Theorie und Praxis der Schule" (Lit.) beschrieben hat und das er mit einem Team von hoch motivierten und engagierten Lehrerinnen und Lehrern verwirklicht, haben alle Beteiligten das sichere Gefühl, dass auch die ge-

baute Umwelt wesentlichen Einfluss auf die hohe Lernbereitschaft, den liebevollen Umgang miteinander und das Gefühl von Zuhausesein und Heimat in der neuen Schule hervorruft. Häuser sind eben mehr als Wetterschutzhüllen und Städte mehr als Verkehrswege.

Sie sind beide lebensnotwendige Voraussetzung für eine persönliche und gesellschaftliche Entwicklung und insofern ist die als kleine Stadt gebaute Evangelische Gesamtschule in Gelsenkirchen- Bismarck gleichzeitig ein Modell für eine zukunftsweisende soziale Stadt, als eine Erinnerung an Qualitäten und Werte, die früher einmal selbstverständlich waren und die heute durch die Macht der Investoren und die Ignoranz vieler Planer scheinbar unmöglich geworden ist.

Haus und Stadt sind zur Ware verkommen, bei der in der Regel viel zu große, viel zu anonyme, viel zu menschenfeindliche undifferenzierte Gebäude zu monotonen und langweiligen Agglomerationen zusammengefügt werden.

Alexander Mitscherlich würde auch heute noch von der "Unwirtlichkeit unserer Städte" sprechen, Konrad Lorenz von der "Nutzmenschenhalterung in Batteriestallungen" und Hermann Zille von dem Potenzial "man könne einen Menschen mit einer Wohnung erschlagen wie mit einer Axt".

Hugo Kükelhaus und Christopher Alexander haben in ihren Büchern immer wieder auf die Notwendigkeit menschengemäßer Häuser und Städte hingewiesen, es wäre wichtig sie immer wieder und wieder zu lesen und als Architekt(in) zu beachten.

Die eigentliche Botschaft der Ev. Gesamtschule in Bismarck ist:
Die Rückkehr zur differenzierten, kleinteiligen Stadt aus individualisierten Gebäuden könnte unter anderem dadurch möglich werden, dass wieder Mitsprache und Verantwortung an die BürgerInnen, als die eigentlichen NutzerInnen zurückgegeben würden.

Quellen

[1] Peter Hübner, Kinder bauen ihre Schule
[2] Peter Blundell Jones, Building as a social Process (Bauen als sozialer Prozess), Edition Axel Menges
[3] Rainer Winkel, Theorie und Praxis der Schule, Schneider Verlag, Hohengehren 1997
[4] Christopher Alexander, Eine Muster-Sprache (A Pattern Language), Löcker Verlag, Wien 1995
[5] Hugo Kükelhaus, Von der Tierfabrik zur Lernanstalt, Gaia Verlag, Köln

1.4 Betriebsorganisation
Zukunft des Holzbaus aus der Sicht der Holzfachhändler

Josef Plößl

1 Der Holzfachhandel in Deutschland

2008 gab es in Deutschland ca. 1.700 Holzhandelsbetriebe mit einem Gesamtumsatz von rund 11,3 Mrd. €. Der Holzhandel beschäftigt rund 39.000 Mitarbeiter. In Baden-Württemberg sind es ca. 180 Holzhandelsunternehmen mit einem Gesamtumsatz von 1,6 Mrd. Euro [Umsatzsteuerstatistik]

Die Sortimente des Holzhandels sind Schnittholz, Hobelware, Plattenwerkstoffe, Ausbauprodukte, Fußböden, Bauelemente, Holz im Garten und nicht-holzartiges Sortimente, DIY-Artikel.

Die wichtigsten Abnehmergruppen nach Umsatzanteilen sind das Holzhandwerk (44%), die Industrie und Bauunternehmen (17%) und der Letztverbraucher (24%) siehe Tab. 1.

Tab. 1: Kundenstruktur des Holzhandels [GD-Holz]

Gliederung des Holzhandelsabsatzes (2007)	in %
Handwerk (Tischler, Zimmerer, etc.)	44
Industrie, Bauunternehmer und öffentliche Auftraggeber	17
Sonstige gewerbliche Abnehmer	8
Letztverbraucher	24
Sonstige	7

2 Bauprodukte im Holzhandel

Die Rohbauprodukte im Nadelschnittholzsortiment sind Kanthölzer, Bretter, Latten. In weiter verarbeiteter Form Brettschichtholz (BSH), Konstruktionsvollholz (KVH), Duo- und Triobalken; bei den Plattenwerkstoffen Span- und OSB-Verlegeplatten, Schalungsplatten, Holzfaserdämmplatten und Isoliermaterialien.

Wichtige Ausbauprodukte sind Fußböden darunter Fertigparkett, Massivholzdielen, Laminat, an Bauelementen Türen, Haustüren, Fenster.

Wesentliche Rohbausortimente im Absatz bzw. Umsatz des Holzhandels sind im Schnittholz- und Holzwerkstoffumsatz enthalten, vgl. Tabelle 2 „Sortimentsanteile“. Fußböden und Bauelemente gehen zu 100% als Ausbauprodukte ins Bauwesen.

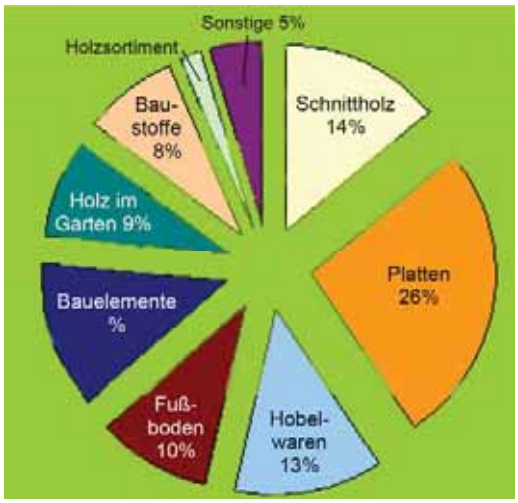


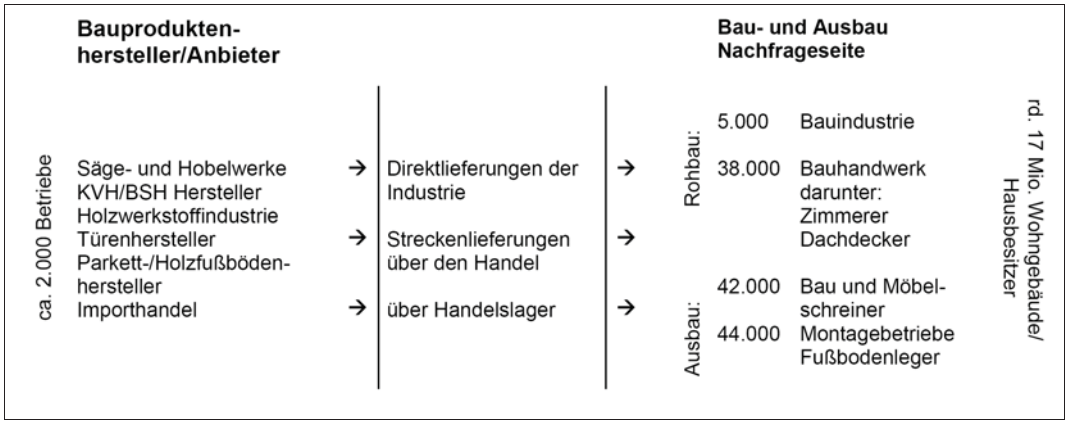
Abb.1: Umsatzanteile der Sortimente im Holzhandelsabsatz [GD-Holz]

3 Der Holzfachhandel als Mittler zwischen Baustoffproduzent einerseits, Bauwirtschaft und Bauherr/Hausbesitzer andererseits

Tab. 2 gibt einen ungefähren zahlenmäßigen Eindruck von der Angebotsseite von Bauproduktanbietern bzw. Herstellern einerseits und der Nachfrageseite des im Rohbau und im Ausbau tätigen Bauhandwerks und der Bauindustrie andererseits.

Die Bauprodukte einer vergleichsweise überschaubaren Anzahl von geschätzten 2.000 Anbietern müssen an schätzungsweise 100.000 Bau- und Ausbaufirmen geliefert bzw. an 17 Mio potentielle Nachfrager bzw. Baustellen in der Fläche „fein“-verteilt werden.

Tab. 2: Angebots und Nachfragerseite [GD-Holz]



3.1 Angebotsseite

Holz und Holzwerkstoffe für den Rohbau:
Die Holzwerkstoffindustrie mit einer Handvoll Unternehmen ist europäisch bzw. international aufgestellt. Auch in der deutschen Sägeindustrie insbesondere bei Nadelschnittholzbauprodukten hat ein enormer Konzentrationsprozess stattgefunden, der weiter anhält.

Ausbauprodukte:
Die Hersteller von Ausbauprodukten wie Türenhersteller, massiven Holzfußböden-, Fertigparkett-, Panelhersteller, etc. sind überwiegend noch mittelständig strukturiert und es gibt eine vergleichsweise für den Herstellerbereich hohe Anzahl von Firmen.

3.2 Nachfrageseite

Zu den holz-„affinen“ Betrieben des Bauhauptgewerbes, die handwerks- und industriell betrieben werden, zählen Hochbauunternehmen, die Zimmereien, der Ingenieurholzbau und die Dachdecker, (s. Tab. 3), die als „Werkstätten“ Bauprodukte nachfragen.

Aus Handels- bzw. Distributionsgesichtspunkten kommen dazu die Baustellen als Lieferorte. Nach Zahlen des Institut Wohnen und Umwelt GmbH (IWU), Darmstadt sind 75% des Wohnungsbaubestandes in Deutschland vor 1979 errichtet und stehen in absehbarer Zeit zur Renovierung bzw. Sanierung an; ein für Holzprodukte interessantes Potential sind Einfamilien- (16,3 Mio Wohneinheiten) und Reihenhäuser (2,4 Mio WE).

Tab. 3: Holz affine handwerkliche und industrielle Betriebe [ZDB 2007]

Anzahl der Betriebe	Handwerk	Industrie
Hochbau (ohne Fertigteilbau)	16.935	2.542
Dachdeckerei	10.822	1.118
Zimmerei und Ingenieurholzbau	9.487	1.190

Von der Marktstellung und Funktion am Markt ist der Holzgroßhandel primär „Produktionsverbindungshandel“ für die Baubranche, die geprägt ist von einer Vielzahl von mittelständischen, Klein- und Kleinstbetrieben. Für die industriellen Abnehmer, die Fertighausindustrie, Ingenieurholzbau mit deren Direktbezug von der Industrie spielt der Holzhandel als Rohbaustoffe-Lieferant eine untergeordnete Rolle.

Die Funktion (Lager- bzw. Distributionslogistik u. Sortimentsbündelung) des Holzhandels in einem lokalen Geschäft wie dem „Bauen“ kann vereinfacht auf den Nenner gebracht werden:

„Die benötigten Produkte zum richtigen Zeitpunkt an der Baustelle bzw. den Baubetrieb zu liefern.“

4 Mittelfristige Bautrends, Wege und Chancen für mehr Bauen mit Holz, auf die der Holzhandels aufgrund seiner Funktion am Markt Einfluss hat

Mittelfristige Trends zeigen ziemlich einhellig folgende Tendenzen:

- Der private Wohnungsneubau wird sich in einem engen Korridor auf niedrigem Niveau stabilisieren.
- Wachstum findet überwiegend nur noch in starken Wirtschaftsregionen statt.
- Der Urbanisierungstrend wird zu einer steigenden Nachfrage in Geschosswohnungsbau.
- Bauen im Bestand, d.h. Renovierung hat das Neubauvolumen längst überholt.
- Energieeinsparmaßnahmen stehen im Vordergrund der Renovierungsinvestitionen; das betrifft im Wesentlichen Dach, Fenster, Fassade.

Dies führt in der Regel zu kleineren Auftragsvolumina als bei Neubauten mit einer differenzierten Produktpalette, speziellen Produkten und Problemlösungen. Dies begünstigt bzw. fordert den Handel mit seiner Logistik- und Sortimentsbündelungsfunktion.

Die unter Abschnitt 3 skizzierte kleinteilige Betriebsstruktur der Bauwirtschaft ist Hemmschuh und Chance zugleich für eine verstärkte Holzverwendung, die Zukunft des Bauens bzw. Sanierens und Renovierens mit Holz.

Die Aufgabe des Holzhandels ist die Logistik / der Transfer von Ware, Informationen und Zusatzleistungen. Informationen werden weiter an Bedeutung gewinnen, was Produktinformationen, Produktdeklaration (CE bzw. EPD, etc.), Verwendungs- bzw. Verarbeitungshinweise und Problemlösungen betrifft. Dies ist neben der eigentlichen Bauausführung ein wesentlicher Punkt für Qualität am Bau.

Die Produktpalette wird sich weiter standardisieren (festigkeitssortiertes, technisch getrocknetes Bauholz statt frische Bauholzliste) und differenzieren in Richtung Systemprodukte (spezielle Wand- und Deckenaufbauten, WDVS).

Produktinnovationen werden vorwiegend von den Bauproduktenherstellern generiert; Produkte brauchen dazu eine gewisse Marktreife und Marktvolumen, bis sie über den Handel distribuiert werden. Eine wichtige Rolle spielt der Handel jedoch bei Produktinnovation, die aus dem Ausland kommen (z.B. Kerto, TJI-Träger, Fassadenprodukte usw.).

Im zunehmenden Maße werden neben den traditionellen Printunterlagen das Internet und Intranet mit geschlossenen Benutzerkreisen zur Kundeninformation und Kundenberatung genutzt.

Neben den Herstellerunterlagen erstellt der Handel bzw. Handelsgruppen auch eigene Unterlagen wie z.B. „Konstruktionshilfen Handbuch“ (Abb. 2).

Abb. 2: Konstruktionshilfen Handbuch [Hagebau]

Abb. 3: Fassadenfibel [Carl Götz GmbH]

Ausstellungen im Holzhandel speziell für die Handwerkerkundschaft haben sich bei Ausbauprodukten, z.B. Türenausstellung, bewährt und werden mittlerweile auch für Zimmerer in Holzfachhandlungen eingerichtet, an denen sich spezielle Wand- und Dachaufbauten, Brand- und Schallschutzproblemlösungen demonstrieren lassen (Abb.3, 4, 5).

Zunehmende Bedeutung als Zielgruppe für Informationen und Beratung durch den Holzhandel gewinnen Architekten und Planer; im Vordergrund stehen i.d.R. Produkte für Problemlösungen bei Aufstockungen, Aufsattelung und Anbau unter Berücksichtigung insbesondere von Fragen des Brand- und Schallschutzes.

Abb. 3: Ausstellung [Fa. Bögner, Kupferzell]

Abb. 4: Ausstellung [Fa. Bögner, Kupferzell]

Abb. 5: Ausstellung [Fa. Bögner, Kupferzell]

DIESE MENGE HOLZ
0,5 m³ PRO SEKUNDE

2 Holzbaubranche, Recht, Politik
Inhaltsverzeichnis

2.1 Holzbaubranche
Holzbaukultur S. 161
Von der Wertschöpfungskette zum Cluster S. 165
Zukunft Holz S. 169
Zukunftsperspektiven Holz(bau) S. 175
Visionen im Holzbau S. 185

2.2 Normung
Nationale und europäische Regelwerke und deren Auswirkungen S. 193

2.3 Politik, Gesetzgebung
Energieeinsparverordnung und Energiepass S. 201
Zertifizierung von Passivhäusern S. 209

2.4 Forschung, Entwicklung
Forschungsübergreifende Plattform S. 219

2 Holzbaubranche, Recht, Politik
Einleitung

Die Baubranche bewegt sich seit langem in einem schwierigen ökonomischen Umfeld mit einem Abwärtstrend bei Bauinvestitionen, insbesondere beim Neubau. Modernisierungen und Sanierungen von bestehenden Gebäuden haben an Bedeutung gewonnen. Immerhin werden nach einer Schätzung der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe 50 bis 60 % des in Deutschland verarbeiteten Holzes in diesem Sektor verwendet. Die Konkurrenz zwischen den Baustoffen und den dahinter stehenden Industriezweigen nimmt sowohl für den Neubau wie auch für die Modernisierung und Sanierung deutlich zu.

Der Holzbau ist im politischen Willensbildungs- und Entscheidungsprozess oftmals wenig präsent. Gerade in Abstimmungsprozessen mit Interessensvertretern verschiedener Baustoffe oder in der Aushandlung mit der Politik über Verordnungen und Richtlinien wirkt sich dies wettbewerbshemmend aus. Ein Grund für die fehlende Repräsentanz ist sicher eine brancheninterne Verbandskonkurrenz. Allein die Zahl von ca. 300 Einzelverbänden ist einer gebündelten Schlagkraft der Branche abträglich.

Kooperation und Vernetzung werden im Allgemeinen als Chance für mittelständische Betriebe beschrieben, am sich ändernden Markt und im Wettbewerb mit großen Unternehmen zu bestehen. Entwicklungsprozesse können beschleunigt, neue Märkte und Kundengruppen erschlossen sowie die Vermarktung gefördert werden. Obwohl die Unternehmen der Holzbranche Kooperationen prinzipiell als sinnvoll erachten, hegen sie erhebliche Vorbehalte gegen horizontale Kooperationen. Dies liegt vor allem an einem starken Konkurrenzdenken untereinander. Als weitere Hindernisse sind mangelnde Termintreue, die unterschiedliche Leistungsfähigkeit sowie divergierende Interessen kooperierender Partner zu sehen.

Die Branche selbst muss ihre politische und gesellschaftliche Interessenvertretung effektiver und effizienter gestalten. Gerade für die Erschließung neuer Marktsegmente ist eine Branchenspezialisierung und -arbeitsteilung notwendig. Gewerkeübergreifende Kooperation und Kompetenzaufbau bei Planung, Projektierung und Bauausführung müssen Schwerpunkte sein. So lässt sich zum Beispiel der lukrative mehrgeschossige Markt bei Neubau und innerstädtischer Sanierung erschließen.

Mit Brancheninnovationen hängt die Verbesserung der politischen Rahmenbedingungen für den Holzbau zusammen. Zentrale Themen sind die stärkere Berücksichtigung des Holzbaus in den Curricula des Ausbildungswesens, eine bessere Ausrichtung der Normung und der Standardisierung auf den Holzbau sowie eine stärkere Berücksichtigung des Holzbaus beispielsweise über das Instrument der öffentlichen Beschaffung. [Quelle: „Zukunftsmärkte der Forst-Holz-Kette“]

Neue Verbandsstrukturen

Der Beitrag „Zukunft Holz“ (Karl Moser) setzt sich mit brancheneigenen wie auch politischen Randbedingungen zur Entwicklung des Holzsektors auseinander. Vergleicht man die heutige Situation mit der von vor 25 und 50 Jahren, so sind sowohl national wie auch international positive Entwicklungen zu verzeichnen. Gerade die auf europäischer Ebene begonnene Zusammenarbeit der verschiedenen forst-, holz- und papierbasierten Industrien mit der „Forest-Based Technology Platform“ ist ein Lichtblick.

Vier Thesen zur Zukunft der Branche werden entwickelt, so etwa die Forderung nach der Gründung des deutschen Dachverbandes „Forst-Holz-Papier“, der möglichst alle in diesem Bereich tätigen, nahezu 300 Verbände umfasst. Einige wenige Stabsabteilungen entwickeln und formulieren

die notwendigen Strategien, organisieren und leiten die daraus abgeleiteten Marketing-, Normungs-, Forschungs- und Entwicklungsmaßnahmen. In der nächsten Hierarchieebene sind dann die verschiedenen Fach- und Regionalverbände angesiedelt, die sich im Laufe weniger Jahre aus Synergiengenerierungs- und Kosteneinsparungsgründen zu wenigen Arbeitsverbänden zusammengefunden haben. Die Finanzierung der reinen Verbandsarbeit erfolgt ausschließlich durch die Wirtschaft. Für die Arbeit in der Normung sowie für Forschung und Entwicklung fließen in erheblich größerem Umfang als bisher öffentliche Mittel. Diese sind deklariert und in die diversen Regierungshaushalte eingestellt als allgemein öffentlich anerkannter und aus Steuermitteln stammender Aufwand für die Klimaverbesserung und die dazu notwendige Forschung und Entwicklung.

Neutrale Informationsplattform

Eine Vision der zukünftigen Rolle der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung (DGfH) beschreibt der Beitrag „Forschungsübergreifende Plattform" (Axel Jentsch). Die mögliche Annullierung des Holzabsatzfondsgesetzes analog zum landwirtschaftlichen Absatzfondsgesetz stellt nach Meinung des Autors auch eine Chance dar, die Verbandsstruktur zu restrukturieren und die Maßnahmenkataloge strategisch zu bündeln. Eine geeignete Struktur wurde in den letzten Jahren durch die Plattform Forst und Holz geschaffen. Nur durch das Zusammenwirken des Deutschen Holzwirtschaftsrates und des Deutschen Forstwirtschaftsrates kann sich eine Marke Holz gegen und mit den Wettbewerbsprodukten wie Beton, Stahl oder Aluminium positiv in Szene setzen.

Zukunft in der Hand der Unternehmer

Der Beitrag „Zukunftsperspektiven Holz(bau)" (Klaus Fritzen) fordert bewusst polarisierend die Bildung einer öffentlich erkennbaren Holzbaubranche. Nach Auffassung des Autors existiert diese Holzbaubranche (noch) nicht, sondern weist allenfalls Holzbau-Partikularinteressen auf. Der Holzbau ist unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten gut beraten, seine Schwerpunkte bei Forschung, Entwicklung und Marketing gründlich zu verändern.

Viele Zukunftsfelder liegen brach oder bestehende bedürfen grundlegender Veränderungen: der Gewerbebau in Holz, die Gemengelage bauaufsichtlich zugelassener Bauprodukte, keine bundeseinheitlichen Regelungen bei der Bemessung von Holzbauwerken, Behinderung des Technologietransfers durch die Bauaufsicht, ausbleibende Technologie-Weiterentwicklung, die Rückeroberung des Maschinenbaus u.v.m.

Eine Idee, die Bewegung in das Gefüge bringen könnte, wäre eine Geschäftsversammlung von Unternehmern, die effektiven Einfluss auf größere Marktfelder haben, so etwa eine Präsidentenversammlung. Wären es nur Unternehmer ohne ihre Verbandsgeschäftsführer und ohne Politiker oder Beamte, so wäre am ehesten mit Entscheidungen und Absprachen zu rechnen, die schnell zur Handlungsreife gebracht werden. Mit einem solchen konsolidierten Konsens wäre die Möglichkeit erschlossen, gesellschaftlich wesentlich effektiver wirksam zu sein. Die Chancen steigen erheblich, wenn es gelingt, die Innovationskraft und das Innovationspotenzial der Branche – als Klimaschutzbranche für dennoch steigenden Wohlstand – öffentlich zu zeigen und in Marktpotential zu verwandeln.

Visionen sind Realität

„Die Richtschnur für unsere Visionen richtet sich nach den heute zu erkennenden Trends der Bedürfnisse der Gesellschaft, den Fortschritten in der Technik, der in Aussicht stehenden Baustoffentwicklungen und letztendlich nach funktionsoptimierten modularen Systemen." So umschreibt der Autor des Beitrags „Visionen im

Holzbau“ (Hermann Blumer) seinen Blick in die Zukunft.

Die Notwendigkeit nach interdisziplinärer Zusammenarbeit wird wachsen. Diese Zusammenarbeit wiederum wird über einen gut organisierten Datentransfer unterstützt. Man fühlt sich im Kreise von Spezialisten befähigt, komplexe Planungsprozesse und Bauausführungen zu bewältigen.

CAD unterstützt die Architekten bei ihren dreidimensionalen Entwürfen. CAE hilft den Ingenieuren bei ihren komplexen Berechnungen und Simulationen. CAM ermöglicht danach mit der Produktion sofort zu beginnen, egal ob es Einzelfertigungen sind oder Serien bearbeitet werden. Die Fertigung wird mehr und mehr „unter Dach“ erfolgen. Die Präzision der bearbeiteten Werkstücke wird noch höher.

Infolge der absehbaren Verknappung vieler Rohstoffe wird der Zwang zu ressourcenoptimiertem Bauen ansteigen. Auch Holz wird knapp werden. Mit der stetigen Weiterentwicklung der Holzwerkstoffe nach den Ansprüchen der Planer und den Wünschen der Baukunden wird die Verwendung von Holz immer weiteren Verwendungsmöglichkeiten zugeführt. Ein größtmöglicher Einsatz ökologisch unbedenklicher Stoffe wird selbstverständlich. Der Gesetzgeber wird Kaskadennutzungen der Stoffe (Mehrfachverwendung mit Recycling) vorschreiben.

Entscheidend für den Einsatz der Baustoffe werden die funktionsbezogenen und garantierten Systemleistungen von Elementen und Modulen. Das können z.B. feuersichere, schallisolierende und wärmespeichernde Zwischendecken oder wärmedämmende, energiegewinnende und gestaltende Aussenhüllen sein. Auf Holzbasis gebaute Systeme werden auch für die Bereitstellung von Luft, Wärme, Kälte, Licht, Düften und Klängen erfunden.

Netzwerk und Cluster

Eine besondere Form vernetzter Strukturen stellen Cluster dar. Für sie gelten ähnliche Vorteile wie für Netzwerke, zeichnen sich aber dadurch aus, dass Wirtschaft und Wissenschaft einer Branche systematisch zusammengeführt werden. Forschungsergebnisse sollen so noch schneller als bisher in marktfähige Produkte überführt und die Innovationsdynamik insgesamt erhöht werden. Netzwerkarbeit unterstützt Unternehmen dabei, Wertschöpfungsketten mit spezialisierten Zulieferern und Dienstleistern aufzubauen. Gleichzeitig bilden Cluster einen spezialisierten Arbeitsmarkt, der qualifizierte Mitarbeiter, aber auch motivierte Berufsanfänger anzieht.

Der Beitrag „Von der Wertschöpfungskette zum Cluster“ (Gerd Wegener, Jürgen Bauer, Markus Blenk) beschreibt die Cluster-Studie Forst und Holz Bayern. Die Ergebnisse dieser Studie weisen den Weg, um die Innovationskraft und die Wettbewerbsfähigkeit des Sektors Forst und Holz in Bayern weiter zu verbessern. Die Entscheidungsträger aus Wirtschaft, Politik, Verbänden, Forschung, Ausbildung, Verwaltung und Regionalinitiativen haben es in der Hand, die aufgezeigten Handlungsempfehlungen gemeinsam mit dem Cluster-Management umzusetzen.

Situation der Regelwerke

Wenn einleitend von dem Wunsch nach einer besseren Ausrichtung der Normung auf den Holzbau die Rede gewesen ist, so lohnt es sich, einen Blick auf die Entwicklung der nationalen und europäischen Regelwerke zu werfen. Diese Aufgabe übernimmt der Beitrag „Nationale und europäische Regelwerke und deren Auswirkung auf den zukünftigen Holzbau“ (Tobias Wiegand).

Seit annähernd zwei Jahrzehnten werden europäische Prüf-, Material-, Last- und Bemessungsnormen für den Holzbau erarbeitet. Da die Gremien mit Vertretern aus Ländern mit unterschiedlichsten Baukulturen besetzt sind, ist die Erarbeitung europäischer Normen auch heute noch sehr zeitaufwändig und von der Notwendigkeit zu Kompromissen geprägt. Seit vielen Jahren wird parallel sowohl am nationalen wie am europäischen Regelwerk gearbeitet. Trotz langwieriger Bearbeitung konnte das europäische Regelwerk bislang nur in Teilen abgeschlossen werden, mit der Folge, dass nationale Normen überarbeitet sowie Übergangsregeln zwischen nationalem und europäischem Regelwerk geschaffen werden mussten. Für die an der Normung Beteiligten stellt der Mehraufwand gleichermaßen ein ernsthaftes Problem dar wie für die Anwender die zunehmende Komplexität der in kürzeren Abständen erscheinenden Regelwerke. Der Umfang der Normungsarbeit ist durch die Interessenvertreter aus Industrie, Praxis, Forschung und Bauaufsicht zeitlich kaum noch zu bewältigen.

Zukunftsfähige Konzepte

Der Beitrag „Stadtentwicklung“ (Anja Niemeier, Ludger Dederich) stellt aktuelle Tendenzen der Stadtentwicklung vor, die mannigfaltige Betäti gungsfelder für den Holzbau aufweisen. In diesem Kontext stellen zum Beispiel Baulücken, die in den Ballungszentren zahlreich sind, eine Herausforderung dar: ein- oder zweigeschossige Gebäude, die als Provisorien auf den Grundstücken kriegsbedingter Baulücken errichtet wurden. Von mangelhafter Bauqualität geprägt, lassen diese Gebäude oft aus statischen Gründen nur eine Leichtbaukonstruktion als Erweiterung zu.

Aber auch die den Städtebau der 1950er bis 1970er Jahre des vergangenen Jahrhunderts prägenden flachgedeckten Gebäude bieten sich zur Aufstockung an, um den übergeordneten Ansprüchen und Anforderungen Rechnung tragen zu können. Diese Maßnahmen helfen Gebäude jener Zeit – ungeachtet ob es sich um Wohnungsbauten oder gewerblich genutzte Immobilien handelt – wieder dem Immobilienmarkt zuzuführen. Für die anstehenden Herausforderungen hat der Holzbau Lösungen nicht nur anzubieten, sondern auch schon umgesetzt, die konzeptionell wie technisch zukunftsfähig sind.

2.1 Holzbaubranche
Holzbaukultur

Anja Niemeier, Ludger Dederich

„Das Holz ist wegen seiner leichten Bearbeitbarkeit, seines geringen Gewichtes, seiner günstigen statischen Eigenschaften, seiner schönheitlichen Werte usw. ein geeigneter Baustoff für die verschiedensten Gebiete des Bauwesens. Leider steht das Holz nicht immer in genügender Menge und Güte zur Verfügung. Es ist deshalb eine wirtschaftliche Verwendung durch Herabsetzung der Gütevorschriften, volle Nutzung der Tragfähigkeit, sachgemäße Bauart und geeigneten Holzschutz zu erstreben."

aus: Otto Frick, Frick-Knöll, Baukonstruktionslehre, Teil 2: Holzbau, Stuttgart 1948

1 Holzbaukultur als Terminus

Holz und Holzbau begleiten die Menschheit seit ihren Anfängen [1] [2], häufig sogar mythologisch besetzt [3]. Will Pryce geht sogar so weit zu behaupten, „Baukunst und Architektur haben mit großer Wahrscheinlichkeit im Holzbau ihren Ursprung" [4]. Doch kann man unsere Gesellschaft als gerade mal holzaffin bezeichnen, und Spuren jener oft beschriebenen epochalen und unmittelbaren Symbiose von Mensch und Holz als Werk- und Baustoff finden sich in unserer Kultur nur bedingt. Auf die baustoff- wie bautechnischen Entwicklungen in der Folge der industriellen Revolution nach etwa 1850 als Grund für den Bedeutungsverlust von Holz und Holzbau in unserer Gesellschaft ist nicht minder häufig verwiesen worden.

Um aber zunächst begriffliche wie inhaltliche Klarheit dahingehend herbeiführen zu können, was mit Holzbaukultur gemeint sein kann, soll eine schrittweise Annäherung an den Terminus erfolgen:

- Kultur ist - auf Basis einer zunächst fundamental-essentiellen Definition - im Sinne der materiellen Kulturkunde die Summe der technischen Grundlagen des Daseins samt deren materiellen Produkten, die da Obdach, Kleidung, Werkzeug und Gerät sind [5]. Die Kulturgeschichte, die für ihre Untersuchungen auf das Vorhandensein von Kultur angewiesen ist, bezieht sich auf „kulturelle Grenzen" [6], und Peter Burke weist darauf hin, dass für den Begriff „Kultur", so wie er in Großbritannien oder auch Deutschland Anwendung findet, die Franzosen von „civilisation" sprechen [7]. In diesem Sinne sind auch die kulturgeschichtlichen Werke Jacob Burckhardts zu lesen [8].
- In Sachen Baukultur liefert der Brockhaus keine weitergehenden Hinweise, doch kann der Förderverein Bundesstiftung Baukultur e.V. unter Verweis auf Martin Heideggers Feststellung, das Bauen selbst sei „als Tätigkeit und Ergebnis … nicht nur die Umbildung der Materie, sondern das Leben selbst in seiner geistig-materiellen Fülle" [9] damit aufwarten, dass jene den Willen der Gesellschaft zur Wahrung des kulturellen Erbes mit dem Gestaltungsanspruch an die gebaute Umwelt und der Bereitschaft zur Modernisierung und Veränderung verbindet [10]. Allerdings darf in Frage gestellt werden, dass dieser Erklärungsansatz allgemeingültigen Charakter erlangen wird.
- Holzbau wiederum ist die ursprüngliche Bauart in waldreichen Gebieten der gemäßigten Klimazonen unserer Erde. Die analog zur Menschheitsgeschichte sich entwickelnden Bauweisen sind in diesen Zonen und in entsprechenden Entwicklungsstufen immer wieder die gleichen gewesen: zunächst der Pfostenbau, dann der Bohlenbau hin zum Fachwerkbau. In der Neuzeit dann taucht mit den Arbeiten Grubenmanns der Ingenieurholzbau auf [11]. Dabei ergibt sich das Bauen mit Holz aus seinen Eigenschaften, die wir bereits seit geraumer Zeit kennen, die uns aber – wie Josef Wiedemann richtigerweise konstatiert – „nicht mehr voll bewusst" sind. Wiedemann schreibt weiter, Holz dürfe nicht als beliebiges

Material aufgefasst und genutzt werden, sondern als Element, das uns, wenn wir auf seine Gesetzmäßigkeit eingehen, viel zu geben vermag" [12].

Als Begriff wie als Inhalt ist „Holzbaukultur" weder eingeführt noch wirklich existent, nicht einmal Pryce benutzt diesen – auch nicht in der englischsprachigen Originalfassung „Architecture in Wood" [13]. Viel mehr scheint im Zuge der neuerlichen Diskussion um die Baukultur als ganzer der Wortteil „-kultur" eine Nutzungsrenaissance zu erfahren. Denn so wie heute allenthalben Produkte und Leistungen, ja sogar Haltungen nachhaltig sind, so werden die Dinge und Materialien aller Art mit Kultur in Verbindung gebracht bzw. zu einer solchen erklärt.

Wolfgang Ruske schreibt zwar von einer „neuen Holzbaukultur", die sich aus dem Länderdreieck Österreich – Schweiz – Süddeutschland entwickelt habe [14], doch steht dem grundsätzlich entgegen, dass ein Gebäude immer nur Kulturgut sein kann, nur Teil eines großen Ganzen, das in seiner Gesamtheit die Kultur ausmacht. Zudem ist Kultur relativ, ist z.B. an einen Ort, eine Epoche o.ä. gebunden.

Wenn der Holzbau immer wieder primär dem „Einfachen Bauen" zugerechtet oder aus dem Holzbau heraus versucht wird, die Bauschaffenshaltung des „Einfachen Bauens" zu belegen [15], so gibt es dennoch keine Kultur des „Einfachen Bauens", sondern immer nur den Ausdruck einer Zeit. Von daher kann man der Bezugnahme folgen, die Naomi Stungo vornahm: „Diese fast ausschließlich von jungen, fortschrittlichen Architekten entworfenen Strukturen repräsentieren eine neue Architektursprache von Holzbauten. Ihnen gemein ist ihr Augenmerk auf schlichte Formen, die eine eingeschränkte Vision des frühen Modernismus reflektieren. Gleichzeitig demonstrieren sie ihre fundamentale Modernität durch subtile spielerische Effekte und Untersuchungen zum Aufbau der Gebäudehaut." Dabei fällt auf, dass von schlichten Formen, welche im Gegensatz zum „Einfachen Bauen" etwas ganz anderes meinen, gesprochen wird. Ebenso wenig findet bei Stungo eine neue, wie auch immer zu bezeichnende (Holz-) Baukultur Erwähnung. Vielmehr ist dem entgegen das Kapitel mit „Die neue Ästhetik" überschrieben [16]. Unabhängig davon ist festzustellen, dass kulturelle Festlegungen wie „schlicht", „modern", „subtil" oder „spielerisch" relative sind.

2 Holzbaukunst als Kontinuum

Von daher geht es beim Holzbau zunächst um das Bauen, und um die bereits vor knapp 30 Jahren formulierte Forderung holzgemäß zu bauen [17]. So wie das Baugeschehen immer nur Ausdruck der Kultur einer Gesellschaft in ihrer Zeit sein kann, ist der Holzbau geprägt vom formalen Anspruch und Geschmacksempfinden dieser Zeit. Thinius-Hüser verweist – zwar primär bezogen auf die traditionelle Holzmassivbauweise – auf die „alte Baukunst als Lehrmeister". Es geht weniger um Moden und Vorlieben als vielmehr darum, in der jeweils aktuellen Zeit den Bedürfnissen der Gesellschaft gerecht werden zu können. In der Konsequenz auch baulich, d.h. in der Errichtung von Gebäuden, die den Nutzungsanforderungen und dem „Geist" der Zeit genügen. Also der Kultur dieser Zeit. Fordert etwa die Kultur bionisch oder biomorph geprägtes Entwerfen bzw. Bauen, so muss der Holzbau, so er sie denn noch nicht haben sollte, ihm gemäße - u.U. also bionische – Lösungen suchen, entwickeln und anbieten [18]. Holz und Holzbau können auf diese Art und Weise wohl Kulturträger werden, können einer Kultur Ausdruck verleihen, nicht aber Kultur sein.

Holzbau meint Bauen, meint Holzbaukunst. Die Inhaltsmenge von Holzbaukunst verändert sich, aber nur in so fern, als dass der Inhalt an Umfang gewinnt. Historische Errungenschaften im Sinne

von Wissen und Entwicklungen sind absolute und bleiben erhalten. Von Holz als Rohstoff - quasi als absolutem Nullpunkt - ausgehend ist der Umfang dessen, was Holzbaukunst meint, beständig erweitert worden. Kulturen haben sich entwickelt, sind irgendwann wieder verschwunden. Es bleiben nur Artefakte archäologischen Charakters: Kult- und Kunstgegenstände - Kulturgut eben. Doch so wenig Kunst Kultur ist, kann Holzbau Kultur sein. Die beständige Herausforderung ist, die Holzbaukunst, die Generationen vor uns immer entwickelt haben, die wir im Begriff sind fortzuschreiben, für die anstehenden kulturellen Herausforderungen konzeptionell wie technisch zukunftsfähig zu machen. Unerlässlich ist in diesem Zusammenhang die Reflexion darüber, was als Fehlentwicklung eindeutig identifiziert werden konnte. Denn: Die Holzbaukunst ist die einzige Konstante, die es bereits vor der industriellen Revolution gegeben hat, die das postindustrielle Bauen und Leben begleiten und bei dessen Ausformulierung hilfreich sein wird.

Quellen

[1] siehe u.a. Affentranger., C., Einleitung zu: Stungo, N.: Neue Holzarchitektur, Stuttgart 1998
[2] Natterer, J., Herzog, T., Volz, M., HolzbauAtlasZwei, Düsseldorf München 1991
[3] siehe u.a. Larsson, L., Träd lever vidare i trä, in: Svenska Turistföreningen, Levande trä, Årsbok 1987, Stockholm
[4] Pryce, W., Die Kunst der Holzarchitektur – Eine Weltgeschichte, Leipzig 2005
[5] dtv-Brockhaus-Lexikon in 20 Bänden, Mannheim München 1988
[6] Braudel, F., Das Mittelmeer und die mediterrane Welt in der Epoche Philipps II., Frankfurt 2001
[7] Burke, P., Was ist Kulturgeschichte, Frankfurt 2005
[8] Hoffmann, K., Vorwort zu Burckhardt, J., Die Kultur der Renaissance in Italien, Stuttgart 1988
[9] Heidegger, M., Bauen Wohnen Denken, in: Das Darmstädter Gespräch1951, Bauwelt Fundamente, Braunschweig 1991
[10] http://www.bundesstiftung-baukultur.de/index.php?id=67
[11] dtv-Brockhaus-Lexikon in 20 Bänden, Mannheim München 1988
[12] Natterer, J., Herzog, T., Volz, M., HolzbauAtlasZwei, Düsseldorf München 1991
[13] Pryce, W., Die Kunst der Holzarchitektur – Eine Weltgeschichte, Leipzig 2005
[14] Ruske, W., Holzbaukultur – Globaler Rundblick, mikado Ausgabe 7/8-2002, Kissing
[15] siehe u.a. DETAIL Ausgabe 6-2003, München
[16] Stungo, N,., Neue Holzarchitektur, Stuttgart 1998
[17] Thinius-Hüser, K., Holzgemäß bauen, bauen mit holz Ausgabe 9/1981, Karlsruhe
[18] siehe als Beispiel Blumer, H., Dachkonstruktion Centre Pompidou in Metz, in: Landesbeirat Holz Baden-Württemberg e.V., Institut für Holzbau, Fachhochschule Biberach, Holzbau zwischen gestern und morgen, Tagungsband, Stuttgart Biberach 2007

2.1 Holzbaubranche
Von der Wertschöpfungskette zum Cluster

Gerd Wegener, Jürgen Bauer, Markus Blenk

1 Hintergrund: Netzwerk und Cluster

Die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen hängt zunehmend von ihrer Einbindung in vernetzte Strukturen ab. Durch Netzwerke ergeben sich stabilere Kooperationsstrukturen, die gerade im vorwettbewerblichen Bereich übergreifend allen Partnern Vorteile bieten. Die wesentliche Motivation für die Branchenakteure zur Mitarbeit in Netzwerken ist meist der privilegierte Zugang zu Informationen und Förderprogrammen.

Eine besondere Form vernetzter Strukturen stellen Cluster dar. Für sie gelten ähnliche Vorteile wie für Netzwerke, zeichnen sich aber dadurch aus, dass Wirtschaft und Wissenschaft einer Branche systematisch zusammengeführt werden. Die Cluster im Sinne moderner Wirtschaftspolitik verfolgen u.a. folgende Ziele:

- Forschungsergebnisse sollen noch schneller als bisher in marktfähige Produkte überführt und die Innovationsdynamik insgesamt erhöht werden. Cluster schaffen durch ihre Netzwerkarbeit hierfür die Voraussetzungen, indem sie den formellen und informellen Ideenaustausch unterstützen und gemeinsame Forschungs- und Entwicklungsprojekte von Unternehmen anregen.
- Die Arbeit der Cluster soll die Produktivität der beteiligten Unternehmen stärken. Netzwerkarbeit unterstützt Unternehmen dabei, Wertschöpfungsketten mit spezialisierten Zulieferern und Dienstleistern aufzubauen. Gleichzeitig bilden Cluster einen spezialisierten Arbeitsmarkt, der qualifizierte Mitarbeiter, aber auch motivierte Berufsanfänger anzieht und so die Grundlage für die Leistungsfähigkeit der Unternehmen und Forschungseinrichtungen im Cluster schafft.
- Die Kooperationsmöglichkeiten und der Pool an qualifizierten Mitarbeitern in einem Cluster ziehen neue Unternehmen an und binden vorhandene Unternehmen an den Standort.

2 Beispiel: Cluster-Initiative Forst und Holz in Bayern GmbH

Die wirtschaftliche Bedeutung der bayerischen Forst-, Holz- und Papierwirtschaft wurde in der Vergangenheit stark unterschätzt. Die Branche erwirtschaftet einen Umsatz von mehr als 31 Milliarden Euro pro Jahr und über 200.000 Menschen arbeiten entlang der Wertschöpfungskette Holz in Bayern, vor allem im ländlichen Raum. Damit arbeiten in diesem Sektor mehr Bürger als im Fahrzeugbau, nur der Maschinenbau beschäftigt in Bayern mehr Menschen.

In der Cluster-Politik der Bayerischen Staatsregierung rangiert die Branche Forst, Holz und Papier unter den bedeutendsten Wirtschaftszweigen. Der forstbasierte Sektor wurde daher in die Auswahl der 19 Schlüsselbranchen aufgenommen, mit denen die bayerische Landesregierung die Wirtschaftskraft steigern, die Innovation fördern sowie Arbeitsplätze sichern will. Im Zuge der Cluster-Initiative sollen die beteiligten Akteure landesweite Netzwerke zwischen Forschungseinrichtungen, Handwerk und Industrie ausbauen. Die politische Federführung der „Cluster-Initiative Forst und Holz in Bayern“ trägt der Bayerische Staatsminister für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Helmut Brunner. Für die strategische Ausrichtung des Clusters ist Cluster-Sprecher Prof. Dr. Dr. habil. Gerd Wegener von der Holzforschung München, TUM, verantwortlich. Die operative Arbeit leistet ein Team um Cluster-Geschäftsführer Dr. Jürgen Bauer. Ein Expertenkreis aus Vertretern der gesamten Wertschöpfungskette Forst-Holz-Papier sowie ein Beirat aus Politik und Verbänden unterstützen das Cluster-Management bei der strategischen Ausrichtung der Netzwerkarbeit.

Abb. 1: Die bayerische Clusterpolitik forciert den Aufbau von Netzwerken in 19 Schlüsselbranchen Vernetzung von Forschung und Praxis

Abb. 2: Der Sektor Forst-Holz-Papier gemäß EU-Definition

3 Vernetzung von Forschung und Praxis

Eine Besonderheit des forstbasierten Sektors stellt die Heterogenität und Vielschichtigkeit der Teilbranchen sowie die hohe Zahl an klein- und mittelständischen Unternehmen dar. Sie erstreckt sich von der Forstwirtschaft mit etwa 700.000 Waldbesitzern über die holzbe- und verarbeitende Industrie, die Zellstoff- und Papierindustrie hin zum Holzhandwerk, dem Energieholzsektor, den Druckereien bis hin zu Verlagen und dem Handel.

Eine zentrale Aufgabe der Cluster-Initiative besteht darin, die im Branchenvergleich weit überdurchschnittlich große Zahl einzelner Akteure zu vernetzen sowie Forschung und Praxis an einen Tisch zu bringen, beispielsweise mit Hilfe von Workshops oder regionalen Pilotprojekten.

Außerdem werden regionale Netzwerkansätze gefördert, Expertenrunden gebildet, Veranstaltungen zu aktuellen Branchenherausforderungen durchgeführt, Forschungsverbünde aufgebaut und eine Sektoren übergreifende Öffentlichkeitsarbeit vorangetrieben.

Die bayerischen Verbände äußerten zudem zum Start der Cluster-Initiative im Jahr 2006 die Notwendigkeit, verlässliche Zahlen, Daten und Fakten über die Branche zu generieren. Aus diesem Grund erteilte das Bayerische Staatsministerium für Ernährung Landwirtschaft und Forsten im Januar 2007 den Auftrag zur Erstellung einer Cluster-Studie. In der seit August 2008 vorliegenden Studie wurde neben einer umfassenden Branchen- und SWOT-Analyse (Strengths, Weaknesses, Opportunities und Threats) ein „Stoffstrommodel Holz“ erarbeitet. Die Verschränkung der Studie mit insgesamt knapp 500 teilnehmenden Akteuren aus allen Regionen Bayerns in Form eines „Bottom-up“-Ansatzes sowie die zukünftige Umsetzung der erarbeiteten Handlungsfelder in den Regionen sind Alleinstellungsmerkmale der Cluster-Initiative. Die Ergebnisse stehen als Broschüre sowie als Download im Internet unter www.cluster-forstholzbayern.de zur Verfügung.

Abbildung 3: Broschüre „Cluster-Studie Forst und Holz in Bayern 2008“

Zusammenfassend ergeben sich aus der Studie drei übergeordnete Handlungsfelder:

1. Sicherung und Verbesserung der Rohstoffversorgung des Clusters Forst und Holz
2. Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit der beteiligten Unternehmen
3. Förderung von Absatzmöglichkeiten für Holzprodukte und Etablierung von Produktionsnetzwerken

4 Umsetzungsbeispiele

4.1 Waldinformationstage

Um die Ressourcensicherheit für die Holzwirtschaft zu erhöhen, wurden mit insgesamt sieben „regionalen Waldinfotagen“ in 2008 knapp 50.000 Waldeigentümer in allen bayerischen Regierungsbezirken über die Nutzungsmöglichkeiten des Rohstoffs Holz informiert. Die Veranstaltungsreihe unter dem Dach des Zentrums Wald-Forst-Holz und der Cluster-Initiative vermittelte fundiert und sachlich Wissen rund um das Thema Forst und Holz.

4.2 Schwerpunktthema „Nachhaltig bauen und modernisieren mit Holz“

Kein anderer Baustoff weist eine so umfassende Energieeffizienz und Klimaschutzwirksamkeit wie Holz auf. Da diese Vorteile von holzbasiertem Bauen noch nicht ausreichend in Politik und Gesellschaft bekannt sind, werden derzeit im Rahmen eines Cluster-Projektes an der Holzforschung München die klimaschutzrelevanten Effekte des energieeffizienten Bauens mit Holz anhand von wissenschaftlichen Grunddaten, Beispielbauten und Modellierungen für Bayern dokumentiert und für die politischen Entscheidungsträger, Planer und Bauherren aufbereitet. Das Thema wird auch mit Hilfe von Branchentreffs und Workshops vorangetrieben.

Abb. 4: Prof. Dr. Dr. habil. Gerd Wegener moderiert einen Branchentreff „Holz, Wasser, Energie – gemeinsam intelligent nutzen“ im Oktober 2008 in Neumarkt

4.3 Regionale Produktionsnetze

Derzeit gibt es in Bayern 16 regionale Netzwerkinitiativen zu Forst und Holz mit jeweils unterschiedlichen Strukturen, Themenschwerpunkten, Finanzierung und Mitgliederzahlen. Einige davon konnten mit Hilfe der Cluster-Initiative gegründet werden. Zudem leistet das Cluster-Management Unterstützung bei der Erstellung von Entwicklungsplänen, der Durchführung von gemeinsamen Tagungen oder des Transfers von Wissen und Erfahrungen zwischen den Regionen.

Der Bayerische Wald weist eine der höchsten Walddichten Bayerns auf. Aufgrund des großen Rohstoffaufkommens gibt es eine Vielzahl an klein- und mittelständischen Holzbearbeitern und Holzverarbeitern, die bisher unzureichend untereinander sowie mit der Wissenschaft vernetzt sind. Aus diesem Grund wurden in den letzten

beiden Jahren gemeinsam mit dem Clustermanagement lokale Arbeitsgruppen in den sechs ostbayerischen Landkreisen gegründet sowie ein regionaler Businessplan erarbeitet. Bereits im Jahr 2007 konnte z.B. erstmalig in Ostbayern eine Branchenausstellung „Holz Messe Passau“ entlang der gesamten Wertschöpfungskette für über 13.000 Besucher organisiert werden. Mittlerweile ist für die Musterregion Bayerischer Wald die Finanzierung eines hauptamtlichen Netzwerkmanagers „Forst und Holz“ durch die beteiligten Landkreise sowie durch Mittel des LEADER+ Programm gesichert. Der Netzwerkmanager führt in enger Abstimmung mit der bayerischen Cluster-Initiative Veranstaltungen durch, initiiert Forschungsprojekte und begleitet Kooperationen bei kleinen und mittleren Unternehmen (KMUs).

5 Ausblick

Die Ergebnisse aus der Cluster-Studie weisen den Weg, um die Innovationskraft und die Wettbewerbsfähigkeit des Sektors Forst und Holz in Bayern weiter zu verbessern. Die Entscheidungsträger aus Wirtschaft, Politik, Verbänden, Forschung, Ausbildung, Verwaltung und Regionalinitiativen haben es in der Hand, die aufgezeigten Handlungsempfehlungen gemeinsam mit dem Cluster-Management umzusetzen.

Damit besteht die einmalige Chance, dass durch die enge Vernetzung der forstbasierten Branche das Bundesland Bayern zukünftig bezüglich Rohstoffversorgung, Holzverwendung, Technik und Innovation eine Spitzenstellung in der europäischen Forst-, Holz-, und Papierwirtschaft einnimmt und insbesondere im ländlichen Raum einen wichtigen Beitrag zur Wirtschaftskraft und Sicherung von Arbeitsplätzen leisten kann.

Abb. 5: Regionale Produktionsnetzwerke in Bayern

2.1 Holzbaubranche
Zukunft Holz

Karl Moser

Eine Überschrift in der Bayerischen Staatszeitung vom 17.April 2009 lautet: "Alle sind begeistert vom Holz", und dann im weiteren Text: „trotzdem werden immer noch die meisten Neubauten in Nicht-Holzbauweise errichtet".

Eine Aussage, die symptomatisch ist für die Verwendung des nachwachsenden, umweltschonenden Universalbaustoffes Holz in unseren Landen. Jeder ist begeistert, nur wenn es zum Schwur kommt, wenn es letztlich darum geht, die Bauentscheidung für oder gegen Holz zu treffen, dann kommen die uralten und grandioses Nichtwissen zeigenden Vorbehalte zum Vorschein: Holz fault, Holz brennt, Holz ist ein Barackenbaumaterial, usw..

„Ich begebe mich doch nicht auf einen Holzweg", so wird wohl mancher Planer, Ingenieur, Investor und Bauherr denken, wenn es gilt die letzte Entscheidung zu treffen.

Schon allein der Ausdruck „Holzweg" als Synonym für eine unsichere, ja falsche und schnell vergängliche Angelegenheit ist eigentlich eine Unverschämtheit dem liebenswerten, nachgewiesenermaßen klimaverbessernden, nachwachsenden Material Holz gegenüber.

Ich behaupte, – den Beweis muss ich natürlich schuldig bleiben – dass ihn vor langer Zeit die Vertreter der Wettbewerbsmaterialien Stahl, Stein und Beton in einer selten grandiosen, gemeinsam durchgeführten Marketingmaßnahme erfunden und in den allgemeinen Sprachgebrauch gebracht haben. Sie stellten fest, dass dieses Material Holz so gut ist, dass man es nur auf ganz subtile Art und Weise, eben durch den Ausdruck „Holzweg" als einen Weg in den Fehler, in die Unsicherheit, schlecht machen könne.

Wenn wir Hölzernen es in den kommenden Jahren schaffen sollten, nicht durch subtiles Handeln, sondern durch Publikation der eindeutigen Fakten, die Vorteile des Materials Holz der Menschheit klar zu machen und dabei den bisherigen negativ belegten Ausdruck „Holzweg" zu einem Ausdruck für Erfolg, für Qualität, für eine lebens- und liebenswerte Zukunft, einen Weg nach Oben werden zu lassen, dann haben wir alle gewonnen.

Es wird ein „steiniger Weg" werden, der Menschheit klar zu machen, welch Allroundermaterial Holz doch darstellt. Das beginnt schon damit, dass jeder ein vermeintlicher Holzspezialist ist. Hat er doch schon als Kind mit dem Taschenmesser tolle Produkte, ob Rindenschifferl oder Holzpfeiferl, erfolgreich hergestellt. Mit diesem Grundwissen ausgestattet, fühlt sich Jedermann ausreichend gerüstet für die späteren, meist doch „etwas" weiter reichenden Materialentscheidungen.

Die Leute, die dann später als Fachleute, sprich Architekten und Ingenieure, die Bauherren entsprechend beraten sollen, haben entweder während ihres Studiums zu wenig an Wissen über die inzwischen umfangreichen technischen und umweltfreundlichen Möglichkeiten von Holz angeboten bekommen, oder sie haben Sorge, die zweifelsohne nicht immer einfache Planung und Berechnung von Holzbauten mängelfrei und vor allem für das eigene Büro wirtschaftlich abzuwickeln. Als Begründung dienen dann häufig, die Wahrheit wird aus verständlichen Gründen gerne verschwiegen, die üblichen negativen Gemeinplätze, die vom „Ottonormalverbraucherbauherrn", vom Gemeindrat „Huber", oder vom nur den vermeintlichen Kosteneinsparungen verpflichteten Geschäftsführer natürlich nicht entkräftet werden können.

Aber die Politik tut doch viel, so könnte man meinen. Alle sprechen vom Klima schonenden, nachwachsenden, so liebenswerten Material Holz, sprechen von den vielen davon lebenden, für die Politiker so wichtigen KMUs (= Fachausdruck für kleine und mittlere Unternehmen, vulgo „Mittelstand")!
Sprechen sie schon viel die Politik. Erfolgreich tun, aber vergleichsweise wenig.
Es ist ja auch verständlich: Zwar ist die Forst-Holz- und Papierwirtschaft in unserem Lande im Hinblick auf Beschäftigte und Wirtschaftsleistung bedeutender als der Maschinenbau, sogar größer als der Automobilbau, aber als Ansprechpartner für die vielen Zehntausende gibt es nicht einen Verband oder „fünf" maßgebende Unternehmensvorstände, sondern, sage und schreibe, nahezu 300 Verbände und Verbändchen. Selbst, wenn einer der „Großen"- eigentlich gibt es solche im übliche Sinne gar nicht -ein Problem hat, was ist das im Vergleich zu Opel oder VW?

Der hammerschwingende, das Richtfest für den kleinen Einfamilienhausdachstuhl feiernde, glückliche Zimmermann täuscht erheblich darüber hinweg, dass sich das Baumaterial Holz heute zu einem Hochleistungsmaterial entwickelt hat.

Natürlich wird immer noch der Hausdachstuhl, wie vor zweitausend Jahren aus Holz gemacht – das ist ja gerade der Charme, das Liebenswerte an diesem Holz, dass es selbst nach so langer Zeit in diesem Bereich immer noch nicht substituiert werden konnte – aber inzwischen wird damit sehr viel mehr, sehr viel Interessanteres angefangen. Das beginnt beim kompletten hypermodernen Niedrig- oder Nullenergiehaus, beim absolut wirtschaftlichen, brandschutztechnisch hervorragend ausgerüstetem Hochhaus mit bis zu sieben und mehr Geschossen, das gerade auch in erdbebengefährdeten Gebieten seine großen Vorteile besitzt. Erfolgreiche Versuche mit 7-geschossigen Gebäuden von vor wenigen Jahren in Japan durchgeführt, beweisen dies. Das gilt auch für Kindergärten, Schul- und Sportbauten jedweden Umfanges bis hin zu gewerblich genutzten Gebäuden, wo immer noch Beton und Stahl als das Normalmaterial angesehen wird.

Dass dabei grundsätzlich die Zukunft des Bauens mit Holz auch im Verbund mit anderen Materialien liegt – Stahl, Kunststoff und Beton eignen sich vorzüglich hierfür –, sei nur am Rande angemerkt.

Im Unterbewusstsein schwingt immer noch das von früher erinnerliche und auch noch heute von den ewig Gestrigen oder den unverbesserlichen „Dummgrünen" – die heutigen seriösen Real-Grünen haben schon lange erkannt, wie falsch es ist - verwendete „Baum ab, nein danke" mit.

Dass die in der Politik Tätigen all diese Fakten nicht, oder nicht ausreichend kennen, dass sie Verschiedenes falsch interpretieren, dafür aber sind weitgehend wir selbst, die in Forst-, Holz- und Papier-Tätigen, verantwortlich und schuld.

Was ist zu tun?
Ich denke die Zeit ist günstig, unserem Material Holz und den vielen Zehntausenden die dafür und damit leben, den nötigen höheren Stellenwert zu verschaffen, den es in der Gesellschaft, vor allem aber in unserem Bemühen um eine bessere Umwelt, verdient hat. Die Themen der weltweiten Klimaerwärmung und CO_2-Reduzierung hängen mit der sinnvollen Nutzung von Holz, dem umweltgerechten Umgang mit unseren Wäldern ausgesprochen eng zusammen und sind sicher einer der aktuellen Haupttreiber für die Sache Holz.
Nicht, dass bisher noch nichts geschehen wäre.

Vergleicht man die heutige Situation mit der von vor 25 und 50 Jahren, so sind sowohl national, wie auch international beträchtliche, positive Ent-

wicklungen zu verzeichnen. Gerade die auf europäischer Ebene begonnene Zusammenarbeit der verschiedenen forst- holz- und papierbasierten Industrien mit der Forest-Based Technologie-Plattform und die damit direkt und indirekt zusammenhängenden Aktivitäten ist ein großer Lichtblick am Ende des jahrzehntelangen, recht dunkel- und graufarbigen Holzbautunnels. Endlich finden sich nahezu alle wichtigen Spieler entlang der Holzkette zu koordiniertem Tun zusammen, das sowohl den gesamten Bereich des Marketings, wie auch die verstärkten Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten umfasst.

Auch sind die Bemühungen zur normativen Regelung des Bauens mit Holz in Deutschland und Europa ein gutes Stück weiter gekommen, auch wenn viele bereits heute, sicher nicht ganz unberechtigt, darüber klagen, dass auf Grund der großen Normen- und Regelungsumfänge damit eher Holzbaube- und Verhinderungswerke geschaffen wurden. Ich teile diese Ansicht im Übrigen nicht vollumfänglich, haben wir doch im deutschsprachigen Raum (D, A, CH) auf Grund des zweifelsohne weltweit anerkannten hohen Wissensstandes und der Notwendigkeit, diesen zu halten und auszubauen, gerade beim hochwertigen Ingenieurholzbaus die entsprechende normative Basis zu legen und zu gestalten. Die für den Holzbaualltag praxisgerechte Aufbereitung dieser Grundlagen ist dann eine zusätzliche unabdingbar erforderliche Aufgabe. Das eine tun, das andere aber nicht lassen, muss hier die Devise für die Zukunft sein.

Auch neue, oder wieder neue Einsatzbereiche für den hochmodernen Baustoff Holz lassen Hoffnung aufkommen. Ich spreche nicht von der bei uns mittlerweile in Mode gekommenen, meiner Meinung nach unglücklichen Verwendung von Frischholz als Brennstoff. So interessant die thermische Nutzung von Holz als Ersatz von endlichen fossilen Brennstoffen für die Umwelt und CO_2 Einsparung zweifelsohne sein mag. Es macht erheblich mehr Sinn, dieses hervorragende Grundmaterial zunächst stofflich, also z.B. für Bauten, für Möbel, für Verpackungen zu verwenden, um es dann, in der sogenannten Kaskadennutzung, in der zweiten und dritten Nutzungsstufe der Verbrennung zuzuführen. Dabei spielt es zukünftig kaum eine Rolle, ob es sich um Durchforstungs- oder um größervolumiges Stammmaterial handelt, gibt es doch bereits heute Möglichkeiten – die Zukunft wird hier einiges Neues bringen – selbst bereits die Holzfaser dank der Klebetechnologie in leistungsfähige Holzwerkstoffe zu verwandeln.

Trotz dieser hoffnungsvollen Ansätze sollten wir uns nicht täuschen lassen. All diese Ansätze, all diese positiven Entwicklungen werden nur dann zu längerfristigen Erfolgen führen, wenn wir alle Betroffenen zu aktiven Verfechtern der Sache Holz machen können und das sind nicht nur die dem „Dunstkreis der Hölzernen“ zuzurechnenden Personen, Industrien und Verbände, das sind vielmehr alle Bürger und deren Institutionen, das ist letztlich die von uns allen gewählte politische Vertretung, denen eine umweltorientierte, lebenswerte Zukunft am Herzen liegen muss.

Es kann also nicht angehen, dass nur eine kleine Zahl von engagierten Bürgern und ausgesprochen klein strukturierten forst- und holzwirtschaftlichen Unternehmen die Bürde einer umweltgerechten und klimaschonenden Wald- und Landschaftspflege auf sich nimmt und der große Rest diese Wohltaten dann, ohne selbst etwas zu tun, geniest und nutzt.

Man kommt schon sehr ins Grübeln, wenn man sieht mit welchem enormen finanziellen Aufwand die öffentliche Hand eine zweifelfrei für unser Land wichtige Branche, wie die Autoindustrie, durch die aktuelle, sicher nur sehr kurzfristig wirkende Abwrackprämie stützt und dies den ver-

gleichweise lächerlichen Beträgen gegenüberstellt, die für die Förderung von Forst und Holz bereit gestellt werden. Dabei wäre es manchmal so einfach zu helfen und nicht einmal mit Kosten verbunden. Man müsste z.B. nur bei den ohnehin notwendigen Bau- und Instandhaltungsmaßnahmen der öffentlichen Hände etwas mutig von den Planern ultimativ fordern, die Projekte von Anfang an unter Verwendung von Holz zu planen. Zur rechten Zeit, um nicht zu sagen häufig, würden solche Entscheidungen sogar zur Reduzierung der Baukosten beitragen, also eine Win-Win-Situation herbeiführen.

Es soll nun nicht der Eindruck entstehen, ich wäre der öffentlichen Hand gegenüber undankbar, oder wollte sogar eine öffentliche Vollsubventionierung des Holzbaues fordern. Es gibt viele Beispiele für hervorragende und für die Allgemeinheit wertschöpfende öffentliche Fördermaßnahmen. Aber es ist andererseits nicht zu verstehen, warum z.B. der Stromverbraucher per gesetzlich verfügter Zwangsabgabe die Entwicklung der zweifellos wichtigen und zukunftsträchtigen Energieerzeugung durch Windkraft und Solartechnik zu subventionieren hat. Dem nachwachsenden, klima- und umweltschondenen Material Holz kommt andererseits für dessen Einsatz und Weiterentwicklung eine solche Unterstützung nicht einmal ansatzweise zu Gute.

All das darf – es sei selbstkritisch angemerkt – nicht davon ablenken, dass die Forst- und Holzwirtschaft einmal selbst für eine vernünftige Vermarktung ihres Produktes und ausreichende Forschung und Entwicklung zu sorgen hat, ohne ständig zu jammern und zu glauben, sich auf die Hilfe der öffentlichen Hand verlassen zu können. Auch wenn die Unternehmensgrößen im Vergleich zu anderen Branchen winzig sind – der durchschnittliche der ca. 10.000 Zimmereibetriebe in Deutschland beschäftigt etwa 5 Mitarbeiter – stünde es der Branche gut an, die Gemeinschaftsaufgaben, wie Marketing oder Forschung und Entwicklung, auch finanziell im Rahmen seiner Möglichkeiten mit zu tragen. Und sei es durch einen der zahlreichen Verbände. Die leider immer noch weit verbreitete „Hannemann geh du voran“ Denkweise wird die Branche sicher nicht voranbringen. Dies gilt nicht nur für die genannten, absoluten Kleinbetriebe, sondern verstärkt auch für die wenigen etwas größeren Unternehmen und vor allem auch für verschiedene Verbände. Würden manche ihre Hausaufgaben so gut machen, wie das gerne praktizierte „Trittbrettfahren“, wäre ihr Hauptzweck schon bestens erfüllt. Das Material Holz steht sicher erst am Anfang seiner Entwicklung, gerade unter Einbezug neuer Technologien und der ungeheuren Chancen, die sich durch die verschiedenen Verbundlösungen, ob nun im Material oder bei den Herstell- Berechnungs- und Montageprozessen ergeben. Berechtigter Optimismus und das Wissen, dass Optimismus alleine, also ohne finanzielle Komponente nichts hilft, muss die Zukunftsdevise sein.

Lassen sie mich nachstehend eine Art Handlungsanweisung formulieren, als einen Ansatz für das weitere Tun. Wohl wissend, dass dies nur ein lückenhafter Ansatz sein kann. Aber vielleicht dient er dazu, die Notwendigkeit für unser Handeln klar zu machen und hierfür zumindest erste Ziele – soweit dies anderenorts nicht schon erfolgt ist - zu definieren.

Zukunft Holz: Eine mögliche Handlungsanweisung, oder was zu tun ist, um die „Sache Holz“ in Deutschland voranzubringen:

These 1:
Gründung des deutschen Dachverbandes „Forst-Holz-Papier“ oder auch nur kurz „Holz“, der möglichst alle derzeit in diesem Bereich tätigen, also nahezu 300 Verbände umfasst. Die Organisationsstruktur besteht aus einem 3-köpfigen

Vorstand mit einem Sprecher, dem „Herrn Holz", der für alle Verbände spricht, der in der Öffentlichkeit „das Holz" schlechthin repräsentiert. Einige wenige Stabsabteilungen, mit exzellenten Fachleuten besetzt, entwickeln und formulieren die notwendigen Strategien, organisieren und leiten die daraus abgeleiteten gemeinsamen Marketing-, Normungs-, Forschungs- und Entwicklungsmaßnahmen. In der nächsten Hierarchieebene sind dann die verschiedenen Fach- und Regionalverbände angesiedelt, die sich im Laufe weniger Jahre aus Vernunft-, Synergiengenerierungs- und Kosteneinsparungsgründen zu wenigen leistungsfähigen Arbeitsverbänden zusammengefunden haben.

Die Finanzierung der reinen Verbandsarbeit erfolgt ausschließlich durch die in dieser Beziehung hoffentlich und endlich vernünftig werdende Wirtschaft. Für die Arbeit in Normung, sowie für Forschung und Entwicklung fließen in erheblich größeren Umfang als bisher öffentliche Mittel. Diese sind deklariert und in die diversen Haushalte eingestellt, als allgemein öffentlich anerkannter und aus Steuermitteln stammender Aufwand für die Klimaverbesserung und die dazu notwendige Forschung und Entwicklung, gepaart mit aktiver Förderung der bei Forst, Holz und (teilweise) Papier fast ausschließlich vertretenen „tatsächlichen" Kleinst- und Kleinunternehmen mit bundesweit über 1.0 Mio. Beschäftigten. Sie sehen, es ist eigentlich für fast jedes Ministerium etwas dem Wähler verkaufbares und im Gegensatz zu vielem Anderen auch wirklich sinnvolles dabei.

Erste, von den beteiligten Unternehmen finanzierte, ausgesprochen lobenswerte, Ansätze für diesen Dachverband sind übrigens in der Form der Plattform „Forst und Holz", einer Gemeinschaftsaktion des deutschen Forstwirtschaftsrates und des deutschen Holzwirtschaftsrates bereits im Aufbau.

These 2:
Durchführung umfangreicher Marketingmaßnahmen, mit dem Ziel, den Bürgern im Lande und letztlich damit auch den diese vertretenden politisch Tätigen umfassend klar zu machen, dass das Thema „Zukunft Holz" als Klima - und CO_2 Regulativ für unsere Lebensbedingungen, als Zukunftstechnologie mit ausschlaggebend ist und damit auch verdient, öffentlich gefördert zu werden.

These 3
Generierung, Organisierung, Förderung und Durchführung von umfassenden Forschungs- und Entwicklungsvorhaben entlang der gesamten Produktkette. Schwerpunktsthemen sind jegliche Verbünde zwischen Materialien, Branchen, Prozessen und Denkansätzen. Dabei handelt es sich um Grundlagenforschung, um vorwettbewerbliche Forschungs- und Entwicklungsprojekte, aber auch um direkt geförderte Entwicklungen einzelner Kleinbetriebe. Unter Abwägung der Kosten - Nutzenfrage bei der bisher in solchen Fällen nicht möglichen öffentlichen Förderung, kann das Risiko einer eventuellen Fehlleitung von öffentlichen Geldern für diese zuletzt genannten Kleinstprojekte sehr wohl in Kauf genommen werden. Öffentliche Kontrolle ist generell ohne Zweifel wichtig, wird aber dann zur Farce, wie heute häufig der Fall, wenn die Kostenkontrolle mehr Mittel verschlingt, als das Projekt selbst wert ist.

These 4:
Erstellen von neuen Normen und Adaptierung der vorhandenen nationalen, europäischen und internationalen Normenwerke an den Stand der Technik in allen relevanten Bereichen entlang der Holzkette. Beobachtung, gegebenenfalls Modifizierung und auch Generierung von Normen und Vorschriften, die den Umgang und die Verwendung samt Entsorgung von holzbasierten Produkten und Verfahren zum Inhalt haben. Ein wichtiges Ziel muss dabei sein, den deutschen Standard

für alle holzrelevanten, material-, maschinen-, und verfahrensbezogenen Normenbereiche als mögliches Vorbild für weitere, wenn möglich für weltweite normative Maßnahmen werden zu lassen, als Schlüssel für die wirtschaftliche Erschließung.

So unvollständig solche Handlungsideen sein mögen, so wichtig ist es, statt sich an den vorhandenen Unvollständigkeiten zu ergötzen, herum zu mosern und auf die Anderen zu schielen, die auch nichts tun, nun endlich an die Arbeit zu gehen, die „Zukunft Holz“ mutig in Angriff zu nehmen. Ein jeder kann in seinem Bereich beginnen. Das Material gibt’s her und wir und unsere Umwelt sind es wert!

2.1 Holzbaubranche
Zukunftsperspektiven Holz(bau)

Klaus Fritzen

1 Auflösbare Defizite der Holzbaubranche

1.1 Eine Branche bilden

Ein zentrales Defizit ergibt sich schon aus dem unzutreffenden Begriff „Holzbaubranche". „Die Holzbaubranche" gibt es öffentlich erkennbar nicht. Es gibt die deutlich mehr als 200 Verbände und Gruppierungen, die in der Mehrzahl Größenklassen von weniger als 200 Mitgliedern darstellen. Die Mitglieder dieser Organisationen sehen offenbar in deren Verschiedenheiten spezielle Vorzüge. Manche Holzbaubetriebe sind in so vielen Organisationen Mitglied, dass der Briefbogen kaum noch reicht, die Logos lesbar unterzubringen. Jeder Verein oder jede Gesellschaft betreibt selbstverständlich ihr eigenes „Technisches Referat", ihre eigene „Informationsstruktur", ihre eigene „Weiterbildung" und ihr eigenes „Marketing", manche auch ihre eigene „Qualitätssicherung".

Man besichtige die Homepage des BDZ (nicht etwa des Bundes Deutscher Zimmermeister, sondern des Bundesverbandes der Deutschen Zementindustrie [1]), dort findet man: „Der BDZ, der Bundesverband Deutsche Beton- und Fertigteilindustrie und der Bundesverband der Deutschen Transportbetonindustrie haben ihre Marketingaktivitäten in der BetonMarketing Deutschland GmbH [2] gebündelt. Zwei weitere Tochtergesellschaften des BDZ, das InformationsZentrum Beton [3] und der Verlag Bau+Technik [4], nehmen Teilbereiche der Gemeinschaftsaufgabe zur Imageförderung des Baustoffs Beton wahr. Der BDZ arbeitet zudem eng mit den regionalen Gesellschaften für Bauberatung und Marktförderung [5] zusammen."

Die Zementindustrie bemüht sich um die Gewinnung der Endkunden für das Bauen mit Beton, damit in dem Beton ihr Zement verbaut wird. Die Massivbauunternehmer, z.B. der Bundesfachgruppe Hochbau im Zentralverband des Deutschen Baugewerbes, brauchen sich nicht als Branche darzustellen, sie werden als Branche dargestellt von der Zementindustrie, der Ziegelindustrie, der Kalksandsteinindustrie, der Porenbetonindustrie usw. All diese Industrien bauen selbst nicht, sie produzieren und liefern Baustoffe und – ganz wesentlich – sie stellen sich pauschal als Massivbaubranche dar (obwohl es sich heute um eine Mineralbaubranche handelt), damit die Maurer- und Betonbauermeister, die Bauunternehmer zu Markte kommen. Sie treten gegenüber der Politik und Gesellschaft geschlossen auf, auch wenn es im Hintergrund schon Gerangel um Marktanteile gibt.

Die vielfältigen Auftritte des Holzbaus sind mangels Bündelung zu einer einstimmigen und solidarischen Branche nur gering, wenn überhaupt als solche wahrnehmbar.

Nur Unternehmerentscheidungen können aus dem Partikularismus der mit Holz Bautätigen und ihre Zulieferer eine Branche formen, die ihrer Marktbedeutung entsprechend wahrgenommen wird. Unternehmer sind gewohnt zu tun, was sie wollen und sie sind in der Lage es schnell zu tun. Wenn sich ein gemeinsamer Wille herausbildet, ist das Defizit der Schwäche durch Interessenvielfalt kurzfristig zu beseitigen.

1.2 Zusammenwirken am Markt erschließen

Die Zimmerer- und Holzbaubetriebe sind in die lokalen Märkte „eingewachsen", dort sehr nah an den Kunden und das sehr häufig sehr gut. Sie nehmen aber nur einen schmalen Anteil der dort gegebenen Marktpotenziale wahr. Die große Menge der Holzbaubetriebe war während der vergangenen zwei Jahrzehnte fokussiert auf den Holzhausbau und das Bauen im Bestand und ist es noch. Der Holzhausbau nahm eine zunächst schnell wachsende, dann abflachende Entwicklung. Aktuell gibt es einen Rückgang entspre-

chend der allgemeinen Schwäche des Wohnungsbaus. Geringe Kompensationen sind im Wohnbausegment durch das leicht wachsende Bauen im Bestand zu verzeichnen.

Die Konzentration des Zimmerhandwerks auf den Hausbau führte zu einer deutlichen Abnahme der Kompetenzen im Ingenieurholzbau und damit im Gewerbebau. Während in den Schulen des Zimmerhandwerks jeder Dampfbrems- und Luftdichtheitsfolie bis in die letzte Fuge nachgeforscht wird, hat das Wissen um den Gewerbebau, hauptsächlich um den Hallenbau, in der Breite drastisch abgenommen. Die wenigen, im Ingenieurholzbau sehr gut aufgestellten, auch international äußerst leistungsfähigen Betriebe können nicht darüber hinweg täuschen, dass die große Menge der Betriebe mittlerweile „Dach- und Hausbaubetriebe" sind.

Der Marktanteil des Gewerbebaus am gesamten Bauvolumen hat sich während der letzten Jahre beständig vergrößert – und wurde vom Holzbau nur äußerst dürftig wahrgenommen. Dies deswegen, weil die „Dach- und Hausbaubetriebe" vor Ort mit hervorragenden Akquisemöglichkeiten bei den vielen kleineren Gewerbeobjekten kein Marktinteressen haben. Es kann vermutet werden, dass sie diesen Markt entweder gar nicht mehr sehen oder sich „nicht trauen" an diesem Markt teilzunehmen. Die Gewerbebau-Objektler im Holzbau haben keine Vertriebsstrukturen, die die große Menge geeigneter, kleinerer Projekte in der Breite „greifen" kann. Also konzentriert sich deren Wettbewerb bei größeren Baumaßnahmen.

Daraus ergibt sich, dass durch die Verknüpfung der Akquise vor Ort (hohe, lokale, potenzielle Marktfähigkeit) mit der hohen Preisbildungs- und Ingenieurkompetenz der Gewerbebau-Objektler ein erhebliches Holzbauvolumen erschlossen werden könnte. Da die verlorenen gegangene Ingenieurbaukompetenz in der Breite nicht kurzfristig wieder erworben werden kann, scheinen Kooperationen „auf die Schnelle" das geeignete Mittel, Marktanteile vom Stahl- und Stahlbetonfertigteilbau zu gewinnen.

Gleichwohl erscheinen die Ausbildungsstätten für Holzbau gut beraten, ihr Selbstverständnis zu überprüfen und die nur kurzfristig marktgerechte Konzentration auf den Holzhausbau zu Gunsten des Ingenieurholzbaus zu verschieben. Das wäre nicht nur marktgerecht, sondern würde auch wieder Zimmerleute, Zimmermeister und Ingenieure für den gesamtheitlichen Holzbau hervorbringen und nicht nur Schmalspur-Fachleute.

1.3 Handhabbarkeit des Holzbaus verbessern

Vorschriften-Wirrnisse – zum Teil hausgemacht, zum Teil von der Bauaufsicht verursacht – schrecken insbesondere Tragwerksplaner, aber auch andere Planer vom Holzbau ab. Der Planungsaufwand wird nur bei sehr hoher Spezialisierung auf den Holzbau sowie durch die geringen Honorare mager gedeckt. Das vergällt, bei den ohnehin verdorbenen Preisen für Bauplanungen, die durchaus vorhandene Lust auf Holzbau. Da die Planer die Bauart wesentlich beeinflussen, verliert der Holzbau durch unzureichende Deckung der Planungsaufwände an Markt. Die Alternative mit technischen Büros in den Holzbautrieben dieses Defizit abzufangen, kann erst wirksam werden, wenn die Materialentscheidung zu Gunsten von Holz noch beeinflussbar ist. Der Planungsaufwand der Holzbaubetriebe kann erst dann in die Einheitspreise „eingerechnet" werden, wenn es was zum „Einrechnen" gibt. Also kann diese Gegenmaßnahme nur einen kleinen Teil der Auftragspotenziale zurück gewinnen.

Was sind die Gründe für den hohen Planungsaufwand mit Holz?

- naturgegeben seine dreiachsige Inhomogenität,

- menschlich- kopfgegeben der Versuch, diese Materialeigenheiten jenseits aller Wirtschaftlichkeiten möglichst genau theoretisch modelliern zu wollen,
- der ungebrochene und unbeugsame Wille der Anbieter von Holzwerkstoffen und Holz-Verbindungstechniken zu immer weiterer Differenzierung und Komplizierung,
- die nachweisliche Unfähigkeit der Bauaufsicht Stabilität, Durchgängkeit und Verlässlichkeit für die Bestimmungen für den Holzbau herstellen zu können.

Auf die „Schnelle" wäre das Problem der holzgegebenen Komplexitäten vielleicht durch hohe Investitionen der Branche in hochkarätige Planungssoftware zu mildern. Das scheint jedoch nur möglich, wenn sich der Holzbau als Branche formiert. Schnelles konzertiertes Handeln scheint bei der jetzigen Gemütslage der am Holzbau beteiligten Gruppierungen zuverlässig ausgeschlossen.

Eine bessere Wirtschaftlichkeit der Planungen mit Holz für dessen höhere Marktakzeptanz könnte auch in einem „Planungszuschuss Holz" seitens des Holzabsatzfonds (HAF) oder anderer öffentlicher Hände bestehen, sozusagen als Schmerzensgeld. Zu Zeiten von Abwrackprämien für noch gute Autos und mit der Charta für Holz im Rücken ginge das heute ja vielleicht ganz zügig. Gesamtheitlich scheint sowas allerdings langfristig weniger sinnvoll, weil jede Subvention den Markt verzerrt, die Begünstigten träge werden lässt und zu nicht marktgerechten Unternehmensentwicklungen führt.

Die Anbieter von bauaufsichtlich zugelassenen Bauprodukten nehmen in großer Breite den Standpunkt ein, dass es jeweils für ihr Unternehmen besser sei, die Zulassungsregelungen möglichst differenziert zum Wettbewerb auszugestalten. Alle hoffen scheinbar, dass sich die Tragwerksplaner über lange Zeit mit ihren Zulassungen beschäftigten und dass sie nur noch diese verwenden. Als Alternative verbreiten sie Firmenunterlagen, in denen man jeweils bestimmte technische Daten ablesen, aber nicht nachvollziehen kann. Die Tragwerksplaner, aber auch andere Planer laufen bei „Gläubigkeit" ständig Gefahr, gravierende Fehler zu begehen. Zur Abwendung solcher Fehler müssten sie also wieder umfänglich die Zulassung studieren, um zum Beispiel einen wirtschaftlich geringwertigen Anschluss zuverlässig sicher konstruieren zu können. Viele Zulassungen könnten recht einfach in Normen überführt werden oder in normierte Klassen.

Genannt seien beispielhaft:
- Lochblech-Winkel,
- Balkenschuh-Anschlüsse,
- Balkenträger-Anschlüsse,
- selbstbohrende Holzschrauben,
- Holz-Beton-Verbund mit selbstbohrenden Holzschrauben,
- Holzfaserplatten für die Unterdeckung von Dachdeckungen,
- Holzfaserplatten als Beplankung von Holztafeln,
- Gipsfaserplatten zur Beplankung von Holztafeln.

Für den Holzbau ergäben sich daraus gesamtheitlich betrachtet folgende Vorzüge:
- vereinheitlichte und damit deutlich leichter handhabbare sowie wirtschaftlichere Nachweise mit dem Effekt der höheren Akzeptanz des Holzbaus bei den Planern,
- Vergleichbarkeiten der Produkte und damit wesentlich einfachere Substitutionen vorgeschriebener Leistungen durch gleichwertige,
- höhere Störungsfreiheit im Holz-Bauprozess, mit den Effekten von mehr Befriedigung am Holzbau und weniger Kosten für Auseinandersetzungen im Holzbau,

- höhere Informationsdichte bei den Holzbauschaffenden, mit den Effekten höherer Kompetenz und größerer Rechts- und Planungssicherheit.

Der schnellste Weg wäre wohl eine weitreichende Selbstdisziplinierung der am Holzbau Beteiligten. Der Stahlbau hat vorexerziert, dass Normierung und Standardisierung komplexer Verbindungen mehr Markt schafft, als die immer noch weit reichende Differenzierung. Die Wahl zwischen „etwas unwirtschaftlicher bei Material, aber schnell und einfach in der Planung" oder „komplexe Planung bis zum letzten i-Tupf" kann ja jedem überlassen bleiben. Der wesentliche, marktwirksame Effekt wäre: Es fielen viel mehr Bauartentscheidungen zu Gunsten von Holz! Davon hätte jeder etwas.

Es gibt Vermutungen, die wohl einen nicht unerheblichen Anteil an dem Widerwillen von Planern gegen den Holzbau bei der Bauaufsicht orten. Ihre administrative Einflussnahme auf den Holzbau während der letzten Jahre habe diesem erheblich geschadet, ohne dass die Gründe dafür in der Holzbautechnik, der Gesundheitsfürsorgepflicht oder der Sicherheit zu suchen wären.

Die „Ungeregeltheiten" schrecken viele vom Holzbau ab:
- keine bundeseinheitlichen Regelungen bezüglich der Bemessung von Holzbauwerken,
- eine Unmenge zusätzlicher, nationaler Regelungen zu EU-konform geregelten Bauprodukten, die sowohl das EU-Subsidiaritätsprinzip als auch den Binnenmarkt unterlaufen, behindern die Zulieferindustrien und verteuern deren Produkte,
- die Schwächung der Position der weltweit führenden Holzbaunation Deutschland durch unzureichende Wirksamkeit im europäischen Konzert, lassen nachhaltige, negative Folgen erwarten.

Das ließe sich ganz schnell ändern:
- mit entsprechenden Anweisungen der Parlamente an die Behörden,
- Bereitstellung der zugehörigen Mittel für die Behörden,
- restriktive Kontrolle der Umsetzung durch die Dienstherren der Bauaufsicht.

1.4 Technologietransfer beschleunigen, Vergessen verlangsamen

Die Inkubationszeit des Holzbaus mit Innovationen ist immer noch extrem lang. Es ist grundlegend unverständlich, dass mit geringsten Kosten vorhandene, umsetzbare Lösungen nicht unverzüglich in Gebrauch kommen. Warum baut, bei einem halben Dutzend von „Holzhausbau"-Organisationen, nicht jeder Holzhausbauer unverzüglich Gebäudetrennwände, die nur durch geringe Veränderungen gegenüber den bisher verwendeten Gebräuchen Mineralbauwänden schalltechnisch auch im tieffrequenten Bereich ebenbürtig sind? Die Innovation, hier gefunden vom Institut für Fenstertechnik, Rosenheim wird nicht wahrgenommen.

Auf der anderen Seite geraten Holzbautechnologien in Vergessenheit, die sich bewährt haben – technisch und wirtschaftlich. Als Beispiel sei die Stahlblech-Holz-Nagelbauweise angeführt (besser bekannt als „Greim-„ oder „Borg-„Bauweise). Nur noch ganz wenige nutzen diese Holzverbindungstechnik, obwohl sie nachweislich hoch wirtschaftlich ist.

An der Greimbauweise gibt es nur im Millimeterbereich etwas zu verbessern. Das erreichte Optimum verliert offenbar seine Bedeutung alleine wegen mangelnder Modernität.

Eine unsägliche Rolle spielt die Bauaufsicht bei der Behinderung des Technologietransfers. Die extrem langen Bearbeitungszeiten für Zulassungsanträge behindern den Fortschritt des Holz-

baus und erhöhen die Innovationskosten der Antragsteller erheblich (Bindung von Entwicklungsinvestitionen und entgangene Erträge durch Trägheit der Ämter).

1.5 Marketing nicht Behörden und Quasi-Behörden überlassen

Der Holzabsatzfonds (HAF), auch die Holzwirtschaftsräte und ähnliche Konstrukte können als Institutionen des öffentlichen Rechts nur im Rahmen eben dieses gesetzten Rechts agieren. Die Branche verfügt zwangsläufig nicht über ein von Unternehmern gesteuertes Branchenmarketing, wie es zum Beispiel die wettbewerbende Beton-/Zementindustrie vorlebt.

Am leichtesten zu beseitigen ist das Defizit des unzureichenden und uneinheitlichen Auftretens der an der Holzwirtschaft Beteiligten zur ihrer heutigen Kernqualität „Holz = bester Klimaschutz". Wie man das formuliert sei den diesbezüglichen Profis überlassen, aber diese Kernaussage müsste in größter Breite und solidarischer Einheitlichkeit plakativ über allen Marketingaktivitäten der zugehörigen Wirtschaftkreise stehen. Damit wäre der erste Schritt zu einem öffentlich als Branche dargestellten Wirtschaftszweig geschafft. Die Kommunikation der Botschaften über die vielen Kanäle der Holzwirtschaft ließe nach Meinung des Autors große Wirksamkeit nach außen und auch innen erwarten.

2 Mit geringem Aufwand erschließbare Marktpotenziale

2.1 Technologie-Weiterentwicklung

Technologisch bieten in Holz eingeklebte stiftförmige (Gewindestangen) oder plattenförmige, metallene Verbindungselemente (Bleche) ein sehr großes Marktpotenzial.

Die flächige, also alle Anschlussflächen in Gleichmäßigkeit nutzende, Klebeverbindung ist an der Schwelle allgemeiner Nutzbarkeit. Normiert sind eingeklebte Stahlstangen für alle Beanspruchungsrichtungen verwendbar; bauaufsichtliche zugelassen sind Holz-Blech-Verklebungen in sehr begrenzten Verweisungs- und Verwendbarkeitszusammenhängen.

Eingeklebte Gewindestangen scheinen vielen Planern und Ausführenden noch suspekt. Die Verbundanker im Betonbau sind selbstverständlich. Die Steigerung der Akzeptanz und die Überführung der Technologie in den allgemein einfachen Gebrauch ist angewiesen auf:

- Kleber, die definiert werden durch konfektionierte Kartuschen oder ähnliches, die zuverlässig sicher anwendbar sind,
- Kleber, die ein beherrschbar großes Toleranzfeld bezüglich der Holzarten und Holzfeuchte aufweisen,
- Bleche und Stahlstangen die ausreichende Sicherheiten für den handwerklichen Einsatz bieten,
- Gerätschaften, die einen beherrschbaren handwerklichen Einsatz ermöglichen.

Die bereits vorhandenen Erkenntnisse lassen vermuten, dass mit erhöhten Anstrengungen bereits in kurzer Zeit die Holz-Metall-Klebetechnologie zu einem Paradigmenwechsel bei der Holzverbindungstechnik und damit der Holzkonstruktionslehre führen kann. Höhere Verbindungssteifigkeit, nicht oder nur gering sichtbare Verbindungen, Stabwerke mit biegesteifen Ecken, einfache Berechenbarkeit, unaufwändige Konstruktionsarbeit usw..

Hochwirksame Brandschutzbeschichtungen, die zu angemessenen Preisen realisierbar und gegenüber Umwelteinflüssen robust sind, sind bereits weitgehend entwickelt, jedoch noch nicht verfügbar. Solche Beschichtungen könnten insbesondere hinsichtlich seiner Brennbarkeit Holz in vielen Bereichen des Gewerbebaus und Geschosswohnbaus marktfähig machen. Diese Entwick-

lung scheint erfolgversprechend, wenn sie der noch notwendigen Investitionen wert angesehen würde. Holz so gut wie die nichtbrennbaren Baustoffe würden ebenfalls einen Paradigmenwechsel darstellen, der die Marktpotenziale erheblich vergrößern würde.

An dritter Stelle der Prioritäten sieht der Autor die Erarbeitung von definierten Dauerhaftigkeits-Klassifizierungen von Holzarten, Einbausituationen und Verbindungsausprägungen einschließlich der gegenseitigen Abhängigkeit. Damit käme der Holzbau aus dem Dilemma heraus, die unklaren normativen Angaben zur Dauerhaftigkeit am Markt „aus Erfahrung" argumentieren zu müssen.

Es stehen noch viele, andere Technologieentwicklungen bevor jedoch erscheinen dem Autor die drei genannten als mit Abstand die wichtigsten.

2.2 Politische Durchsetzungen

Die Durchsetzung der Charta für Holz auf der Handlungsebene der weisungsgebundenen, projektierenden und ausschreibenden Behörden sowie der staatlichen Forschungs- und Technologietransferförderung wäre der Mühe wert, zumal die politischen Bedingungen dafür zur Zeit günstig erscheinen. Die Studienpläne für Bauingenieure und Architekten könnten eine bessere Berücksichtigung des Holzbaus erfahren.

Druck ließe sich seitens des Holzbaus durch öffentliche Hinterfragung öffentlicher Ausschreibungen und öffentlicher Vergaben von Aufträgen für Bauleistungen und für Forschungen erzeugen.

Wie für die energieintensiven Industrien müssten mindestens entsprechende Boni auch für die umweltschonenden Industrien erfolgen. Damit würde sich der preisliche Abstand zwischen den Werkstoffen und Herstellverfahren für Bauwerke zumindest mehr den langfristigen Unterschieden der gesamtheitlichen Kosten für verschiedene Bauarten annähern.

Bezüglich der Bauaufsicht scheint die Branche gut beraten, von der Politik einfach überschaubare Rechtsklarheit zu den bauaufsichtlichen Regelungen zum Holzbau und schnelle Bearbeitung ihrer Zulassungsanträge zu fordern. Außerdem muss dringend verlangt werden, dass die Interessen der deutschen Holzwirtschaft vor der Verabschiedung von EU-Richt- und Leitlinien soweit in diesen berücksichtigt werden, dass die nationale Umsetzung problemlos möglich ist. Dazu ist zunächst aufmerksame Wahrnehmung des Wirtschaftszweiges und dann hartes Durchsetzungsvermögen auf politischer Ebene von Nöten.

3 Zukunft Holz: Später

3.1 Zurück zum Maschinenbau

Die letzte und bedeutendste Zeit des Holzes als technisch eingesetztem Werkstoff war die Zeit des beginnenden modernen Maschinenbaus. In verschiedenen Phasen, je nach Ausprägung von Eignung und Kosten wurde Holz als zunächst noch wesentlicher Werkstoff Zug um Zug aus dem Bauwesen und Maschinenbau verdrängt. Seine Eignung als Maschinenbauwerkstoff hat das Holz zuletzt bei den Windmühlen (1910 waren noch 20.000 Windmüller organisiert) und exzellent beim Flugzeugbau bis etwa 1935 bewiesen. Holzfuhrwerke waren zwar noch wesentlich länger in Gebrauch, wurden aber nicht mehr produziert. Damit hatte Holz bis vor weniger als einem Jahrhundert Vorzüge bei dem Bau von nach heutigen Gesichtspunkten hoch beanspruchten Maschinen. Die dafür maßgeblichen Eigenschaften waren:

- geringe Massenbelegung gezogen auf die Tragfähigkeit,
- sehr hohe Dauerschwingfestigkeit,
- sehr hohe innere Schwingungsdämpfung,
- sehr hohe Duktilität der Verbindungen,

- gute Formbarkeit,
- leichte Fügbarkeit,
- gute Witterungsbeständigkeit,
- leichte Reparierbarkeit,
- hohe Resistenz gegenüber vielen Chemikalien,
- sehr geringe Wärmeleitfähigkeit,
- sehr hohe thermischen Längenstabilität,
- geringe elektrische Leitfähigkeit,
- geringe Gestehungskosten,
- hohe Verfügbarkeit.

Die modernen Holzbearbeitungs- und Fügetechnologien sind heute ohne weiteres in der Lage, Formen, Strukturen und Genauigkeiten zu erreichen, die für viele Anwendungen auch im Maschinenbau geeignet wären. Nach Meinung des Autors wäre zum Beispiel ein hoch qualifizierter Treppenbaubetrieb ohne weitere Investitionen in der Lage ein vollwertiges Getriebehäuse aus Holz anzufertigen, das mindestens allen Anforderungen an ein metallenes gerecht wird. Darüber hinaus sind geringere Geräuschentwicklung, höhere Laufruhe (schwingungsärmer), geringere Abwärme und geringeres Gewicht möglich. Kein Maschinenbauer kommt zur Zeit auf die Idee so etwas zu projektieren, aber auch kein Holzbauer.

Moderne, hölzerne Werkstoffe in Kombination mit modernen Holzver- und –bearbeitungstechnologien scheinen nach Meinung des Autors gut geeignet, vom Gehäusebau für Kleingeräte bis zum großformatigen Anlagenbau schon heute ohne weiteres Komponenten für den Maschinenbau herstellen zu können, die den heute gebräuchlichen technisch mindestens ebenbürtig sind.

Mit der Holz-Metall-Verklebung steht schon jetzt die Möglichkeit zur Verfügung, den entscheidendem Nachteil des Holzes gegenüber dem Maschinenbau, die geringe Dauerschwingfestigkeit von mechanischen Holzverbindungen zu kompensieren.

Wenn die Holzwirtschaft sich des Maschinenbaus annimmt, glaubt der Autor, dass sie große Marktgewinne und erhebliche Entwicklungsschübe, die weit über den Holzbau, Ausbau und Möbelbau hinausgehen, erreichen wird. Holzbauexperten sind heute z.B. sicher in der Lage eine hölzerne Spiralfeder zu fertigen, die dauerschwingfest, nichtrostend und mit definierten technischen Kennwerten reproduzierbar ist.

3.2 Zurück zu sehr hohen Energiepreisen

Der Niedergang der Holzwirtschaft und der Holztechnologie ist nachweislich auch bedingt durch die dramatische Verbilligung der Erzeugung mechanischer Energie durch die Ausbeutung der nichtnachhaltigen Ressourcen. Der neuerliche Aufstieg der Holzwirtschaft ist zuverlässig sicher, weil die nichtnachhaltigen Ressourcen weniger und damit deren Preise höher werden. Die wesentliche Frage ist: Wann?

Im ungünstigsten Fall kommt die Industriegesellschaft erst zur Besinnung, wenn die Erde unrettbar und unaufhaltsam einem Zustand zustrebt, der menschliches Leben nicht mehr ermöglicht. Dann hilft Holz auch nicht mehr.

Nach Meinung des Autors scheint es am sinnvollsten, die Umlage aller in einer Generation zu erwartenden Folgekosten aus dem Verbrauch nichtregenerativer Energien auf die Preise für die zugehörigen Energieträger umzulegen. Der nachfolgenden Generation gegenüber wäre es fair, die zunächst entstehenden, erheblichen Überschüsse zurückzulegen, um damit die zu erwartenden Schadensbeseitigungen decken zu können.

Aus dem Selbstverständnis der Menschheit heraus ist es unmöglich, den zivilatorischen Fortschritt aufzuhalten. Daher bleibt nur die Möglichkeit, ihn zur Nutzung der Sonnenenergie hin zu lenken, denn sie ist der einzige Energiespender,

den die Erde hat. Alle sogenannten unerschöpflichen Energien sind ja nur Umwandlungen der Sonnenenergie. Es ist klar, dass das „Zurück zur Sonnenenergie", nämlich zu Energie aus Biomasse, Wasser, Wind und Lichtumwandlung in Strom und Wärme nur mit moderner Technik in gesellschaftlich akzeptablem Maße zu bewerkstelligen ist.

Daraus ergibt sich einerseits, dass aktuell ein Preis für fossile Energieträger von mindestens 0,50 € je Kilowattstunde gefordert werden müsste, wovon ein Teil unverzüglich in die Erschließungen von Sonnenenergie-Umwandlungen investiert werden müsste und ein Teil für die Beseitigung der Schäden aus dem Verbrauch nichtregenerativer Energieträger angespart werden müsste. Gesellschaftlich durchsetzbar erscheint dies nur, wenn jeder Preiserhöhung für nichtregenerative Energieträger mindestens eine unmittelbare Alternative mit einem Amortisationsansatz gegenüber steht.

Daraus ergibt sich, dass sich die Holzwirtschaft auf die technologischen Möglichkeiten und Entwicklungen konzentrieren muss, die Energieumwandlungen zeitnah in Rendite ermöglichen. Damit einhergehen muss die gleichzeitige, sukzessive Erhöhung des Preises für nichtregenerative Energien. Vorkommnisse wie die Subventionierung von Photovoltaik sollten dabei unbedingt vermieden werden, denn sie verzerren das Marktgeschehen und damit die marktgerechte Technologieentwicklung.

Zwei Beispiele:
Zentrale Bedeutung hat bei den folgenden Überlegungen die während der letzten Jahre erschlossene und gut funktionierende Möglichkeit der hochgradig dezentralen Stromerzeugung durch Photovoltaik zur Speisung zentraler, universaler Verteilernetze.

Wasserkraft
Fast alle Mühlenkanäle und Wehre und Mühlenhäuser sind in mehr oder minder zerfallendem Zustand. Mit modernen Technologien wären sie unverzüglich mit geringen Aufwänden zur Stromerzeugung aktivierbar. Die erforderlichen Baukonstruktionen bei den Wasserbaumaßnahmen sind wahrscheinlich häufig am wirtschaftlichsten mit Holz machbar, bis hin zu Druckwasserleitungen zur Turbinenspeisung. Zumindest Francis-, Pelton- und nicht verstellbare Kaplanturbinen dürften heute ohne weiteres aus Holz baubar sein. Sie hätten gegenüber den Turbinen aus Metall die Vorteile: keine Korrosion, geringere Reibung und mindestens gleichwertige Dauerhaftigkeit.

Windkraft
Kleinere Windkraftanlagen mit Masthöhen von ca. 18 bis 25 m und bis ca. 20 kW Leistung sind ohne weiteres unter vorwiegender Verwendung von Holz, bis hin zu den Rotorblättern, schon heute wirtschaftlich. Jeder Acker, jeder Zimmerplatz und jedes Sägewerk in guter Windlage bieten sich als einfachst verfügbare und erschließbare Aufstellplätze an. Die Dauerhaftigkeit von Windmühlen aus Holz ist den üblichen zwanzig Jahren bei modernen Stahl-Kunststoffbauarten sicher überlegen. Geringere Wirkungsgrade können leicht durch größere Zahl bei geringeren Gestehungskosten und höherer Nutungsdauer ausgeglichen werden.

Damit ergibt sich: Die Holzwirtschaft müsste ständig zunehmend mit Modellen und Angeboten zur Verbesserung der regenerativen Energieversorgung mit zu erwartender Rendite auftreten und damit einhergehend stets eine gleichzeitige Erhöhung des Preises für nichtregenerative Energien einfordern und durchsetzen. Mit jeder Preiserhöhung würde sich die Rendite der regenerativen Energien verbessern, was den Anreiz nochmals vergrößern würde.

4 Ideen zu Wegen

Die Betrachtungen zeigen, dass es keine geschlossene Holzbaubranche gibt, sondern viele Holzbau-Pratikularinteressen, dass das während der letzten Jahre viel beschworene „Cluster Holz" schon von daher in weiter ferne Ferne ist, und dass der Holzbau unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten gut beraten sein könnte, seine Schwerpunkte bei Forschung, Entwicklung und Marketing gründlich zu verändern.

Holzwirtschaftliche Konferenzen gab es schon viele, mit durchweg dürftigen Ergebnissen. Sie sind nie mit weitreichend konzertierten, solidarischen Beschlüssen konkreter und terminierter zu erfüllender Handlungen geendet.

Eine Idee, Bewegung in die Gefüge zu bringen, wäre eine Geschäftsversammlung von Unternehmern, die effektiven Einfluss auf größere Marktfelder haben, nennen wir es eine Präsidentenversammlung.

Mit einem solchen, konsoldierten Konsens wäre die Möglichkeit gegeben, gesellschaftlich wesentlich effektiver als zurzeit wirksam zu werden. Insbesondere die Innovationskraft und das Innovationspotenzial der Branche öffentlich zu zeigen und den Markt zu verwandeln, stiegen erheblich. Durch „klare Konzepte" und „öffentliche Präsenz" könnte die Politik zur Bereitstellung geeigneterer Rahmenbedingungen bewegt werden.

Mit den bestehenden finanziellen Strukturen in der Holzwirtschaft kann ein solcher Weg kaum gelingen. Ein solcher Weg wird Geld kosten. Dieses Geld kann nur von den Unternehmern kommen. Also muss ein Unternehmer oder ein Unternehmerkonsortium ein Konzept auf den Tisch legen und es müssen sich viele Unternehmer durch Bereitstellung des Investitionsbedarfs dahinter versammeln.

Wenige, klar umrissene, konkrete, zeitnahe Ziele sind nach Meinung des Autors für einen solchen Aufbruch zweckdienlicher als universale, den ganzen Globus umfassende Ansätze.

Quellen

[1] http://www.bdzement.de/
[2] http://www.beton.org/
[3] http://www.ebeton.de/
[4] http://www.verlagbt.de/
[5] http://www.betonmarketing.de/

2.1 Holzbaubranche
Visionen im Holzbau

Hermann Blumer

1 Visionen als Leitstern und Anreiz

Der Polarstern am Himmel dient der Navigation. Obwohl der Kapitän das Reiseziel noch nicht sehen kann, verlässt er sich auf diesen Leitstern für seine Richtungsbestimmung. Mit Visionen hegen wir Traumbilder und erwecken Erwartungen, wir sehen aber das Resultat in der fertigen Form noch nicht. Damit ist aber ein Anreiz geschaffen, der uns in die Richtung des Traumes zieht.

Gerne sähen wir den Holzbau von morgen als Vorbild für gesellschaftlich und ökologisch richtiges Bauen. Gerne sähen wir Holz in neuen Anwendungen im Hoch- und Tiefbau. Wir hätten alle unsere Genugtuung, wenn Holz im Reigen der Baustoffe bald eine Vorreiterrolle spielen könnte. Gerne sähen wir den Holzbau als Vorbild für gesellschaftlich und ökologisch richtiges Bauen. Aber wir sind uns auch bewusst, dass wir unsere Zukunft auf Genügsamkeit ausrichten müssen. Bauen mit Holz heisst Grenzen im qualitativen und quantitativen Wachstum zu respektieren.

2 Unsere Zukunft mit Holz

Damit wir obigen Erwartungen mit Holz im Wettlauf der Baustoffe gerecht werden, müssen wir uns permanent etwas "Neues" ausdenken. Das Neue muss nicht revolutionär sein, es sollte viel eher als evolutionärer Prozess basierend auf neuen Kombinationen aus Bekanntem verstanden werden. Im Volksmund könnte das dann zwar als "Alter Wein in neuen Schläuchen" abgetan werden. Das soll uns nicht entmutigen. Denn mit dieser Behutsamkeit und Abstützung auf die Tradition sowie Erfahrung können wir verantwortungsbewusst Schritt für Schritt die Zukunft erschliessen. Mitunter könnten wir sehr wohl auch etwas Verrücktes anpacken, das wäre dann "Neuer Wein in neuen Holzfässern"

Mit Holz haben wir einen genialen Baustoff, der in unvorstellbare Sphären vorzustossen könnte. Wäre es nicht möglich, eine Raumstation mit Holz zu bauen oder mindestens den Innenausbau mit Holzwerkstoffen etwas wohnlicher zu gestalten. Solche Projekte verlangen interdisziplinäres Vorgehen. Spezialisten bringen ihr Wissen ein, der Qualitätsbeauftragte überwacht das Risiko, der Mentor leitet den Prozess und die Vision zieht das Projekt in die gewünschte Richtung.

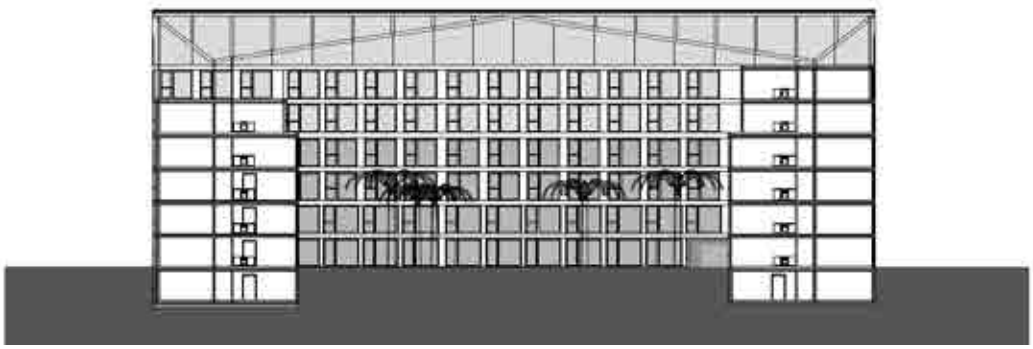


Abb. 1: Entwurf eines Studentenwohnheimes (Wettbewerbsentwurf Josef Fent)

3 Die Trends als Axiom für unsere Visionen

Der Richtschnur für unsere Visionen richtet sich nach den heute erkennbaren Trends:

- den Bedürfnisse der Gesellschaft,
- den Fortschritten der Technik,
- der in Aussicht stehenden Baustoffentwicklungen
- den funktionsoptimierten modularen Systemen.

3.1 Bedürfniswandel der Gesellschaft

Klimawandel, Bevölkerungswanderungen und der Kampf um die Rohstoffe haben zu einem Bewusstseinswandel in der Gesellschaft geführt. Global kommen Strömungen für einen besseren Klimaschutz in Gang, die Wirtschaft beginnt um die Rohstoffe zu bangen. Menschen sind immer mehr auf der Wanderschaft, Städte wachsen und verdichten sich.

Für den Baukunden wird ökologisch verantwortliches Bauen und gesundheitsförderndes Wohnen zum Muss. Das Gebäude muss am Ende des Lebenszyklus wieder in weiter nutzbare Einzelteile zerlegt werden können.

Die Bewohner wünschen sich ein intelligentes, in den Grundfunktionen sich selbstregelndes Haus mit Multimedia- und Wellnesseinrichtungen. Die Küche wird zum Allzweckraum. Das Haus ist energetisch autark, bald wird es zum Kraftwerk und kann Energie für das Autofahren (z.B. Wasserstoff) zur Verfügung zu stellen.

3.2 Fortschritte in der Technik

Die Notwendigkeit nach interdisziplinärer Zusammenarbeit wird wachsen. Diese Zusammenarbeit wiederum wird über einen gut organisierten Datentransfer unterstützt, die Daten werden in einer zentralen Datenbank verwaltet. Man fühlt sich im Kreise der Spezialisten befähigt, komplexe Planungsprozesse und Bauausführungen zu bewältigen.

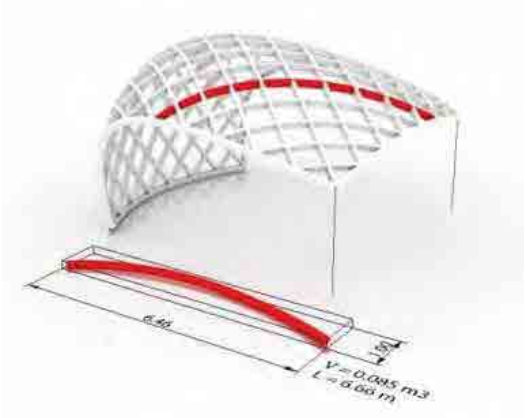


Abb. 2: Entwerfen, konstruieren und produzieren mit den Werkzeugen und Intelligenzen der Informatik ermöglichen Freiformen mit Holz
(Entwurf Fabian Scheurer)

CAD unterstützt die Architekten bei ihren 3-dimensionalen Entwürfen. CAE hilft den Ingenieuren bei ihren komplexen Berechnungen und Simulationen. CAM ermöglicht danach mit der Produktion sofort zu beginnen, egal ob es Einzelfertigungen sind oder Serien bearbeitet werden. Die Fertigung wird mehr und mehr unter Dach erfolgen. Die Präzision der bearbeiteten Werkstücke wird noch höher. Wand-, Decken- und Dachelemente wie auch ganze Raummodule werden auf der Baustelle in Rekordzeit zusammengeklickt.

3.3 Baustoffentwicklungen

Infolge der absehbaren Verknappung vieler Rohstoffe wird der Zwang zu ressourcenoptimiertem Bauen ansteigen. Auch Holz wird knapp werden. Mit der stetigen Weiterentwicklung der Holzwerkstoffe nach den Ansprüchen der Planer und den Wünschen der Baukunden werden wir die Verwendung von Holz immer weiteren Verwendungsmöglichkeiten zuführen. Ein grösstmöglicher Einsatz ökologisch unbedenklicher Stoffe wird zum selbstverständigen. Der Gesetzgeber wird Kaskadennutzungen der Stoffe (Mehrfachverwendung mit Recycling) vorschreiben.

3.4 Funktionsoptimierte modulare Systeme
Entscheidend für den Einsatz der Baustoffe werden die funktionsbezogenen und garantierten Systemleistungen von Elementen und Moduln. Als Analogie möchte ich die Zellen und Organe im menschlichen Körper erwähnen. Das können z.B. feuersichere, schallisolierende, wärmespeichernde Zwischendecken sein, das können wärmedämmende, energiegewinnende, gestaltende Aussenhüllen sein. Auf Holzbasis gebaute Systeme werden auch für die Bereitstellung von Luft, Wärme, Kälte, Licht, Düfte und Klänge erfunden werden.

4 Die Entstehung von Visionen
Visionen können wir nicht erzwingen. Aber oft ist ein Zwang für das Neue am Anfang. Bei mir sind es die Versprechen, die ich vorschnell abgebe. Es bleibt mir dann nichts anderes übrig als auf eine Intuition zu warten. Dazu muss ich mir Bilder im Kopf vorbeischiessen lassen.

4.1 Vision 1: „Höhentraum“
Ein Hochhaus mit 20 Geschossen in Herisau

- Ein Hochhaus aus Holz kann mit 20 Geschossen und mehr sicher gebaut werden!
- Im Hochhaus aus Holz kann die Brandsicherheit gewährleistet werden!
- Ein Hochhaus aus Holz kann stärksten Erdbeben widerstehen!
- Ein Hochhaus aus Holz kann für das Arbeiten und Wohnen besonders attraktiv sein!
- Ein Hochhaus aus Holz kann ökologisch und ökonomisch neue Zeichen setzen!
- Ein Hochhaus aus Holz kann Menschen gesundheitlich wohl bekommen!

Abb. 3: Hochhaus im Appenzeller Land

Einige Reaktionen (O-Ton) aus der Bevölkerung anlässlich der Immomesse in St.Gallen :

«Vergesst nicht bei der Realisation genügend Zimmer für die vielen Architekturstudenten und Architekturpilger einzurechnen. Das will dann bestimmt jeder sehen!!»

«Da werden sich die traditionellen Baumeister aber warm anziehen müssen ... wenn man so aus Holz bauen kann, wird es auch bald gemacht... »

«Das wäre ja eine echte Wertschöpfung nicht nur für die Leute, die da drin wohnen oder arbeiten, sondern für die ganze Region eigentlich für die ganze Schweiz»

«Wo sind denn die Balkone? Es will doch jeder einen Balkon heute...Das bringt ihr sicher hin!»

«Die hatten bei sieben Stockwerken in Berlin ja schon Probleme... wie soll denn das mit 20 Stockwerken gehen?»

«Nullenergie, das ist ja unglaublich. Jetzt muss umgesetzt werden!»

«Die Architektur ist der Hammer. Gut, wie die Appenzell-typischen Elemente zu sehen sind.»

«Das wäre ein grosser Paukenschlag in der Baubranche, wenn das gebaut wird ... »

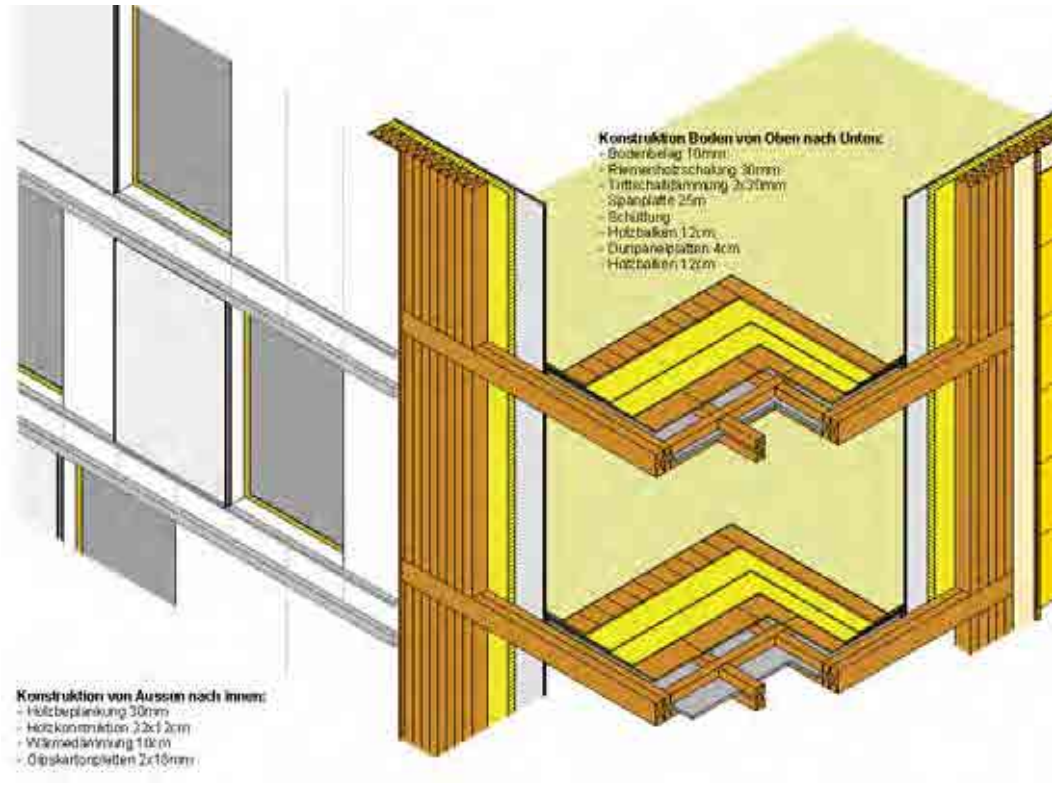


Abb. 4: Die Konstruktion lehnt sich an die traditionelle Bauweise an

4.2 Vision 2: „Maxiökotraum“

Architekturwettbewerb eines Plus-Energie-Einkaufszentrums

- Ein Einkaufszentrum aus Holz kann dank Holz CO_2-neutral gebaute werden!
- Ein Einkaufszentrum aus Holz kann energetisch mehr als eigenständig sein!
- Ein Einkaufszentrum aus Holz kann die Brandsicherheit gewährleisten!
- Ein Einkaufszentrum aus Holz kann das Einkaufsverhalten positiv beeinflussen!
- Im Einkaufszentrum aus Holz können die Umsätze höher sein!

Abb. 5: Wettbewerbsprojekt für die Ausschreibung Migros Heiden CH (Entwurf: Fent Solare Architektur)

Der Einsatz von viel Holz macht es möglich, dass dieses Objekt in der Entstehung CO_2 neutral ist. Das bedeutet: die Menge der grauen Energie beim Erstellen des Gebäudes kann mit dem eingelagerten Holz gar noch übertroffen werden.

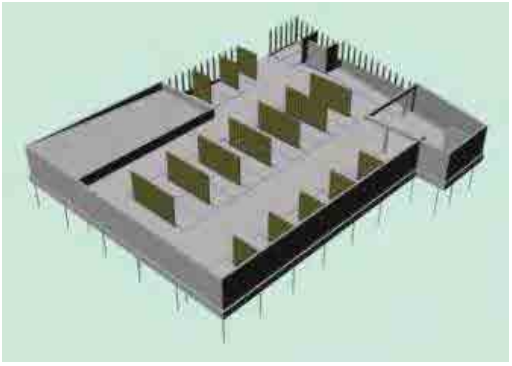


Abb. 6a

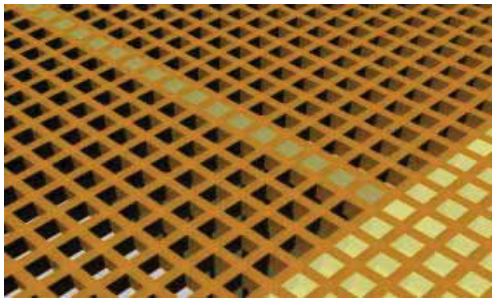


Abb. 6b

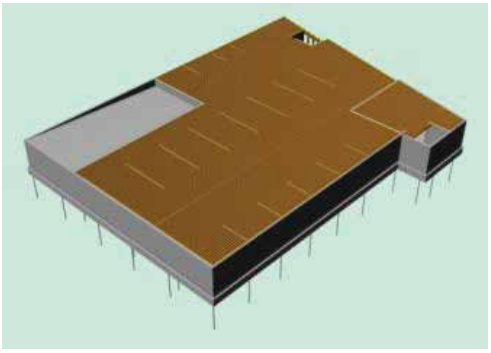


Abb. 6 a – c: Palisanderwände im UG und Decke über dem Parkgeschoss sind in Holz gedacht – ein Novum

Im Betrieb kommen nur alternative Energieträger ins Spiel, auch da haben wir eine faktische CO_2 Neutralität für Licht, Heizen und Kühlen. Die Fotovoltaikanlage auf dem Dach, eine Lucidofassade und ein auf Energieverbrauch *„durchgeholztes“* Konzept für die Kälteerzeugung machen diese bis heute als unmöglich beurteilte Leistung möglich.

Die Ökorelevanten Werte in Zahlen:
- Minergie P Eco, über 90 % unter SIA Grenzwert
- Tageslicht-Supermarkt, 38 % Tageslicht
- Solardach mit integriertem Solarenergie-Kraftwerk
- 145 % Eigen-Energieversorgung
- 304 t CO_2 Grauenergie bei der Erstellung – 622 t CO_2 Speicherung im Holz

Gesamtwürdigung der Jury:
Der Beitrag zeigt faktische das ganze Instrumentarium im Bereich der baulichen Nachhaltigkeit auf. Viele Strategien werden in den Vorschlag integriert, was sich aber zugleich als Problem des Beitrages erweist. In der Menge interessanter und teilweise bestechender Vorschläge zur baulichen Nachhaltigkeit und trotz Verzicht auf Wohnungen ist es schwierig, den Vorschlag als schlüssiges Konzept zu lesen. Den ökologischen Ideen wurden zu grosse Konzessionen hinsichtlich Funktionalität und Architektur gemacht.

Und weiter wurden vermerkt:
Interessant ist die Konstruktion mit Palisanderwänden aus Holz bereits im Garagengeschoss, die eine Holzrippendecke tragen, wobei auf eine Bodenplatte verzichtet wird und nur die erdberührten Wände wo nötig betoniert werden.

4.3 Vision 3: „Ankunftstraum“
Architekturwettbewerb Flughafenterminal Zagreb

Ein Flughafenterminal aus Holz kann einen ersten Eindruck zum Land schaffen!

- Ein Flughafenterminal aus Holz kann die Brandsicherheit gewährleisten!
- Ein Flughafenterminal aus Holz kann faktisch unterhaltsfrei gebaut werden!
- Ein Flughafenterminal aus Holz kann als Ikone zum Anziehungspunkt werden!
- Ein Flughafenterminal aus Holz kann energetisch eigenständig sein!

Abb. 7: Ankunfts- und Abflughalle Flughafen Zagreb (Wettbewerbsprojekt Shigeru Ban)

Abb. 8: Pier Flughafen Zagreb (Wettbewerbsprojekt Shigeru Ban)

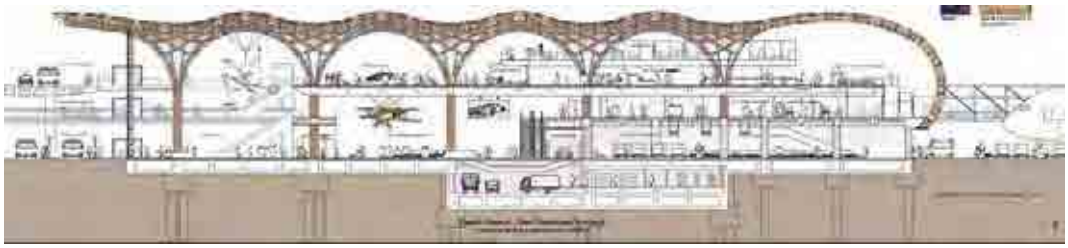


Abb. 9: Querschnitt durch die Anlage

Abb. 10: Ansicht Strassenseite

Abb. 11: Ansicht Flugfeldseite

Dieser auf dem zweiten Rang platzierte Vorschlag von Shigeru Ban für den Terminalbau des Flughafen in Zagreb wird so nicht gebaut. Wir können aber die Möglichkeiten für den Baustoff Holz im 21. Jahrhundert erahnen.

4.4 Vision 4: „Stadttraum“

Siebengeschossiges Bürogebäude der Tamedia im Zentrum von Zürich

- Ein Stadtbüro aus Holz kann konkurrenzfähig im Vergleich zum Massivbau sein!
- Ein Stadtbüro aus Holz kann die Brandsicherheit gewährleisten!
- Ein Stadtbüro aus Holz kann den Schallschutz nach Norm erfüllen!
- Ein Stadtbüro aus Holz kann solide und wärmeträg sein!
- Ein Stadtbüro aus Holz kann von aussen attraktiv aussehen!

Abb. 12a und b: Das Projekt von Shigeru Ban wird in Zürich verwirklicht – eine Augenweide mitten in der Stadt

5 Gewagte Visionen

Ich gehe davon aus, dass jenes was ich mir vorstellen kann auch irgendwann Wirklichkeit wird. Wenn auch viele Dinge am Anfang groß erscheinen, stellt man im Verlauf der Zeit fest, es geht alles viel einfacher als ursprünglich gemeint.

Somit möchte ich zum Abschluss noch einige gewagte Ideen einbringen. Die Jahreszahlen zeigen, wann wir in etwa soweit sind. Das 21. Jahrhundert wird für das Holz zum wohl verrücktesten Jahrhundert, in 500 Jahren wird das so in den Geschichtsbüchern geschrieben sein, sofern es dann noch Bücher und Menschen gibt.

- 2015 Das nichtbrennbare, witterungsbeständige versteinerte Holz gelangt auf den Markt
- 2020 Es gelingt das Holz längs zur Faser stumpf zu verbinden (Analog zu Schweissen von Stahl)
- 2030 Das Plusenergiehaus mit bionischer Holz-Haustechnik ist erfunden
- 2040 Das erste 100 m Hochhaus aus Holz wird eingeweiht
- 2050 Die erste Forschungsstation in Holz wird auf dem Mars bezogen
- 2060 Eine Holzstadt mit 1.000.000 Einwohner wird auf der grünen Wiese gebaut
- 2099 Holz wird zum universellen Baustoff des 22. Jahrhunderts gekrönt

2.2 Normung
Nationale und europäische Regelwerke und deren Auswirkung auf den zukünftigen Holzbau

Tobias Wiegand

1 Einleitung und Abgrenzung

Seit vielen Jahren wird parallel sowohl am nationalen wie am europäischen Regelwerk gearbeitet. Trotz langwieriger Bearbeitung konnte das europäische Regelwerk bislang nur in Teilen abgeschlossen werden.

Übergangsweise mussten aufgrund des nur teilweise fertig gestellten europäischen Regelwerks nationale Normen überarbeitet sowie Übergangsregeln zwischen nationalem und europäischem Regelwerk geschaffen werden.

Der Mehraufwand stellt für die an der Normung Beteiligten, die zunehmende Komplexität der in kürzer werdenden Abständen überarbeiteten Regelwerke für die Anwender, ein ernsthaftes Problem dar.

Im Folgenden sollen Ursachen und Auswirkungen detaillierter dargestellt werden.

In dieser Ausarbeitung werden Normen für die Herstellung und Bemessung tragender Konstruktionen im Holzbau betrachtet. Normen zu nichttragenden Produkten wie z.B. Fenster, Wandbekleidungen oder Bodenbeläge sind nicht Gegenstand der Ausführungen. Ebenso wird nicht auf Normen aus anderen Bereichen der Holzverwendung, wie z.B. der Verpackungsindustrie, eingegangen.

Nationale und europäische Zulassungen und deren Umsetzung sind ebenfalls nicht Gegenstand dieser Ausarbeitung.

Es wird davon ausgegangen, dass die Leser mit den Grundzügen nationaler und europäischer Normung sowie mit deren Umsetzung in europäisches Baurecht vertraut sind. Es wird hierzu z.B. auf [1], [2], [3] und [4] verwiesen.

2 Situation Regelwerke

2.1 Europäische Normen

Seit annähernd zwei Jahrzehnten werden europäische Prüf-, Material-, Last- und Bemessungsnormen für den Holzbau erarbeitet. Da die zuständigen europäischen Gremien mit Vertreter aus Ländern mit unterschiedlichsten Baukulturen besetzt sind, ist die Erarbeitung europäischer Normen auch heute noch sehr zeitaufwändig und von der Notwendigkeit zu Kompromissen geprägt.

Die Erarbeitung der Prüf-, Material-, Last- und Bemessungsnormen erfolgte, wie im Bereich anderer Materialien auch, häufig parallel. Regeln für die einheitliche Erstellung der Normen, so genannte Leitpapiere (Guidance papers), wurden sehr spät, teilweise erst nach Erscheinen der ersten Generation europäischer Normen, fertig gestellt oder häufig überarbeitet (Tab. 1). Die Veröffentlichung des Leitpapiers L zur Anwendung der Eurocodes datiert beispielsweise aus November 2003. Zu diesem Zeitpunkt war die inhaltliche Erarbeitung der harmonisierten Produktnormen für Brettschichtholz und Vollholz (siehe EN 14080 und EN 14081 in Tabelle 2 aber bereits abgeschlossen.

Die parallele Bearbeitung der europäischen Prüf-, Material-, Last- und Bemessungsnormen und die daraus herrührende fehlende Abstimmung der Inhalte führen dazu, dass zahlreiche veröffentlichte europäische Normen bereits wieder korrigiert oder ergänzt werden müssen, während die Bearbeitung der Erstfassung anderer Regelwerke noch gar nicht abgeschlossen ist (Tab. 2). Eine Abstimmung der Normen untereinander ist ausgesprochen schwierig.

Die späte Bereitstellung verbindlicher Leitpapiere ist ein Grund für Fehler hinsichtlich der Kennzeichnung oder Definition von Klassen und Leistungsstufen, wie sie in einigen europäischen Produktnormen vorhanden sind. Solche Fehler er-

schweren die Umsetzung in nationales Baurecht erheblich (siehe auch Abschnitt 2.3). Die Probleme mit der baurechtlichen Umsetzung nicht nur in Deutschland haben wiederum dazu geführt, dass z.T. sehr kurzfristig die Koexistenzphasen harmonisierter Produktnormen geändert wurden und dass die Produktnormen in Deutschland i.d.R. noch nicht anwendbar sind.

Die nunmehr veröffentlichten europäischen harmonisierten Produktnormen erfordern zur Festlegung des nationalen Sicherheitsniveaus oder zur Anpassung an nationale Regeln häufig weitere nationale Regelungen, so genannte Anwendungsdokumente in Form nationaler Normen oder Zulassungen. Bei der Erstellung der Anwendungsdokumente wird nicht selten festgestellt, dass bei der Erarbeitung der zugehörigen Produktnorm keine oder keine ausreichenden Klassen und Leistungsstufen definiert wurden, die für eine Festlegung des nationalen Sicherheitsniveaus aber erforderlich sind. Dies verzögert die Erstellung der Anwendungsdokumente. Aber auch bei einer gemäß den Leitpapieren erstellten Norm reicht die Zeit zur Erstellung der Anwendungsdokumente aus folgenden Gründen nicht aus: Da mit einer Erarbeitung der Anwendungsdokumente i.d.R. erst begonnen werden kann, wenn die Schlussfassung der Produktnorm vorliegt, ist die üblicherweise auf neun bis zwölf Monate festgelegte Übergangszeit bis zum Beginn der Koexistenzphase zu kurz. Alleine die Erstellung solcher Normen erfordert 9-12 Monate. Danach müssen die Normen aber in einem nochmals neun Monate dauernden Verfahren anwendbar gemacht werden. Dies führt dazu, dass zu Beginn der Koexistenzphase, die eigentlich zur Erprobung und für einen reibungslosen Übergang vom deutschen auf das europäische Regelwerk gedacht ist, die europäische Regel häufig in Deutschland noch gar nicht anwendbar ist.

Tab. 1: Leitpapiere und ihre Erscheinungsdaten

Guidance Paper (GP)[1]	Veröffentlichte Versionen			
GP A „Designation of approved bodies"	2001-05	2002-09	2005-11	**2006-04**
GP B "Definition of factory production control"	1995-05	**2002-09**		
GP C " The treatment of systems and kits"	1997-02	**2002-09**		
GP D "CE-marking"	**2004-05**			
GP E "Levels and classes"	**2002-09**			
GP F "Durability	**2004-12**			
GP G "European classification system for the reaction to fire performance"	1999-12	**2003-05**		
GP H "Dangerous substances"	1999-12	**2002-09**		
GP I "Application of Article 4.4 of the CPD"	2000-03	**2002-09**		
GP J "Transitional arrangements"	2003-03	**2002-09**		
GP K "Attestation of conformity systems"	**2004-12**			
GP L "Application and use of Eurocodes"	**2003-11**			
GP M "Conformity assessment"	**2005-05**			

[1] Titel der Leitpapiere werden verkürzt wiedergegeben.

Tab. 2: Ausgewählte europäische Holzbaunormen mit Erscheinungsdatum, Angaben zu Änderungen und Korrekturen sowie (im Falle der Produktnormen) Angaben zur Koexistenzphase

Normennummer und Inhalt[1]	Veröffentlicht /Überarbeitung /Ergänzung	In Deutschland anwendbar?	Ende der Koexistenzphase
Eurocode 5-1-1 "Bemessung von Holzbauten bei Normaltemperatur"	2004 2008 (Änderung)	Nein	2009?
Eurocode 5-1-2 "Bemessung von Holzbauten im Brandfall"	2004 2006 (Änderung)	Nein	2009?
Eurocode 5-2 "Bemessung von Holzbrücken"	2004	Nein	2009?
EN 13986 „Harmonisierte Produktnorm (hEN) Holzwerkstoffe"	2002 2004	Ja	
EN 14080 „hEN Brettschichtholz"	2005 wird überarbeitet	Nein	01.04.2007 (verlängert) 01.04.2009 (verlängert) 01.04.2010
EN 14081 „hEN Schnittholz"	2005 wird überarbeitet	Nein	01.09.2007 (verlängert) 01.09.2008 (verlängert) 01.09.2009
EN 14250 „Nagelplattenbinder"	2004 wird überarbeitet	Nein	01.09.2006 (verlängert) 01.09.2007 (abgelaufen, dann verlängert) 01.07.2009
prEN 15497 „hEN Keilgezinktes Vollholz"	nicht veröffentlicht	Nein	-
prEN 14732-1 und -2 „hEN Holzfahrnisbauelemente"	nicht veröffentlicht	Nein	-

[1] Anstelle der genauen Normentitel werden hier die wesentlichen Inhalte wiedergegeben.

Die europäischen Normen sind bei gleichem Regelungsumfang deutlich umfangreicher als die vergleichbaren nationalen Normen. Dies liegt u.a. daran, dass die Normen so formuliert werden müssen, dass die Mitgliedsstaaten unterschiedliche Sicherheitsniveaus definieren können und dass keine national bislang zulässigen Produkte oder Bauweisen durch die europäische Normung ausgeschlossen werden darf. Das folgende Beispiel soll den wachsenden Umfang der notwendigen Regelungen demonstrieren: Benötigte das nationale Normenwerk bislang für die Zuordnung eines visuell nach der Festigkeit sortierten Stücks Vollholz zu zulässigen Spannungen insgesamt 26 Seiten aus zwei Normen (24 Seiten aus DIN 4074-1: 2003-05 sowie 2 Seiten aus DIN 1052-1/A1: 1996-10), so werden zukünftig insgesamt etwa 70 Seiten aus vier Normen (vermutlich 23 Seiten aus DIN 4074-1: 2009, 10 Seiten aus DIN 1912, 31 Seiten aus DIN EN 14081: 2005 und 6 Seiten aus DIN V 20000-5: 2009) vonnöten sein.

Zudem besteht eine Tendenz, wissenschaftliche Ergebnisse ohne praxisorientierte Vereinfachungen in die Normung zu übernehmen. Auch dies verursacht immer umfangreichere Normen und ist letztlich auch auf die im Anschnitt 3 beschriebene geringe Beteiligung von Praxisvertretern zurückzuführen.

Das Problem immer umfangreicherer Normen wird dadurch verstärkt, dass die Normen in immer kürzeren zeitlichen Abständen überarbeitet werden. Beispielsweise werden von den bislang 49 ratifizierten Normen des CEN/TC 124 „Holzprodukte“ derzeit 22 bereits wieder überarbeitet.

Während viele Normen bei gleichem Regelungsbereich immer umfangreicher werden, decken die europäischen Bemessungsnormen des Holzbaus, die Eurocodes 5-1-1-, 5-1-2 und 5-2 deutlich weniger Anwendungen als die vergleichbaren nationalen Bemessungsnormen ab. So soll der 131 Seiten umfassende Eurocode 5-1-1 durch eine etwa 80-seitige nationale Restnorm ergänzt werden. Ohne diese nationale Restnorm kann der in Deutschland übliche moderne Holzbau praktisch nicht bemessen werden.

Im deutschen Regelwerk können die Lücken der Eurocodes durch im restlichen Europa aber nicht verbindlichen Restnormen geschlossen werden. Eine Ergänzung der Eurocodes wäre besonders im Hinblick auf die Exportfähigkeit des deutschen Holzbaus wünschenswert, ist aber aufgrund politischer Entscheidungen (Stillhaltevereinbarung bis zur Einführung der Eurocodes in allen Mitgliedsstaaten) in den kommenden Jahren nicht möglich.

Ein weiteres Problem besteht für den Holzbau in der unzureichenden Interessenvertretung im Bereich materialübergreifender Normung. Obwohl beispielsweise Normen zu Lastannahmen, zu Fragen der Bauphysik oder der Wohngesundheit von großer Bedeutung sind, ist der Holzbau hier bislang schwach vertreten. Dies ist darin begründet, dass es Probleme mit der Zuständigkeit innerhalb des organisatorisch stark zersplitterten Holzbaus gibt. Nur wenige Organisationen decken einen größeren Bereich des Bauwesens ab und fühlen sich damit auch für materialübergreifende Normung zuständig.

Die verabschiedeten europäischen Normen stehen z.T. hinter den Inhalten früherer nationaler Normen zurück oder führen zu deutlich anderen Ergebnissen. Dies kann in einigen Fällen auf eine fehlende Mitarbeit deutscher Vertreter zurück geführt werden. Häufig wurden deutsche Vertreter in den Ausschüssen aber auch einfach überstimmt. Dies ist wiederum u.a. darauf zurück zu führen, dass eine die technische Arbeit begleitende Lobbyarbeit der deutschen Holzwirtschaft in vielen Bereichen fehlt.

2.2 Nationale Normen

Die Mehrzahl der europäischen Normen soll mittelfristig verbindlich werden. Aufgrund der schleppenden Bearbeitung und angesichts zunehmend veraltender nationaler Normen hat man sich vor einigen Jahren entschlossen, die nationalen Normen für einen Übergangszeitraum noch einmal zu überarbeiten. Die überarbeiteten nationalen Normen sollten sich so weit wie möglich bereits an die kommenden europäischen Normen anlehnen, um den deutschen Planer und Hersteller den Übergang auf das europäische Regelwerk zu erleichtern. Auch die Überarbeitung der nationalen Prüf-, Material-, Last- und Bemessungsnormen verlief teilweise parallel.

Aus ähnlichen Gründen, wie bei den europäischen Normen sind auch die überarbeiteten nationalen Normen umfangreicher und komplizierter als ihre Vorgänger. Sie sind untereinander aber deutlich besser abgestimmt.

Das Problem materialübergreifender Normung besteht wie in der europäischen Normung.

Die Überarbeitung der nationalen Normen hat sich zudem zeitlich so verzögert, dass diese nunmehr fast zeitgleich mit den europäischen Normen veröffentlicht werden (siehe dazu auch Abschnitt 2.3).

2.3 Baurechtliche Umsetzung

Die bauaufsichtlich zu beachtenden Normen sind in den bundesweit gültigen so genannten Bauregellisten und in den von den Bundesländern veröffentlichten Listen der technischen Baubestimmungen (LTB) zu finden. Die LTB basieren auf einer so genannten Musterliste der technischen Baubestimmung (MLTB), die von den einzelnen Bundesländern aber modifiziert werden kann. Vereinfacht dargestellt finden sich die zu beachtenden Bemessungsnormen in den LTB, die nationalen Produktnormen in der Bauregelliste A und die europäischen Produktnormen in der Bauregelliste B. Genauere Informationen finden sich z.B. in [1] bis [4].

Es sei angemerkt, dass die Aufteilung der Produkte und Bauarten auf die verschiedenen Teile der Bauregelliste vielen Planern nicht geläufig ist und die Bauregellisten, da sie gekauft werden müssten, in den Planungsbüros häufig nicht in der aktuellen Fassung vorliegen.

Würde man in Zukunft beispielsweise eine Konstruktion unter Verwendung von Vollholz-, Brettschichtholz und Holzwerkstoffen gemäß Eurocode bemessen wollen, so müsste man die in Tabelle 3 angegebenen Normen mit den angegebenen Fundstellen kennen und beachten. Bislang wäre dazu eine Norm ausreichend gewesen.

Tab. 3: Zu beachtende Normen

	Technische Regeln	(Vorauss.) Fundstelle
Bemessung bei Normaltemperatur	Eurocode 5-1-1: 2009-	MLTB Teil 1
	Nationaler Anhang zum Eurocode 5-1-1	MLTB Teil 1
	Restnorm zum Eurocode DIN 1052-10: ??[1]	MLTB Teil 1
Vollholz	DIN EN 14081: 2006-03 mit DIN 4074-1, -5: 2008-12	BRL B-Teil 1
	DIN V 20000-5: 2009-??[1]	MLTB Teil 1
Brettschichtholz	DIN EN 14080: 2005-09	BRL B-Teil 1
	Restnorm DIN V 18750: 2009-??[1] zur DIN EN 14080	BRL A-Teil 1
	DIN V 20000-3: 2009-??[1]	MLTB Teil 1
Holzwerkstoffe	DIN EN 13986: 2005-03	BRL B-Teil 1
	DIN V 20000-1: 2005-12	MLTB Teil 1

[1] Fragezeichen kennzeichnen bislang noch nicht als Weißdruck veröffentlichte Normen!

Die LTB und die Bauregelisten können auf zwei Weisen miteinander verschränkt sein: Einerseits können in Fußnoten zur LTB oder zur Bauregelliste Einschränkungen für die Anwendung von Produktnormen mit Bemessungsnormen angegeben sein. Andererseits werden die i.d.R. für die Anwendung von europäischen Produktnormen erforderlichen Anwendungsnormen nicht in die

Bauregelliste sondern in die LTB aufgenommen. Probleme können sich dann ergeben, wenn die Umsetzung der aufeinander abgestimmten Fassungen der Bauregelliste und der jeweils letzten MLTB nicht zeitgleich erfolgt. Schließt z.B. eine auf einer älteren Fassung der MLTB basierende LTB die Verwendung eines CE-gekennzeichneten Produktes ausdrücklich aus, dann kann dieses formal trotz Vorliegen einer Anwendungsnorm und trotz Aufnahme in die Bauregelliste in dem jeweiligen Bundesland nicht eingesetzt werden. Dies ist für die Planer und Verwender ausgesprochen verwirrend.

Die zeitlich versetzte Umsetzung der MLTB in den einzelnen Bundesländern führt übergangsweise dazu, dass in den verschiedenen Bundesländern unterschiedliche Bemessungsnormen bzw. Ausgaben von Bemessungsnormen anwendbar sind.

Tab. 4: Kombinationen anwendbarer Bemessungsnormen für die „kalte“ Bemessung im Holzbau in verschiedenen Bundesländern (Stand 28.02.2009)

Variante	Normen	anwendbar bis	anwendbar ab
A	DIN 1052: 1988/1996 oder oder DIN 1052: 2004 mit zwei Warnvermerken	bis Juni 2009	-
	DIN 1052: 2008-12	-	voraussichtlich ab Juli 2009
	oder DIN V ENV 1995: 2004	-	-
B	DIN 1052: 1988/1996 oder oder DIN 1052: 2004 mit zwei Warnvermerken	bis Juni 2009	-
	DIN 1052: 2008-12	-	voraussichtlich ab April 2009
	oder DIN V ENV 1995: 2004	-	-
C	DIN 1052: 1988/1996 oder oder DIN 1052: 2004 mit zwei Warnvermerken	nicht mehr anwendbar	-
	DIN 1052: 2008-12	-	anwendbar
	oder DIN V ENV 1995: 2004	-	-
D	DIN 1052: 2004 mit zwei Warnvermerken	??	-
	DIN 1052: 2008-12	-	??
	oder DIN V ENV 1995: 2004	-	-

So waren z.B. zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Artikels in den verschiedenen Bundesländern verschiedenste Bemessungsnormen für eine Bemessung unter Normaltemperatur anwendbar. (Neben den in Tabelle 4 genannten vier verschiedenen Normenfassungen existiert zudem noch eine Weißdruck des Eurocode 5-1-1: 2008, der aufgrund des Fehlens eines Nationalen Anhangs bislang noch nicht in die MLTB aufgenommen wurde.)

3 Probleme der an der Erstellung/ Umsetzung/ Anwendung der Regelwerke beteiligten Kreise und Schlussfolgerungen

3.1 Erstellung von Normen

Der Umfang der Normungsarbeit an nationalen und europäischen Normen sowie den erforderlichen Anpassungsdokumenten ist durch die vorhandenen Interessenvertreter aus Industrie, Praxis, Forschung und Bauaufsicht zeitlich kaum noch zu bewältigen. Der Arbeitsaufwand ist angesichts des üblicherweise zähen Arbeitsfortschrittes für alle Beteiligten frustrierend.

Wie schon in Abschnitt 2.1 gesagt, ist es insbesondere schwierig, Interessenvertreter für materialübergreifende Normung, wie z.B. die Lastnormen, zu gewinnen, da sich hier nur wenige Organisationen zuständig fühlen.

Die Beteiligung an der Normung ist teuer. Neben Reisekosten und für die Mitarbeit an das DIN zu zahlenden Beiträgen schlagen vor Allem die Fehlzeiten von Mitarbeitern bei den entsendenden kleinen und mittleren Unternehmen (KMUs), Büros, Forschungseinrichtungen und Verwaltungen zu Buche.

Möglichen Interessenvertretern fehlen z.T. die erforderlichen Sprachkenntnisse. Sie kennen sich mit den Verfahren der Normerarbeitung nicht aus und müssen sich i.d.R. selbst einarbeiten.

Die notwendige Rückkoppelung zwischen entsendeten Wirtschaftsvertretern und den zahlreichen Organisationen des Holzbaus gestaltet sich aufwändiger als in anderen Materialbereichen mit weniger Organisationen.

Die Teilnahme von Vertretern aus Universitäten und Prüfanstalten wird durch verwaltungsrechtliche Beschränkungen und durch Kürzungen der Reiseetats zukünftig vermutlich deutlich schwieriger werden. Angesichts einer klein gewordenen Anzahl von Universitätslehrstühlen für Holzbau müsste eine wissenschaftliche Vertretung verstärkt durch Fachhochschulprofessoren übernommen werden. Es sei darauf hingewiesen, dass andere europäische Mitgliedsstaaten die Beteiligung von Wissenschaftlern an der Normung massiv unterstützen.

Die mit der Normung befasste Zahl der Vertreter der Bauaufsicht ist nach Ansicht des Verfassers angesichts des Umfangs der Normungsarbeit zu klein. Die nach Ansicht des Autors sehr aktiven Bauaufsichtsvertreter müssten so verstärkt werden, dass sie die Belange der deutschen Bauaufsicht früher in den Normungsprozess einbringen können.

Fazit:
Es müssen systematisch Wirtschaftsvertreter an die Normungsarbeit herangeführt werden, um die Zahl der Praxisvertreter in den Ausschüssen zu erhöhen. Da die Entsendung eines Mitarbeiters für ein Unternehmen einen hohen Aufwand darstellt, ist über eine Vergütung von entsendenden Unternehmen nachzudenken.

Der Holzbau muss die Normungsarbeit noch stärker bündeln und koordinieren. Die vorhandene Normungskoordination ist zu stärken. Insbesondere muss die Interessenvertretung im Bereich materialübergreifender Normung verstärkt werden.

Mitarbeitern von Universitäten und Instituten sollte die Vertretung deutscher Interessen in der Normung nicht nur erlaubt werden, sie sollte finanziell, z.B. durch Aufstockung von Reiseetats und Anrechnung auf Lehrdeputate unterstützt werden.

Es sollten Strukturen geschaffen werden, die auch Fachhochschulprofessoren eine Beteiligung an der Normung erlauben.

Es sollte die für Normungsbelange zur Verfügung stehende personelle Kapazität der Bauaufsicht aufgestockt werden.

3.2 Umsetzung

Der schon in Abschnitt 2.2. beschriebene Zeitaufwand für die Erstellung von Anwendungsnormen für Produktnormen ist so hoch, dass die neunmonatige Frist zwischen Veröffentlichung der Produktnorm und Beginn der Koexistenzphase i.d.R. nicht ausreicht und die Produktnorm zu Beginn der Koexistenzphase in Deutschland noch nicht anwendbar ist.

Werden zudem erst bei der Erarbeitung einer Anwendungsnorm schwerwiegende Probleme mit der Umsetzung erkannt, so kann es passieren, dass die Produktnorm während fast der gesamten Koexistenzperiode in Deutschland noch gar nicht anwendbar ist. Die Koexistenzperiode kann dann von den deutschen Unternehmen nicht als Erprobungs- und Umstellungsphase genutzt werden.

Wenn die europäische Produktnorm in anderen Mitgliedsstaaten zeitgleich schon anwendbar ist, entstehen weitere Probleme:

- Ausländischen Firmen liefern u.U. in Unkenntnis des deutschen Baurechts Produkte nach einer noch nicht anwendbaren harmonisierten Produktnorm nach Deutschland.

- Für die exportorientierten deutschen Firmen entsteht zeitweise aufgrund der notwendigen parallelen Überwachung und Produktion nach nationaler und europäischer Produktnorm ein erheblicher Mehraufwand.
- Zivilrechtlich entstehen ein erhöhter Beratungsbedarf sowie Hinweispflichten, wenn baurechtlich die Produktion nach einer älteren nationalen Produktnorm gefordert ist.

Kurzfristige Verlängerungen der Koexistenzphase, wie in Abschnitt 2.1 angesprochen, sollten möglichst vermieden werden. Die Hersteller benötigen Planungssicherheit für die i.d.R. aufwändigere Umstellung der Produktion auf eine europäische Norm.

Aus den in Abschnitt 2.3 genannten Gründen, insbesondere aufgrund der durch die Anwendungsnormen und durch die in den LTB enthaltenen Hinweise auf Koexistenzphasen Verschränkung der Bauregellisten mit den LTB, kann eine zeitlich versetzte Veröffentlichung/Gültigkeit der Bauregellisten und LTB zu länderweise sehr unterschiedlichen Regelungen führen.

Fazit:
Es sollte auf längere Fristen zwischen der Veröffentlichung einer Produktnorm im europäischen Amtsblatt und dem Beginn der Koexistenzphase gedrängt werden.

Die Fristen sollten so lange sein, dass Probleme mit der bauaufsichtlichen Umsetzung möglichst vor Beginn der Koexistenzphase erkannt werden können. Der Beginn der Koexistenzphase sollte in einem solchen Fall europaweit verschoben werden, um zeitweilige Doppelbelastungen der Hersteller zu vermeiden.

Idealerweise sollten aufeinander abgestimmte Bauregellisten und LTBs zeitgleich bundesweit Gültigkeit erlangen. Aus Sicht der Planer wäre eine einzelne Liste, mit Angabe aller Produkt- und Bemessungsnormen, die anwenderfreundlichste Lösung. Eine rechtsverbindliche Liste sollte kostenlos im Internet zu finden sein.

3.3 Anwendung

Auch für die Anwender, im Wesentlichen für die Planungsbüros, steigen die Aufwendungen für den Erwerb der Norm und zugehöriger Arbeitshilfen sowie für die Einarbeitung. Da die Anwender in allen Teilbereichen des Bauwesens mit einer ständig wachsenden Zahl umfangreicher werdender Normen konfrontiert werden steht zu befürchten, dass zumindest diejenigen, die sich bislang nur gelegentlich mit dem Holzbau beschäftigt haben, sich nicht mehr mit den Regelwerken des Holzbaus auseinander setzen und daher auch keine Holzbauten mehr planen.

Die gegenüber früheren nationalen Regelungen z.T. deutlichen Abweichungen der Ergebnisse sowie die zahlreichen Änderungen und Ergänzungen gerade veröffentlichter europäischer und nationaler Normen, führen zu einer tiefen Verunsicherung der Anwender.

Komplizierter werdende Bemessungsvorschriften führen bei gleichbleibender Honorierung zu einer Reduzierung der für die eigentliche Konstruktion zur Verfügung stehende Zeit, was zu unwirtschaftlicheren Konstruktionen führen kann.

Aufgrund der komplizierten bauaufsichtlichen Umsetzung ist den Planern und Ausführenden häufig nicht klar, welche technische Regel in welchem Bundesland ab wann Gültigkeit hat.

Fazit:
Es sollte versucht werden, Zahl und Umfang der Normen wieder einzuschränken. Bauregellisten und MLTB sollten zu einem bundesweit verbindlichen Dokument zusammengefasst und kostenlos zur Verfügung gestellt werden.

Quellen

[1] Balmer, N.; Quitt, H. (2002): Das deutsche Baurecht auf dem Gebiet des Baurechts. In: Holzbau Kalender 2002, Bruderverlag Karlsruhe.

[2] Balmer, N.; Quitt, H. (2003): Das deutsche Baurecht auf dem Gebiet des Baurechts. In: Holzbau Kalender 2003, Bruderverlag Karlsruhe.

[3] Balmer, N.; Quitt, H. (2004): Nationale Regelungen zum Holzschutz in Deutschland. In: Holzbau Kalender 2004, Bruderverlag Karlsruhe.Holzbau Kalender 2004, Bruderverlag Karlsruhe.

[4] Kühnemann, E.; Werner, G. (2004): Verwendung von Bauprodukten und Anwendung von Bauarten des Ingenieurholzbaus – Bauordnungsrechtliche Nachweise, Typenprüfung, Zustimmung im Einzelfall. In: Holzbau Kalender 2004, Bruderverlag Karlsruhe.

2.3 Politik, Gesetzgebung
Energieeinsparverordnung und Energiepass

Andreas Gerber

1 Allgemeines

Im März 2009 hat die Bundesregierung die Novelle der Energieeinsparverordnung beschlossen. Dabei wurden die vom Bundesrat geforderten Änderungen übernommen. Sie wird ca. sechs Monate später in Kraft treten. Politisches Ziel der Novelle ist die deutliche Senkung des Energieverbrauchs im Gebäudesektor. Hierzu werden Anforderungen für neu zu errichtende Gebäude und für Bestandsgebäude formuliert

- Die Anforderungen an Neubauten und an Bestandsgebäude, die wesentlich verändert werden steigen um durchschnittlich 30 %.
- Die Anforderungen an die Wärmedämmung der Gebäudehülle werden um ca. 15 % angehoben.
- Verbesserungen in der Umsetzung der Anforderungen: Erklärungen der ausführenden Unternehmen über die Einhaltung der Vorschriften, Sichtkontrollen der Anlagentechnik durch Bezirksschornsteinfegermeister und bundeseinheitliche Bußgeldvorschriften bei Verstößen gegen zentrale Bestimmungen.
- Vorsichtige Eindämmung der Nutzung der besonders ineffizienten Nachtspeicherheizungen bis 2020.
- Anreize für die Nutzung erneuerbarer Energien durch Gutschriften für im Gebäudekontext regenerativ erzeugten Strom und Wärme.

Neben diesen Anforderungen ändern sich auch das Berechnungsverfahren für Wohngebäude: Auch für Wohngebäude wird der Nachweis nun nach dem 2007 eingeführten Verfahren für Nichtwohngebäude durchgeführt. Optional kann nach dem bisherigen Monatsbilanzverfahren nach DIN 4108 Teil 6 gerechnet werden.

2 Von der Wärmeschutzverordnung zur Energieeinsparverordnung

Die Ansätze des Gesetzgebers zur Energieeinsparung im Gebäudesektor bezogen sich anfangs auf Anforderungen an den Wärmedurchgangskoeffizient von Bauteilen. Politischer Hintergrund waren die Ölkrisen in den 70er und Anfang der 80er Jahren des letzten Jahrhunderts, die die Bedeutung des Energie- und Ressourcenverbrauch erstmals weiten Teilen der Bevölkerung in drastischer Weise vor Augen führte. Die erste Wärmeschutzverordnung von 1977 [1] stellte Anforderungen, die zu einer Begrenzung des Heizwärmeverbrauchs auf ca. 200 kWh/m² beheizte Nutzfläche führten. Mit der 1984 in Kraft getretenen zweiten Wärmeschutzverordnung [2] wurden die Anforderungen an die Wärmedurchgangskoeffizienten erhöht. Der Heizwärmeverbrauch neu errichteter Gebäude sollte auf 150 kWh/m² begrenzt werden.

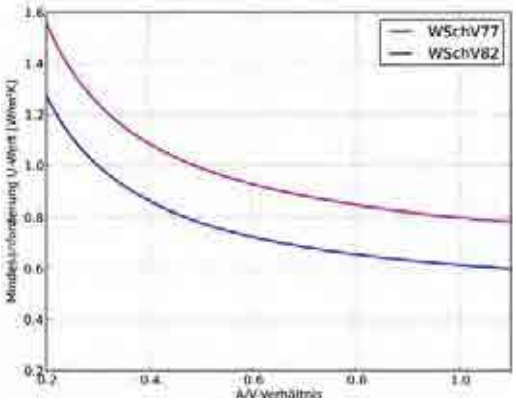


Abb. 1: Anforderung an die Wärmedurchgangskoeffizienten opakter Bauteile nach Wärmeschutzverordnung 1977 und '82. in Abhängigkeit vom Verhältnis von Oberfläche zu Volumen.

Die Anforderungen an die Wärmedurchgangskoeffizienten sind dabei abhängig von der Kompaktheit des Gebäudes, ausgedrückt durch das „A / V-Verhältnis“, dem Verhältnis von der Oberfläche des Gebäudes zu seinem Volumen. Die Anforderungen an die Wärmedurchgangskoeffi-

zienten sinken mit zunehmender Kompaktheit. Dies bedeutete geringere Anforderungen an große Gebäude.

Weiterhin fordern schon diese ersten gesetzlichen Regelungen zum Wärmeschutz von Gebäuden, die Begrenzung der Undichtigkeiten eines Gebäudes zur Begrenzung der Lüftungsverluste.

Erst 1995 wurden die Anforderungen mit einer neuen Ausgabe der Wärmeschutzverordnung erhöht [3]. Dabei wurde auch das Berechnungsverfahren geändert. Statt Anforderungen an einzelne Bauteile zu stellen, waren nun bestimmte Grenzwerte für den Jahresheizwärmebedarf einzuhalten. Dieses Verfahren bot den Planern größere Freiheiten und war gleichzeitig der erste Schritt hin zu einer ganzheitlichen energetischen Bewertung eines Gebäudes. Grundlage des Berechnungsverfahrens war die Energiebilanz des Gebäudes während der Heizperiode. Der Heizwärmebedarf wird demnach bestimmt durch die Verluste über die Gebäudehülle (Transmissionsverluste) und durch Luftaustausch (Lüftungsverluste). Dem gegenüber stehen Gewinne durch solare Einstrahlung und interne Wärmequellen wie etwa die Anwesenheit von Personen. Gegenüber den bauteilbezogenen Verfahren mussten nun auch Umweltbedingungen festgelegt werden. Hierzu diente als Referenzstandort Würzburg mit einer Gradtagzahl von 84 kKh.

Das Verfahren sollte in seiner Anwendung einfach sein, d.h., die erforderlichen Berechnungen sollten „von Hand“ durchführbar sein. Dazu musste die stationäre Energiebilanz nach EN 832 beispielsweise durch die Annahme konstanter Nutzungsgrade und der Bilanzierung über die Heizperiode vereinfacht werden. Als Werkzeug zur Optimierung der Gebäudehülle war das Rechenverfahren nur von begrenzter Verlässlichkeit.

Auch die Anforderungen der Wärmeschutzverordnung 1995 waren gestaffelt nach dem A/V-Verhältnis des Gebäudes. Der zulässige Heizwärmebedarf kompakter Gebäude war geringer als der weniger kompakter Gebäude. Weniger kompakte Gebäude konnten daher mit den gleichen Bauteilen errichtet werden wir kompakten Gebäude. Andererseits wurde mit dieser Regelung auf einen Anreiz zur kompakten Bauweise beispielsweise von Ein- oder Zweifamilienhäuser verzichtet.

2.2 Energieeinsparverordnung 2001

Mit der Vereinigung der Wärmeschutzverordnung und der Heizungsanlagenverordnung in der Energieeinsparverordnung 2001 wurde ein ganzheitliches Nachweisverfahren für die Energieeinsparung in Gebäuden eingeführt. 2004 erfuhr die se Verordnung eine Überarbeitung ohne jedoch die baulichen oder anlagentechnischen Anforderungen zu erhöhen [4] Ganzheitlich bedeutet hier, dass die Gebäudehülle und die Technik zum Erhalt behaglicher Bedingungen im beheizten Bereich betrachtet wird. Ferner wird auch die Prozesskette zur Erzeugung der benötigten Nutzenergie betrachtet. Dies führt auf eine Kennzahl für den Primärenergiebedarf eines Gebäudes. In den Nachweisverfahren nicht betrachtet wird der Energieverbrauch zur Herstellung des Gebäudes. Die spezifischen Vorteile des Holzbaus in diesem Bereich werden also bisher nicht berücksichtigt.

In Bezug auf das Anforderungsniveau der Wärmeschutzverordnung 1995 sollte der Energieverbrauch von Gebäuden um durchschnittlich 30 % gesenkt werden. Weitere Ziele waren aussage kräftige Energieausweise für Bauherren und Nutzer und die Erleichterung des Einsatzes erneuerbarer Energien durch die Berücksichtigung im Primärenergieaufwand.

Das Nachweisverfahren für den Heizwärmebedarf selbst erfuhr eine grundlegende Überarbeitung.

Zwar blieb für einfache Gebäude ein Heizperiodenverfahren in Anlehnung an die Wärmeschutzverordnung 1995 gültig, zum Regelfall wurde für den Heizwärmebedarf jedoch ein Monatsbilanzverfahren nach EN 832. Die Anpassung des dort beschriebenen Verfahrens an die Verhältnisse in Deutschland wurden in der Norm DIN 4108 Teil 6 vorgenommen.

2.2.1 Die Energiebilanz

Der Berechnung des Heizwärmebedarfs liegt eine stationäre Energiebilanz des Gebäudes zugrunde, die aus fünf Komponenten besteht:

- Die Transmissionswärmeverluste des Gebäudes Q_t,
- die Lüftungswärmeverluste Q_v
- die „Freie Wärme“, d.h., interne Gewinne durch Personen, Geräte, etc, Q_i
- die solaren Gewinne Q_s
- und einen Nutzungsgrad η, der die anrechenbaren Gewinne begrenzt.

Aus diesen Komponenten berechnet sich der Heizwärmebedarf nach folgender Gleichung:

$$Q_h = Q_t + Q_v - \eta\,(Q_i + Q_s)$$

Diese Gleichung wird im Monatsbilanzverfahren für jeden einzelnen Monat ausgewertet. Der Jahresheizwärmebedarf ergibt sich aus der Summe der einzelnen Monate. Der Nutzungsgrad hängt dabei ab vom Verhältnis von Gewinn zu Verlusten. Je größer dieses Verhältnis, desto geringer fällt der Nutzungsgrad aus.

In der Wärmeschutzverordnung von 1995 wurde mit den Wetterdaten eines mittleren Standorts in Deutschland (Würzburg) gerechnet. Mit der Energieeinsparverordnung 2001 wurden monatliche Strahlungsdaten für 15 Standorte in die DIN 4108 Teil 6 aufgenommen. Mittlere Monatstemperaturen stehen für verschiedene Standorte innerhalb der Klimaregionen zur Verfügung. Die zur Berechnung verwendete Raumtemperatur wurde auf 19°C abgesenkt.

Gegenüber der Wärmeschutzverordnung 1995 werden in den Transmissionswärmeverlusten nun auch Wärmebrücken berücksichtigt, da diese bei besser gedämmten Konstruktionen an Bedeutung gewinnen. Zur Berücksichtigung von Wärmebrücken an Gebäudekanten, Fensterleibungen, Deckeneinbindungen, Deckenauflager und Balkonplatten gibt es drei Möglichkeiten:

- pauschaler Zuschlag von 0,1 Wm²K auf den spezifischen Transmissionswärmeverlust
- Zuschlag von 0,05 W/m²K auf den spezifischen Transmissionswärmeverlust bei Ausführung der Wärmebrücken nach DIN 4108 Beiblatt 2.
- Einzelnachweis der Wärmebrücken mit der Berechnung der Wärmebrückenverlustkoeffizienten

Die dritte Variante findet in der Praxis kaum Anwendung, da die Berechnung aufwendig ist und für alle Details durchgeführt werden muss. Eine Erleichterung bieten Wärmebrückenkataloge mit standardisierten Details.

2.2.2 Anlagentechnik

Zur Bewertung der Anlagentechnik wurde ein Verfahren eingeführt, das in DIN 4701 Teil 10 dokumentiert ist. Im Kern geht es um die Berechnung einer Anlagenaufwandszahl e_p, mit deren Hilfe aus dem Endenergiebedarf der Primäreenergiebedarf des Gebäudes inklusive Warmwasserbereitung berechnet werden kann. Diese Aufwandszahl hängt von verschiedenen Faktoren ab, z.B.:

- dem Primärenergiefaktor des verwendeten Energieträgers,
- der Art der Wärmeerzeugung,
- der Wärmeerzeugung und -verteilung innerhalb oder außerhalb der wärmetechnischen Gebäudehülle,

- dem Hilfsenergieverbrauch für Pumpen und Ventilatoren,
- und der Nutzung regenerativer Energien.

Zur Berechnung der Aufwandszahl sieht die Norm drei Verfahren vor, die sich in der Detaillierungstiefe und Flexibilität unterscheiden.

Der Primärenergiebedarf Q_p berechnet sich dann gemäß folgender Gleichung:

$$Q_p = e_p (Q_h + Q_{tw})$$

Zur Senkung des Primärenergiebedarfs gibt also zwei Strategien:
- Verwendung eine effizienten Anlagentechnik und
- Senkung des Heiwärmebedarfs durch eine verlustarme Gebäudehülle und Reduktion der Lüftungsverluste.

Der Endenergiebedarf für die Trinkwarmwasserbereitung ist im Rahmen der Norm für Wohngebäude konstant. Der Primärenergiebedarf für diesen Sektor kann beispielsweise durch eine thermische Solaranlage reduziert werden.

In Abhängigkeit vom A / V-Verhältnis und der Nutzfläche darf der Primärenergiebedarf zwischen ca. 68 kWh/m² und 140 kWh/m² liegen. Neben dieser primären Anforderung gibt es eine weitere an den spezifischen Transmissionswärmeverlust eines Gebäudes. Dieser darf – wiederum in Abhängigkeit vom A / V-Verhältnis – für Wohngebäude zwischen 1,05 W/m²K und 0,44 W/m²K liegen. Mit dieser Nebenforderung wird sichergestellt, dass die geforderten Primärenergiekennwete nicht allein mit Maßnahmen gebäudetechnischer Art wie beispielsweise einer Holzheizung mit einem Primärenerigefaktor des Brennstoffs von 0,2 erreicht werden können.

Politisches Ziel der Energieeinsparverordnung 2001 war die Senkung des Energieverbrauchs für Heizung und Brauchwasserbereitung in Gebäuden um 30% gegenüber den Anforderungen von 1995. Allerdings sind die Einsparungen durch Änderungen im Berechnungsverfahren und der zugrundegelegten Haustechnik (Gas-Niedertemperaturkessel statt Brennwertkessel als Standard) deutlich geringer. Häufig kritisiert wurde auch der Bezug des Prmärenergiebedarfs auf eine fiktive Gebäudenutzfläche, die für Wohngebäude in der Regel deutlich größer ist als die tatsächliche beheizte Fläche.

2.2.3 Sommerlicher Wärmeschutz

Eine weitere Neuerung in der Energieeinsparverordnung 2001 war die Betrachtung des sommerlichen Wärmeschutzes zur Begrenzung der Kühllasten. Das Rechenverfahren ist in DIN 4108 Teil 2 beschrieben. In der aktuellen Fassung dieser Norm aus dem Jahr 2003 wird ein sog. Sonnenentragskennwert berechnet, der einen Maximalwert nicht überschreiten darf. Der Sonneneintragskennwert berechnet sich aus der Fensterfläche A_w, der Grundfläche des Raums A_g und dem g-Wert der Verglasung inklusive Sonnenschutz:

$$S = \frac{1}{A_g} \sum A_w g_{tot}$$

Im Wesentlichen werden also Anforderungen an die Größe der transparenten Flächen und die Wirksamkeit des Sonnenschutzes gestellt.

Der maximal zulässige Sonneneintragskennwert wird aus Einzelfaktoren berechnet, die mit Zu- oder Abschlägen bewertet werden:
- Orientierung,
- Standort (Klimaregion A, B, C),
- Neigung der Fensterfläche,
- wirksame Wärmekapazität: Je größer die wirksame Wärmekapazität umso größer ist der zulässige Wert. Für die im Holzbau gängige

leichte oder mittelschwere Bauweise erhöht sich der zulässige Wert um 0,02,
- Nachtlüftung zur Auskühlung des Gebäudes.

Für die Charakterisierung des Standorts wird Deutschland in drei Klimaregionen eingeteilt:
- A: sommerkühl (25°C),
- B: gemäßigt (26°C),
- C: sommerwarm (27°C).

Die Temperaturangaben beziehen sich dabei auf die Temperatur im betrachteten Raum, die in nicht mehr als 10% der Nutzungszeit überschritten werden darf. Für ein Bürogebäude mit einer Nutzungsdauer von beispielsweise 2000 Stunden darf dieser Grenzwert also während 200 Stunden überschritten werden.

Die DIN 4108 Teil 2 lässt neben dem beschriebenen Verfahren auch „ingenieurmäßige Verfahren“ wie die dynamische Gebäudesimulation zu. Hierfür formuliert die Norm Randbedingungen hinsichtlich der internen Lasten und des Luftwechsels. Diese Verfahrenshierarchie erlaubt die Anwendung eines einfachen Rechenverfahrens einerseits und andererseits die Verwendung der genaueren Ergebnisse von Simulationsrechnungen.

3 Energieeinsparverordnung 2007 und 2009

Die Ende 2002 von der Europäischen Union erlassene Richtlinie 2002/91/EG über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden [7] hat zum Ziel, den Energieverbrauch im Gebäudesektor zu senken. Sie forderte von den Mitgliedstaaten regional differenzierbare Regelwerke zur Bewertung von Bauwerken und deren Einrichtungen zur Heizung, Lüftung, Kühlung, Warmwasserbereitung und Beleuchtung. Als Berechnungsgrundlage wurden eingeführte Normen wie EN 832 und EN 13790 empfohlen. Die mit der Energieeinsparverordnung von 2001 etablierten Regelwerke in Deutschland beschränkten ihre Betrachtung auf den Bereich Gebäudeheizung und Warmwasserbereitung. Die für Nichtwohngebäude wichtigen Bereiche Lüftung, Kühlung und Beleuchtung können mit diesen Regeln nicht bewertet werden.

Auf diesem Hintergrund wurde in Deutschland ein Verfahren entwickelt, das als Vornorm DIN 18599 [8] Grundlage der Energieeinsparverordnung von 2007 und auch der Ausgabe von 2009 wurde.

3.1 DIN V 18599

Ziel der Normung war die Entwicklung eins Verfahrens, das die ganzheitliche Bewertung von Wohn- und Nichtwohngebäuden erlaubt. Auf insgesamt mehr als 800 Seiten beschreibt die Norm, die in 10 Teile gegliedert ist ein Verfahren, das „so einfach wie möglich“ die ganzheitliche Bewertung von Gebäuden im Sinne der EU-Richtlinie ermöglichen soll.

In Teil 1 der Norm wird das Bilanzierungsverfahren mit seinen Komponenten beschrieben, die zu verwendeten Primärenergiefaktoren zusammengefasst und die Einteilung in Nutzungsbereiche, die sogenannte Zonierung des Gebäudes, beschrieben.

Teil 2 der Norm bildet den Kern des Verfahren zur Bilanzierung des Nutzenergiebedarf für Heizung und Kühlung einer Gebäudezone. Das auf den Heizfall beschränkte Verfahren nach EN 832 oder DIN 4108 Teil 6 wurde dazu um die Betrachtung der nicht nutzbaren Wärme während des Kühlfalls erweitert. Die Wärmeabgabe an eine Zone wie etwa durch die Wärmeverteilung, die Übergabe und die Beleuchtung können dabei berücksichtigt werden. Die Berechnung monatlicher Nutzungsgrade erlaubt schließlich die Bestimmung des Nutzenergiebedarfs für Heizung und Kühlung.

Die Bestimmung des Nutzenergiebedarfs für die Luftaufbereitung ist in Teil 3 beschrieben. Anhand einer Matrix von Anlagenvarianten können entsprechende Energiebedarfskennwerte abgeschätzt werden.

Mit Hilfe von Teil 4 kann der Nutz- und Endenergiebedarf für Beleuchtung unter grober Berücksichtigung der Tageslichtnutzung berechnet werden. Methodisch wird ein modifiziertes Wirkungsgradverfahren verwendet, das in der Lichtplanung nicht mehr *lege artis* ist. Auf eine klar definierte Schnittstelle zur Anwendung ingenieurmäßiger Verfahren wurde verzichtet.

Der Endenergiebedarf von Heizsystemen kann nach Teil 5 berechnet werden, während sich Teil 6 der Wohnungslüftungsanlagen annimmt. Raumlufttechnik und Klimakälte werden in Teil 7 behandelt. In Anlehnung an DIN 4701 Teil 10 enthält Teil 8 ein Verfahren zur Bewertung von Warmwasserbereitungssystemen.

Teil 9 ermöglicht die Bewertung des End- und Primärenergiebedarfs von Anlagen mit Kraft-Wärme-Kopplung. Es wird der Endenergiebedarf für die Wärmeabgabe bei Berücksichtigung der Stromerzeugung berechnet.

In Teil 10 sind schließlich die Randbedingungen für 33 unterschiedliche Nutzungsarten und Klimadaten für unterschiedliche Randbedingungen festgelegt.

Sämtliche Rechenschritte der Norm können grundsätzlich „von Hand“ durchgeführt werden. Allerdings ist die Vielzahl der erforderlichen Parameter, die für jede einzelne Zone erforderlich sind ohne Unterstützung durch Software nicht beherrschbar. Auch die Softwarehersteller haben große Mühe, über Programmgrenzen hinweg konsistente Ergebnisse zu erzielen.

Für das Nachweisverfahren wurden sehr einfache Modellansätze gewählt. Daher kann die DIN 18599 als Entscheidungshilfe für die energetische Optimierung von Gebäuden nur mit größter Sorgfalt angewendet werden.

Die Berechnungen sind für ein Gebäude je zweimal durchzuführen: Einmal für das geplante Gebäude und dann für ein Referenzgebäude mit gleicher Nutzung und Geometrie aber vorgegebenen Bauteilen und festgelegter Anlagentechnik. Zur Erfüllung der Anforderungen darf der Primärenergiebedarf für das geplante Gebäude den des Referenzgebäudes nicht überschreiten. Damit wurde ein flexibles Verfahren zur Festlegung von Anforderungen für eine große Bandbreite unterschiedlicher Gebäude geschaffen. In der aktuellen Energieeinsparverordnung gehört beispielsweise eine thermische Solaranlage zur Standardanlagentechnik von Wohngebäuden.

3.2 Energieausweise

Mit der Energieeinsparverordnung 2007 wurden Energieausweise zunächst für Nichtwohngebäude verbindlich eingeführt. Mit der aktuellen Verordnung vom März 2009 gilt dies auch für Wohngebäude. Die Ausweise sind in Aufbau und Inhalt standardisiert. In Abb. 2 sind die zentralen Elemente des Ausweises für Wohngebäude dargestellt.

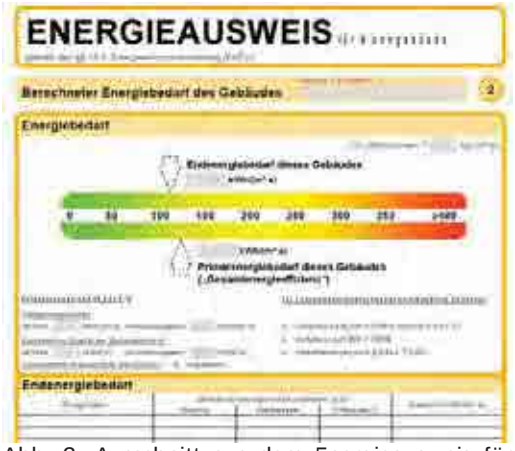


Abb. 2: Ausschnitt aus dem Energieausweis für Wohngebäude nach der Energieeinsparverordnung 2009.

Schon 2012 sollen die Anforderungen für Neubauten und Bestandsgebäude weiter verschärft werden. Der Holzbau verfügt über eine breite Palette erprobter hochwärmegedämmter Konstruktionen und ist daher gut auf die zukünftigen Anforderungen vorbereitet.

Quellen

[1] Wärmeschutzverordnung 1977, BGBl. I 1977, S 1554
[2] Wärmeschutzverordnung 1984 BGBl 7, 1982
[3] Wärmeschutzverordnung 1994, BGBl. I 1994 S. 2121
[4] DIN 4108 Teil 6 2003 - 6
[5] DIN 4701 Teil 10 2001 - 2
[6] DIN 4108 Teil 2 2003 - 7
[7] EU-Richtlinie 2002/91/EG
[8] DIN 18599 2007 -2
[9] T. Loga et al.:Guter Ansatz - schwache Standards: die neue Energieeinsparverordnung, Institut für Wohnen und Umwelt, 2000

2.3 Politik, Gesetzgebung
Zertifizierung von Passivhäusern

Roland Matzig

1 Einleitung

Das Konzept der Nachhaltigkeit beschreibt die Nutzung eines regenerierbaren Systems in einer Weise, dass dieses System in seinen wesentlichen Eigenschaften erhalten bleibt und sein Bestand auf natürliche Weise nachwachsen kann.

Der Begriff ‚Nachhaltigkeit' selbst wird auf eine Publikation von Hans Carl von Carlowitz aus dem Jahr 1713 zurückgeführt, in der er von der „nachhaltenden Nutzung" der Wälder schrieb. „Nachhaltigkeit" bezeichnet also zunächst die Bewirtschaftungsweise eines Waldes, bei welcher immer nur so viel Holz entnommen wird, wie nachwachsen kann, so dass der Wald nie zur Gänze abgeholzt wird, sondern sich immer wieder regenerieren kann.

Mit Gott!
SYLVICVLTVRA OECONOMICA,
Oder
Haußwirthliche Nachricht und Naturmäßige
Anweisung
Zur
Wilden Baum-Zucht,
Nebst
Gründlicher Darstellung/
Wie zu förderst durch Göttliches Benedeyen dem allenthalben und insgemein einreissenden
Grossen Holtz-Mangel/
Vermittelst Säe- Pflantz- und Verpflantzung vielerhand Bäume zu prospiciren/
Alles zu nothdürfftiger Versorgung des Hauß- Bau- Brau- Berg- und Schmeltz-Wesens/
Worbey zugleich eine gründliche Nachricht von dem in Churfl. Sächs. Landen
Gefundenen Turff
Dessen Natürliche Beschaffenheit/ grossen Nutzen/ Gebrauch und nützlichen Verkohlung.
Von
Hannß Carl von Carlowitz/
LEIPZIG/
verlegts Johann Friedrich Braun 1713.

Abb.1

2 Green Building Definition der Nachhaltigkeit

Mit „Green Building" wird das Verfahren bezeichnet, die Ressourceneffizienz von Gebäuden in den Bereichen Energie, Wasser und Material zu erhöhen und währenddessen gleichzeitig die schädlichen Auswirkungen auf die Gesundheit und Umwelt zu reduzieren, indem bei der Planung und Sanierung von entsprechenden Konstruktionen auf besonders ressourcenschonendes Bauen Wert gelegt wird.

Von diesen Maßnahmen sind von der Anlage, der Planung und der Konstruktion über den Betrieb, die Wartung und die Demontage alle Bereiche des Lebenszyklus eines Gebäudes betroffen.

2.1 Ausgangslage für die Ziele in der EU (nachhaltiges Bauen)

Aktuell existieren die im Folgenden gelisteten Ziele der EU [1]

- Senkung der CO_2-Emissionen gegenüber 1990 um 20 %
- Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien um 20 % bis 2020
- Senkung des Energieverbrauchs um 20 % gemessen an den Prognosen für 2020
- Richtlinie 2002/91/EG vom 16.12.2002 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden
- Richtlinie 2003/87EG vom 13.10.2003 über ein System für den Handel mit Treibhausgasemissionszertifikaten
- Leitmarktinitiative der EU–Entwicklung freiwilliger Ziele für die Realisierung des nachhaltigen Bauens
- Neue BauproduktenVO - Neu: BR 7 - Sustainable Use of Natural Resources

2.2 Ausgangslage für nachhaltiges Bauen in Deutschland [1]

- abnehmende Bevölkerung und ungleiche Bevölkerungsentwicklung
- demografischer Wandel
- starke Konzentration auf Verbesserung der Gebäudesubstanz, 66 % aller Investitionen gehen in den Gebäudebestand
- Reaktion auf den Klimawandel

Zurzeit kommt es am Immobilienmarkt in Europa zu einer deutlichen Verschiebung von Angebot und Nachfrage, die laut den hier aufgeführten Umfragen zu folgendem Ergebnis geführt haben:

Economist Intelligence Unit – Doing Good: Business and the Sustainability Challenge

Umfrage: 2007: 1.254 Führungskräften / 28 globale Unternehmen

- 57 % sagen Nutzen aus Nachhaltigkeit überwiegt Kosten
- positiver Zusammenhang zwischen Nachhaltigkeit und Aktienkurs
- 53 % entwickeln Nachhaltigkeitsstrategien
- 22 % verfolgen „triple-bottom line“ Reporting

Accenture - End Consumer Survey on Climate Change 2007

Umfrage: 2007: 7.526 Konsumenten (500 Deutschland), 17 Länder

- 78 % sorgen sich wegen des Klimawandels; Einfluss auf tägliches Leben
- 54 % für verändertes politisches, unternehmerisches und individuelles Verhalten
- 52 % erwarten Imageschäden insbesondere bei energieintensiven Unternehmen
- 52 % sind bereit bis zu 9 % mehr für CO_2 reduzierte Produkte und Dienstleistungen auszugeben

Was zusammengefasst wie folgt formuliert weden könnte:

Die zunehmende Sorge um unsere Umwelt bei Produzenten und Endverbrauchern führt zu steigender Bereitschaft, in ein von Nachhaltigkeit geprägtes Handeln zu investieren.

3 Merseburger Beschlüsse (IEKP) [1]

Im August 2007 wurden die sog. „Merseburger Beschlüsse“ zur nationalen Umsetzung der europäischen Entscheidung zum Klimaschutz ratifiziert. (IEKP = Integriertes Energie- und Klima-Programm) Das Programm besteht aus 29 Einzelmaßnahmen, die eine verbindliche Grundlage zur Erfüllung der Klimaschutzziele bis 2020 darstellen sollen.

4 Grundlagen

4.1 EEWärmeG – Erneuerbare Energien Gesetz [1]

Im Vergleich zum Jahr 1990 soll der Energieverbrauch in Deutschland bis zum Jahr 2020 um 40 % gesenkt werden:

- bei Neubauten ab 2009 muss ein Teil des Wärmeenergiebedarfs aus erneuerbaren Energien gedeckt werden:
- bei Sonnenenergie 15 %
- bei Geothermie, Umweltwärme und Biomasse 50 %
- bei Biogas 30 %
- ab 2012 weitere Erhöhung der Anforderungen um 30 %
- Ausweitung auf Bestandsgebäude wahrscheinlich bzw. bereits erfolgt (Baden-Württemberg)

4.2 ENEV Energieeinsparverordnung [1]

Ein Teil des deutschen Baurechts

- setzt energetische Mindestanforderungen für Neu- und Bestandsbauten fest
- gilt für Heizungs-, Raumluft- und Kühltechnik sowie Warmwasserversorgung

- Grundlage der kürzlich eingeführten Energieausweise
- weitere Verschärfung durch EnEV 2009 (derzeit im Gesetzgebungsverfahren)

5 Nachhaltigkeit in der Immobilienbranche

Bei der Immobilienbewirtschaftung ergeben sich aus den Fragen zur Nachhaltigkeit mehrere Schwerpunkte:

1. Betriebsoptimierungen durch Optimierung der Erhaltungszyklen, angepassten Betriebstemperaturen und Nutzung intelligenter Kontrollsysteme.
2. Schonender Einsatz von Materialressourcen, Einbau nachhaltiger und langlebiger Konstruktionen, Vermeidung von Verbundsoffen sowie Einsatz gut recyclebarer Materialien.
3. Verstärkter Einsatz von regenerativen Energiequellen (Geothermie / Biomasse, Solarthermie / Fotovoltaik, Wind- und Wasserkraft)
4. Bessere Standortqualität durch Flächenminimierung, den Anschluss an öffentliche Nahverkehrsnetze und optimierte Infrastrukturen.
5. Förderung von Gesundheit und Behaglichkeit durch Verwendung gesunder Materialien, guter Luftqualität, hoher thermischer Behaglichkeit, visuellem und akustischem Komfort und Vermeidung schädlicher Emissionen.
6. Reduzierung des Trinkwasserverbrauches mittels Regenwassermanagement, Entsiegelung von Flächen, Dachbegrünungen, gezielter Versickerung und Abwassermanagement.
7. Reduzierung des Energiebedarfes durch Einsatz hochgedämmten Fassadensysteme (Hüllflächendämmung), optimaler Wärmeverteilung, bedarfsgerechter Raumklimatisierung, effizienter Beleuchtungstechnik und eines niedrigen Primärenergieeinsatzes.

Nach aktuellen statistischen Hochrechnungen entsprechen derzeit ca. 17 Mio. Wohngebäude sowie etwa 7 Mio. Gewerbe-, Sport-, Kulturbauten des Gebäudebestandes in Deutschland nicht dem geltenden EnEV-Niveau. Sie stellen folglich per se den Zielmarkt sowie ein riesiges Auftragspotential der zukünftigen Immobilienschaffenden dar. Gleichzeitig sind hier die besten Chancen zum Erreichen der Klimaziele vorhanden. Das geschätzte Einsparpotential wird mit bis zu 80 % des derzeitigen Energiebedarfs dargestellt.

5.1 Stimmungswechsel in der Immobilienbranche

These 1: Nachhaltige Immobilien werden langfristig Marktstandard, konventionelle Gebäude werden zu Problemimmobilien, da diese ein höheres Leerstandsrisiko, schlechtere Konditionen bei Finanzierung, Versicherung, Förderungen und Besteuerung haben.

These 2: Steigender Markwert nachhaltiger Immobilien durch:

- steigende Marktmiete (da niedrigere Betriebskostenanteile für Mieter)
- sinkende Betriebskosten
- höhere Wettbewerbsfähigkeit
- geringere Abschreibungen

5.2 Zertifizierung [2]

Als Zertifizierung bezeichnet man ein Verfahren, mit dessen Hilfe die Einhaltung bestimmter Standards für Produkte / Dienstleistungen und ihrer jeweiligen Herstellungsverfahren einschließlich der Handelsbeziehungen nachgewiesen werden kann. Im Gegensatz zur Akkreditierung besteht die Zertifizierung im Allgemeinen in der Ausstellung eines Zeugnisses bzw. eines Zertifikats. Zertifikate werden oft zeitlich befristet vergeben und hinsichtlich der Standards unabhängig kontrolliert.

In der Immobilienwirtschaft ist die Zertifizierung mittlerweile ein wichtiges Kriterium beim Kauf / Verkauf. Aktuell ist jedoch noch kein weltweit verbindlicher Standard vorhersehbar.

5.3 World Green Building Council (WGBC)
WGCB wurde 1998 als Dachorganisation zur Bündelung der weltweiten Aktivitäten gegründet. Sie ist eine Gemeinschaft nationaler Organisationen rund um den Globus mit der Mission, die Marktumwandlung der globalen Immobilienindustrie in Richtung Nachhaltigkeit zu beschleunigen.

Zusammengefasst repräsentieren diese Nationen über 50 % der weltweiten Bauaktivitäten.

5.4 Gebäudebewertungssysteme
- England – U.K. Green Building Council
- BREEAM Building Research Establishment Assessment Method
- Japan – Japan Sustainable Building Consortium (JSBC)
- CASBEE Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency
- France – Assocation HQE
- HQE Haute Qualité Environnementale
- USA – U.S. Green Building Council (USGBC)
- LEED Leadership in Energy & Environmental Design
- Canada – Canada Green Building Council (CaGBC)
- LEED Leadership in Energy and Environmental Design
- Australia – Green Building Council of Australia (GBCA)
- Green Star
- New Zealand – New Zealand Green Building Council (NZGBC)
- Green Star NZ
- India – Indian Green Building Council (IGBC)
- LEED India

Die 3 „Großen" Zertifizierungssysteme
- seit 1990 – BREEAM
- Organisation: Building Research
- Establishment
- seit 1998 – LEED
- Organisation: USGBC
- seit Jan. 2009 – Deutsches Gütesiegel Nachhaltiges Bauen
- Organisation: DGNB

BREEAM
- Building Research Establishment Environmental Assessment Method
  Bei der einflussreichen Tokio World Sustainable Building Conference 2005 erhielt BREEAM die Auszeichnung „Best Programm" und wurde als „das weltweit am erfolgreichsten angewendete Programm zur Förderung nachhaltiger Verfahren und Einflussnahme auf andere Initiativen" bestätigt.
- ältester Zertifizierungsstandard
- seit 1990 in Großbritannien auf dem Markt
- mehr als 100.000 zertifizierte Bauten

BREEAM gilt für folgende Gebäudetypen:
- offices – Verwaltungsgebäude
- ecohomes - privater Wohnungsbau
- courts – Gerichtsgebäude
- industrial - Produktions- und Werkstätten, Warenhäuser
- prisons – Vollzugsanstalten
- retail - Fachhandel und Einkaufscentren
- schools – Schulen
- ecohomesXB – Wohnimmobilien
- multi-residential – Wohnheime
- bespoke - alles vom Opernhaus bis zum Chemielabor

BREEAM etabliert bestimmte Kategorien, in die folgende Kriterienanforderungen:
Es gibt 78 Bewertungskriterien die in acht Bewertungskategorien zusammengefasst sind:
- Management:
- Gesichtspunkte der allgemeinen Abläufe
- Gesundheit und Komfort:
- Gesichtspunkte des Innen- und Außenraums

- Energie:
- Betriebsenergie und CO_2-Emissionen
- Transport:
- Gesichtspunkte der Infrastruktur und CO_2-Ausstoß
- Wasser :
- Gesichtspunkte des Verbrauchs und Rückgewinnung
- Materialien:
- Ökologische Einflüsse der verwendeten Materialien
- Ökologie und Flächennutzung:
- Gesichtspunkte des ökologischen Grundstückswertes
- Verschmutzung:
- Gesichtspunkte der Luft- und Wasserverschmutzung

LEED

- Leadership in Energy & Environmental Design
- seit 1998 in den USA auf dem Markt
- ca. 1.540 zertifizierte Bauten, Stand: 05/08
- ca. 13.468 Projekte in der Zertifizierungsphase, Stand: 05/08

Die sechs Bewertungskategorien:

Sustainable Sites:	max. 14 Punkte
Water Efficiency:	max. 5 Punkte
Energy and Atmosphere:	max. 17 Punkte
Material and Resources:	max. 13 Punkte
Indoor Environmental Air Quality:	max. 15 Punkte
Innovation and Design Process:	max. 5 Punkte

Die vier Qualitätsstufen:

Zertifiziert:	26 - 32 Punkte
Silber:	33 - 38 Punkte
Gold:	39 - 51 Punkte
Platinum:	52 - 69 Punkte

Abb. 2

Tab. 1: aktuelle Leed Projekte in Deutschland

Projektname	Stadt	LEED Version	Goes for
The Riverbay	Kelsterbach	LEED CS 2.0	GOLD
Project Blue = Green Towers	Frankfurt	LEED NC 2.2	Platinum
OpernTurm	Frankfurt	LEED NC 2.2	GOLD
Lindley Carree	Hamburg	LEED NC 2.2	GOLD
Tower 185	Frankfurt	LEED NC 2.2.	GOLD
Vodafone	Ratingen	LEED CS 2.0	GOLD
2-Scheiben-Haus	Ratingen	LEED CS 2.0	GOLD
Stuttgarter Postquartier	Stuttgart	LEED NC 2.2.	GOLD
Metris MK II	München	LEED CS 2.0	GOLD
SZ Tower Süddeutscher Verlag	München	LEED NC 2.2	GOLD

DGNB – Deutsches Gütesiegel Nachhaltiges Bauen

Herausgeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung und die DGNB

Einführung: Januar 2009, BAU München

Gebäudetyp: neue Verwaltungsgebäude

Betrachtung gesamter Lebenszyklus (Herstellung, Nutzung, End of Life)

Schwerpunkt: das drei-Säulen Modell ergänzt um die Themenbereiche:

- Technische-,
- Funktionale- und
- Prozessqualität (Qualitätssicherung im Bereich der Planung und Ausführung, die Standortqualität wird im Zertifizierungsprozess berücksichtigt, jedoch nicht bewertet)

DGNB Zertifizierung folgt einem Punktesystem mit folgenden Einzelkriterien

- ökologische Qualität - Ecological quality (15 criteria)
- ökonomische Qualität - Economical aspects (2 criteria)
- soziokulturelle und funktionale Qualität - Sociocultural and funktional quality (15 criteria)
- technische Qualität - Technical installations (5 criteria)

- prozessorientierte Qualität - Process- and resultquality (9 criteria)
- Standortqualität - Quality of site (6 criteria)

Wesentliche Merkmale des Zertifizierungssystems der DGNB sind

- Made in Germany
- Freiwilligkeit
- Auszeichnungscharakter
- Übererfüllung von Mindestbestimmungen, Anwendung neuster Technologien, fortschrittliche Konzepte
- Einheitlichkeit und Transparenz durch klare technische Regeln (sog. Kriteriensteckbriefe), privat und gewerblich, transparente Bewertungsmatrix
- Festlegung der Kriterien nach Relevanz
- größtmögliche Quantifizierung
- vollständige Lebenszyklusbetrachtung
- Bund als öffentlicher Zeichengeber, Zertifizierung auf privater Basis

Die ersten Zertifikate wurden 2009 bei der BAU Messe in München verliehen. Derzeit kann die DGNB ausschließlich Bürogebäude bewerten. Wohngebäudebewertungen sind aktuell in Vorbereitung. Weitere Nutzungen sollen später hinzukommen.

Themenfelder und Gewichtung
ökologische Qualität – 22,5 %
ökonomische Qualität – 22,5 %
soziokulturelle und funktionale Qualität – 22,5 %
technische Qualität – 22,5 %
prozessorientierte Qualität - 10 %
Standortqualität – gesonderte Wertung

Die Bewertungsmatrix berücksichtigt die vorgenannten sechs Hauptthemenfelder mit insgesamt 61 verschiedenen Wertungskriterien. Davon werden 5 Themenfelder mit insgesamt 51 Kriterien zur Auswertung der Gesamtbewertung herangezogen.

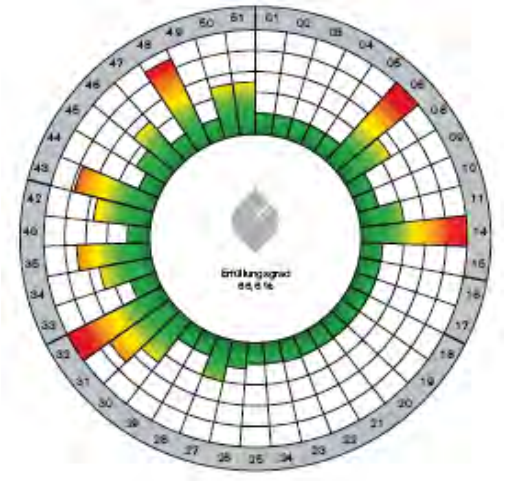
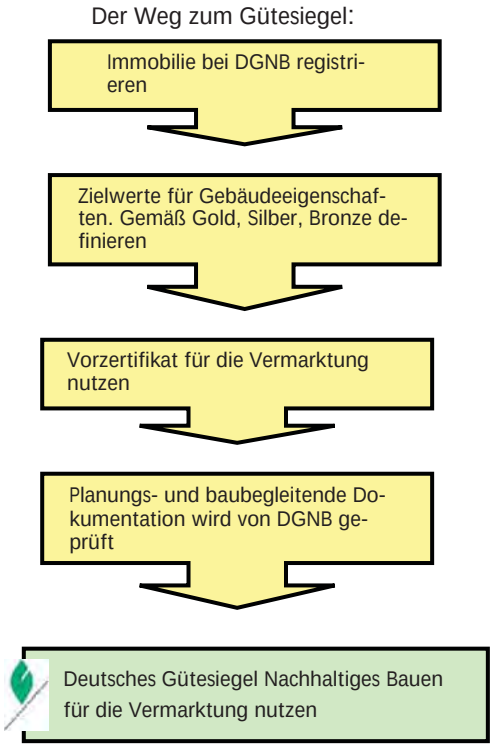


Abb. 3: Auswertungsmatrix [2]



Je nach Erfüllungsgrad werden Noten vergeben, wobei die Note 5 ab 20 % und die Note 1 ab 95 % des jeweiligen Erfüllungsgrades der Einzel-

kriterien vergeben wird. Die Zwischennoten werden linear interpoliert.

Die Bewertungstiefe der 3 großen Zertifizierungssysteme im Vergleich

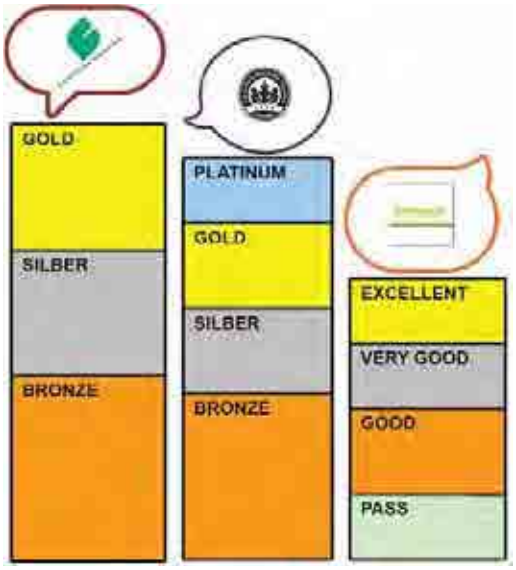


Abb. 4

Der monitäre Aufwand bei der DGNB Zertifizierung [3]

- Die Kosten belaufen sich in der Regel ca. 100.000 € bis 400.000 €
- je nach Label und angestrebtem Status, anhängig von der Projektgröße und Projektlaufzeit
- Davon sind die reinen Zertifizierungskosten ca. 10.000 € bis 50.000 €
- und die Honorare für Planungsnachweise ca. 50.000 € bis 200.000 €
- Weitere Kosten können für Material- und Konzeptalternativen entstehen.

Wann kann mit der Zertifizierung eines Gebäudes begonnen werden?

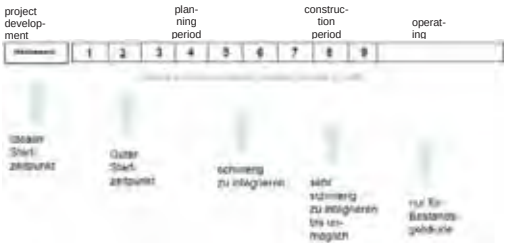


Abb. 5

Die Passivhauszertifizierung im Vergleich zu DGNB und anderen

Während sich alle weltweit existierenden Zertifizierungssysteme mit einer Vielfalt von Kriterien beschäftigen, hat das Passivhausinstitut von Prof. Dr. Feist in Darmstadt ein Zertifizierungssystem entwickelt, das lediglich einen bestimmten energetischen Standard festlegt. Dabei ist der Fokus sowohl auf den Heizenergie- als auch auf den Primärenergiebedarf unter Einbeziehung von elektrischen Verbrauchern und Beleuchtung gelegt. Weitere Kriterien werden nicht berücksichtigt. Es wird auch keine Lebenszyklusbetrachtung angestellt, so dass dieser Standard zwar zurzeit die wohl schärfste Einzelkriterienbetrachtung vornimmt, dabei aber wesentliche ressourcenbeeinflussende Faktoren aus der Bewertung ausklammert.

Die derzeit gültigen gesetzlichen Normen in Deutschland für die energetische Qualität von Gebäude sind in der EnEV – Energie Einsparverordnung festgehalten. Nach diesen Festsetzungen darf ein Gebäude, abhängig von seiner Geometrie (A/V Verhältnis), einen Primärenergieverbrauch von etwa 100 kWh/m²a für Heizung, Kühlung, Lüftung und Beleuchtung aufweisen. Für die Nutzerausstattung (elektrische Energie z.B. für IT) darf dann nochmals ca. 40 kWh/m²a aufgewandt werden. Eine Zertifizierung für solche Standards sind aber nicht vorgesehen und auch nicht möglich.

Unter Verwendung gleichwertiger Betrachtungskriterien fordert die Zertifizierung des DGNB einen Primärenergieaufwand von max. 50 kWh/m²a und für die zusätzliche Nutzerausstattung von etwa weiteren 40 kWh/m²a einzuhalten.

Beim Passivhausstandard nach PHI – Passivhaus Institut Darmstadt, wird der Heizwärmebedarf mit 15 kWh/m²a festgelegt. Der Primärenergiegrenzwert ist 120 kWh/m²a und berücksichtig im Gegensatz zur ENEV auch elektrische Ausstattung und Beleuchtung. Das bedeutet, dass diese Primärenergieanforderungen nicht mit den Werten der ENEV und des DGNB zu vergleichen sind.

Darüber hinaus sind auch noch bauteilbezogene Transmissionswärmeverluste durch Festlegung der U-Werte einzuhalten. Außerdem fordert das PHI den Nachweis der Luftdichtheit, die mittels Blower Door Verfahren nachzuweisen ist, mit einem Wert von $n_{50} < 0,6$, sowie einen Wärmebrückennachweis.

Für die Zertifizierung eines Passivhauses müssen sämtliche Planunterlagen incl. der PHPP (Passivhaus Projektierungspaket) Berechnungen, sowie der Nachweis über den Einbau zertifizierter Komponenten beim PHI eingereicht werden. Nach erfolgreicher Prüfung wird dann ein zeitlich unbefristetes Zertifikat ausgestellt. Das bedeutet, dass dieses Zertifikat nur bis zu einer baulichen Veränderung Gültigkeit erhält. Danach muss neu zertifiziert werden.

Neuerdings können sich auch Architekten und Planer als sogenannte Passivhausplaner beim PHI zertifizieren lassen. Dies kann auf zwei Wegen geschehen, nämlich entweder durch Bestätigung der Planung eines zertifizierten Gebäudes oder durch Teilnahme einer Zusatzausbildung und erfolgreicher Abschlussprüfung. Dieses Zertifikat ist dann 3 Jahre gültig.

Die energetischen Berechnungen mittels PHPP können nur für Gebäude mit einem Heizwärmebedarf von < 15 kWh/m²a verwendet werden. Beim Versuch mit diesem Rechenprogramm Gebäude mit deutlich höherem Energieverbrauch zu bewerten, können auf Grund der Struktur des Programms falsche Werte ausgeworfen werden.

Wer kann Passivhausqualität zertifizieren?

Deutschland
- ARGE für zeitgemäßes Bauen e. V.
- B.Tec Prof. Dr. Harald Krause
- Energie Planer Team
- Passivhaus Dienstleistung GmbH
- Technisches Bauphysik Zentrum

Weltweit
- UK Building Research Establishment
- A Energieinstitut Voralberg
- CH Hochschule für Technik + Architektur Luzern
- USA Passive House Institute
- DK Passivhus.dk

Wie sind die Zertifizierungsschritte?

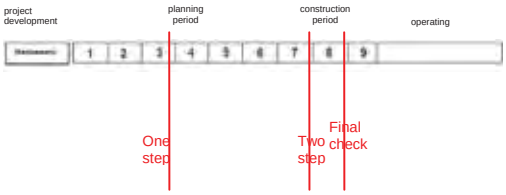


Abb. 6

7 Passivhausqualität als gesetzlichen Standard?

Innerhalb der EU (Europäische Union) gibt es derzeit keine gemeinsamen energetischen Bewertungsgrundlagen für die in den einzelnen Ländern gültigen gesetzlichen Bestimmungen. Auch der Passivhausstandard, obwohl exklusiv und durchaus EU kompatibel vom Passivhaus Institut in Darmstadt entwickelt, wird zurzeit nicht einheitlich umgesetzt. So hat z.B. Luxemburg ein eigenes Berechnungsprogramm für den „Passivhausstandard Luxemburg“ und bewertet derzeit Wohngebäude und Nichtwohngebäude nach jeweils anderen Grenzwerten.

In Expertenkreisen ist unterdessen wohl klar, dass die energetischen Grenzwerte, die zu einer Passivhauszertifizierung führen, bald auch als gesetzliche Mindestanforderungen für den Neubau definiert werden können. Auch im Bereich der Bestandsgebäude wird es weitere Verschärfungen des energetischen Standards geben. Anders, da sind sich mittlerweile alle einig, sind die Klimaschutzziele nicht erreichbar.

Insofern ist es wohl nur eine Frage der Zeit, bis der Passivhausstandard - dann aber hoffentlich nach gleichen Bewertungskriterien - in ganz Europe oder besser noch in der ganzen Welt zur „Energetischen Norm“ wird.

Dennoch kann dieses Ziel nicht das Ende der energetischen Verbesserungen unseres Bauschaffens bedeuten. Die Energieströme des gesamten Prozesses, also eine energetische Lifecycleanalysis, müssen die über den Passivhausstandard hinaus gehende Forderung für zukünftige Neubauten und Sanierungen sein.

Quellen

[1] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS)
[2] Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB), Stuttgart
[3] Drees & Sommer AG, Stuttgart

2.4 Forschung und Entwicklung
Forschungsübergreifende Plattform

Axel Jentsch

Es ist hinlänglich bekannt, dass Holz brennt, fault und arbeitet! Die Klimawandel- und Kohlenstoffdiskussion erfordert eine wesentlich positivere Einstellung zum Holz und die Chancen hierfür stehen gut. Diese Renaissance müssen wir aktiv nutzen.

Ebenso hat die Arbeit der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung wie auch des INFORMATIONSDIENST HOLZ bzw. des Holzabsatzfonds ganz wesentlich dazu beigetragen, dass die Holzverwendung im Bauwesen sich mehr als verdoppelt hat (die Holzbauquote stieg bundesweit auf über 15%). Jedoch ist die Holzverwendung im Süden Deutschlands weiter und traditioneller verbreitet als im Norden der Bundesrepublik Deutschland.

Die nun weit verbreitete Diskussion über Klimawandel, CO_2-Speicherung und Nachhaltigkeit führt - unterstützt durch die Charta Holz - zwar dazu, dass sich die Bundesregierung des Themas annimmt, sie lässt die dafür zuständige Branche jedoch bisher hilflos im Regen stehen. Dies äußert sich auch in der bisherigen Diskussion über die Finanzierung der DGfH sowie des ins Gerede gekommenen Holzabsatzfondsgesetzes, die dem Holz weder zugewandt noch zielführend ist.

Die Finanzierung des Holzabsatzfonds bzw. die bevorstehende drohende Annullierung des Holzabsatzfondsgesetzes analog zum landwirtschaftlichen Absatzfondsgesetz stellt unseres Erachtens nach eine große Chance dar, endlich das zusammenzuführen, was zusammengehört, d.h. die Verbandstruktur zu restrukturieren und die Maßnahmenkataloge strategisch zu bündeln oder gegebenenfalls neu aufzustellen. Nehmen wir uns ein Beispiel an den Wettbewerbsprodukten im Bauwesen Beton und Stahl, die ihre Ziele vorbildlich geschlossen in einer Schlagrichtung verfolgen. Genauso müssen die Branchen Forst und Holz und Papier und Energie die notwendigen Maßnahmen entlang der Wertschöpfungskette neu strukturieren und zukunftsorientiert zusammenbinden. Eine geeignete Struktur wurde in den letzten Jahren durch die Plattform Forst und Holz geschaffen. Nur durch das Zusammenwirken des Deutschen Holzwirtschaftsrates und des Deutschen Forstwirtschaftsrates kann sich eine Marke Holz gegen und mit den Wettbewerbsprodukten, wie Beton, Stahl oder Aluminium positiv in Szene setzen. In den verschiedensten Veröffentlichungen, Strategiegesprächen und Workshops haben wir uns als DGfH auf die Fahne geschrieben mit der Industrie Forschung und Entwicklung durch Innovation voranzubringen (siehe Pressenotiz vom 16. Februar 2009), was letztendlich von der Europäischen Union im 7. Rahmenprogramm auch klar gefordert und dokumentiert wurde. Inmitten dieser Diskussion setzt sich die DGfH als Dienstleister sowohl für die Industrie als auch als Dienstleister für FuE neu in Szene.

1 Die Vision

Anerkannter Dienstleister für Holzforschung – FuE rund ums Holz, Wissens- und Innovationstransfer (Übersetzer von Theorie in Praxis)

Im Gegensatz zur bisherigen Aufstellung sind die zukünftigen Anforderungen denen die DGfH gerecht werden muss und die sie schnellstmöglich umsetzen muss die folgenden:

- Forschung, Entwicklung und Innovation selbst nach vorne zu tragen;
- Marktorientierte Umsetzung von Forschung und Entwicklung in Produkte;
- Förderprogramme effizient nutzen;

Voraussetzung dafür, die Anforderungen und Aufgaben effizient umzusetzen, ist das magische Dreieck von Industrie und Handwerk, Holzabsatzfonds mit Marketing/Werbung und DGfH als Institut für Forschung und Entwicklung und Innovationszentrum Holz (IZH).

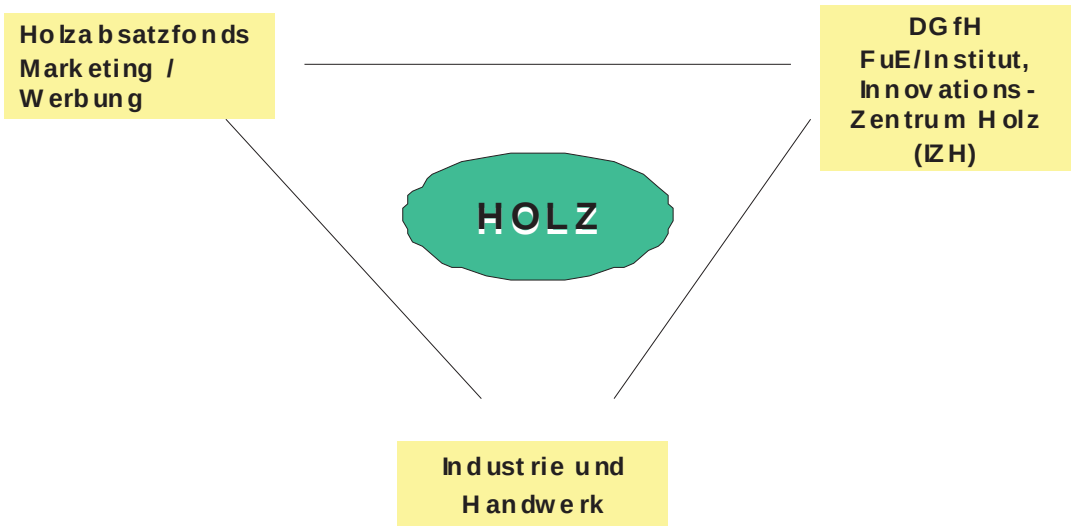


Abb. 1

Um diese Ziele und Aufgaben zu erfüllen, ist eine Koordination von Forschung- und Entwicklungsarbeiten in Deutschland und Europa unerlässlich. Hierbei spielt das in den Anfängen befindliche Forschungsprojekt „Monitoring“ eine wichtige Rolle, das im Wesentlichen durch die Studie von Baumgartner & Partner im Auftrag des Holzabsatzfonds bestätigt wurde. Unterstützt wurde dies durch die auf dem DGfH-eigenen Workshop in Kloster Seeon erarbeitete Vision.

Daraus formulierte die DGfH für sich die Vision „Anerkannter Dienstleister für Holzforschung – FuE rund ums Holz, Wissens- und Innovationstransfer.

Grundlegender und wichtiger Faktor ist dabei die bisher vernachlässigte PR- und Öffentlichkeitsarbeit, die Werbung junger wissenschaftlicher Mitglieder und das Andienen von Beratungskompetenz in die Branche hinein.

Tab. 1: Ziele / Aufgaben / Rolle

Ziele / Aufgaben	Rolle
Förderung der Holzforschung im Sinne der Holzverwendung und nachhaltige Nutzung	Den Forschern helfen, ihre Ideen umzusetzen Anträge zu initiieren
Sicherung und Ausweitung des Absatzes heimischen Holzes für möglichst hochwertige Produkte	Koordinierung der Holzforschung in Deutschland durch Unterstützung der Forschungsstellen Realisierung der Vorstellungen der Mitglieder
Innovation für die Holzbranche für nachhaltige zeitgemäße Produktion	Weiterhin Vermittler und Koordinationsstelle Ideengeber
	Innovation –Screening – Initiierung – Transfer für KMU der Holzbranche
	Cluster: Forst Holz Papier Energie (D/A/CH) koordinieren
	Maklerrolle

Diese Vision umzusetzen heißt unter dem Dach Forst-Holz-Papier-Energie mehrere - hier drei Standbeine - gleicher Qualität und Güte zu etablieren.

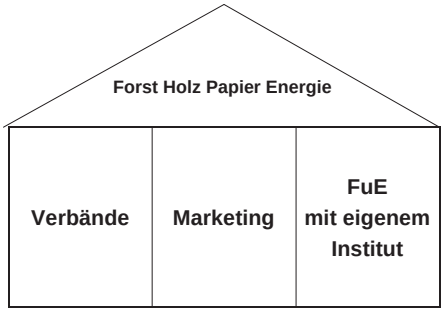


Abb. 2

Im Einzelnen heißt das, die Verbände zu stärken und eine verbesserte Zusammenarbeit anzubieten. Wissenschafts-PR und wissenschaftliche Zuarbeit für Marketing sowie Forschung und Entwicklung mit einem Institut selbst nach vorne zu tragen.

2 Trends

Wo sind die Trends und wo kann zielorientiert die stoffliche Verwertung von Holz und Holzverbundwerkstoffen vorangebracht werden?

Neue Trends im Fassadenbau und Industriebau liegen in der vermehrten Verwendung von Laubhölzern, Altbausanierung und internationalen Trends, wie ökologische nachhaltige Bauweisen. Die Verwendung von thermisch sowie chemisch modifizierten Hölzern, konsequente Umsetzung von konstruktivem Holzschutz statt chemischem Holzschutz, das richtige Holz am richtigen Platz sowie Verbundwerkstoffe und Verbundbauweisen sind zu stärken.

3 Offene Fragen

Wie bringt man das Thema unter die Leute, was kann man tun, um die Kunden problembewusst zu machen und zu interessieren? Wie kommt man zu einer umfassenden Behandlung des Themas Klimawandel innerhalb der globalen Vernetzung? Wie Zusammenhänge schaffen zwischen Ökologie CO_2-Diskussion und Klimawandel sowie rund um das Thema Ökobilanzierung? Wie kann die Wahrnehmung der Nachhaltigkeit für den Kunden geprüft werden? Wie gelingt die Verknüpfung von Nachhaltigkeitskriterien mit Ökobilanzen und die Schaffung von neuartigen Kommunikations- und Argumentationsketten.

Sinn und Unsinn von Zertifizierungssystemen! - PEFC contra FSC

4 Stärken und Schwächen

Die Stärken hervorheben und die Säge schärfen. Nur so können wir auch im Bereich der stofflichen Verwertung von Holz schneller und effektiver vorankommen. Es müssen Innovationen auf dem Bau und im Design vorangebracht werden. Aus Sicht der Forschung kümmern wir uns um Prozesse und Werkstoffe, steigen aber nicht ins Produktdesign ein, sondern schließen Lösungslücken, geben Standards vor, speziell bei der Altbausanierung, damit nicht alles nochmal von den Planungsbeteiligten Architekten und Ingenieuren neu erfunden werden muss. Die Innovationen am Bau und im Design müssen aus einfachen Lösungen bestehen und einfach zu beschreiben sein (z.B. Holz in die EDV-Tools für Architekten einbinden). Design und Standardisierung sind zu einer Einheit zu verbinden. Kombinationen von Holz mit anderen Werkstoffen in Typisierung „Plus Holz“. Alternativlösungen anzubieten, Standardisierung, die der Kunde sofort versteht, ohne ihn mit den Details zu belasten und den Kunden / Endverbraucher über EMOTIONEN zu erreichen sind wichtige Ziele.

Hieraus ergeben sich die folgenden Aufgaben für die DGfH in der Branche Forst Holz Papier und Energie.

1. Integration des Werkstoff Holz u.a. in gängige Architekturprogramme (z.B. ARCHICAD)

2. Fassadenelemente – Marketing: Voraussetzungen schaffen, praktikable, wartungsfreie Kombinationsprodukte bereitstellen.

   ⇒ Best Practice-Lösungen beschreiben

   ⇓

   praktikable Lösungen über definierte Standards realisieren

   ⇓

   Aufklärung / Marketing

3. „Übersetzer" von Ideen in förderfähige Anträge

   Forschung

   ⇓

   DGfH

   ⇓

   Promotion – Marketing

   ⇓

   Medien

   ⇓

   Architekten Endverbraucher

4. Aktuelle, zentrale, benutzerfreundliche Datenbank zur Nutzung der Forschungsergebnisse – Vernetzung, interdisziplinär

In der Umsetzung und Realisierung der zukünftigen Aufgaben und Ziele ist die zentrale Schaffung einer „Neutralen Informationsplattform" unerlässlich. Eine Plattform Forst und Holz - ist u.a. das geeignete Medium um die nationalen und regionalen Interessen rund ums Holz zu bündeln und über Forschung → Entwicklung → DGfH → Wissenschafts-PR in Marketingmaßnahmen umzuwandeln. Um Emotionen zu schaffen (Holzabsatzfonds) und um Architekten und Endverbraucher für das Holz zu begeistern; es noch schmackhafter zu machen. Die europäische Plattform FTP wie auch die schwedische und finnische Variante des Plattformgedankens sollte hierbei Berücksichtigung finden.

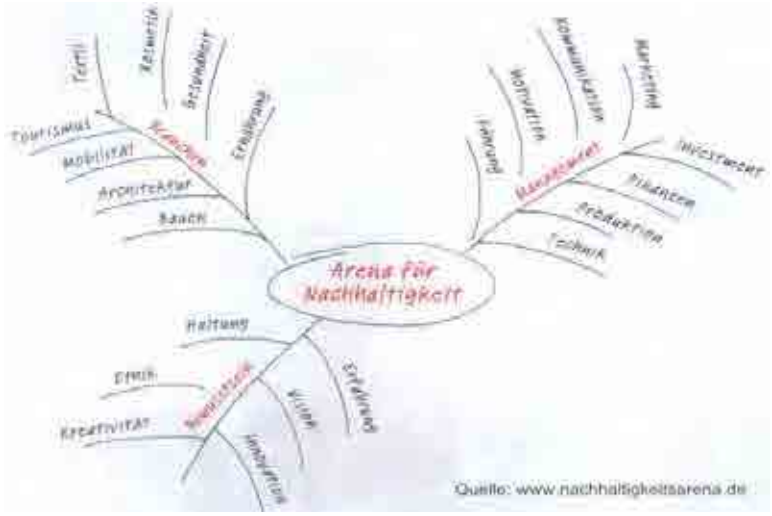


Abb. 3: Stärken von Holz und Holzprodukten herausarbeiten.

3 Bildung, Erziehung
Inhaltsverzeichnis

3 Bildung, Erziehung

Früherziehung - Schule	S.	229
Mit Holz bauen – von Kindheit an	S.	237
Aus- und Weiterbildung im Handwerk	S.	239
Hilfsmittel für die Lehre	S.	247
Holzbau E-learning	S.	255

3 Bildung, Erziehung
Einleitung

Die Entfremdung der Menschen – vor allem junger Menschen – von der Natur und den natürlichen Abläufen und Zusammenhängen in unserer Landschaft ist heutzutage überall spürbar. In der breiten Öffentlichkeit ist eine ambivalente Haltung weit verbreitet: Auf der einen Seite die generell positive Wertschätzung von Wald und Holzprodukten und auf der anderen Seite die negativ besetzte Einschätzung der wirtschaftlichen Nutzung von Wald und Holz.

Angesichts einer sich verändernden Gesellschaft ist die einfache und früh einsetzende Beschäftigung in Kindergarten und Schule mit dem Roh- und Werkstoff Holz dazu geeignet, Verständnis und Akzeptanz aber ebenso Begeisterung im Umgang mit technischen Zusammenhängen zu vermitteln. Wer den zukünftigen Holzabsatz verbessern will, muss in der Bildung der zukünftigen Entscheider und Verbraucher ansetzen und das durchgängig vom Kleinkind bis zur Schul- und Hochschulbildung organisieren. Die Bedeutung des Waldes als Wirtschaftsfaktor kann in jedem Geschichtsunterricht auch unter dem Aspekt der jeweiligen regionalen Entwicklung ein spannender Lehrstoff sein. Der Wald sowie der Roh- und Werkstoff Holz bieten ungeahnte Möglichkeiten als Lehr-, Anschauungs- und Lernobjekt.

Um diese Ziele zu erreichen, müssen neue Formen der Zusammenarbeit und eine Intensivierung der Kooperationen zwischen den Bildungseinrichtungen und der Holzbaubranche entwickelt werden. Der möglichst frühen und durchgängigen Wissensvermittlung bei zukünftigen Nutzern, Bauplanern, öffentlichen Entscheidungsträgern und Umsetzern kommt eine zentrale Bedeutung in der langfristigen Strategie der Holzabsatzförderung zu. Hierfür sind auch strukturelle, personelle und ausstattungstechnische Verbesserungen für die Holzbaulehre an den Hochschulen notwendig, insbesondere vor dem Hintergrund einer rückläufigen Tendenz der Holzbaulehrstühle an den deutschen Hochschulen.

Überbetriebliche Ausbildung

Dass wie in anderen Bundesländern die überbetriebliche Ausbildung im Zimmererhandwerk von Unternehmern nicht als lästiges Übel betrachtet werden muss, beschreibt der Beitrag „Ausbildung und Weiterbildung im Handwerk“ (Thomas Rothfuß, Maximilian Schneider) anhand der Situation in Baden-Württemberg. Hier beurteilen die Mitgliedsbetriebe des Zimmererverbandes das Ausbildungsangebot als sehr gute Ergänzung zur betrieblichen Vermittlung von Wissen und Fertigkeiten. Das Berufsbild des Zimmerers hat sich in den vergangenen Jahren rasant verändert. Mit dem Rückgang der Auftragslage auf dem Neubausektor und dem fast gleichzeitigen daraus resultierenden Anstieg in der Sanierung und Modernisierung wurden für die geänderten Ausbildungsinhalte sehr schnell die Weichen gestellt. Neue Erfahrungen in der Bauphysik und das stetig wachsende Angebot an Baustoffen finden in den Kursen der Ausbildung ebenfalls Berücksichtigung. Auch steigen die Erwartungen an einen fachlich qualifizierten und kompetenten Gebäudeenergieberater im Handwerk. Bauherren wie Architekten erwarten eine qualifizierte Beratung und praxisgerechte Umsetzung. Unverändert ist auch der Restaurator für die anspruchsvolle Aufgabe der Erhaltung und Sanierung historischer Gebäude gefragt.

Dennoch bleibt die Nachwuchswerbung und die Gewinnung von Fachpersonal und Führungskräften eine Herausforderung für die Betriebe. Der Anteil der Abiturienten und Realschüler bei den Lehrlingen geht zurück und auch die guten Hauptschüler entscheiden sich zunehmend für Lehrstellenangebote anderer Berufe. Anders ausgedrückt: die Bewerber für Lehrstellen im Zimmererhandwerk mit den entsprechenden Qualifika-

tionen kommen nicht von alleine, sie müssen aktiv abgeholt und informiert werden.

Holz als Einflussfaktor

Der Beitrag „Früherziehung – Schule“ (Anja Niemeier, Ludger Dederich) untersucht, ob Wirkungszusammenhänge zwischen dem Baumaterial einer Gebäudehülle und den sich in dem Gebäude aufhaltenden Kindern existieren und ob sich der früh erfahrene Umgang mit dem Baustoff Holz auf die Bereitschaft auswirkt, sich im Beruf ebenfalls mit dem Werk- und Baustoff Holz zu beschäftigen. Die oftmals behauptete, aber nicht bewiesene positive Wechselwirkung zwischen dem Baustoff Holz und den von ihm geborgenen Lernenden muss endlich im Sinne einer humanökologischen Untersuchung unter Beweis gestellt werden. Die Humanökologie ist eine wissenschaftliche Disziplin, deren Forschungsgegenstand die Wirkungszusammenhänge und Interaktionen zwischen Gesellschaft, Mensch und Umwelt sind. Ihr Kern ist eine ganzheitliche Betrachtungsweise, die physische, kulturelle, wirtschaftliche und politische Aspekte einbezieht.

Doch darf sich die Konzentration auf die nachwachsende Generation nicht auf die ersten Lernorte beschränken. Neben dem Interesse an einer Stärkung der gesellschaftlichen Akzeptanz von handwerklich geprägter Berufsausübung empfiehlt sich zur Entwicklung einer stringenten Kommunikation der zeitgemäßen Holzverwendung über alle Schulformen hinweg eine Aktualisierung der zu vermittelnden Inhalte, so etwa ein über alle Bundesländer flächendeckendes Angebot von Werkunterricht in der Primarstufe oder eine abgestimmte Ansprache der Schul- bzw. Lehrbuchverlage zur Prüfung des aktuell vermittelten Bildes der volkswirtschaftlichen Bedeutung der Forst- und Holzwirtschaft.

Verbesserung der Hochschullehre

Der Förderung zukünftiger Bauplaner (Architekten, Bauingenieure, Projektsteuerer usw.) kommt eine zentrale Bedeutung in der langfristigen Strategie der Holzabsatzförderung zu. Wichtig ist dabei die Steigerung der Qualität der Lehre. Dies lässt sich durch eine Verbesserung der Lehrsituation an den Hochschulen in Bezug auf den Holzbau erreichen, etwa durch personelle, strukturelle oder zumindest ausstattungstechnische Verbesserungen. Die Hochschullehrer sollen in die Lage versetzt werden, besser und leichter Holzbau zu lehren und damit ihre eigenen Hemmnisse gegenüber dem Baustoff Holz abzubauen. Informationen zum Holzbau sind für Hochschullehrer nur schwer zugänglich und nicht in geschlossener Form vorhanden. Da kein einheitliches Informationssystem angeboten wird, ist der Aufwand zur Aktualisierung der Unterrichtseinheiten sehr hoch.

Der Beitrag „Hilfsmittel für die Lehre“ (Institut für Holzbau) bietet mehrere Lösungsansätze an, so etwa die Schaffung eines „Kompetenz-Zentrums Holzbau“ an einer Universität in Baden-Württemberg, einem Institut, das weder bei den Bauingenieuren noch bei den Architekten angesiedelt ist und für gezielten Lehrtransfer in beide Studiengänge und angrenzende Fachgebiete wie Baustoffkunde, Bauphysik oder Energie sorgt. Desweiteren wäre es sinnvoll, wenn ein holzbaukompetenter Architekt oder Ingenieur auf der Ebene einer Stiftungsprofessur oder eines wissenschaftlichen Angestellten an allen Hochschulen in Baden-Württemberg Vorlesungen hält. Alternativ kann diese Rolle ein neuer Mitarbeiter im Netz der Regionalen Fachberater des Holzabsatzfonds übernehmen, der sich ausschließlich um die Verbesserung der Lehre an Hochschulen kümmert. Ein bereits existierendes Nachschlagewerk in Form einer Holzbaudatenbank kann die Bereitschaft der Lehrenden, sich mit dem Thema Holz

auseinanderzusetzen, optimal fördern, bedarf aber der konsequenten Aktualisierung

Lernen mit neuen Medien

Die neuen Medien finden Anwendung in vielen Bereichen der Aus- und Weiterbildung. Dazu gehört das computergestützte Erlernen, Üben, Vertiefen oder die Weiterbildung unter Berücksichtigung multimedialer Technologien, kurz: E-Learning. Hiermit befasst sich der Beitrag „Holzbau E-Learning“ (Volker Schiermeyer). Auch wenn sich mittlerweile die Überzeugung durchgesetzt hat, dass E-Learning die traditionellen Bildungsformen nicht ersetzen kann, ist es als sinnvolle Unterstützung im Lernprozess zu sehen. Zu den Vorteilen des E-Learning gehören zweifellos die ökonomischen Aspekte. Die Lernenden sind räumlich und zeitlich unabhängig.

Die allgemein bekannte Komplexität des Lehrstoffes „Holzbau“ und der Umbruch bzw. die Neuerungen in den Regelwerken machen auch und gerade hier eine Anwendung des E-Learning sinnvoll. So wird den Studierenden an der FH Bielefeld, Campus Minden, in einem bislang einzigartigen Projekt die Möglichkeit gegeben, den Ausbildungsstoff zum Thema Holzbau auch zu Zeiten, in denen keine Betreuung an der Fachhochschule stattfindet, nachzuarbeiten und durch Übungen zu vertiefen. Über die erforderlichen Präsenzveranstaltungen (Vorlesungen, Seminare) hinaus werden weiterführende Lehrinhalte über das Intranet angeboten.

E-Learning ist auch für die Weiterbildung besonders sinnvoll. Gerade im Holzbau gibt es für allgemeine wie für Spezialthemen Fachleute, die hervorragend geeignet sind, den jeweiligen Stoff zusammenzufassen. Nach einer medienspezifischen und didaktischen Aufbereitung der Lehrinhalte kann dann auch der interessierte Planer nach Bedarf eine Weiterbildung im gewünschten Spezialbereich abrufen. Die Themengebiete lassen sich je nach Anpassung der Normen oder Zulassungen ohne großen Aufwand – man denke an Lehrbücher – aktualisieren und stehen einem interessierten Publikum immer auf dem neuesten Stand zur Verfügung.

3 Bildung, Erziehung
Früherziehung - Schule

Anja Niemeier, Ludger Dederich

„Was sind Kinder? Eine dauernde Störung für den von immer schwereren Sorgen und Beschäftigungen in Anspruch genommenen Erwachsenen. Es ist kein Platz für sie in den engen Häusern der modernen Stadt, in denen sich die Familien zusammendrängen. Es ist kein Platz für sie auf den Straßen, denn die Fahrzeuge beanspruchen immer mehr Raum, und die Gehsteige sind voll von eiligen Menschen. Die Erwachsenen haben keine Zeit, sich um die Kinder zu kümmern, denn auf ihnen lasten dringende Pflichten. Vater und Mutter sind beide gezwungen zu arbeiten, und wo die Arbeit fehlt, da bedrückt und schädigt die Not erst recht Kinder wie Erwachsene. Es gibt kaum einen Zufluchtsort, wo das Kind das Gefühl haben kann, dass sein Seelenzustand Verständnis findet, wo es die ihm angemessene Betätigung ausüben darf. Es muss brav sein, sich still verhalten, es darf nichts berühren, was ihm nicht gehört. Alles ist unantastbares, ausschließliches Eigentum der Erwachsenen und für die Kinder verboten. Was gehört ihm? Nichts.“

Maria Montessori, im Vorwort “Kindererziehung als soziale Frage“ zu „Kinder sind anders“, 1950 (dt. 1952)

1 Einleitung

In den nachfolgenden Ausführungen soll folgender Frageaspekt untersucht werden:

- Existieren Wirkungszusammenhänge, und wenn ja welche, zwischen dem Baumaterial einer Gebäudehülle und den sich in dem Gebäude aufhaltenden Kindern?

Zunächst ist festzustellen, dass die Behandlung der Frage hinsichtlich möglicher Wirkungszusammenhängen im Bezug auf Lernorte nicht auf die Orte erster außerhäuslicher Kindererziehung zu beschränken ist. Nicht allein Kinderkrippen und –gärten, sondern gleichermaßen sind Schulen und Hochschulbauten in diesem Kontext mit ins Visier zu nehmen und mit gemeint. Ganz im Sinne von Peter Hübners Hinweis, dass bereits John Dewey und viele andere bereits vor hundert Jahren einer Lernschule eine Arbeitsschule, eine Produktionsschule, eine Projektschule, eine Lebensschule gegenübergestellt haben [1].

Abb. 1: Garderobe in der Ev. Kindertagesstätte St. Florian in Döbeln, Foto: Holzabsatzfonds

Weiterhin gilt als Voraussetzung für die Beschäftigung mit diesem Thema das Bewusstsein, dass für Kinder andere Maßstäbe gelten als für Erwachsene, da Kinder ihre Umwelt anders wahrnehmen als erwachsene Menschen. Aus Sicht der Pädagogen formulierte es Maria Montessori wie folgt: „Das Kind steht dieser Gesellschaft völlig fremd gegenüber, und man könnte seine Stellung mit dem Bibelwort kennzeichnen: ‚Mein Reich ist nicht von dieser Welt!´“ [2]. Peter Busmann und Godfrid Haberer stellen in diesem Zusammenhang fast lakonisch fest, dass für Kinder Ordnung kein zentraler Begriff sei. Damit rührt er an das Grundproblem im Bezug auf das Planen und Bauen für Kinder: Dieses liegt darin begründet, dass Lernorte von Erwachsenen geplant und gebaut werden. Die Wertvorstellungen beider Welten sind verschieden, manchmal sogar diametral. Ordnung sei für Kinder nur wichtig in der Beziehung zu den (kleinen wie großen) Menschen [3].

2 Kindertagesstätten bzw. –gärten als erste Lernorte

Liest man die grundsätzlichen Abhandlungen der Pädagogik gezielt und mit Blick auf eine möglicherweise formulierte Empfehlung oder gar Forderung zur Verwendung von Holz bei der Errichtung von Bauten für Lernorte, so ist festzustellen, dass es diese Verknüpfung nicht gibt. Zwar spricht z.B. Hugo Kückelhaus von der „Leibwirksamkeit“, Maria Montessori schafft sogar das „Kinderhaus“, aber nirgendwo lassen sich die großen Protagonisten der Reformpädagogik darüber aus, in welcher Materialität Räumlichkeiten kindgerecht geschaffen werden könnten bzw. müssten. Hin und wieder findet im Bezug auf das Spiel- und Lernmaterial Holz Erwähnung, aber bewusst nicht ausschließlich: „Jedes Material ist, mit einzelnen Ausnahmen, nur einmal da, das bringt seine Bedeutung zum Bewusstsein, und es erhöht seine Anziehungskraft; es führt auch dazu, dass die Arbeit der Kinder mannigfaltig bleibt, diese vor Einseitigkeit bewahrt werden, ohne dass die Leiterin eingreift“ [4]. Aber kein Pestalozzi fordert, kein Fröbel sagt, kein Petersen reklamiert: „Lernorte müssen aus Holz gebaut sein!“

Abb. 2: Titel zu „Holzarbeiten für Kinder“ von Christopher Jarman, Bonn 1979

Seitens derjenigen Architekten, die über umfassende Erfahrungen in der Planung und Ausgestaltung von Räumen für Lernorte verfügen, finden sich parallel zu den Auslassungen der Pädagogen auch keine Hinweise auf die Notwendigkeit, kindgerecht nur in Holz bauen zu können. Die zentralen Begriffe sind in diesem Zusammenhang immer wieder

- Seele und Sinne,
- Empfindung und Wahrnehmung,
- Ausstrahlung und Charakter,
- Ausgewogenheit und Maßstäblichkeit,
- Behaglichkeit und Harmonie,
- Bewegung und Orientierung,
- Bewährung und Erprobung,
- Respekt und Selbstverantwortung,
- Licht und Schatten,
- Farbe und Transparenz.

Mit diesen Begriffen beziehen sich die Planer in ihren Aussagen, Maßgaben und Forderungen immer auf die Räume, den Raum an sich, nicht aber auf die Materialien, die zur Schaffung der Räume notwendig sind. Nicht einmal von Textur der Oberflächenmaterialien ist die Rede.

Abb. 3: Innenraumoberfläche im M-Huset der Universität Växjö [S]

Zu den Schulbauten Hermann Kaufmanns wird erläutert wie sie und warum sie so gebaut wurden, aber nicht, warum in Holz gebaut wurde [5]. Peter Hübner spricht bezogen auf den Bau der Evangelischen Gesamtschule Gelsenkirchen davon, dass die ökologische Ausrichtung der Schule „sowohl Teil des Unterrichts als besonders auch der Architektur“ sein soll, jedoch bezieht er sich in seinen weiteren Ausführungen nicht mit einem Wort auf den hauptsächlich zum Einsatz gekommenen Baustoff Holz [6]. Allerdings warnt Hübner unter Berufung auf Rudolf Steiner davor, aus jedem Schulentwurf einen Architekturpreis machen zu wollen und ruft - getreu seiner eigenen Haltung - zur Zusammenarbeit mit den Lernenden ebenso auf, wie zur Rückbesinnung durch die Planer auf die eigene Kindheit und die in dieser gemachten Erfahrungen mit Gebäuden [7]. Hübner fordert auf, dem Milieu mehr Wert beizumessen als der Architektur. An dieser Stelle schließt sich der Kreis zu dem, was beispielsweise Maria Montessori bzw. Peter Busmann und Godfrid Haberer konstatieren.

Peter Hübner bezieht sich explizit darauf, dass die sinnliche Erfahrung über den Tast- und Geschmackssinn Wohlbehagen schafft, das nicht nur bei Kleinkindern Ruhe und Entspannung hervorrufe. Dabei gehöre der Geruchssinn sicher ins Reich der frühkindlichen Erfahrungen, ebenso wie der Hörsinn, der bereits im Mutterleib trainiert würde. Der Sehsinn dem entgegen, der heute alles zu beherrschen scheint, sei als letzter ausgebildet worden. Erstaunlich sei, wie komplex die Erfassung der Dinge und der Umwelt beim Säugling geschehe. Hübner bezieht sich auch hier auf Hugo Kükelhaus, aber auch auf Friedrich Pohlmann, die dies eindringlich belegt hätten: Das Kind erfasse, begreife (immer wieder diese doppelsinnigen Wörter) seine, es umgebende Welt, mit all seinen Sinnesorganen, dem Mund, der Haut, der Nase, dem Ohr und dem Auge.

Dies sei für die Forderung, Schulen zu Kraftorten zu machen, von entscheidender Bedeutung, da nur eine Umwelt, die alle Sinne anrege, wach halte und allen Sinnen schmeichele, menschenwürdig sei. Das Kleinkind kenne bereits das Wesen vieler Subjekte und Objekte, es könne diese am Geschmack, am Geruch, am Klang, an der Struktur und nicht nur anhand des Aussehens identifizieren. Es könne sich an positive oder negative Erfahrungen erinnern, es habe zwischen warm und kalt, laut und leise, hart und weich, süß und sauer, glatt und rau, spitz und stumpf und so weiter zu unterscheiden gelernt, es habe gelernt, Dinge zu unterscheiden, in solche, die ihm wohl tun, und andere, die ihm wehtun, sozusagen in gute und in böse Sachen [8].

Wohl leitet auch Hübner aus diesen Feststellungen nicht unmittelbar das Postulat ab, Lernorte in diesem, seinem Sinne seien als sinnlich zu erfahrende Kraftort in jedem Fall immer und besten-

falls aus Holz gebaut. Andererseits sprechen seine Werke eine deutliche Sprache, und dass ihm diese Schlussfolgerung leicht fällt, liegt offen zutage. Nicht zuletzt dort, wo er die Lernenden eingebunden hat, um in einem sozialen Prozess ihre Lernorte mit zu gestalten, herrscht der Baustoff Holz bei der Ausbildung der Konstruktion wie der Gestaltung der Oberflächen innen wie außen vor. In diesem Zusammenhang weist Hübner darauf hin, dass Schüler einmal als Baumaterial „Licht" genannt hatten [9]

Abgeleitet von der offensichtlich notwendigen, sinnlichen Erfahrung an und mit Lernorten sowie den damit verbundenen Maßgaben hinsichtlich der optimalen raumklimatischen Bedingungen ist keine Forderung abgeleitet, Schul- und ähnliche Bauten in Holz errichten zu müssen. In diesem Zusammenhang wird im Leitfaden für die Innenraumhygiene in Schulgebäuden des Umweltbundesamtes grundsätzlich und mit Blick auf Wechselwirkungen zwischen Raumbedingungen und Nutzern festgestellt, dass Pettenkofer bereits vor mehr als 150 Jahren festgestellt habe, Kohlendioxid sei die Leitsubstanz für schlechte Luft in Innenräumen. Daraus ergibt sich, dass heute Kohlendioxid nach wie vor ein Gradmesser für die Güte der Raumluft ist. So wird auf der Basis der sogenannten Pettenkoferzahl von 0,1 Volumenprozent nach wie vor eine Konzentration von CO_2 < 1.000 ppm als „hygienisch unbedenklich" klassifiziert. Daher wird zwar dem Thema „Lüften" in dem Leitfaden ein eigenes Kapitel gewidmet, doch ansonsten werden im Wesentlichen funktionale Forderungen erhoben. Zwar werden die Aspekte hinsichtlich der flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) behandelt, doch es wird weder eine Empfehlung für oder gegen die Verwendung von Holz formuliert. So findet man unter dem Stichwort ‚Rohbau' folgende Feststellung: „Von den üblichen Bauprodukten für den Rohbau (mineralische Baustoffe, Holz, Metall) gehen in der Regel keine Gefahren für die Bewohner oder Gebäudenutzer aus". Allerdings werden neben den Dämmstoffen und deren Inhaltsstoffe im Bezug auf Formaldehyd, insbesondere die Holzwerkstoffe in einem eigenen Kapitel problematisiert [10].

Zusätzlich werden im Leitfaden für die Innenraumhygiene(!) in Schulgebäuden Anforderungen an die Raumakustik in Lernräumen formuliert. Aber auch in diesem Kontext wird zum einen nur auf die geltenden Regelen (z.B. DIN 4109 oder DIN 18 041) abgehoben, doch ist nicht zuletzt seit der PISA-Studie die Aufmerksamkeit der betroffenen wie interessierten Kreise auf den Zusammenhang von Lernfähigkeit und raumakustischen Qualitäten der Lernorte gewachsen. Daraus abgeleiteten Handlungsanleitungen für die Verwendung von Holz zur Optimierung raumakustischer Bedingungen an bestehenden wie neuen Lernorten finden sich dennoch nicht – auch wenn landläufig auf die Bedeutung und Vorteile von Holz bei der Ausstattung von akustisch hochsensiblen Räumen wie Konzertsälen hingewiesen wird.

Abb. 4: Probensaal der Musikvereinigung seit 1749 Thannhausen e.V., Foto: Holzabsatzfonds

In diesem Sinne und angesichts des Konjunkturprogramms II der Bundesregierung weist das adznetzwerk in der Münsteraner Erklärung zur Erneuerung der Schulen und anderer Bildungshäuser auf den Raum als den „dritten Pädago-

gen“ hin, der bislang in seiner Bedeutung für die Bildung unterschätzt worden sei. Schulräume, heißt es in der Erklärung, seien meist „Container, in denen Fächer unterrichtet werden, nicht Schüler.“ Gefordert wird in der Konsequenz der Umbau der Bildungshäuser zu Lernlandschaften, die Schaffung von Räumen für nachhaltiges Lernen, „die dazu einladen, hellwach und ganz gegenwärtig zu sein“ sowie „den Willen und die Phantasie herausfordern und die Selbstverantwortung“ stärken. In der Erklärung findet Holz keine Erwähnung oder Berücksichtigung, werden bezogen auf die Materialität der Raumoberflächen oder der Gebäudehülle auch hier keine Forderungen erhoben [11].

Die Münsteraner Erklärung bezieht sich u.a. auf Annette Schavan, doch in deren Auslassungen zur Schule der Zukunft finden sich nur Hinweise zu neuen Konzepten hinsichtlich der Wahrnehmung der Lernenden durch die Lehrenden, der Elternmitwirkung wie zum Selbstverständnis der Lehrenden [12].

Von daher stellt sich angesichts der Tatsache, dass weder die Reformpädagogen explizit auf den Baustoff Holz abhoben, noch die in Planung und Umsetzung von Lernorten erfahrenden Architekten in Konsequenz ihrer konzeptionellen Maßgaben dem Holzbau nicht automatisch das Wort reden, die Frage, wieso es mit Blick auf die Lernorte einen (positiven) Wirkungszusammenhang zwischen dem Baustoff Holz und den Lernenden geben soll. Auch der Holzabsatzfonds kann einen entsprechenden Zusammenhang nicht unmittelbar definieren, stellt vielmehr fest, dass der Bauklotz aus Holz elektronisches Equipment wie Baby-Computer oder Videospiele nach wie vor bei Weitem übertreffe, da dieser die Phantasie beflügeln und die Kreativität wecken würde. „Für größere Kinder schaffen Klettergerüste, Laufräder, Wippen oder Schaukeln Herausforderungen für ihre Motorik – beste Voraussetzungen für eine gesunde Entwicklung.“ Realistischerweise kann diese Entwicklung ebenso anhand entsprechender Geräte aus anderen Werkstoffen erfolgen, steht doch die motorische, nicht die haptische oder anderweitige sinnliche Erfahrung im Vordergrund [13].

Daher drängt sich die Frage auf, ob es tatsächlich eine positive Wechselwirkung zwischen Holz als dem wesentlichen raumbildenden Baustoff und den an Lernorten Anwesenden gibt oder diese nur angenommen wird. Die unmittelbare Erfahrung der Autoren zeigt, dass Kinder, deren erster Lernort außerhalb des Elternhauses ein völlig unspektakuläres, technologisch alles andere als anspruchvolles Provisorium in Stahl-Modulbauweise ist, sich durchaus überdurchschnittlich mit diesem Kindergarten identifizieren können.

Abb. 5: Evangelischer Kindergarten in Bonn-Buschdorf, Foto: Dederich

Diese Erfahrung lässt mutmaßen, dass nicht allein die Räume und deren bautechnische Beschaffenheit der Lernorte von wesentlicher Bedeutung sind, nicht allein die Umsetzung der oben genannten Stichworte der Architekten die Qualität frühkindlicher Erfahrung ausmachen, sondern nicht minder, wenn nicht gar wesentlich die Lehrenden selbst, deren pädagogische Konzepte wie authentisches Auftreten und Agieren. Konsequenz muss daher sein, die herbei geredete, immer wieder behauptete, aber nicht bewiesene

positive Wechselwirkung zwischen dem Baustoff Holz und den von ihm geborgenen Lernenden endlich unter Beweis zu stellen, im Sinne einer humanökologischen Untersuchung. Die Humanökologie ist eine wissenschaftliche Disziplin, deren Forschungsgegenstand die Wirkungszusammenhänge und Interaktionen zwischen Gesellschaft, Mensch und Umwelt sind. Ihr Kern ist eine ganzheitliche Betrachtungsweise, die physische, kulturelle, wirtschaftliche und politische Aspekte einbezieht. Der Begriff Humanökologie stammt ursprünglich von den soziologischen Arbeiten der Chicago-Schule um 1920 und verbreitet sich seitdem als Forschungsperspektive in den Natur-, Sozial- und Planungswissenschaften sowie in der Medizin. In einigen Ländern wurden universitäre Lehrstühle eingerichtet.

3 Fazit

Zur Unterstützung der allenthalben formulierten Behauptungen im Bezug auf Lernorte und der materieller Ausformung der dazu notwendigen Räume sollte wissenschaftlich gestützt untersucht werden, in wie weit sich die Verwendung von Holz als Bau- und Werkstoff zur Errichtung von Lernorten tatsächlich positiv auf das Lernen (wie das Lehren) auswirkt. In diesem Zusammenhang wäre zudem abzuprüfen, ob die u.a. von Peter Hübner gemachte Beobachtung, dass Holzbauten als Lernorte – insbesondere dann, wenn die Nutzer in den Schaffensprozess eingebunden werden – in deutlich geringerem Umfang Vandalismus und Beschmutzung durch Graffiti ausgesetzt sind [14].

4 Nachtrag und Ergänzung zum Fazit

Doch darf sich die Konzentration in Sachen der nachwachsenden Generation nicht auf die ersten Lernorte beschränken. Zwar sind u.a. bildungsmilieuspezifische Prägungen oder geschlechtsspezifische Erwartungen und Haltungen von Eltern im Bezug auf die Berufswahl ihrer Kinder untersucht worden, doch ist den Autoren eine Untersuchung zum systematischen Zusammenhang von Prägung durch in der Schule vermittelten Inhalten und der Berufswahl nicht bekannt [15].

Wesentlicher negativer Faktor hinsichtlich der (Nicht-)Heranführung von Lernenden an Holz als Werk- und Baustoff im Besonderen wie an die Technik im Allgemeinen ist der Umstand, dass entgegen allen offiziellen Bekundungen nur noch vereinzelt in der Primarstufe Werkunterricht stattfindet (ebenso reduziert wird z.B. musikalische Früherziehung umgesetzt – Ausnahme siehe [16]). Auch wenn in der Vergangenheit im Fach „Werken“ deutlich geschlechtsspezifische Arbeiten vermittelt wurden, ist angesichts einer veränderten Gesellschaft die einfache und früh einsetzende Beschäftigung mit Werkstoffen und Techniken dazu geeignet, einerseits Verständnis und Akzeptanz aber ebenso Begeisterung im Umgang mit technischen Zusammenhängen zu vermitteln. Elterliches Engagement an dieser Stelle in Form von Projektwochen kann das entsprechende strukturelle Defizit nur bedingt kompensieren.

Die in der Primarstufe vermittelten Inhalte können als Grundlagen die in der Sekundarstufe I obligatorische Beschäftigung mit Technikthemen erleichtern, zumal der Umgang mit Holz als Werkstoff leicht und ohne großen Ausstattungsaufwand bewerkstelligt werden kann. Flankierende Maßnahmen an dieser Stelle sind Praktikumsangebote, die darauf abzielen müssen, ein erstes Interesse auszubauen [17].

Parallel dazu ist festzustellen, dass im Geographieunterricht der Sekundarstufe I und in den für diesen vorgehaltenen Lehrbüchern der Landwirtschaft großzügig Platz eingeräumt ist. Dabei wurde und wird die volkswirtschaftliche Bedeutung der Landwirtschaft ausführlich dargestellt. Die Forst- und Holzwirtschaft, als an die Landwirtschaft gebundener Wirtschaftszweig, wird dagegen, wenn überhaupt, nur nebenbei erwähnt. So

ist durchaus übliche Praxis, dass auf Kapitel mit etwa dem Titel „Landwirte versorgen uns“ solche folgen, die sich hochurbanen Räumen und/oder Regionen widmen, die von der Schwerindustrie geprägt sind. In nur geringem Umfang werden zukunftsfähige Aspekte behandelt. Man findet in den Stichwortregistern häufig den Begriff „Flöz“, nicht jedoch die Stichworte „Forst“, „Holz“ oder „Wald“ [18].

Unbeachtet bleiben bislang auch Ansätze, über „Umwege“ nicht nur handwerkliche Betätigung, sondern konkret das Arbeiten mit Holz in anderen als naturwissenschaftlich-technischen Fächern zu vermitteln. Es eignen sich verschiedene Werke der Jugendliteratur, Anregungen zu geben und eine Basis für weitergehendes Interesse zu wecken. Gleichzeitig kann den, innerhalb der Dienstleistungsgesellschaft gepflegten Vorurteile und Vorbehalten gegenüber handwerklichen Berufen begegnet werden – siehe insbesondere mit Blick auf das Zimmererhandwerk [19]. Und nicht zuletzt kann ein bereits angeregter, offen zu führender, philosophischer Diskurs zur Stellung des Handwerks in der Gesellschaft dazu beitragen, Hindernisse abzubauen. Diese Erörterung kann angesichts der globalwirtschaftlichen Entwicklung der letzten Monate durchaus mit systemkritischem Einschlag geführt werden [20]. Doch leider neigen die Protagonisten der Holzverwendung nach wie vor stark dazu, ein eher traditionelles Selbstverständnis und Berufsbild zu pflegen [21]. Nicht zuletzt anlässlich von Baumessen wird dies deutlich, wenn an Ständen der Berufsbildungswerke und –einrichtungen für das Zimmererhandwerk geworben wird: Die Vergatterung von Ochsenaugengauben wird unter Verwendung altdeutscher Schrift ausführlich vorgeführt. Allerdings findet man an diesen Stellen kaum Hinweise auf den Holzrahmenbau und die Anwendung von digitalen Medien in der zeitgemäßen Holzverarbeitung. Bei diesem, aus einem derartigen Auftreten resultierenden Bild des Zimmerer- und Holzbauhandwerks als nostalgisch oder traditionell seitens der Heranwachsenden und der jungen Erwachsenen handelt es sich allerdings nicht um ein spezifisch deutsches Phänomen [22].

Im Interesse einer Stärkung der gesellschaftlichen Akzeptanz von handwerklich geprägter Berufsausübung sollte, in Ergänzung zu der o.g. Untersuchung hinsichtlich der Wechselwirksamkeit von Raum und Lernen und zur Entwicklung einer stringenten Kommunikation zur zeitgemäßen Holzverwendung, über alle Schulformen und Stufen hinweg, in folgenden Bereichen der Status Quo der vermittelten Inhalte ermittelt und ggf. Angebote zur Aktualisierung der vermittelten Inhalte unterbreitet werden:

- flächendeckendes Angebot von Werkunterricht in der Primarstufe für alle Bundesländer;
- abgestimmte Ansprache der Schul- bzw. Lehrbuchverlage zur Prüfung des aktuell vermittelten Bildes
  - der volkswirtschaftlichen Bedeutung der Forst- und Holzwirtschaft [23] wie
  - der technologischen Möglichkeiten der Holzverwendung bzw. der entsprechenden Berufsbilder;
- Ausbau des Angebotes von Lehrmaterialien auf der Basis neuer Medien zur beruflichen Prägung in Fortführung u.a. der didaktischen DVDs des FWU Institut für Film und Bild in Wissenschaft und Unterricht [24].

Quellen

[1] Hübner, P., Hand und Auge, Abschiedsvorlesung an der Uni Stuttgart am 19. Juli 2007
[2] Montessori, M., Der vergessene Mitbürger, in: Grundgedanken der Montessori-Pädagogik, Freiburg Basel Wien 1989
[3] Flagge, I. (Hrsg.), Eine Architektur für die Sinne – Busmann + Haberer, Berlin 1996

[4] Helmig, H., Unser Kinderhaus, in: Grundgedanken der Montessori-Pädagogik, Freiburg Basel Wien
[5] Kapfinger, O., (Hrsg.), Hermann Kaufmann Wood Works, Wien New York 2009
[6] Hübner, P., Schulen als Kraftorte gestalten!, Vortrag in Gent 18. November 2006
[7] Hübner, P., Kinder, lasst uns Schulen bauen!, Interview in Stuttgarter Zeitung 28.03.2009
[8] Hübner, P., Schulen als Kraftorte gestalten, in: Schularchitektur und neue Lernkultur – Neues Lernen - neue Räume, Bern 2007
[9] Hübner, P., Schulen als Kraftorte gestalten, in: Schularchitektur und neue Lernkultur – Neues Lernen - neue Räume, Bern 2007
[10] Umweltbundesamt, Leitfaden für die Innenraumhygiene in Schulgebäuden, Dessau 2008
[11] adznetzwerk, Münsteraner Erklärung zur Erneuerung der Schulen und anderer Bildungshäuser, Münster 22. März 2009
[12] Schavan, A., Schule der Zukunft – Bildungsperspektiven für das 21. Jahrhundert, Freiburg Basel Wien 1998
[13] Holzabsatzfonds, Die Welt entdecken – natürlich mit Holz, Pressemitteilung, Bonn 16. Mai 2008
[14] Hübner, P., Schulen als Kraftorte gestalten, in: Schularchitektur und neue Lernkultur – Neues Lernen - neue Räume, Bern 2007
[15] z.B.: Willems, K., Schulische Fachkulturen und Geschlecht, Bielefeld 2007; Hellberg, B.-M., Entscheidungsfindung bei der Berufswahl - Prozessmodell der Emotionen und Kognitionen, Wiesbaden 2009
[16] http://www.grundschule-pretzsche-dorf.de /Werken/Erzgebirge/erzgebirge.html
[17] Helling, K., u.a., umwelt: technik 7 – Ausgabe A, Stuttgart Düsseldorf Berlin Leipzig 1996
[18] Brodengeier, E., Jansen, R., u.a., Terra - Erdkunde 5 Nordrhein-Westfalen, Gotha und Stuttgart 2002
[19] Fährmann, W., Der lange Weg des Lukas B., Würzburg 1981
[20] Sennett, R., Handwerk, Berlin 2008
[21] Brill, A., Eine Berufung mit großartiger Tradition, in: mikado 3/2009, Kissing
[22] Ridley-Ellis, D., Promoting the science and engineering of timber to children, anl. 10th World Conference on Timber Engineering, Miyazaki 2008 http://researchrepository.napier.ac.uk/2531/
[23] Holzabsatzfonds, Forst- und Holzwirtschaft in Deutschland, Bonn 2009
[24] FWU Institut für Film und Bild in Wissenschaft und Unterricht gGmbH, Vollholzprodukte und Holzwerkstoffe, Grünwald 2008

Abb. 6: Holz nicht nur am ersten Schultag: Foyer des M-Huset der Universität Växjö, Schweden

3 Bildung, Erziehung
Mit Holz bauen – von Kindheit an

Carmen Mundorff

Bereits als Kleinkind lernt man mit Holz zu bauen: Die Kleinen konstruieren mit bunten oder auch naturbelassenen Holzbauklötzen Türme, planen und bauen als Jugendliche Baumhäuser. Entscheiden sich die jungen Erwachsenen für ein Studium der Architektur oder des Bauingenieurwesens, wählen sie Holz häufig als Material für den Modellbau. Und als Architekten und Ingenieure errichten sie Häuser, Türme und Brücken und setzen dabei Holz ein – konstruktiv oder dekorativ.

Abb. 1 Sporthalle Deggingen, Architekt Mario Hägele

Sieht man von den Höhlen, die den Menschen zunächst „Wohnraum“ boten, ab, baut man seit den Anfängen menschlicher Siedlungen mit Holz. Dies kann man besonders am Bodensee in Unteruhldingen bei den Pfahlbauten aus der Stein- und Bronzezeit noch sehen. Das Bauen mit Holz hat also eine Jahrtausende alte Tradition mit bewährten Konstruktionen und über diese lange Zeit gesammelte Erfahrungen in Anwendung und Technik, die stetig und konsequent weiterentwickelt werden. Als aktuellere Stichworte seien genannt Bauschnittholz und Konstruktionsvollholz, Brettschichtholz und Brettsperrholz, aber auch konstruktive Holzwerkstoffe z.B. als Platten sowie Tafelbauart, sowie tragenden Holzwerkstoff-Bauteilen und Sonderbauteile, wie z.B. Doppel-T-Träger und Kastenträger, bis hin zur Holz-Beton-Verbundbauweise.

Hinzugekommen sind im Lauf der Jahrhunderte Gesetze und Normen, die das Bauen regeln. Zum 31.12.2008 zählte der Normenausschuss Bauwesen (NABau) allein 2.408 Vornormen, Norm-Entwürfe und Normen sowie 31 DIN-Fachberichte. Jährlich werden rund 250 entsprechende Norm-Dokumente veröffentlicht, d.h. sie erscheinen neu bzw. wurden aktualisiert. Natürlich betreffen nicht alle Normen das Bauen mit Holz, doch rund 150 DIN-en gilt es – je nach Projektart – zu beachten: von der DIN 1052 Holzbau bis ISO 13912 Bauholz für tragende Zwecke, maschinelle Festigkeitssortierung, grundlegende Anforderungen.

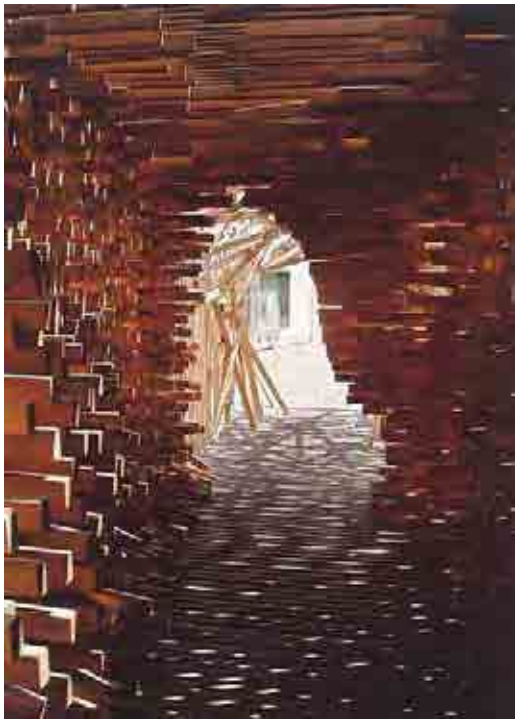


Abb. 2: Stabraum, Studentisches Projekt der Hochschule Biberach

Da war das Bauen mit Holzklötzen doch noch einfach: Die Grenzen der Statik wurden getestet bis zum Einsturz des Turmes, Holzschutz brauchte einen noch nicht zu kümmern. Der Einsturz der Eishalle in Bad Reichenhall hat jedoch verdeutlicht, dass sich Architekten und Ingenieure sehr wohl dafür interessieren und immer auf dem neuesten Wissensstand sein müssen. Das bedeutet sich informieren und lebenslang lernen.

Abb. 3: Stabraum

Weiterbildungsangebote gibt es zahlreiche, es gilt das richtige für sich zu finden. Für Architekten und Ingenieure sind die den Kammern angegliederten Fortbildungseinrichtungen zu empfehlen, da sie sich stark an den Planungsaufgaben ihrer Mitglieder orientieren und ihnen neue Entwicklungen vermitteln. Das Institut Fortbildung Bau der Architektenkammer Baden-Württemberg bietet zum Beispiel einen eintägigen Workshop „Holzbau aktuell“ an, der die vielfältigen Aspekte des Holzeinsatzes beleuchtet: Bauen mit biogenen Baustoffen ist zwar im Vergleich zu konventionellen Baumaterialien noch nicht billiger, bildet aber einen aktiven Beitrag zur Senkung des CO_2-Haushaltes und trägt damit zum globalen Klimaschutz bei. Die Herausforderung der Zukunft liegt in der verantwortungsbewussten Nutzung der uns zur Verfügung stehenden Ressourcen, um komfortable, intelligente und klimagerechte Gebäude zu schaffen. Holz ist dafür wie geschaffen!

Im Workshop erfahren die Teilnehmer anhand aktueller Beispiele, wie Holz in alltäglichen Bauaufgaben angewendet wird. Eine materialgerechte Planung ist Voraussetzung für die Langlebigkeit von Holzbauten: Zu beachten gilt unter anderem der konstruktive Holzschutz, aber auch der Brandschutz. Mit Kreativität kommt man heute zu Lösungen, die vor zehn Jahren noch undenkbar waren. In Einzelfällen kann auch die Landesstelle für Bautechnik hinzugezogen werden, um projektgebunden neue Wege beim Bauen zu gehen und somit zur Weiterentwicklung beizutragen. Ein neues Aufgabengebiet ist der große Bereich des Bauens im Bestand mit den anstehenden Modernisierungen und Sanierungen.

Im Kindesalter lernt man, dass man mit Holz kreativ Objekte bauen kann, wie das Bildbeispiel von einem Workshop im Rahmen der Landesgartenschau in Heidenheim 2006 zeigt. Im Studium erfährt man von Normen und Gesetzen und lernt die Grundregeln vom Bauen mit Holz und anderen Baustoffen. Im Berufsleben gilt es die Kenntnisse ständig zu aktualisieren. Man lernt einen Leben lang.

Abb. 4: Workshop im Rahmen der Landesgartenschau, Heidenheim 2006

3 Bildung, Erziehung
Aus- und Weiterbildung im Handwerk

Thomas Rothfuß, Maximilian Schneider

Gemeinnütziges Berufsförderungswerk
Das Gemeinnützige Berufsförderungswerk (BFW) des Baden-Württembergischen Zimmerer- und Holzbaugewerbes GmbH mit Sitz in Stuttgart, betreibt in Biberach zwei Bildungseinrichtungen für das Zimmerer- und Holzbaugewerbe.

Das Zimmerer Ausbildung Zentrum (ZAZ) ist für die Überbetriebliche Ausbildung der Zimmererlehrlinge des zweiten und dritten Ausbildungsjahres in Baden-Württemberg zuständig. Aktuell besuchen 1050 Lehrlinge in den verschiedenen Kursen die Einrichtung. Für die Fort- und Weiterbildung der Holzbaubranche hat das BFW 2004 ein neues Schulungsgebäude, das Kompetenz Zentrum Holzbau & Ausbau, in Betrieb genommen und ist hier bundes- und europaweit als Anbieter von Seminaren und Kursen tätig.

Zimmerer Ausbildungs Zentrum
Die Überbetriebliche Ausbildung im Zimmererhandwerk ist in der Stufenausbildungsverordnung der Bauwirtschaft inhaltlich und zeitlich geregelt.

Sie wurde als Ergänzung bzw. als Nivellierung der betrieblichen Ausbildung konzipiert und in die 1974 in Kraft getretene Verordnung integriert und ist ein fester und wichtiger Bestandteil innerhalb der Dualen Ausbildung. Die Stufenausbildungsordnung berücksichtigt auch die Finanzierung durch ein Solidarsystem. Die letzte Novellierung der Verordnung ist zu Beginn des Jahres 1999 erfolgt.

Das Zimmererhandwerk hat in den letzten 10 bis 15 Jahren einen starken Wandel in den Arbeitsbereichen der Betriebe vollzogen und befindet sich momentan auch noch teilweise in dieser Phase.

Der starke Rückgang der Neubautätigkeit, CNC-gestützter Abbund, ein erhöhter Grad der Vorfertigung, die erfreuliche Steigerung des Anteils des Holzbaus bei Wohn- und Gewerbebauten, Bauen im Bestand und energetische Modernisierung seien hier beispielhaft angeführt.

Auf diese Entwicklungen innerhalb einer Branche muss auch in der Ausbildung des Berufsnachwuchses vorausschauend und schnell reagiert werden. Das ZAZ Biberach trägt dieser Entwicklung seit vielen Jahren durch einen stetigen Kontakt zu den Ausbildungsbetrieben, den Fachgremien des Zimmererverbandes und durch die Mitarbeit in Ausschüssen auf Bundesebene Rechnung und hat die zu vermittelten Inhalte in der Lehrlingsausbildung, einem stetigen Prozess der Anpassung unterzogen.

Bereits seit über 10 Jahren gibt es den 3-wöchigen Kurs Holzbau im zweiten Ausbildungsjahr als handlungsorientiertes Projekt mit den Inhalten Holzrahmenbau, Trockenbau, Ausbau und Dacheindeckung. Seit fünf Jahren gibt es den Wochenkurs „Modernisierung im Bestand“. Hier werden die Inhalte einer Modernisierung praxis- und betriebsorientiert unter Einbindung der Bauphysik vermittelt und die Anwendung einer Blower Door - Messung bereits den Lehrlingen nahe gebracht.

Die traditionellen Arbeitsbereiche des Zimmerers sind nach wie vor die Erstellung von Dachkonstruktionen und Holztreppen. Doch hier wird inzwischen durch den Einsatz von EDV-gestützten Programmen ein sehr hoher Prozentsatz auf CNC-gesteuerten Anlagen gefertigt. Dennoch ist es unumgänglich, in der Ausbildung die Grundlagen dafür zu schaffen.

Zusätzlich zum Grundprogramm werden den Betrieben und deren Lehrlingen freiwillige Zusatzkurse im Rahmen der Marge innerhalb der Stu-

fenausbildungsverordnung angeboten. Die Inhalte sind auf die jeweilige Zielgruppe und die Ausbildungsordnung abgestimmt. Die Lehrlinge besprechen ihr Kursprofil mit den Ausbildungsmeistern und ihrem Betrieb. Die endgültige Anmeldung für den Zusatzkurs erfolgt durch den Betrieb. Diese Zusatzkurse haben das Ziel, den guten und sehr guten Lehrlinge über den eigentlichen Ausbildungsrahmen hinaus weitergehende Ausbildungsinhalte zu vermitteln. Für die schwächeren Lehrlinge ist dies eine weitere Möglichkeit, ihre Kenntnisse und Fertigkeiten noch zu vertiefen, insbesondere für die Gruppe derjenigen, bei denen das Bestehen der Gesellenprüfung in Frage gestellt ist.

Fort- und Weiterbildung im Zimmererhandwerk

Aufstiegsfortbildung – Biberacher Modell

Einzigartig ist die Aufstiegsfortbildung in den Einrichtungen ZAZ und KomZet. Seit dem Jahre 1996 finden jährlich Kurse zum „Geprüften Polier - Zimmerer“ in Biberach statt. Auf diese aufbauend ist es möglich, die erlangten Kenntnisse in allen Bereichen des Zimmererhandwerks als Grundlage für die Fortbildung zum Zimmermeister anzuwenden. Der Vorteil, dieser modular aufgebauten Qualifizierungen ist, dass die Kurse überwiegend in den Wintermonaten stattfinden und die Teilnehmer somit in der arbeitsintensiveren Jahreszeit dem Arbeitsmarkt zur Verfügung stehen. Dabei wird sehr großen Wert darauf gelegt, dass sich die Ausbildungsinhalte an die betrieblichen Praxis orientieren, sowohl im bautechnischen wie auch im betriebswirtschaftlichen Bereich.

Management im Holzbau

Auf dem neuesten Stand der Technik – das sind viele Holzbau-Unternehmer. Doch die professionelle Steuerung eines Holzbaubetriebes unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten ist heute wichtiger und notwendiger denn je, ganz besonders in Zeiten schwindender Gewinnmargen. Dabei gehören Tipps und Anregungen zu VOB und Auftragsabwicklung ebenso zum Seminarinhalt wie die Bereiche Unternehmensführung, Jahresabschlussanalyse, Kalkulation und Kostenrechnen. für die Teilnehmer genau die richtige Grundlage, um ein Geschäft erfolgreich zu führen. Kompetenz im Umgang mit den sich rasch veränderten Bedingungen am Markt und die langfristige Existenzsicherung für den Betrieb – das sind die wesentlichen Ziele des Seminars.

Gebäudeenergieberater (HWK)

Seit über zehn Jahren werden im KomZet nun schon Fortbildungen zum Gebäudeenergieberater angeboten und mit sehr großem Erfolg durchgeführt. Wie wichtig die Einführung zu dieser Zeit war, verdeutlicht am besten Abbildung 1.

Aber auch regelmäßige Auffrischungen für die Absolventen bzgl. Energieberatung und der damit verbundenen Verordnung wird von einer großen Anzahl von Teilnehmern angenommen, um immer auf dem neuesten Stand zu sein. Eine qualifizierte Beratung und eine praxisgerechte Umsetzung erwarten sowohl Bauherren als auch Architekten.

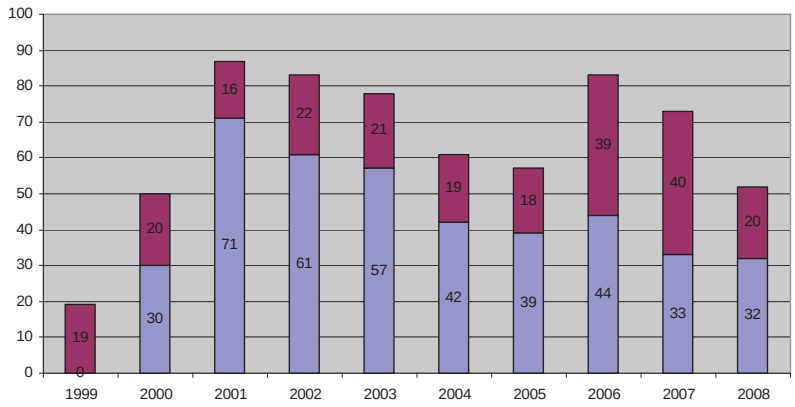


Abb.1 : Gebäudeenergieberater (HWK) der Zimmerer- und Holzbaubranche

Holzhausbau
Der Holzhausbau in all seinen Formen bietet den Zimmerer- und Holzbaubetrieben die Möglichkeit, die auf Grund der schwindenden Auftragslage im Neubausektor vorhandenen Lücken abzudecken. Besonders sei hier erwähnt, dass es für Aufstockungen und Anbauten geradezu ideal sind, in Holzbauweisen auszuführen. Die vorgefertigten Bauteile ermöglichen eine kurze Bauzeit, bedingt durch den Einsatz von trockenen Baustoffen.

Um die Konstruktionen in Holzbauweise nicht zu gefährden, ist es von großer Bedeutung, dass alle Schichten und die dazugehörenden Anschlüsse mit äußerster Sorgfalt ausgeführt werden. Dabei kommt der luft- und winddichten Ausführung der Bauteile eine tragende Rolle zu, die es gilt, in eigens dafür entwickelten Seminaren zu vermitteln.

Schiften
Unter Schiften versteht der Zimmerer das fachgerechte Zuschneiden und das passgenaue Zusammenfügen der Hölzer eines Walmdaches. Auch bei Gauben und anderen Dachaufbauten ist das sachkundige Wissen über die Geometrie von Dächern bei den versierten Zimmerern auch in Zukunft gefragt. Diese oft recht komplizierten räumlichen Konstruktionen sicher zu beherrschen, galt schon immer als die hohe Kunst des Zimmerers.
Zwar erleichtern EDV-Programme im konstruktiven Teil die Arbeit, ersparen dem Anwender jedoch nicht, sich mit den Grundlagen und dem Zusammenhang zu befassen. Auch im Zeitalter der computergestützten Arbeit ist die Beherrschung dieser Kunst für den Zimmerer unverzichtbar.

Restaurator im Zimmererhandwerk
Der Restaurator ist für die Erhaltung und Sanierung historischer Gebäude zuständig. Er muss individuelle Entscheidungen bezüglich Arbeitsmethoden, Verfahren und Materialeinsatz treffen. Dabei sind kulturhistorische Kenntnisse kombiniert mit historischen Restaurierungstechniken unerlässlich. Die moderne Restaurierung verfolgt das Ziel, durch möglichst auf ein Minimum beschränkte Eingriffe am Objekt die Erhaltungsbedingungen zu verbessern.

Lehm ist einer der ältesten Baustoffe der Menschheit. Er ist leicht verfügbar und relativ einfach zu verarbeiten. In Europa erlebt der Lehmbau seit Anfang der 1980er Jahre eine Renaissance. In den meisten Fachwerkhäusern ist Lehm in Form von Ziegeln vermauert oder als Gefach mit gehäckseltem Stroh o.a. vermischt, und dann auf ein Weidengeflecht oder Holzstaken aufgebracht.

Treppenbau
Der Treppenbau ist ein Spezialgebiet des Holzbau-Fachmannes. Bedingt durch die Spezialisierung vieler Zimmerer- und Holzbaubetriebe ist die Herstellung von handwerklich gefertigten Holztreppen auf wenige Firmen beschränkt. Dennoch ist ein gut ausgebildeter Treppenbauer für die spezialisierten Betriebe unentbehrlich.

Dachdeckung am Steildach
Seit der Novellierung der Handwerksordnung zum 01. April 1998 ist es den Zimmereibetrieben gestattet, regulär Dacheindeckungen herzustellen und zu reparieren. Damit ist eine Ausweitung der betrieblichen Tätigkeiten gegeben, die es erlaubt, Steildächer mit Tonziegeln oder Betondachsteinen einzudecken. Der Bereich Dachdeckung am Steildach ist inzwischen ein fester Bestandteil im Arbeitsalltag eines modernen Zimmereibetriebes.

EDV-Abbund
Der vermehrte Einsatz von EDV-Programmen für die Arbeitsvorbereitung und den Abbund und der gleichzeitige Rückgang der Aufträge auf dem Neubauseketor hat in den letzten Jahren dazu

geführt, dass immer weniger Zimmerei- und Holzbaubetriebe den Abbund selbst durchführen. Betrachtet man die Daten aus der Nachkalkulation realistisch und stellt dabei den wirtschaftlichen Faktor in den Vordergrund, bleibt für den Abbund die Fertigung auf CNC-gesteuerten Anlagen als einzige Lösung. Dazu gibt es eine Reihe von EDV-Programmen, die laufend verbessert werden und die es gilt, dem Anwender zu Nutzen zu machen.

Projekt Energiesparender Holzbau

Im Rahmen des Projekts „Energiesparender Holzbau", das primär zur Weiterentwicklung zu einem Kompetenzzentrum diente, wurden Musterlösungen, Modelle und Schautafeln entwickelt und erstellt. Diese werden sowohl in der Ausbildung, wie auch in der Weiterbildung, eingesetzt. Dazu ergänzend wurden Lehrgangsunterlagen und Übungsaufgaben entwickelt und multimedial aufbereitet. Handreichungen zum Projektthema runden das Sortiment an Informationsmaterial ab, was den Kunden in Aus- und Weiterbildung überreicht wird.

PRIMO – ist ein Modellsystem, mit dem individuelle Lösungen für den modernen Holzbau anschaulich vorgestellt werden können. Diese zeigen zu aktuellen Themen wie Modernisierung und energetische Beratung im Gebäudebestand zeitgemäße Möglichkeiten. Die Modelle eignen sich hervorragend für Lehrzwecke in der Aus- und Weiterbildung sowie für Beratungen und Vorträge, selbst zu Prüfungen. Die praktische Anwendung mit Originalmaterialien lassen sämtliche Zusammenhänge schnell erkennen. Mit dem zusätzlich entwickelten EDV-Programm „STEnno" liegt eine umfangreiche Baustoff-Datenbank vor, die alle notwendigen bauphysikalischen Berechnungen unterstützt. Zusätzlich ergänzt ein „Musterschrank-Mobil" die Vielfalt an Materialien, die am Bau verwendet werden.

Nachwuchs im Zimmererhandwerk

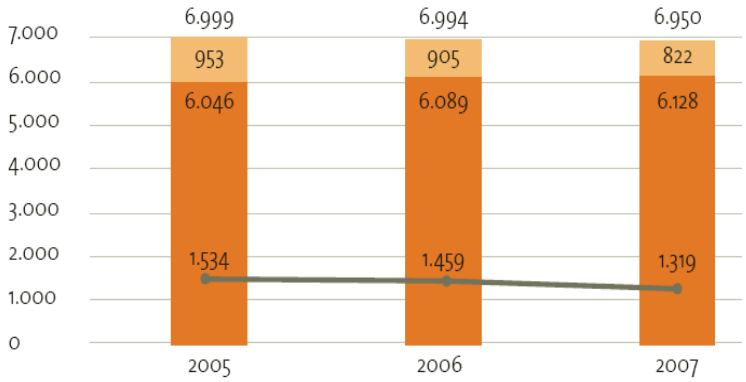


Abb. 2: Anzahl Auszubildende im Zimmererhandwerk in Deutschland (Quelle: DIHK, BDZ Lagebericht 2008)

Die Nachwuchswerbung und die Rekrutierung von Fachpersonal und Führungskräften ist eine Herausforderung für die Betriebe. Es wird zukünftig nicht leichter werden, Lehrlinge mit einem für das Zimmererhandwerk notwendigen Qualifikationsprofil zu finden. Der Anteil der Abiturienten und Realschüler bei den Lehrlingen geht zurück und auch die guten Hauptschüler entscheiden sich zunehmend für Lehrstellenangebote anderer Berufe. Anders ausgedrückt: die Bewerber für Lehrstellen im Zimmererhandwerk mit den entsprechenden Qualifikationen stehen nicht vor der Türe und kommen nicht von alleine, sie müssen abgeholt und informiert werden.

Die Ausbildung zum Zimmerer/in, aber auch die Beschäftigung danach, ist sehr vielseitig und trotz seiner Tradition auch sehr modern, da dieses Handwerk mit fortschrittlichem Hightech-Wissen verbunden ist. Das breite berufliche Tätigkeitsfeld ermöglicht Arbeiten mit Händen und dem Kopf, sowohl drinnen am PC als auch draußen an der frischen Luft. Durch eine fundierte Ausbildung mit nützlichem Know-How und zahlreichen unterschiedlichen Verarbeitungstechniken werden die Auszubildenden zu den meistgefragten und flexiblen Handwerkern.

Kreatives Arbeiten mit dem Naturbaustoff Holz schafft langlebige und umweltfreundliche Produkte, die den Kunden Freude und Nutzen bereiten. Wichtige Voraussetzung für den Zimmererberuf sind räumliches Vorstellungsvermögen, technisches Verständnis, handwerkliches Geschick und körperliche Gesundheit.

Abb. 3: Besuch einer Schulklasse zum Infotag Bauausbildung

Ausblick

Die Arbeitsbereiche der Zimmerer- und Holzbaubranche werden sich auch zukünftig rasch weiterentwickeln. Die Branche ist prädestiniert die Aufgaben im Neubaubereich, in der Restaurierung, Sanierung und energetischer Modernisierung auch unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit zu lösen bzw. diese Entwicklung maßgeblich mitzugestalten. Mit dem nachwachsenden Baustoff Holz und innovativen Bauprodukten und deren Verarbeitung, intelligenten Planungsvorschlägen und Lösungen, kann vor allem sie die Herausforderungen für den Baubereich unter den Aspekten Nachhaltigkeit und Klimaschutz meistern.

Die Fachkompetenz der Unternehmer und der Beschäftigten im Holzbau hat in den vergangenen Jahren durch gezielte Weiterbildungsmaßnahmen, z.B. Gebäudeenergieberater, stetig zugenommen. Beratungsleistungen, Gewerke übergreifendes Denken und das Anbieten von Komplettleistungen sind für die Zimmerer- und Holzbaubranche zum Teil schon Standardleistungen.

Neue Geschäftsfelder erschließen sich aktuell durch umfassende Montageleistungen im Feld der Solarthermie, nicht nur bei Klein-, sondern vor allem bei Großanlagen, sowie im Fassadenbau.

Wie wird auf diese Entwicklungen im Aus- und Fortbildungsbereich reagiert?

2008 ist die novellierte Meisterprüfungsverordnung in Kraft getreten. Sie berücksichtigt umfassend die neuen Geschäftsfelder der Branche und legt Standards in Technik und Betriebswirtschaft fest.

Aktuell arbeitet ein Expertenteam aus Bauhandwerk, Bauindustrie und Gewerkschaft an der neuen Polierverordnung. Das Zimmererhandwerk wird hier von der Polierschmiede für Deutschland, dem ZAZ Biberach vertreten.

Die Ausbildung der Lehrlinge wird sich in den nächsten 10 bis 15 Jahren der Entwicklung in der Holzbaubranche nicht verschließen können. Ausbildungseinrichtungen, welche die derzeitige Situation noch nicht erfasst haben, brauchen sich über die Kritik der Betriebe nicht beklagen. Die Novellierung der Ausbildungsordnung steht sicher in den nächsten Jahren an. Allerdings bietet die derzeitige Fassung genügend Spielräume für die Gestaltung einer zeitgemäßen Ausbildung der Lehrlinge. Das ZAZ Biberach nutzt diese seit Jahren für die Optimierung der Inhalte aus. Der Spagat: „Mit Breitbeil und Computer“ ist somit zu schaffen.

Auch zukünftig wird eine solide handwerkliche Grundausbildung wichtig bleiben, allerdings muss auf die Anforderungen der Betriebe durch spezielle Modulangebote eingegangen werden.

Zu hinterfragen ist auch, ob zukünftig alle Lehrstellenbewerber im Zimmererhandwerk die Vor-

aussetzungen für eine dreijährige Lehre mitbringen oder ob die Branche Angebote für die Stufe 1, also den 2-jährigen Abschluss, anbieten wird.

Gibt es also bald den „Holzbaumonteur“?
Das ZAZ Biberach arbeitet schon seit geraumer Zeit an diesem Themenbereich und wird dafür bei Bedarf bereitstehen.

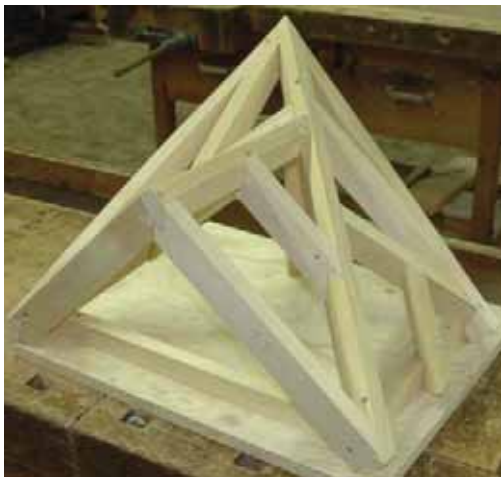


Abb. 4

Abb. 5: Ablauf der Ausbildung im Zimmererhandwerk

Abb. 6: Aufstiegsmöglichkeiten

3 Bildung, Erziehung
Hilfsmittel für die Lehre

Vorbemerkung, Ziel

Im Folgenden werden Maßnahmen an Hochschulen zur Steigerung des Holzabsatzes aufgezeigt. Ähnliche Maßnahmen können für Kindergärten, Schulen und die handwerkliche Ausbildung entwickelt werden. Wie auch mit den Hochschulen müssen die einzelnen Maßnahmen eng mit den jeweiligen Bildungsträgern abgestimmt werden.

Ziel dieser Maßnahmen ist, dass die Lernenden die gesellschaftliche und ökologische Bedeutung des Waldes erkennen und Verständnis für die Nachhaltigkeit von Holz entwickeln, das als Roh-, Bau- und Werkstoff unter dem Gesichtspunkt der Energieeinsparung und der Reduzierung von CO_2-Emissionen eine ökologische Kreislaufwirtschaft ermöglicht. Sie machen sich mit den Arbeitsabläufen der industriellen Fertigung der konstruktiven Vollholz- und Holzwerkstoffprodukte vertraut und informieren sich in unterschiedlichen Medien über die Herstellungsverfahren der konstruktiven Vollholz- und Holzwerkstoffprodukte. Anschließend beschreiben sie ein von ihnen ausgewähltes Herstellungsverfahren eines konstruktiven Vollholz- oder / und Holzwerkstoffproduktes und bedienen sich hierzu moderner Präsentationstechniken. Des Weiteren werden sie über Videosequenzen mit der tatsächlichen Praxistätigkeit einzelner Abläufe bekannt. Mit Hilfe von Informationen aus technischen Unterlagen und anderen Medien zu den unterschiedlichen konstruktiven Vollholzprodukten und Holzwerkstoffen bewerten die Lernenden deren Eigenschaften und definieren die Anforderungen an die Produkte und deren Qualitätsmerkmale. Bei der Auswahl der Materialien berücksichtigen sie deren Eigenschaften. Auch geeignete Holzarten werden von den Lernenden entsprechend ihrer Eigenschaften und unter Berücksichtigung ästhetischer, ökonomischer und ökologischer Gesichtspunkte ausgewählt. In einem weiteren Schritt machen sie sich mit Sortiermerkmalen vertraut, die holzspezifische Eigenschaften beschreiben und unter den gegebenen Gesichtspunkten (Festigkeit) für die Sortierung des Holzes maßgebend sind (z.B. Ast, Faserneigung, Risse etc.). Die Sortierklasse eines Schnittholzes wird mit Hilfe der Sortierverfahren bestimmt. Im letzten Schritt kontrollieren die Lernenden die Oberflächenqualität und Maßhaltigkeit des Holzproduktes, stellen die Eigenschaften einer Holzart fest und prüfen das Holz auf artspezifische Merkmale.

1 Ist-Situation der Lehre im Holzbau an den Hochschulen

Der Förderung zukünftiger Bauplaner (Architekten, Bauingenieure, Projektsteuerer usw.) kommt eine zentrale Bedeutung in der langfristigen Strategie der Holzabsatzförderung zu. Wichtig ist dabei die Steigerung der Qualität der Lehre. Dies kann dadurch erreicht werden, dass die Lehrsituation an den Hochschulen in Bezug auf den Holzbau verbessert wird, z.B. durch personelle, durch strukturelle oder zumindest durch ausstattungstechnische Verbesserungen.

Die Hochschullehrer sollen in die Lage versetzt werden, besser und leichter die Themenkette Wald-Holz-Bauen zu lehren und damit die eigenen Hemmnisse gegenüber dem Baustoff Holz abzubauen. Dies ist langfristige Holzabsatzförderung durch positive Beeinflussung der Multiplikatoren zum Erreichen der zukünftigen Entscheidungsträger, der Architekten und Ingenieure sowie der Bauinteressenten. Die tägliche Praxis an den Hochschulen zeigt, dass die Studierenden zunächst sehr aufgeschlossen gegenüber dem nachwachsenden und einzigartigen Bau- und Werkstoff Holz sind. Die Qualität der Informationen aber hängt stark von der Motivation der Lehrenden ab.

Informationen zu Forst und Holzbau sind für Hochschullehrer nur schwer zugänglich und nicht in geschlossener Form vorhanden. Den Hochschullehrern stehen Schriften, Fachbücher, Fach-

zeitschriften, teilweise nur Firmenprospekte sowie Normen in unterschiedlicher Qualität zur Vorbereitung der Lehre in den unterschiedlichsten Medien nur unzureichend zur Verfügung.

Die vorhandenen Informationen sind nicht oft weiter bearbeitbar und deswegen nicht in dem gewünschten Maße oder in der erforderlichen Qualität in die Vorlesungen integrierbar.

Da kein geschlossenes Informationssystem angeboten wird, ist der Aufwand, die Unterrichtseinheiten zu aktualisieren, für den einzelnen Hochschullehrer sehr hoch. Daher werden die Unterlagen oft nur selten überarbeitet und ergänzt und dementsprechend der Holzbau nur unterrepräsentativ gelehrt.

Dies erklärt auch die häufig fehlende Motivation der Lehrenden, im Holzbau immer auf dem Laufenden zu bleiben.

In der Bauingenieurausbildung ist der Holzbau oft nur Anhängsel des Stahlbaus – selten als eigenständiges Fachgebiet.

In den Fachbereichen Architektur gibt es keinen Lehrstuhl bzw. kein Fachgebiet ausschließlich zum Thema Holz (bis auf ganz wenige Ausnahmen). Die Architekturlehre erhebt den Anspruch, baustoffneutral zu sein. Die Vor- und Nachteile einzelner Baustoffe werden vergleichend miteinander diskutiert. Nur in Ausnahmefällen kümmert sich ein einzelner Lehrstuhlinhaber verstärkt um den Holzbau, wenn z. B. die übrigen Materialien von anderen Lehrstühlen gleichermaßen betreut werden und eine besondere persönliche Neigung zum Baustoff Holz vorliegt, wie beispielsweise bei Prof. Peter Cheret Uni Stuttgart, Prof. Hermann Kaufmann, TUM.

Die Zahl der Holzbaulehrstühle ist stark rückläufig. Einige C4-Stellen werden nicht mehr mit Holzbau besetzt. Diese Ausblutung gilt es zu stoppen. Wenn durch politischen Druck die Stellen nicht erhalten werden können, muss die Forst- und Holzwirtschaft kurzfristig mit eigenen Mitteln neue Stiftungsprofessuren bereitstellen. Die noch wenigen Stellen in Deutschland zeigen gute Erfolge.

Bisherige Forschungen im Holzbausektor haben sich meist mit Ingenieurthemen beschäftigt. Dies ist aus der geschichtlichen Notwendigkeit heraus verständlich. Um mit den anderen Baustoffen gleichzuziehen, mussten zunächst die technologischen Eigenschaften des Werkstoffes Holz und die technischen Anwendungen im Bauwesen entwickelt und verbreitet werden, quasi als „Nachholforschung". Es ist zwar viel passiert, aber noch immer bestehen einige gravierende Lücken. Architekturthemen waren also bisher scheinbar nicht vordringlich. Ohne Forschung und Entwicklung zu Architekturthemen wird mittel- und langfristig aber die Anwendung von Holz im Bauwesen nicht nachhaltiger zu beeinflussen sein. Zurzeit besteht ein akuter Mangel an Themen, Forschern und Finanzierung im Architekturbereich.

Architekten und Ingenieure sind vorrangig Multiplikatoren und fast immer die ersten Ansprechpartner bei Materialentscheidungen. Nicht umsonst sind die Softwarehäuser besonders aktiv in den Hochschulen. Es ist nachweisbar, dass Studierende z.B. mit den kostenlos verwendeten Programmen eine „Ehe für's Leben" eingehen.

2 Maßnahmen zur Verbesserung der Lehre im Holzbau allgemein, insbesondere im Bereich Architektur und der verwandten Themenbereiche

Abgestuft nach der Wichtigkeit sind vier Maßnahmen vorstellbar. Die einzelnen Maßnahmen müssen auch unter dem Gesichtspunkt diskutiert werden, ob nach dem Gießkannenprinzip verfahren werden soll, oder ob durch gezielte Einzelmaßnahmen mittel- oder langfristig mehr Erfolg erzielt werden kann.

2.1 Schaffung eines „Kompetenz-Zentrums Holzbau" an einer Universität in BW

Aufbau einer „Holzbau-Einheit" als „freies Institut", weder bei den Bauingenieuren noch bei den Architekten angesiedelt – analog zum Modell IfH in Biberach, jedoch mit deutlich höherer Ausstattung.

Der Lehrtransfer innerhalb der Hochschule, insbesondere in beiden Studiengängen Architektur und Bauingenieurwesen sowie zusätzlich in angrenzende Fachgebiete zu Themen wie Baustoffkunde, Bauphysik, Energie, Haustechnik, Nachhaltigkeit usw. muss deutlich verstärkt werden.

Das Kompetenzzentrum führt allgemeine praxisorientierte Forschung durch, verstärkt zu Holz-Architektur-Themen.

Der hauptsächliche Betätigungsbereich ist die eigene Hochschule, an der das Kompetenz-Zentrum angesiedelt ist. Lehrtransfer in die anderen Hochschulen ist bei Bedarf möglich und besonders gewünscht (überregionale Wirkung).

Der Aufbau eines „Spezial"- Masterstudiengangs „Holzbau" für Architekten und Ingenieure sollte entwickelt werden.

Die Finanzierung kann z.B. durch Stiftungs- und Drittmittelmittel erfolgen.

alternativ:
Als Alternative ist ein „Freies Holzbau-Kompetenz-Zentrum" denkbar, das unmittelbar dem MWK oder einer Stiftung zugeordnet ist.

Ein Teil der Stellen wird vom MWK finanziert, die restlichen Stellen über Drittmittel.

Dieses Zentrum übernimmt die Betreuung aller Hochschulen in BW. Aus diesem Grund ist eine größere Mannschaft erforderlich, um genügend Lehr- und Forschungskapazitäten sicherzustellen.

2.2 „Wanderprediger in Sachen Holzbau" an den Hochschulen

Gesucht wird ein in weiten Bereichen des Holzbaus kompetenter Architekt oder Ingenieur. Die Tätigkeit dieses Spezialisten muss sehr eng mit der der Regionalen Fachberatern des HAF abgeglichen werden.

Er kann an einer Hochschule auf der Ebene einer Stiftungsprofessur oder eines wissenschaftlichen Angestellten angesiedelt sein. Dem entsprechende ist eine personelle Ausstattung mit Sekretärin und Assistenten usw. erforderlich.

Er sollte die neuesten Medien- und Präsentationstechniken beherrschen und Vorlesungen auf Anfrage an allen Hochschulen in BW halten.

Er wird versorgt mit den neuesten Entwicklungen und Forschungsergebnissen.

Eine Ansiedelung direkt im Cluster-Holz BW sollte geprüft werden. Ein freies Beraterteam oder ein Beirat unterstützen ihn.

2.3 „Regionale Fachberater für Hochschulen“
Das Netz der Regionalen Fachberater des Holzabsatzfonds HAF, Bonn wird erweitert um einen speziellen Mitarbeiter, der sich ausschließlich um die Verbesserung der Lehre an Hochschulen kümmert und weitgehend die Aufgaben des o.g. „Wanderpredigers“ übernimmt.

Der besondere Tätigkeitsbereich dieses Fachberaters muss sorgfältig auf die Aufgaben der übrigen Regionalen Fachberater abgestimmt werden.

2.4 Bereitstellung von Hilfsmitteln zur direkten Verbesserung des Unterrichts (s. Kap. 4)
Über konkrete Hilfsmittel wird im Rahmen der Hochschulprojekte der einzelnen Organisationen der deutschen Forst- und Holzwirtschaft (HAF, BDZ, DGfH usw.) immer wieder diskutiert. Bis jetzt sind keine Auswirkungen an den Hochschulen zu erkennen.

Durch die Unterstützung der Lehre durch ein multimediales Nachschlagewerk in Form einer Holzbaudatenbank kann die Bereitschaft der Lehrenden, sich mit dem Material Holz auseinander zu setzen, optimal gefördert werden. Diese Datenbank wurde vom Institut für Holzbau seinerzeit in Form einer DVD erarbeitet. Da die Zugriffsmöglichkeiten, die Schnelligkeit und die transportierbare Datenmenge des Internet stark zugenommen haben, wird es die Hauptplattform des Datenaustauschs werden.

Die Daten müssen sich durch den Benutzer einfach weiter bearbeiten und in die Vorlesung integrieren lassen. Zugriffsrechte können angemessen gesteuert werden. Diese Holz-Datenbank ist ein aktives Instrument und wirkt damit motivierend auf die Hochschullehrer. Es ist eine Chance sich von den anderen Baustoffen hervorzuheben.

Das Institut für Holzbau hat ein Konzept zur Verbesserung der Lehre des Holzbaus an Hochschulen entwickelt.

Vorschlag zu Einzelmaßnamen:
Es werden Modelle von Tragwerken, Verbindungen und Konstruktionsdetails, z.T. im Maßstab 1:1 zur Verfügung gestellt. Diese sind sehr aufwändig in der Herstellung und den Kosten und müssen deswegen mit den Vorteilen der Animation abgeglichen werden. Das Vorzeigen und in die Hand nehmen von Modellen ist aber immer noch ein sehr wertvolles pädagogisches Mittel. Wenn die 1:1 Realmodelle nicht möglich sind, sollten die die Zeichnungen und Materiallisten dieser Modelle angeboten werden, damit sie relativ einfach nachgebaut werden können.

Vorbereitete Vorlesungen oder Manuskripte (PPT, PDF) sind sehr hilfreich, auch wenn im Unterricht auch nur Teile verwendet werden. Lehrbildreihen bzw. Dateien einzelner Motive zu verschiedenen Themen oder zu Objekten sind besonders wertvoll, da man so einfach den Praxisbezug herstellen kann.

Aufbereitete Forschungs- und Entwicklungsergebnisse unmittelbar für die Lehre. dies könnte auch von den Forschungsorganisationen durchgeführt werden.

Die Erstellung dieser Unterrichtseinheiten kann in verschiedenen Hochschulen und Organisationen durchgeführt werden. Eine Arbeitsgruppe koordiniert und stimmt die Einzelaktivitäten ab. Zurzeit arbeiten unterschiedliche Gruppen/Verbände an verschiedenen Konzepten. Diese Konzepte

und Maßnahmen müssen koordiniert und weiterentwickelt werden. Hierzu sollte eine kleine, unabhängige Arbeitsgruppe, z.B. aus einigen Hochschulen und der Praxis beauftragt werden.

Hilfsmittel sind geeignet, flächendeckend eine Verbesserung der Lehrsituation zu bewirken. Der Erfolg hängt jedoch nach wie vor stark von den einzelnen Lehrenden ab.

3 Ausblick

Alle unterschiedlichen Ausbildungsbereiche sollten mittel- bis langfristig in das Blickfeld genommen werden. Nicht nur an Hochschulen, sondern beginnend von den Kindergärten über die verschiedenen Schularten bis hin zur beruflichen Ausbildung der Lehrlinge, Poliere und Meister sowie der weiterführenden Erwachsenenausbildung.

Es sollten Weiterbildungsmaßnahmen der Baufachleute über die üblichen Seminare hinaus angeboten werden, z.B. als Aufbaustudium.

Die Koordinierung und Abstimmung der verschiedenen Hochschulmaßnahmen der unterschiedlichen Organisationen der Forst- und Holzwirtschaft sind dringend erforderlich. Synergieeffekte müssen genutzt werden.

Außerhalb der Hochschulen sollten entsprechende Aktivitäten unternommen werden:

- Musterkisten Holzbau für Kindergärten, Schulen, Ausbildungsstätten, mit jeweils ausführlicher Erläuterung, vom Profi geplant. Von örtlichen Zimmerern hergestellt und laufend betreut in Zusammenarbeit mit den Regionalen Fachberatern des HAF.
- Unterlagen Print oder Dateien, Videos und Animationen
- Während der Kinder-Uni könnten z.B. Wettbewerbe mit „Der Brücke aus der Tüte“ durchgeführt werden.

4. Konkrete Maßnahmen und Inhalte:

Alle Unterlagen insbesondere die Animationen müssen vom Benutzer geändert werden können.

Alle Daten werden quervernetzt. Z.B. kann ein Fassadenbrett gehören zu: Fassaden, Vollholzprodukte, baulicher Holzschutz, jeweiliges Objekt usw.

Eine permanente Pflege und Betreuung der Unterrichtsmittel sind erforderlich. Der HAF oder eine ähnliche Organisation übernimmt die laufenden Kosten, die Koordination der Maßnahmen und die Verteilung der Unterlagen an die Dozenten. Es wird nicht automatisch verschickt, sondern nur auf Rücksendung (Verringerung des Streuverlustes). Die Regionalen Fachberater können bei ihren regelmäßigen Besuchen die Wünsche direkt aufnehmen.

4.1 Musterkästen:

Prototyperstellung z.B. in Zimmereien, die sich um „ihre“ Hochschule kümmern, die Musterkästen herstellen und betreuen.. Die Zimmereien sind Paten der einzelnen Hochschulen.
Folgende Produkte:

- Vollholzprodukte
- Holzwerkstoffe
- Verbindungen
- sonstige Baustoffe

Holzmusterkiste Lignum CH

4.2 Modelle zum Selbstbasteln
mit genauer Anleitung, z.B. Dachlattenbrücke, Zeitungsbrücke, unterschiedliche Maßstäbe beachten, unterschiedliche Schwierigkeiten, Kollegen fragen, die Holzbau und Tragwerkslehre unterrichten.

4.3 Themenreihen / Einzelthemen als PPT und JPG
Themen:
- Nutzungsarten
- Holzarten
- Vollholzprodukte
- Holzwerkstoffe
- Dämmstoffe
- Dichtstoffe
- Verbindungen
- Tragwerke
- Brücken
- Bemessung (s.u.)
- Baukonstruktion (Details komplett usw.)
- Holzbausysteme
- Fassaden
- Bauphysik allgemein (Wärme- und Feuchteschutz, Luftdichtheit, Holzschutz: baulich, chemisch)
- Historische Bauten, Bauen im Bestand
- Aufstockungen
- Sonderbauten
- Lernen aus Schäden

4.4 Einzelthemen Videos/Animationen:
Die Videos sind interaktiv und einzeln verwendbar.

Themen:
- Herstellung Vollholzprodukte
- Herstellung Holzwerkstoffe-Produkte
- Einbau von Verbindungsmittel
- Bauablauf
- Montage Holzrahmenbau
- Montage Industriehalle
- Verschiedene Wand- Decken- und Dachaufbauten mit verschiedenen Schichtenfolgen in der Fläche und räumlich (Ecken).
- in der Animation mit beliebigen Schichten aus einem Katalog mit Anforderungsdaten (Tragfähigkeit, Durchbiegungen, Schwingungen, Brand-, Schall-, Holz- und Feuchteschutz)

4.5 Bemessung DIN 1052:2008-12:
Die PPT von Prof. Colling und dem BDZ sollte überprüft und auf den aktuellen Stand gebracht werden.
Eine spezielle Animation zur Aussteifung wäre wünschenswert.
Eine Liste bzw. Originale / Dateien von Bemessungsbeispielen mit oder ohne Musterlösungen können helfen.
Die wichtigsten Details eines Tragwerkes (Halle, Wohnhaus usw.), die tatsächlich in der Praxis verwendet werden, sollten detailliert aufbereitet werden.

4.6 Zugriff zu F+E- Berichten:
Der Zugriff der Hochschullehrer zu F+E- Berichten z.B. von einzelnen Instituten, der DGfH, des IRB oder anderer Forschungsorganisationen sollte als Download ermöglicht werden.

4.7 Zugriff auf Jahresinhalte der Fachzeitschriften:
Ebenso sollte mit den Verlagen geklärt werden, unter welchen Voraussetzungen Artikel downgeloadet werden können (Bauen mit Holz, Mikado, Der neue Holzbau / Quadriga, Schweizer Holzbau, Zuschnitt).

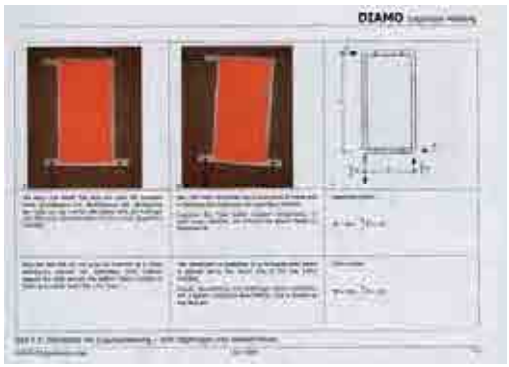
4.9 Liste möglicher Referenten für Fachvorträge:
Im Sinne der „Amtshilfe“ (Kostenerstattung aus Pool über LBR, HAF usw.) könnten Experten zu ihren speziellen Themen Vorträge an anderen Hochschulen halten.

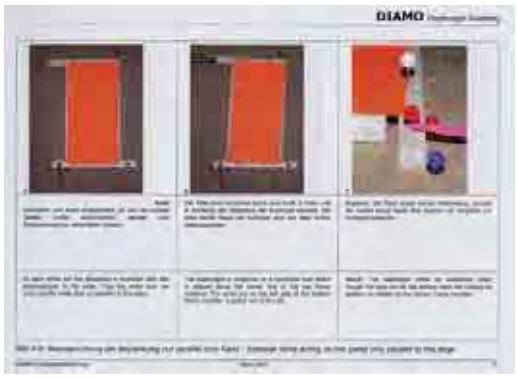
4.10 Linkliste:
Linklisten werden ständig aktualisiert und stehen im Internet zur Verfügung.

4.11 Unterlagen zu Exkursionszielen:
Exkursionsziele im deutschsprachigen Raum sind auf einer homepage aktuell abgelegt. Die Datei enthält aktuelle Fotos, die Navi- Koordinaten sowie Unterlagen zur Architektur und Konstruktion. Die Ziele sind Bestandteil der Fotoserien der Nutzungsbereiche z.B. im HAF- Portal.

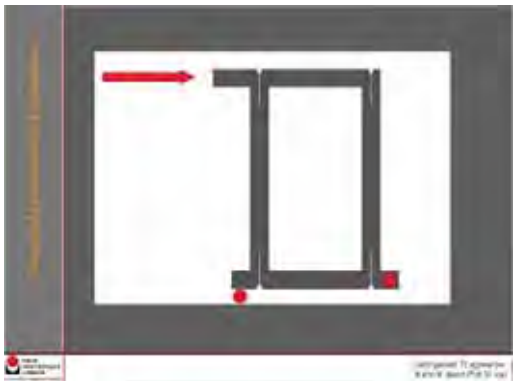
Möglichkeiten der Besichtigungen werden evtl. mit Ansprechpartnern angegeben mit dem jeweiligen Datum / Stand.

Die Exkursionsobjekte sind ggf. vorher auf „guten“ Zustand zu prüfen





Diamo- Bausatz Scheiben
Prof. Dr.-Ing. M. Kessel, Brauschweig/Hildesheim



Animation Wandscheiben
Prof. Dr.-Ing. M. Speich, Lübeck/Hannover

3 Bildung, Erziehung
Holzbau E-Learning

Volker Schiermeyer

1 Begriffsdefinition

Da der Begriff „E-Learning“ in der Literatur unterschiedlich verwendet wird, soll als Einstieg zunächst definiert werden, wie der Begriff in diesem Text verwendet wird.

E-Learning steht als Kurzwort für elektronisches Lernen oder Electronic Learning und beinhaltet das computergestützte Erlernen, Üben, Vertiefen oder die Weiterbildung unter Berücksichtigung multimedialer Technologien. E-Learning kann sowohl am nichtvernetzten Computerarbeitsplatz als auch im World Wide Web vorgenommen werden.

Der Grundgedanke ist, dass das Erarbeiten einer neuen Problematik oder das Vertiefen einer Thematik einem hohen Maß an Flexibilität genügen soll. E-Learning kann i.d.R. unabhängig von räumlichen und zeitlichen Vorgaben vollzogen werden, d.h. Lehrende und Lernende können unabhängig voneinander agieren.

Grundsätzlich kann E-Learning in zwei große Blöcke aufgeteilt werden:

- Computer-Based-Training CBT
- Web-Based-Training WBT oder Online-Learning

Während man beim Computer-Based-Training auf Lernprogramme zurückgreift, die direkt auf CD oder DVD am eigenen Computer vorhanden sind, wird beim Web-Based-Training auf netzwerkbasierende Lehr- und Lernportale zugegriffen. Gegenüber dem CBT stellt sich beim WBT ein offenes System dar, d.h. Rückmeldungen auf die Anwendung der Kurse sind von außen möglich. Es können auch jederzeit neue, erweiterte oder korrigierte Inhalte für die Anwendung zur Verfügung gestellt werden. Das ist besonders dann sinnvoll, wenn sich Lehrinhalte schnell verändern und / oder entwickeln, d.h. eine große Vielfalt an Informationen schnell bereitgestellt werden muss. Bei der Verbreitung der gleichen Informationen anhand gedruckter Medien vergeht zu viel Zeit, bis die Informationen beim Anwender sind.

2 Vor- und Nachteile von E-Learning

Bei der Diskussion von E-Learning-Konzepten müssen die Vor- und Nachteile gegenübergestellt und im Einzelfall gewichtet werden. Die Erfahrung aus bereits erfolgter Anwendung hat gezeigt, dass die Vermittlung von Inhalten allein über E-Learning nicht ausreicht. Die Unterstützung in der Wissensvermittlung durch die digitalen Medien scheint momentan der optimale Weg zu sein. Durch die Kombination der verschiedenen Vermittlungsformen kann Lernen optimiert werden, wobei für jeden „Lerntypen“ unterschiedliche Schwerpunkte denkbar sind, was sich besonders in der Weiterbildung als sinnvoll erweist.
Diese kombinierte Form des E-Learning wird als Blended-Learning bezeichnet.

Die wesentlichen Vorteile von E-Learning sind:

- Abstrakte Inhalte können mit Hilfe von Simulationen anschaulich gemacht werden.
- Lernkontrollen können individualisiert werden, wobei Repetitionsaufgaben variiert werden.
- Kurse können an die jeweiligen Bedürfnisse angepasst werden.
- Das Lernen kann mit dem betrieblichen Know-How kombiniert werden.
- Es kann zeit- und ortsunabhängig gelernt werden.
- Dokumentation und Wiederholungen sind einfach zu gestalten.
- Audio- und Videodokumente sind leicht zu integrieren.
- Unterschiedliches Vorwissen kann besser ausgeglichen werden.

– Erfassen der Inhalte ist durch unterschiedliche Darbietung (Lesen, Hören, Animation, Grafik …) besser möglich.
– Eine Bloßstellung vor anderen Teilnehmern bei Wissenslücken wird vermieden.

Die wesentlichen Nachteile von E-Learning sind:
– Lernende müssen erst lernen, mit den verschiedenen Publikationsformen umzugehen.
– Die Techniker und die Technik bestimmen den Markt.
– Die Präsentation von Lerninhalten wird oft von technischen und nicht von didaktischen Faktoren bestimmt.
– Didaktik ist beim Erstellen von E-Learning-Lösungen oft nicht ausreichend berücksichtigt.
– Es besteht die Gefahr, dass die Anwender sich sozial isolieren, denn Ausbildungsstellen sind nach wie vor wichtige Orte zur Knüpfung sozialer Kontakte.
– Bildschirmlernen ist für fast alle Menschen ermüdender als Lernen vom Papier.
– Es ist eine große Selbstdisziplin und Selbstlernkompetenz nötig.
– Die reduzierten Kontakte zu Lehrern / Trainern und Teilnehmern machen den Erfahrungsaustausch schwieriger und manche Fragen bleiben dadurch ungeklärt.
– Erklärungen durch Lehrer/Trainer sind reduziert. Das Wissen muss verstärkt selbst erarbeitet werden.
– Störungen und Ablenkungen sind häufiger als im Seminarraum.
– Das zusätzliche Lernen in der Freizeit oder auch am Arbeitsplatz wird als unangenehm empfunden.

3 Warum E-Learning?

Die Frage nach dem warum von E-Learning muss auf die jeweilige Position bezogen werden.

3.1 Anbieter von E-Learning

Als Anbieter von E-Learning kann z.B. aus Sicht des Arbeitgebers der Lehrinhalt auf die Bedürfnisse des Betriebes zugeschnitten werden. Die Mitarbeiter bekommen die Gelegenheit, die Inhalte aufzuarbeiten, die benötigt werden. Diese Aufarbeitung kann sowohl während der Arbeitszeit als auch in der Freizeit vorgenommen werden.

Für den Arbeitgeber können somit ökonomische Vorteile auftreten, da Inhalte gezielt vermittelt werden können.

3.2 Nutzer von E-Learning

Als Nutzer von E-Learning stellt sich als wesentlicher Aspekt, dass zeit- und ortsunabhängig gelernt werden kann. Ein gewünschtes Lehrangebot oder eine Weiterbildung muss nicht an einem entfernten Ort, zu einer ungünstigen Zeit genutzt werden. Der Anwender kann am Arbeitsplatz, aber auch in der Freizeit die Angebote nutzen und sich qualifizieren, was z.B. die Chancen auf dem Arbeitsmarkt vergrößert.

Ebenfalls ist es für einige Menschen interessanter oder einfacher, sich Inhalte am PC zu erarbeiten, als Bücher oder Zeitschriften zu lesen. Dieser Personenkreis profitiert erheblich vom E-Learning, zudem Visualisierungen usw. das Lernen sehr gut unterstützen.

4 E-Learning im Holzbau

Die oben genannten Argumente für die Implementierung von E-Learning in der Aus- und Weiterbildung im Allgemeinen kann auf den Holzbau sehr gut übertragen werden. Die angesprochene Vielfalt, im Holzbau besonders durch die große Anzahl der Materialien und der Verbindungsmittel ausgedrückt, und der Umbruch bzw. die Neuerungen in den Regelwerken machen eine Anwendung des E-Learning sinnvoll.

4.1 E-Learning in der Ausbildung im Holzbau

Am Beispiel der Lehrveranstaltung im Bachelor-Studiengang Bauingenieurwesen an der FH Bielefeld, Campus Minden, wird aufgezeigt, wie E-Learning im Fach Holzbau in die Ausbildung eingebunden ist. Grundsätzlich ist die Lehre in 2 Semesterwochenstunden (SWS) Vorlesung und 2 SWS Übung in Seminargruppen im 4. Lehrsemester vorgesehen. Da gerade im 3. und 4. Lehrsemester eine hohe zeitliche Belastung der Studierenden vorliegt, war es ein Anliegen, den Ausbildungsstoff zum Thema Holzbau innovativ zu vermitteln. Innovativ bedeutet in diesem Zusammenhang, dass den Studierenden die Möglichkeit gegeben werden sollte, auch zu Zeiten, in denen keine Betreuung an der Fachhochschule stattfindet, den Lehrstoff nachzuarbeiten und durch Übungen den erlernten Stoff zu vertiefen. Die theoretischen Grundlagen sind so aufbereitet, dass zu den einzelnen Kapiteln Fragen angeboten werden, die eine Selbstkontrolle ermöglichen. Darüber hinaus werden zu den Übungen weitere Bemessungsaufgaben formuliert, die über Zwischenschritte kontrolliert werden können.

Die bisher aufbereiteten Grundlagen umfassen folgende Themenbereiche:

A Allgemeines
B Holz und Holzwerkstoffe
C Aufbau des Holzes
D Holzmerkmale
E Physikalische Eigenschaften (Rohdichte usw., Holzfeuchte, Schwinden und Quellen)
F Mechanische Eigenschaften des Holzes (Baustoffkennwerte, Festigkeiten und Einflüsse auf die Festigkeiten, Nutzungsklassen und Lasteinwirkungsdauer)
G Grundlagen für die Berechnung und die Bemessung (Grundlegende Anforderungen nach DIN 1052:2008-12, DIN EN 1995 aber auch DIN 1055-100)
H Bemessung einteiliger rechteckiger Querschnitte aus Vollholz (erforderliche Querschnittswerte, Allgemeines zu den Nachweisen im Grenzzustand der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit, Nachweis der Querschnittstragfähigkeit, Nachweise für Stäbe nach dem Ersatzstabverfahren)
I Holzverbindungen und Holzverbindungsmittel (Versätze, stiftförmige metallische Verbindungsmittel, Dübelverbindungen, Besonderes zu Stößen und Anschlüssen)

In Vorbereitung bzw. im Probelauf der Anwendung sind derzeit Sonderthemen sowie kombinierte Themengebiete, wie Dach-, Hallen- und Brückenkonstruktionen. Hier wird jeweils die Bemessung, aber auch die Konstruktion dargestellt.

Es wird an der Fachhochschule Bielefeld, Campus Minden, also das Blended-Learning favorisiert, d.h. zu den erforderlichen Präsenzveranstaltungen (Vorlesungen und seminaristisch angebotene Übungsveranstaltungen) werden unterstützende Lehrinhalte über das Intranet als WBT angeboten. Nach den Erfahrungen im Lehrbetrieb kann festgestellt werden, dass die Studierenden E-Learning in unterschiedlicher Intensität nutzen. Während der Vorlesungszeit wird das Angebot relativ wenig genutzt. Sind Hausarbeiten anzufertigen oder in den Zeiten der Prüfungsvorbereitung steigt die Anzahl der Nutzer erheblich. Es hat sich weiterhin gezeigt, dass es sinnvoll ist, für die dann auftretenden Fragen der Studierenden einen direkten Ansprechpartner zu benennen. In der FH Bielefeld haben wir durch die eingehenden Studienbeiträge die Möglichkeit, Tutoren für die Verbesserung der Lehre einzustellen. Diese Mitarbeiter werden dann unter anderem in der Betreuung eingesetzt. Für den E-Learning-Kurs im Holzbau besteht an der FH Bielefeld ein besonderer Vorteil, denn der wesentlich an der Ausarbeitung beteiligte Mitarbeiter steht den Studierenden als Tutor zur Verfügung und kann somit sehr schnell auf häufige Fragestellung durch Ergänzung im vorgestellten Kurs reagieren.

Die guten Erfahrungen mit dem E-Learning im Holzbau als WBT hat dazu geführt, dass auch weitere Fächer die Unterstützung zum Vorlesungs- und Seminarbetrieb anbieten.

Der Holzabsatzfonds HAF hat den Gedanken aufgenommen und die Lehrveranstaltung zu den Grundlagen im Holzbau auf seiner Homepage unter www.informationsdienst-holz.de/elearning bereitgestellt. Direkt nach Vorstellung der E-Learning-Anwendung durch den Informationsdienst Holz in „aktuell“ September 2008 gab es die erhofften Rückmeldungen der Anwender. Es konnten somit sehr schnell Korrekturen, Ergänzungen und Wünsche eingearbeitet werden. Auch hier ist die Rückmeldung durch die Anwendung als gut zu bezeichnen.

4.2 E-Learning in der Weiterbildung im Holzbau

Die große Vielfalt der Themengebiete im Holzbau bedingt, dass sich Planer und Tragwerksplaner häufig spezialisieren, d.h. allgemeingültige Weiterbildungsveranstaltungen sind oft nicht zielführend. Abgegrenzte Themen sind für die Anwender somit sinnvoller. Da aber der Einzugsbereich für einzelne Seminare sehr groß ist, um eine ausreichende Anzahl an Interessierten anzusprechen, wäre gerade hier die Weiterbildung mittels E-Learning eine ausgezeichnete Alternative, um aktuelle Themen spezialisiert zu vermitteln.

Gerade im Holzbau gibt es für allgemeine Themengebiete wie Holzbrücken, Holztafelbau, Skelettbau usw. sowie für Spezialthemen wie Vollgewindeschrauben absolute Fachleute, die hervorragend geeignet sind, die jeweiligen Themen zusammenzufassen. Wird dann diese Zusammenfassung didaktisch gut aufbereitet, steht dieses Wissen allen Interessierten zur Verfügung. Der interessierte Planer kann dann nach Bedarf eine Weiterbildung im gewünschten Spezialbereich abrufen. Die Themengebiete können je nach Anpassung der Normen oder auch der Zulassungen aktualisiert werden und stehen einem interessierten Publikum immer mit dem neuesten Stand zur Verfügung. Im Gegenzug können die Planer anwendungsbezogene Fragen stellen, die eine Rückkopplung sicherstellen. Diese Rückkopplung bereichert das E-Learning und kann ebenfalls von weiteren Planern genutzt werden.

5 Zusammenfassung

Die Vorteile des E-Learning zeigen sich nach den bisherigen Erfahrungen bei der Umsetzung im Holzbau. An der FH Bielefeld, Campus Minden, wird ein E-Learning- Kurs im Holzbau seid 4 Semestern als Web-Based-Training WBT angeboten. Zur Vorbereitung auf Hausübungen und auf Prüfungen wird das Angebot gut und gern von den Studierenden genutzt. Für Fragen zur Anwendung und zu den Inhalten sind Tutoren vorhanden, die das kombinierte Lehrangebot aus Vorlesung, Seminaren und E-Learning als Blended-Learning begleiten.

Für die Weiterbildung wären über E-Learning angebotene Themengebiete sinnvoll, da die über große Entfernungen verteilten Spezialisten flächendeckend „Seminare“ anbieten könnten. Somit wäre sichergestellt, dass Informationen zu Bemessungen, Konstruktionen, Werkstoffen usw. zeit- und ortsunabhängig abgerufen und für gute Konstruktionen im Holzbau verwendet werden können.

Quellen

[1] www.informationsdienst-holz.de/elearning

4 Nachhaltigkeit, Ökologie
Inhaltsverzeichnis

4.1 Nachhaltigkeit

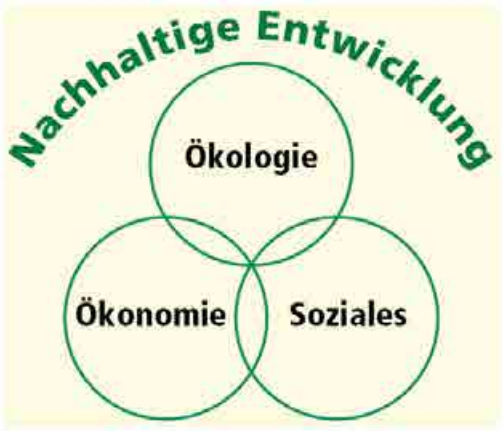
Green Glamour ist nicht genug! S. 265
Nachhaltigkeit und Gebäudetransparenz – Von der Vermutung zur Berechnung S. 271
Nachhaltigkeit von Holz und Holzprodukten S. 285
Chancen und Perspektiven im Holzbau durch Zertifizierung S. 293
Plusenergiebaustoff Holz S. 299
CO_2 Bank S. 309

4.2 Baubiologie, Wohngesundheit

Holzbau und Wohngesundheit S. 313

4 Nachhaltigkeit, Ökologie
Einleitung

Jeder Förster kennt den Begriff der Nachhaltigkeit, den der deutsche Forstmann Hans Carlowitz prägte, als er 1713 eine kontinuierliche, beständige und nachhaltige Nutzung des Waldes definierte. Ebenso ist den meisten Wald-, Holz- und Baufachleuten bekannt, dass die Ökologie nur einer von drei Faktoren für eine nachhaltige Entwicklung ausmacht, ergänzt um ökonomische und soziale Faktoren.



Nachhaltigkeit als Zukunftsvorsorge auch im Baubereich hat viele Facetten. Im Fokus stehen etwa der Schutz des Klimas, die Schonung der Ressourcen sowie der effiziente Einsatz von Energien und nachwachsende Rohstoffe, bei gleichzeitiger Erhaltung der Artenvielfalt. Dies setzt nicht zuletzt die Bereitschaft der breiten Bevölkerung voraus, ihren Lebensstandard, hin zur größerer Lebensqualität zu verändern.

Das Thema „Holz, Bauen und Nachhaltigkeit“ zeigt sich für den Holzfachmanns, den Architekten oder den Bauherrn jeweils aus einer anderen Perspektive. Der Blick des Architekten und Bauingenieurs geht gewöhnlich über die Betrachtung des Rohstoffes Holz und seiner Bauprodukte hinaus. So fragt er auch nach den sozialen Faktoren der Gebäudeerrichtung und -nutzung, die vor allem abhängig ist von den Gewohnheiten und Gebräuchen ihrer späteren Bewohner.

In diesem Kapitel werden ökologische Faktoren der Nachhaltigkeit wie Energieverbrauch und CO_2-Bilanz ebenso thematisiert wie die Zertifizierung von ganzen Gebäuden, die neuerdings durch die Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen an Brisanz gewinnt. Eines wird deutlich: Die positiven Eigenschaften des Baustoffes Holz in Bezug auf Energiebilanz und Klimaschutz sind für Architekten und Bauherren per se kein zwingender Grund für dessen Einsatz. Die ökologischen Kennwerte des Holzes spielen zur Zeit bei der Entscheidung für eine bestimmte Konstruktion oder Gebäudeart zumeist nur eine untergeordnete Rolle.

Neues Gütesiegel für nachhaltige Bauwerke

So zeigt auch der Anforderungskatalog der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB), dass der bloße Einsatz von Holz nicht ausreicht, um ein nachhaltiges Gebäude zu erstellen. Darauf geht der Beitrag „Chancen und Perspektiven im Holzbau durch Zertifizierung“ (Alexander Rudolphi) näher ein. Er beschreibt die umfangreichen Anforderungen eines entsprechenden Zertifizierungssystems, das als „Deutsches Gütesiegel für Nachhaltige Bauwerke“ Anfang 2009 zusammen mit ersten zertifizierten Gebäuden der Öffentlichkeit vorgestellt wurde. Danach soll es möglich sein, die ökologischen und ökonomischen Vorteile der Holzverwendung zu erfassen und zu quantifizieren.

Das neue Gütesiegel, das zusammen mit dem Bundesministerium für Verkehr, Bauen und Stadtentwicklung umgesetzt wird, ergänzt bereits international bestehende Zertifizierungssysteme; in den USA ist dies das LEED-System (Leadership in Environmental and Energy Design), in Großbritannien das BREEAM-System (Building Research Establishment Environmental Assessment Method). Es unterscheidet sich von den ausländischen Systemen durch verschiedene Ergänzungen: So beinhaltet es die vollständige und gleich-

berechtigte Einbeziehung aller Nachhaltigkeitsaspekte – also auch der ökonomischen und sozialen –, während das LEED- und BREEAM-System vor allem die Umwelt im Fokus haben. Weiterhin wird man sich in Deutschland künftig überwiegend an quantitativen Kriterien orientieren, um zu einer Bewertung der Gebäudenachhaltigkeit zu gelangen; darunter fallen unter anderem relativ aufwändige Methoden wie die Ökobilanzierung sowie die Betrachtung des gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes, welche auch die Kostenrechnung über die gesamte Lebensdauer betrifft.

Kritik der Architekten

Kritisch mit dem Thema des nachhaltigen Bauens geht der Beitrag „Green Glamour ist nicht genug!“ (Robert Kaltenbrunner) um. Er stellt die immer differenzierteren Systeme unserer fortgeschrittenen Gesellschaft – auch mit Blick auf neuere Zertifizierungen – in Frage, da sich damit gleichzeitig die Kontrollprobleme zur Einhaltung derselben vergrößern. „Wir neigen dazu, die Welt und die Art und Weise, wie wir alles organisieren, zu verbessern – und dadurch verlieren wir die Dinge immer mehr aus dem Griff.“ Nach seiner Meinung muss Nachhaltigkeit vor allem praxisnah umsetzbar bleiben im oft sehr komplexen Baugeschehen.

Ein weiterer Gedanke des Beitrags bezieht sich auf die materielle Problematik beim Bau von Gebäuden. Diese sei weitaus größer als das Energieproblem, welches bei der Bewertung der Nachhaltigkeit bemüht werde. Da die meisten Abfalldeponien bereits überwiegend mit Bauabfällen voll seien, benötige der Gedanke der Kreislaufwirtschaft eine erneute Stärkung. So fielen in Baden-Württemberg im Jahr 2005 insgesamt 36 Mio. Tonnen Abfälle an, davon 26 Mio. Tonnen Baumassenabfälle, was einer Quote von 72 % entspricht. Daher sei es wichtig, zum Beispiel die Gesamtbilanz von Energie und Rohstoffen noch einmal völlig neu zu bewerten.

Holzbauprodukte mit positiver Energiebilanz

Eine Darstellung der Umweltrelevanz des Holzbaus kann am Thema „Energie“ nicht vorbeigehen. So stellt der Beitrag „Punkten durch Plusenergiebilanz des Baustoff Holz“ (Holger Wolpensinger, Wolfgang Ried) fest, dass zur Herstellung von Holzbauten wesentlich weniger Energie erforderlich ist, als im Holz selbst enthalten ist. Dies belegt auch die derzeit aktuellste Holzbaustudie „ÖkoPot“, die ein Forscherteam um das Hamburger Von-Thünen-Institut für das BMBF durchführte; mit dem Ergebnis, dass der Holzbau deutliche Umweltvorteile gegenüber den mineralischen Bauweisen aufweist.

Tabelle: Ausschnitt aus der Energiebilanz zur Herstellung von 1m³ Brettschichtholz

	Energie [MJ(E_{aq})]
Energieverbrauch	
Forstliche Produktion	306
Rundholztransport (50 km)	200
Schnittholzherstellung	360
Transport (600 km, 50% LKW Auslastung)	2.400
Brettschichtholzherstellung inkl. Schnittholztrocknung	4.275
Summe	7.541
Energieerzeugung	
Nutzung der Resthölzer	
• elektrische Energie	2.154
• thermische Energie	6.678
Summe	8.832
Energieüberschuss	1.291

Die errechneten Energieüberschüsse, die sich wie in dieser Tabelle bei der Herstellung eines Brettschichtholz-Trägers finden, lassen sich bei mineralischen Bauteilen nicht erzielen, da ihr Energie-

gehalt im Vergleich zum Holz deutlich geringer ist bzw. bei Null liegt.

Der Beitrag geht darüber hinaus auf die Energiebilanz ganzer Gebäude ein. So werden die neuen Werkstätten der Lebenshilfe Lindenberg im Allgäu angeführt, die 2005 mit einer Grundfläche von 5.250 m^2 entstanden. Im Gesamtkomplex untergebracht sind 40 Büroarbeitsplätze für die Haupt- und Kreisverwaltung und 140 Arbeitsplätze für behinderte Menschen. Wegen des sehr geringen Heizwärmebedarfs von 37,1 kwh/m^2a und Jahr (dies entspricht einem Primärenergiebedarf von 67,1 kwh/m^2a) wurde insofern eine positive Energiebilanz erzielt, als bei der Erstellung des Gebäudes ein hoher Anteil an Holz in Form von Brettschichtholz, Brettstapeldecken sowie Zellulosedämmung verwendet wurde. Das Beispiel zeigt, wie ein massiver Holzeinsatz zu einer Plusenergiebilanz von Gebäuden führen kann.

Von der Energiebetrachtung weg hin zum CO_2 geht der Beitrag „Die CO_2-Bank“, welche als besondere Idee der Forst- und Holzwirtschaft gelten darf und durch den Landesbeirat Holz des Landes Nordrhein-Westfalen vertreten wird. Dabei handelt es sich um eine Datenbank, die dem Zimmermann, Planer oder Bauherrn Auskunft darüber gibt, wie viel CO_2 in seinem Bauwerk gespeichert ist, das für die Zeit der Nutzung der Atmosphäre entzogen ist. Und warum sollte an einem Baugerüst neben dem Namen der Zimmerei nicht auch die Menge an gespeichertem CO_2 zu finden sein?

Nachhaltigkeit in der Holzbaupraxis

Der Umsetzung des Nachhaltigkeitsgedankens in die Praxis geht der Beitrag „Nachhaltigkeit von Holz und Holzprodukten“ (Dagmar Fritz-Kramer) nach. Aus Sicht eines erfahrenen Herstellers baubiologischer Holzhäuser werden die Öko-Bilanzierung sowie die quantifizierbaren Aspekte nachhaltigen Bauens an Hand des Produktkreislaufs eines Einfamilienhauses (Abbildung rechte Seite) folgendermaßen zusammen gefasst: Zu Beginn des Produktkreislaufs steht die Herstellungsenergie und die gespeicherte CO_2-Menge der verwendeten Rohstoffe. Im weiteren Herstellungsprozess bis zum fertigen Haus sind alle Zwischenschritte energetisch exakt messbar und damit auch ihr „Carbon Footprint“.

Im weiteren Verlauf des Produktkreislaufs wird der Energiebedarf des fertigen Erzeugnisses festgestellt, wobei die Beheizung und Warmwasserbereitung am meisten ins Gewicht fällt; ausschlaggebend sind hier eine kontrollierte Wohnraumlüftung mit Wärmerückgewinnung sowie eine sehr gute Dämmung der Gebäudehülle. An diesem Punkt kritisiert der Beitrag die heute geltende Wärmebedarfsberechnung nach Energieeinspar-Verordnung (EnEV), welche die Herstellenergie des Gebäudes ausspare, wodurch der „ökologische Rucksack“ von weniger nachhaltigen Produkten in der Förderpolitik unberücksichtigt bleibt.

Die hohe Wärmedämmung und der damit verbundene Niedrigenergiestandard, der sich bei Holzhäusern leicht erreichen lässt, hat ebenfalls Auswirkungen auf die Wohngesundheit, da die Bildung etwa von Schimmel damit unterbunden wird. Weitere Auswirkungen der Wärmedämmung mit Holz ist der gute sommerliche Wärmeschutz. Als letzter Punkt des Produktkreislaufs wird die Verwertung der Produkte nach ihrer Nutzung genannt: Beim Recycling, Downcycling bzw. der Wiederverwertung sauberer Holzbauteile lassen sich diese ohne Probleme energetisch verwerten und erzeugen am Ende mehr Energie, als zu ihrer Herstellung verwendet werden musste (vergleiche oben erwähnte Holzbaustudie „ÖkoPot“).

* bezogen auf die Lebensdauer eines Hauses von 50 Jahren

4.1 Nachhaltigkeit
Green Glamour ist nicht genug!
12 Thesen zum Verhältnis von Architektur und Nachhaltigkeit

Robert Kaltenbrunner

Man kann sich des Eindrucks nicht erwehren, dass „Nachhaltigkeit" heute zum Systemimperativ geworden ist. Sustainability steht mittlerweile für fast alles, was politisch irgendwie wünschbar sein könnte. Dabei wird der Begriff in so vielen Kontexten gebraucht, dass er mitunter mehr zur Verwirrung als zur Klärung von Sachverhalten beiträgt. Nachhaltigkeit scheint mithin Notwendigkeit, Bedürfnis und Mythos in einem zu sein. Auch die Domäne der Architektur hat es bislang nicht geschafft, ihr Verhältnis zur Nachhaltigkeit eindeutig zu klären: Die architekturhistorischen Hauptströmungen der letzten Jahrzehnte – ob nun Postmoderne, Dekonstruktivismus oder, mit stark städtebaulichem Einschlag, die neue Einfachheit des ‚steinernen Berlin' – haben die heraufziehenden Probleme der Ökologie schlichtweg ignoriert.

Und jene Randgruppen, die sich um das Thema tatsächlich bemühten, wirkten, als seien sie aus dem Hochland der Esoterik nur besuchsweise in die Niederungen des Alltags herabgestiegen. Im Folgenden soll das Verhältnis von Architektur und Nachhaltigkeit in zwölf Thesen beleuchtet werden: teilweise spekulativ, teilweise appellativ, hoffentlich streitbar, in jedem Fall ohne Anspruch auf Vollständigkeit und streng logische Abfolge. Formuliert aus der Warte eines gelernten Architekten, doch alles andere als unkritisch dem Metier gegenüber. Und zugleich getragen von der Einsicht, dass das Bauen die ressourcen- und materialintensivste menschliche Tätigkeit überhaupt ist.

1. These: Die Wissenschaft hat festgestellt, dass Margarine Fett enthält!
Zur Erläuterung: Die Diskussion über Nachhaltigkeit ist zu einseitig unter den Blickwinkel des Klimawandels geraten, und das zeigt mitunter Wirkungen, die absurd zu werden drohen. Hier soll als Beleg nur auf jüngere wissenschaftliche Forschungen hingewiesen werden, denen zufolge die Verdauungsvorgänge von Elchen, Kühen, Schafen usw. erheblich zur Erderwärmung beitragen. Was aber wäre die Konsequenz aus solcher Erkenntnis: Den Tieren das Rülpsen verbieten? Sie ausrotten? Mit welchen Folgen für das Ökosystem? Jean-Michel Berg hat vor einiger Zeit festgestellt: „Nicht ein schädliches, abstellbares Verhalten bringt CO_2 hervor - sondern das menschliche Verhalten an sich." Das ist so banal wie gravierend, weil die Wissenschaft damit tendenziell die Menschheit zur Disposition stellt. Woraus man folgern muss, dass Wissen allein kaum eine tragfähige Basis für Nachhaltigkeit bildet. Wir selbst sind - als Teil eines positiv rückgekoppelten Systems - auslösender Faktor von Prozessen. Prozessen allerdings, die wir zwar lostreten, aber offenkundig nicht steuern können.

2. These: Nachhaltige Entwicklung steht in Konkurrenz zur (zunehmenden) Über-Komplexität unserer Welt
Als Antwort auf die Frage, warum es uns einfach nicht gelingen will, einen Zustand der Stabilität und wirklicher Nachhaltigkeit zu erreichen, bietet sich der Verweis auf den Zweiten Hauptsatz der Thermodynamik an: Entropie als Ursache fehlenden Gleichgewichts. Je weiter wir unsere Gesellschaft entwickeln, umso feiner wird das System, umso fortschrittlicher und subtiler die Organisation, umso größer aber auch die Kontrollprobleme und damit auch die Entropie. Wir neigen dazu, die Welt, uns selbst, die Art und Weise, wie wir alles organisieren, zu verbessern, und dadurch verlieren wir die Dinge immer mehr aus dem Griff.

Das gilt auch in der Welt des Bauens. Michael Beaven, Direktor bei Arup Associates in London, hat es unlängst ausdrücklich betont: „But in our complex world, it seems that the overlay of sustainability requirements can be too much to cope

with; so we reduce sustainability analysis to retrofitting environmental features, singular metrics, assessment tools and labels. We thereby delude ourerselves." Auf das Bauen bezogen, droht die Nachhaltigkeitsdebatte sich in technischen Spezifikationen zu verlieren. Und das ist ungenügend.

3. These: Nachhaltigkeit beim Bauen ist nicht nur Energieeinsparung!

Die materielle Problematik beim Bau von Gebäuden ist weitaus größer als das Energieproblem. Gleichwohl versteht man derzeit unter nachhaltigem Bauen vor allem Energieeinsparung. Das ist jedoch zu wenig. Um es auf der Makroebene zu veranschaulichen: Während auf die Erde fünfzehntausend Mal mehr Sonneneinstrahlung eingeht als wir benötigen, um unseren Energiebedarf zu befriedigen, ist kein wesentlicher Materialeintrag feststellbar. Deshalb braucht es den Gedanke der Kreislaufwirtschaft, den intelligenten Umgang mit Rohstoffen, rezyklierbare Materialien.

Eine konkrete Herausforderung sind ja bereits die vollen Abfall-Deponien, wobei die bei weitem größten Einzelquelle in Bauabfällen besteht. (Um die Dimension kurz in Zahlen zu veranschaulichen: im Bundesland Baden-Württemberg sind im Jahr 2005 insgesamt 36 Mio Tonnen Abfälle angefallen, davon 26 Mio t Baumassenabfälle, was einer Quote von 72 % entspricht). Insofern ist es wichtig, z.B. die Gesamtbilanz von Energie und Rohstoffen noch einmal völlig neu zu bewerten. Und möglicherweise ist es besser, auf ökologische Intelligenz statt auf energetische Effizienz in Gebäuden zu setzen.

4. These: Nachhaltigkeit darf nicht in Kulturverschwendung ausarten

Auch aus einem kulturellen Blickwinkel scheint es fraglich, ob die alleinige Fokussierung des Themas Nachhaltigkeit auf Fragen der Energiebewirtschaftung im Bauwesen angemessen ist. Natürlich bilden der Umgang mit nicht vermehrbaren Energiereserven - besonders Erdöl und Erdgas -, die drängende Sorge um das Weltklima und die neue Last der finanziellen Kosten einen gravitätischen Problemkreis. Aber zwingen alle drei Faktoren so eindeutig zum Handeln, dass die Frage, ob die Art und Weise, wie ein Teil dieses Handelns – etwa die Wärmedämmung unserer Gebäude – umgesetzt wird, gar nicht mehr gestellt werden darf?

Hinzu kommt, dass die diskussionslose Einigkeit, diesen wenigen Zielen total zu dienen, die Abwägung zwischen weiteren öffentlichen Anliegen, die ebenfalls in das weite Gebiet von „Nachhaltigkeit" fallen, verhindert. Hier sei nur auf die Errichtung von Windkraftanlagen hingewiesen, die ja durchaus in Konflikt steht zu landschaftlichen Kulturräumen und ihrer ästhetischen Integrität. Ehrlicherweise wird man einräumen müssen, dass so manche bauliche Maßnahme, die in überzeugendster Absicht der Energieeinsparung dient, krass jeden Maßstab von architektonischer und handwerklicher Kultur unterschreitet. Man sollte dabei nicht von bloßen Geschmacksfragen sprechen, sondern vom Verlust einer in Jahrhunderten gewachsenen Baukultur.

5. These: Wir müssen Architektur eher als Organismus denn als Maschine begreifen

Eine Maschine steht der Umwelt in fremder Unabhängigkeit gegenüber; sie vollbringt ihre Leistung nur aus ihrer internen Logik. Ein Organismus dagegen hat einen Stoffwechsel, der ihn mit seiner Umwelt verbindet. Das ist ein wesentlicher Unterschied. Zur Erläuterung: Nachhaltigkeit wird zu oft auf Innovation, Wissenschaft und Technologie verkürzt. Notwendig aber ist eine Zusammenschau, die die zahllosen Einzelergebnisse aus Naturwissenschaften und technologischer Forschung in einen neuen Kontext stellt.

So hat es beispielsweise Buckminster Fuller gemacht, indem er vor mehr als sechzig Jahren den Begriff „cosmic conceptioning" prägte. Gemeint war die Fähigkeit, komplexe Zusammenhänge für Erhalt und Pflege der Lebensgrundlage nicht bloß zu erkennen, sondern im Denken und Handeln wirksam werden zu lassen – vor allem in einer präzisen Modellierarbeit von Ereignismustern, ihren Veränderungen und Transformationen. Nachhaltigkeit funktioniert nicht wie die Automobilindustrie mit ihrem so hysterisch wie permanent verkündeten „neuesten Stand" der Fortentwicklung aller Systeme. Nachhaltige Entwicklung, ein wirklich nachhaltiges Bauen gibt es nur als Synthese von technologisch-ingenieurmäßigen Handeln und gesellschaftspolitischen, wertebasierten und werteorientierten „Ansprüchen".

6. These: Weder der Neubau noch überhaupt das einzelne Gebäude sind entscheidend

(a) Im Hinblick auf die Klima-Energie-Problematik sind Neubauten nahezu irrelevant. Der jährliche Neubauanteil beträgt derzeit nur ein Prozent des bestehenden Bauvolumens, und noch geringer ist die Erneuerungsrate. Um den Energieverbrauch des gesamten Gebäudebestandes langfristig zu reduzieren, muss eine breite Anwendung vielversprechender Technologien erfolgen, und zwar rasch erfolgen. Bei 17 Millionen Wohnbauten mit 40 Millionen Wohnungen und 7 Millionen Gewerbe-, Sport- und Kulturbauten allein in Deutschland ahnt man die Größe des Problems.

Worum es also ganz entschieden geht, ist, die breite Masse des Bestandes ‚energetisch zu ertüchtigen'. Das ist natürlich eine vielbemühte Einsicht, die mitunter zur bloßen Phrase verkommt. Aber: Historische Bausubstanz gehört, wie der Boden, zu den nicht mehr vermehrbaren und vor allem zu den nicht mehr wiederholbaren Ressourcen unserer Umwelt. Was bedeutet der behutsame und schonende Umgang mit dem bereits Gebauten anderes als eine nachhaltige Strategie, die grundsätzlich Anpassungsfähigkeit und Wiedernutzbarkeit unterstellt? Bei allen Fortschritten, die sich im Neubau schon haben verwirklichen lassen, darf man ja nicht übersehen, dass das größte ökologische Potential im Bereich der Bestandssanierung liegt.

(b) Solarzellen und passive Sonnennutzung, ins Haus integrierte Gewächshäuser, Fassadenbegrünung und Wärmedämmung sind längst nicht hinreichend für ein wirklich nachhaltiges Bauen. Hierzu ein kleines, aber aussagekräftiges Beispiel: Von Thomas Herzog, dem renommierten Münchner Architekten und Verfasser der ‚Solar Charta', wird berichtet, er habe einmal den Auftrag für den Bau eines durch und durch ökologischen Einfamilienhauses verweigert, weil die Bauherrin dafür eine Stadtwohnung aufgeben, fünfzig Kilometer entfernt aufs Land ziehen und täglich pendeln wollte. Das sei, so Herzog, alles andere als nachhaltig.

Auf's Ganze gesehen muss man einräumen: Mögen klare Kriterien und halbwegs messbare Indikatoren von Nachhaltigkeit auf der konkreten Gebäudeebene noch benennbar sein, so wird man kaum behaupten können, dass es aus Sicht von Städtebau und Stadtökologie bereits einen tragfähigen Ansatz zur Bestimmung und Realisierung einer optimalen Relation aus Dichte, Stadtgröße, Umwelt- und Lebensqualität gibt. Beispielsweise führen die einzelwirtschaftlichen Standortentscheidungen von Haushalten und Betrieben in Richtung Stadtumland zweifellos in der Summe zu erheblichen ungedeckten Folgekosten oder Externalitäten, vor allem in den Bereichen Infrastruktur, Verkehr und Umwelt. Damit sind gesellschaftliche Nachteile verbunden, die in die Bilanzierung von Kosten und Nutzen der Suburbanisierung bisher nicht hinreichend eingehen.

Also: Es ist bislang eher die Optimierung von – wenn auch zentralen - Einzelaspekten und –ele-

menten, weniger eine Gesamtheit nachhaltigkeitsorientierter Planungsprinzipien, es ist stärker die Bezugnahme auf das einzelnen Gebäude als auf den Siedlungszusammenhang, die die Realität bestimmen. Zwar ist die Reduktion von Komplexität unabdingbar, um handlungsfähig zu sein. Gleichwohl müssen wir z.B. Mobilitätsfragen, siedlungsstrukturelle und städtebauliche Dimensionen viel stärker fokussieren. Daran aber hapert es bislang. Von einem reibungslosen Ineinandergreifen der Parameter und Abläufe auf den unterschiedlichen Maßstabsebenen von Planung kann bislang nicht die Rede sein.

7. These: Eine Architektur der Nachhaltigkeit gibt es nicht ohne gesellschaftlich-kulturelle Akzeptanz

Wir können konstatieren, dass sich in unserer Gesellschaft ein gewisser Paradigmenwechsel vollzieht: weg vom einseitigen Wirtschaftswachstum, hin zu mehr Lebensqualität. In Bezug auf die Nachhaltigkeit ist das aber durchaus ambivalent. Denn in diesem „mehr Lebensqualität" kommt z.B. zum Ausdruck, dass Familien und Haushalte immer mehr Wohnfläche in Anspruch nehmen (heute pro Kopf bereits mehr als 42 m^2). So stößt man bei dieser Frage sehr schnell auf politische und kulturelle Grundwerte unserer Gesellschaft: Das private Eigentum und die Abgeschlossenheit und Unabhängigkeit einer privaten Sphäre.

Jeder Versuch, die Trends zu immer kleineren Haushalten und immer größeren Wohnflächen zu stoppen, die Inanspruchnahme von Siedlungsflächen zu bremsen, kämpft daher nicht nur gegen rücksichtslosen Landschaftsverbrauch, vergnügungssüchtigen Konsumismus und großstädtische Vereinzelung, sondern auch gegen die historische Errungenschaft individueller Unabhängigkeit. Steigender Wohnflächenbedarf stellt ein reales Anliegen dar, mit dem man sich beim Stichwort ‚nachhaltiges Bauen' produktiv auseinandersetzen muss, das man nicht bloß verteufeln darf. Was heißt, systematisch danach zu fragen, ob viele Menschen nicht auch gute Gründe dafür haben, an quasi ‚schädlichen' Lebensweisen festzuhalten, nämlich ihre Hoffnungen auf Selbstbestimmung, auf Befreiung von Mühe und Arbeit. Nur wenn es gelingt, ein neues, identitätsstiftendes Bild vom Bauen und Wohnen zu formulieren, in dem das Streben nach einem angenehmen Leben mit den Grenzen seiner natürlichen Grundlagen versöhnt ist, kann das ökologisch Notwendige auch politisch machbar, kann es mehrheitsfähig werden.

8. These: Rationalisierung und Nachhaltigkeit schließen sich nicht aus

Im Gegenteil: Denn die Beschränkung auf wesentliche Elemente und Eigenschaften reduziert die Baukosten und den Ressourcenverschleiß. Intelligente Vorfabrikation kann also durchaus ein gewichtiger Beitrag für nachhaltiges Bauen bilden. Hinweisen wäre dabei auch auf eine systematische Unterschätzung einheimischer Materialien und Techniken; namentlich der nachwachsende Rohstoff „Holz" bietet eine große Bandbreite industrialisierbarer Einsatzmöglichkeiten.

9. These: Systemsprünge fördern

Wir neigen dazu, Fragen des baulichen Bedarfs auf eine bestimmte – wie auch immer geartete – architektonische Antwort zu verkürzen. Demgegenüber wären sogenannte Systemsprünge dringend notwendig – d.h. der (nicht zuletzt intellektuelle) Umstieg auf Systeme, die ganz anders aussehen als bisher, aber die gleiche, womöglich sogar eine bessere Leistung liefern. Um es an einem Beispiel fest zu machen: Eine Schule ist bei einer solchen Betrachtung kein Gebäude mehr mit einer definierten Klassenfrequenz oder einer Schüler-Lehrer-Relation, sondern eine Dienstleistung für die Bildung junger Menschen. Sie könnte auch ganz anders – möglicherweise als Zwergschule, wohnungsnah und vernetzt – angeboten und betrieben werden. Solche und ähnliche Fra-

gen wären eben auch zu stellen, wenn wir Nachhaltigkeit in der und mittels Architektur erzielen wollen.

10. These: Gewohnheiten und Mentalitäten sind mindestens ebenso wichtig wie Hightech- Lösungen

Eine Architektur mit dem Anspruch, etwas Integriertes, Vernetztes, Umweltbewusstes zu schaffen, bleibt letztlich ein räumliches Konstruktionsgerippe, wenn nicht subjektive semantische Energien es zu einem Bild eines anderen Lebens ergänzen können. Mit Brennwertkesseln, Solarzellen, recycelbaren Baustoffen und Energie-Kostenvergleichen ist es nicht getan.

Vielmehr und ganz entschieden handelt es sich um eine Frage der Bereitschaft, der Bewusstwerdung, der mentalen Veränderung - und dieser Frage haben sich weder Architekten und Bauträger noch Bewohner und Betreiber in der notwendigen Tiefe gestellt. Kürzlich war der schöne Satz zu lesen: „Das energieeffiziente Gebäude und der schlampige Nutzer passen nicht zusammen." Insofern wäre es eine Illusion zu glauben, dass die bessere Technik (allein) es schon richten werde, wenn der Mensch selbst nicht mitspielt. Viele gutgemeinte und innovative Vorschläge seitens der Planenden verkennen offenbar tief eingefräste Gewohnheiten. Bei energetisch ‚hochgerüsteten' Gebäuden ist das Nutzerverhalten von entscheidendem Einfluss auf den Energieverbrauch. Ist man sich dessen nicht permanent bewusst oder stellt der Regelungsbedarf selbst eine Überforderung dar, dann nützen auch die schönsten Maßnahmen wenig.

Wer den Anspruch erhebt, der Umwelt und ihren Ressourcen angepasst zu bauen, darf eben nicht auf in sich geschlossene, höchst komplizierte technische Systeme bestehen, zu deren Regulierung es eines ingenieurtechnischen Hochschulabschlusses bedarf. Schumachers Axiom „small is beautiful" bietet eine Art Richtschnur - weniger im ideologischen Sinne als vielmehr in seiner Tendenz, dass nicht Großtechnologien, sondern benutzerorientierte, für den Einzelnen handhabbare Systeme zu kultivieren wären.

11. These: Nachhaltigkeit darf nicht mit Konsumverzicht und Askese gleichgesetzt werden!

Dem nachhaltigen Bauen hängt teilweise noch immer ein Verzichtsimage nach, das nicht immer zielführend und zugleich wenig attraktiv ist. Doch hier verändert sich etwas, und die entscheidenden Impulse dafür kommen ausgerechnet aus den USA, dem „Klimasünderland Nr. 1": Dort entwickelt sich eine Generation Environment, die aus Ereignissen wie dem Hurricane Katrina Konsequenzen ziehen will; Brad Pitt, der sich anschickt, in New Orleans eine Ökohaus-Siedlung zu errichten, ist nur ein prominentes Aushängeschild. Die neuen Ökos sind ethisch hochempfindsam, dabei konsumfreudig und statusbewusst; und sie haben mittlerweile in der Sozialwissenschaft sogar einen eigenen Milieu-Typus gebildet: den Lifestyle of Health and Sustainability, kurz: LOHAS. Ihr Produkt könnte man „green glamour" nennen, und das ist zumindest nicht widerspruchsfrei.

Aber selbst die taz wirbt zu ihrem 30. Geburtstag mit dem Slogan: „Wir waren schon LOHAS, als wir noch Ökos hießen." Bei aller Kritik, die man hier formulieren könnte, ist hier doch etwas Grundsätzliches interessant: Denn die Grundhaltung, das Leben zwar in vollen Zügen, aber nicht auf Kosten der Umwelt oder der Mitmenschen zu genießen, zeigt eine neue gesellschaftliche Richtung. Und baut zugleich eine Brücke zur letzten These.

12. These: Nachhaltige Architektur muss weg von einer mageren Entsagungsästhetik

Eine Frage, die zwar selten offen angesprochen, gleichwohl aber immens bedeutsam wird, ist die der Form und Erscheinung, weil sie eine Kerndomäne anspricht: Die Gestaltungskompetenz des Architekten. Wenn man Umweltenergien sinnvoll in das Gebäudekonzept direkt oder indirekt einbeziehen will, so kann das nicht ohne Auswirkungen auf die bauliche Gestalt bleiben. Doch wie sieht eine Architektur des „nachhaltigen Bauens“ aus?

In diesem Zusammenhang spricht ein Zitat des renommierten Architekten Peter Eisenman Bände: „To talk to me about sustainability is like talking to me about giving birth. Am I against giving birth? No. But would I like to spend my time doing it? Not really. I'd rather go to a baseball game.“ Nachhaltigkeit scheint für die Architektur ein Label zu sein, das viele abschreckt. Nun mag dies darauf zurückzuführen sein, dass frühe ökologische Architektur an Wohn- und Lebensformen gebunden wurde, die den konventionellen widersprachen (Aussteigermodelle, Landkommunen). Die damaligen Öko-Häuser sahen aufgrund eines missionarischen Anspruchs so aus, wie sie eben aussahen. Aber da hat sich viel geändert. Noch immer schwer fällt aber offenkundig die Umsetzung in Architektur. Nachhaltigkeit scheint die sinnlich-ästhetische Komponente weithin vergessen zu haben. Sie braucht aber ein lustvolles Element; wer will von einem hässlichen Gebäude schon wissen, dass es tüchtig ist. Ergo: Nachhaltigkeit muss attraktiv und aufregend gemacht werden, sie muss vor allem weg vom Image der „grauen Maus“.

Andererseits muss man darauf hinweisen: Es gibt keinen Nachhaltigkeits-Stil. Ein solches Bauen verlangt keine einheitliche Ästhetik und keine allgemeinverbindlichen Regeln, es sei denn diejenigen eines vernünftigen, die Umwelt nicht zerstörenden (zumindest nicht verschmutzenden) Verhaltens. Um es ganz platt zu sagen: Ein ‚nachhaltiges Gebäude' kann im Stil der Klassischen Moderne ebenso wie im Jugendstil oder der Postmoderne gebaut werden. Insofern ist auch der in Fachkreisen mitunter angeführte Widerspruch zwischen 'Gestaltung' und 'Umweltanspruch' ein scheinbarer.

Freilich darf man postulieren, dass das Rad nicht neu erfunden werden muss: Denn durch die komplizierten und umfangreichen Ökobilanzbewertungen von Gebäuden, die seit Anfang der 70er durchgeführt und stetig verfeinert werden, gelangen wir zu dem Ergebnis, dass die ursprünglichen Werte guter Baukunst am nachhaltigsten sind. Und dies gilt sowohl im Städtebau als auch in der Architektur.

4.1 Nachhaltigkeit
Nachhaltigkeit und Gebäudetransparenz – Von der Vermutung zur Berechnung

Holger König

Deutschland repräsentiert in Europa sicherlich einen hohen Baustandard und deutsche Ingenieursleistung genießt international einen sehr guten Ruf. Wieso hallt dann bei jeder neuen Verordnung aus Brüssel, die den Baubereich betrifft, der Ruf nach Überregulierung durch die Gassen. Bei genauerem Hinsehen ist dies nicht immer so. Verbessert eine Verordnung die Absatzchancen heimischer Produkte, dann ist diese seitens der Industrie willkommen. Störend werden vor allem Verordnungen empfunden, die mehr Transparenz für den Verbraucher schaffen.

1 Gesetz und Verordnungen in Europa

In den vergangenen Jahren gab es einige EU-Verordnungen, die nationales Recht verschärft haben und die von einigen Bauproduktherstellern als unnötiger Verwaltungsaufwand angesehen wurden:

- Das Bauproduktengesetz mit den Bauregellisten (BauPG)
- Das Chemikaliengesetz (ChemG, ChemVerbotsV)
- Die Gefahrstoffverordnung (GefStoffV)
- Das Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-AbfG)
- Die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP)
- Die Technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS)
- Das Produkthaftungsgesetz (ProdHaftG)
- Die Energieeinsparverordnung (EnEV).

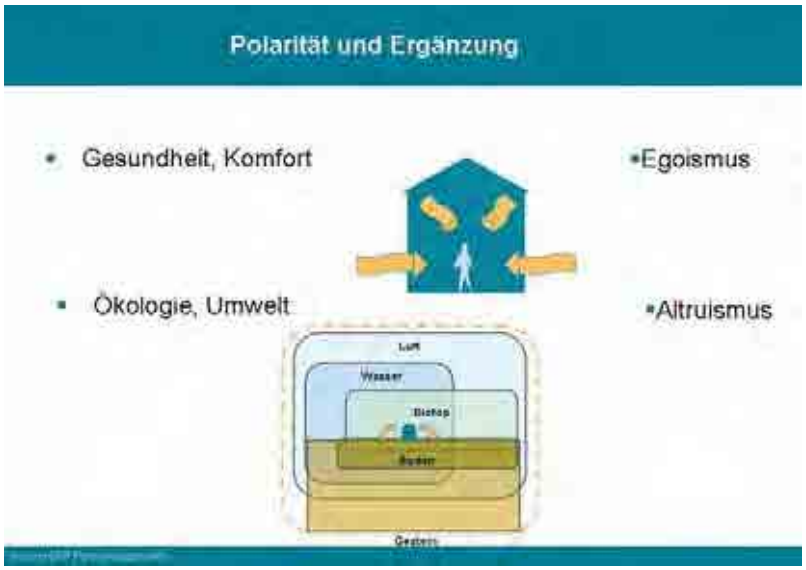


Abb. 1: Zwei Ziele

Alle diese Gesetze und Verordnungen haben ein gemeinsames Ziel: den Warenverkehr in der europäischen Union ökologischer zu machen und die damit verbundenen Risiken für alle Beteiligten zu minimieren. Damit ist die Bewegung für mehr Ökologie und Gesundheit im Bauwesen, die Anfang der 70er Jahre die ersten großen Skandale entfachte (Asbest, PCP) im Berufsalltag angekommen. Dass dies so unspektakulär über trockene Normen passiert, mag manchen Fundamentalisten enttäuschen. Der mit einer ins Baurecht übernommenen Norm oder mit einem Gesetz verbundene Umsetzungszwang hat dennoch weit reichende Folgen für die Baupraxis.

2 Zwei Themenfelder Ökologie - Gesundheit

Die EU bereitet seit dem Jahr 2000 auf den beiden großen Themenfeldern

- Ökologie = Reduzierung der Umweltbelastung
- Gesundheit = Reduzierung der Risiken.

weitere wichtige Verordnungen vor.

2.1 Das europäische Chemikaliengesetz

REACH steht für Registrierung, Bewertung und Zulassung von chemischen Stoffen und beinhaltet die Verschärfung des geltenden Chemikaliengesetzes. In Zukunft müssen alle produzierten Chemikalien, man spricht hier von „Zubereitungen“, am Sitz der Registrierungsstelle in Helsinki angemeldet werden. Dabei müssen in Abhängigkeit von der Produktionstonnage mehr oder weniger Stoffinformationen vorgelegt werden. Vor allem die Risikostoffe sollen in Zukunft besser erfasst werden. Damit sind jene ca. 1000 besonders be-

sorgniserregenden Stoffe gemeint, die als CMR-Stoffe, d.h. krebserzeugend, erbgutverändernd und fortpflanzungsgefährdend eingestuft sind. Diese Stoffe sind nicht zu verwechseln mit den Gefahrstoffen. Gefahrstoffe sind alle übrigen Stoffe, die aufgrund von wissenschaftlich anerkannten Methoden ein Gefährdungspotenzial aufweisen und in den entsprechenden Gefahrstofflisten aufgeführt sind, das sind ca. 5.500 Stoffe. Entscheidend ist dabei eine eindeutige Regelung der Verantwortlichkeit in der Produktkette vom Hersteller bis zum Handwerker. Jeder ist dem nachfolgenden Abnehmer zur Auskunft verpflichtet.

Diese Verschärfung der Deklarationspflicht ist eine der Lehren, die aus den umfangreichen Altlastensanierungen gezogen werden kann, die das Bauen im Bestand finanziell erheblich belasten. Fungizide, Pestizide, Feinstäube, Kohlenwasserstoffemissionen usw., dieses späte Erbe der Bauproduktion der 50er – 80er Jahre kostet heute die Immobilienwirtschaft Milliarden. Dies soll und darf sich nicht noch einmal wiederholen. Von der „Volldeklaration aller Inhaltsstoffe" ist man aber noch immer weit entfernt.

2.2 Umweltwirkung von Gebäuden

Das andere große Thema der Normengesetzgebung für das Bauwesen ist die Klärung der Umweltbelastung durch Bauprodukte. Seit den 80er Jahren werden in internationalen Forschungsprojekten die Stoff- und Energieströme der Produktion insgesamt erfasst, berechnet und bewertet. Auch für den Baubereich liegen entsprechende Daten vor. Die Regeln für Umweltproduktdeklarationen (engl. EPD) werden zurzeit aus der ISO-Normung in die europäische Normung übertra-

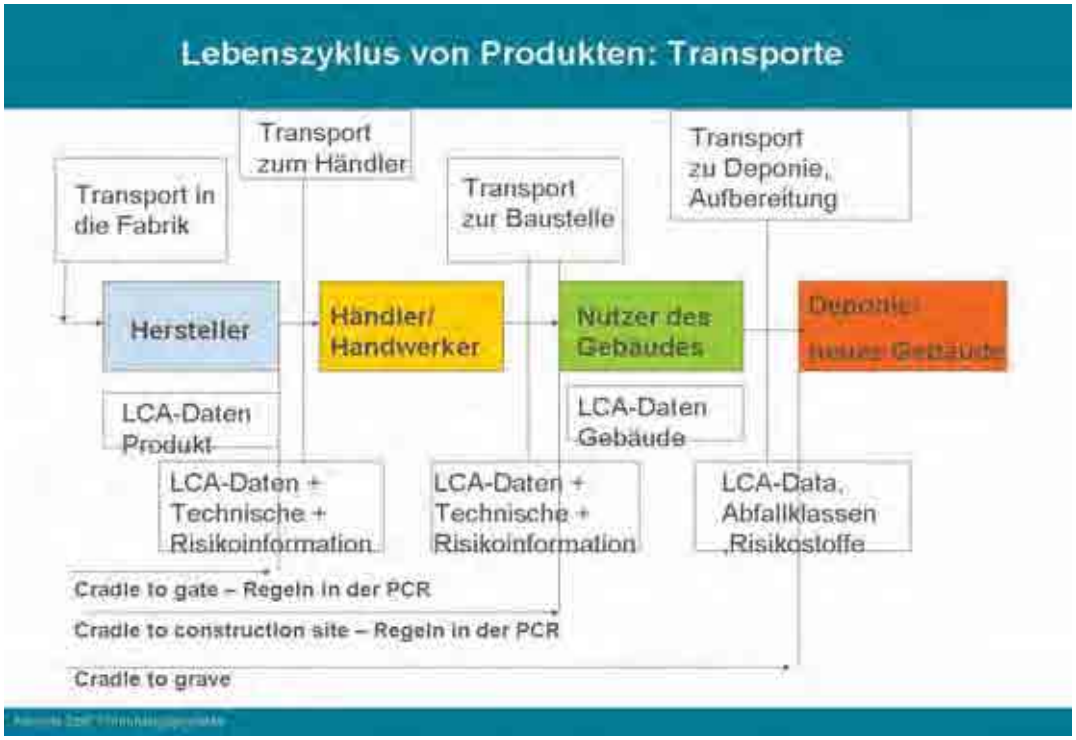


Abb. 2: Produkte und Informationskette

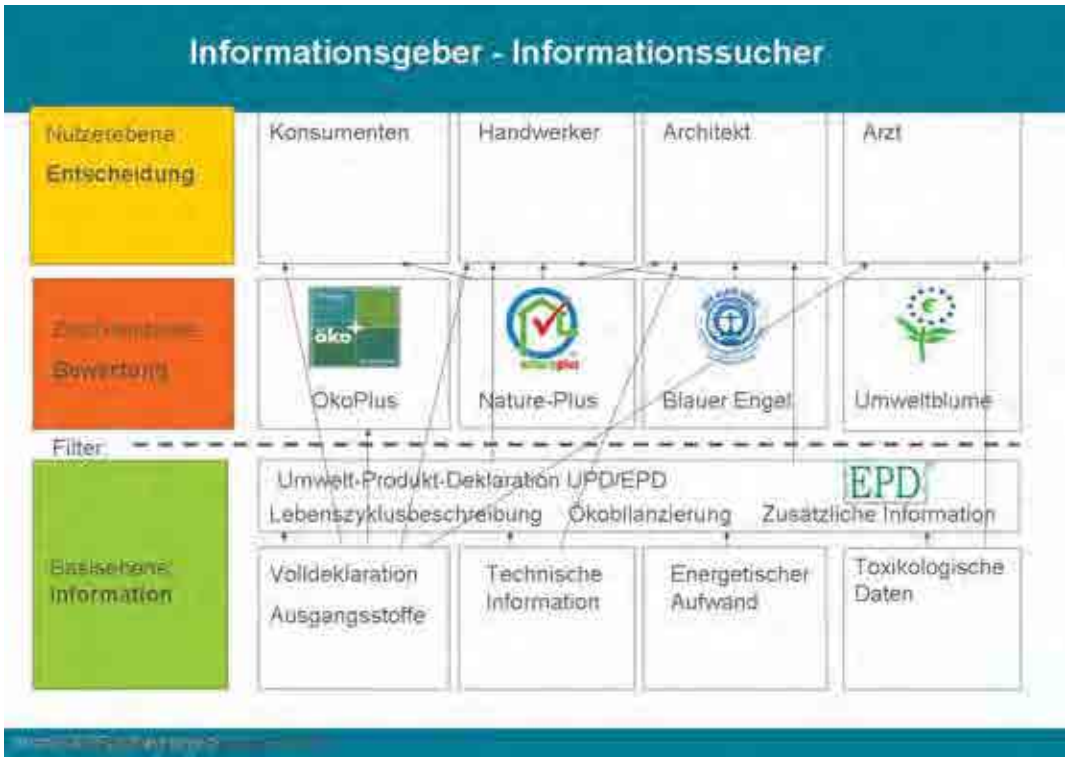


Abb. 3: Informationsgeber - Informationssucher

gen (TC 350 „Sustainability in Construction Works). Mit diesem Dokument, das ein Bauproduktthersteller seinen Kunden zu Verfügung stellt, sollen die Umweltbelastungen durch verschiedene Indikatoren für den Käufer oder Nutzer des Produkts kenntlich gemacht werden. Diese Daten sind nicht bewertend, d.h. eine eindeutige Kaufunterstützung wie bei den Effizienzklassen für einen Kühlschrank darf man hier nicht erwarten. Die Daten sind aber notwendige Voraussetzung für die vollständige Bilanzierung eines Gebäudes hinsichtlich seiner Umweltbelastung. Man muss deshalb sorgfältig zwischen Informationen (nicht bewertet) und Label (bewertete Information) unterscheiden. Für den Informationssucher stehen dafür in Zukunft unterschiedliche Quellen bereit.

2.3 Das Deutsche Gütesiegel für nachhaltiges Bauen

Der letzte Baustein in der sich aufbauenden Informationskette ist die zu erwartende Gebäudezertifizierung, die 2008 in Deutschland eingeführt wird. Grundlage dieses Bausteins ist das gemeinsam vom BMVBS und der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB) entwickelte System zur Beschreibung, Bewertung und Zertifizierung des Beitrages von Einzelbauwerken zu einer nachhaltigen Entwicklung - das „Deutsche Gütesiegel Nachhaltiges Bauen“. Der Bund, als auch die Deutsche Gesellschaft für nachhaltiges Bauen haben ein Zertifizierungssystem entwickelt. Beide Systeme sollen aufeinander abgestimmt werden. Die Schutzziele der Zertifizierung umfassen sechs Aspekte:

- Standortqualität und Lage
- Prozessqualität
- Ökonomie

- Ökologie
- Technik
- Soziales und Funktion.

Jeder Teilaspekt erhält im Rahmen des Gesamtsystems seine Bedeutung durch die Gewichtungsprozente (Abb. 4). Durch einen Übergang von überwiegend qualitativen zu überwiegend quantitativen Bewertungskriterien treten Aspekte einer unmittelbaren und direkten Beurteilung und Einbeziehung von Bauteilen und Systemen (z.B. Regenwassernutzung, Gründach) bzw. von Bauprodukten (z.B. Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen, Einsatz von Recyclingbaustoffen) in den Hintergrund. Diese müssen und können nun im Rahmen einer quantitativen Bewertung ihre Vorteile z.B. über die Ökobilanzierung und Lebenszykluskostenrechnung oder auch über die Wirkung auf Komfort und Nutzerzufriedenheit ausdrücken. Insofern besteht ein Bedarf an dafür geeigneten Informationen und Rechen- / Bewertungsregeln. Bauprodukte selbst sind daher also nicht ein unmittelbarer Betrachtungs- und Bewertungsgegenstand – sie sind vielmehr Quelle von Informationen, die in ihren Auswirkungen auf das Bauwerk und seinen Lebenszyklus zu bewerten sind.

Die gezielte Beeinflussung von Planungs- und Investitionsentscheidungen in Richtung einer noch stärkeren Beachtung von Prinzipien einer nachhaltigen Entwicklung setzt u.a. voraus, dass wesentliche Merkmale und Eigenschaften von Gebäuden wie z.B. die Ressourceninanspruchnahme, die Wirkungen auf die Umwelt, die Lebenszykluskosten, die Einflüsse auf Wertstabilität und Wertentwicklung, die Qualität der funktionalen Lösung, die Einflüsse auf die Nutzerzufriedenheit sowie ausgewählte technische Eigenschaften beschrieben, bewertet und ggf. gegenüber Dritten kommuniziert werden können.

Die Fragen der Bewertung der Nachhaltigkeit lassen sich somit nicht auf die Empfehlung oder den Ausschluss von Bauprodukten reduzieren. Vielmehr müssen alle Produkte durch Bereitstellung geeigneter Informationen nachweisen, dass sie – auch quantitativ belegbar – zur z.B. ökologischen und ökonomischen Vorteilhaftigkeit von Gebäuden beitragen. Dies trifft auch und insbesondere für Bauprodukte aus nachwachsenden Rohstoffen zu, die bisher häufig „gefühlsmäßig“ als positiv und als Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung angesehen wurden. Nun geht es darum, dies auch zu belegen, zu quantifizieren und nachzuweisen.

Abb. 4: Gewichtung der Säulen im Zertifizierungssystem

3 Wirkungen auf die globale Umwelt - Ökobilanz

Mit den Kriterien 01 – 05 des Zertifizierungssystems werden die Wirkungen auf die globale Umwelt auf Basis einer Ökobilanz beschrieben. In diese Ökobilanz fließen ein:

- die Herstellung und Errichtung des Bauwerkes inkl. aller energetischer und stofflicher Vorstufen,
- die Instandhaltung über einen Betrachtungszeitraum hinweg (inkl. aller energetischer und

stofflicher Vorstufen, der Herstellung, der Baustellenprozesse, der Rückbau- und Entsorgungsprozesse)
- der Aufwand für die Beheizung, Warmwasserbereitung, Kühlung und Klimatisierung und für die Beleuchtung inkl. der Antriebs- und Hilfsenergie über einen Betrachtungszeitraum hinweg,
- Rückbau und Entsorgung.

Derzeit ist der Betrachtungszeitraum (unabhängig von der ggf. längeren Nutzungsdauer des Gebäudes) auf 50 Jahre festgelegt. Der Anteil an der Ökobilanz über 50 Jahre, der durch die Bauproduktauswahl unmittelbar beeinflusst wird, beträgt je nach Kriterium zwischen 20 und 40%.

Für Holz und Holzwerkstoffe werden Ökobilanzdaten benötigt. Diese sind erforderlich in Form hersteller- und produktneutraler Daten für frühe Phasen der Planung sowie ggf. zusätzlich in Form hersteller- und produktspezifischer Daten für spätere Phasen der Planung. Es wird empfohlen, sich bei der Bereitstellung von Daten an den EPD (environmental product declaration) zu orientieren.

Abb. 5: Ökobau.dat mit Angaben zu Basisstoffen

Hersteller- und produktneutrale Datensätze werden für die Ökobilanzierung von Gebäuden über die Internetplattform des BMVBS öffentlich zur Verfügung gestellt (siehe detaillierte Informationen, Hinweise und Daten zur Datenbank ÖkoBAUdat unter www.nachhaltigesbauen.de/baustoff-und-gebaeudedaten/oekobaudat.html).

Da es für eine Planer kaum möglich ist die Inhaltstoffe seiner Konstruktionen bis in alle Einzelheiten für eine korrekte Ökobilanz zu erfassen, wird empfohlen, die Informationen nicht nur für Holz und Holzwerkstoffe sondern auch für komplette Konstruktionen („Elemente“) zur Verfügung zu stellen. Dies wird bereits in der für den Baubereich konfigurierten Datenbank „LEGEP“ umgesetzt. Es werden für mehrere tausend Konstruktionen die Inhaltsstoffe auf der Basis von Materialangaben in der Ausführungsposition erfasst. Durch Zusammenbau der Positionen zu Schichtelementen und Konstruktionselementen werden dem Planer hochkomplexe, vollständig beschriebene Bauelemente mit allen benötigten Daten zum
- Herstellungspreis
- U-Wert
- Reinigungs- Wartungs-, Instandsetzungskosten
- Rückbau und Entsorgungsaufwand
- Umweltbilanz

zur weiteren Bearbeitung im Projekt zur Verfügung gestellt.

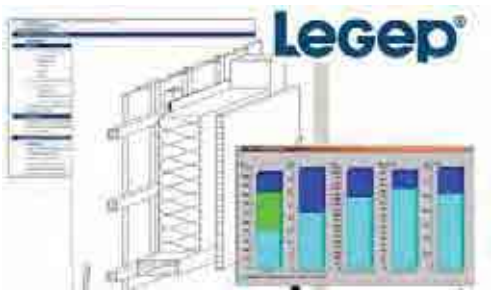


Abb. 6: Bauelemente in der LEGEP-Datenbank mit grafischer Auswertung der Umweltbilanz

Zur Abschätzung der Umweltwirkungen im Zusammenhang mit der Instandhaltung sind Angaben zur technischen Lebensdauer, zur durchschnittlichen Verweildauer sowie zu Instandsetzungszyklen erforderlich. In Bezug auf Durchschnittsdaten wird momentan auf den Leitfaden Nachhaltiges Bauen zurückgegriffen. Eine Aktualisierung, Erweiterung und Präzisierung derartiger Angaben ist derzeit Gegenstand von Forschungsaktivitäten – siehe u.a.
www.nachhaltigesbauen.de/baustoff-und-gebaeudedaten/nutzungsdauern-von-bauteilen.html

4 Gesundheit und Risiken

Die Innraumluftqualität von neu errichteten Bürogebäuden wird u.a. auf der Basis von Messungen in ausgewählten Referenzräumen beschrieben und bewertet. Messtechnisch wird die Konzentration folgender Substanzen in der Raumluft erfasst und bewertet: TVOC als Summenparameter, Toluol, Pentachlorphenol, Dichlormethan, Styrol, Tris-2-chlor-ethylphosphat, bicyclische Terpene, Naphtalin. Aliphatische Kohlenwasserstoffe, Formaldehyd. Es wird eine Messung 4 Wochen nach Fertigstellung jedoch noch vor Möblierung vorgegeben. In der derzeitigen Phase der Erprobung und Einführung erfolgt eine Konzentration auf TVOC und Formaldehyd. Eine Auseinandersetzung mit den Emissionspotenzialen bei übrigen Stoffen wird dennoch empfohlen.

Hersteller und Anbieter können durch das Ausweisen von Emissionswerten und Abklingkurven sowie insbesondere durch eine Kennzeichnung emissionsarmer Bauprodukte (u.a. nach AgBB-Schema bzw. unter Verwendung des „Blauen Engels“) die Planer bei der Einhaltung vorgegebener Immissionsgrenzwerte unterstützen. In der Phase der Erprobung und Einführung des Systems kann der Nachweis des Einsatzes emissionsarmer Produkte ersatzweise für die Bewertung der Einhaltung von Anforderungen an die Sicherung einer ausreichenden Innenraumluftqualität herangezogen werden.

Die bereits erwähnten Informationsquellen REACH und Umweltproduktdeklaration liefern die Basis für die Bauproduktbewertung. In der neuen DIN/EN 15251 werden schadstoffarme und besonders schadstoffarme Gebäude definiert. Diese Definitionen werden in Zukunft bei Gebäudezertifizierung und in der Folge bei der Auswahl bestimmter Produkte erheblichen Einfluss haben. Die Hersteller von Holzwerkstoffe haben in der Vergangenheit bereits erhebliche Anstrengungen in Richtung Emissionsreduzierungen unternommen. Allerdings ist abzusehen, dass Emissionen aus Holzinhaltsstoffen in Zukunft umfangreicher als bisher gemessen werden und geringere Belastungstoleranzen akzeptiert werden müssen.

Abb. 7: Holzwerkstoffe und Innenraumluftbelastung

Komplexe Zusammenhänge und Überprüfungen von Risiken und Gefahren können nur mit einer qualifizierten Datenbank erfasst, strukturiert und ausgewertet werden. Die Deutsche Bundesstiftung Umwelt hat hierzu Fördermittel bereitgestellt, um eine entsprechende Produkt- und Stoffdatenbank (PDM) entwickeln zu können, die sämtliche angemeldeten und registrierten Stoffdaten erfasst. Neben den gesetzlich geregelten Einstufung- und Kennzeichnungsvorgaben werden eine Vielzahl von Quellen berücksichtigt, die eine Grundlage für die Rezepturerfassung dar-

stellt und Produkteinstufungen ermöglicht. Auf dieser Basis können Investoren und Entscheider die gesundheitsverträgliche Qualität eines Bauwerkes erheblich beeinflussen und festlegen, welche Produkte mit welchen Risken und Gefahren im Gebäude verwendet bzw. eingebracht werden dürfen. Nachhaltige Produkte und Bauwerke können nicht mit beliebigen Materialien ausgeführt werden. Die erhöhten Anforderungen an die Raumluftqualität in Innenraumen werden insbesondere bei den künftigen Energie- und Dämmstandards wichtig, da die Dichtigkeit der Gebäude zwangsläufig zu einem geringeren Luftaustausch führt und damit zu einem erhöhten Schadstoffniveau in Innenräumen.

Die DIN EN 15 251 „Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden – Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik" definiert schadstoffarme und sehr schadstoffarmen Produkte und Gebäude.

5 Planungs- und Bewertungshilfsmittel

Architekten, Planer oder Bauträger müssen in der heutigen Bauplanung schon zu einem frühen Planungszeitpunkt relativ genaue Angaben zum Bauvorhaben machen. Auf dem Markt stehen dem Planer dafür eine Vielzahl von Hilfsmitteln für die verschiedensten planerischen Tätigkeiten zur Verfügung. Entsprechend der zu leistenden Aufgabe wählt der Planer ein Planungs- oder Bewertungsmittel, nachfolgend auch als Tool bezeichnet, welches diese Aufgabe zu lösen hilft.

Es können hierbei verschiedene Arten von Planungshilfsmitteln unterschieden werden. Zum einen die grafischen Planungswerkzeuge, CAD-Programme wie etwa AutoCad Architecture, ArchiCad, die bei der Planung und Umsetzung eines Objektes eingesetzt werden. Sie unterstützen den Planer bei der Konstruktion, der Architektur und der Erstellung von Plänen. Sie ermöglichen jedoch keinen quantitativen Vergleich zweier Lösungsvarianten bzw. deren Optimierung. Dafür wird die zweite Art von Planungswerkzeugen, die Berechnungs- und Bewertungswerkzeuge, die den Planer beim Vergleich verschiedener Umsetzungsvarianten und der Auswahl der optimalen Lösung unterstützen, eingesetzt. Es wird eine ökonomische wie auch ökologische Gegenüberstellung ermöglicht, mit dem Ziel eine nachhaltige Lösung des Projektes zu analysieren. Beispiele für solche Berechnungs- und Bewertungstools sind LEGEP und bauloop. In der Schweiz wird ein Planungswerkzeug eingesetzt, (OGIP), das ähnlich wie LEGEP strukturiert ist. In Österreich wurde ein Zertifizierungsprogramm mit Namen TotalQuality entwickelt. Mittels eines Kriterienkataloges mit Handbuch und eines Eingabeprogramms werden Kennziffern für Gebäude ermittelt und bewertet. Anhand von alternativen Eingaben kann man eine vorteilhafte Lösung ermitteln. Eine elementbasierte Datenbank mit ökonomischen und ökologischen Daten steht hierbei nicht zu Verfügung. Eine dritte Art von Planungshilfsmitteln sind die Informationstools. Diese dienen dem Planer als Informationsquelle für die zu bewältigenden Aufgaben. Informationstools ermöglichen in der Regel keine Modellierung eines Projektes, sondern unterstützen die Arbeit mit anderen Tools durch die Sammlung von Hintergrundwissen zu einem Themengebiet. Typische Vertreter dieser Klasse sind ECOBIS und WINGIS. ECOBIS stellt eine Informationsplattform dar, auf der sich der Planer zu ökologischen Gesichtspunkten von Bau- und Bauhilfsstoffen umfassend informieren kann. Eine Spezialform der Informationstools sind die Datenbanken, die Informationen zu einem bestimmten Wissensgebiet in strukturierter Weise bereitstellen. Als Beispiel seien genannt ecoinvent, probas, BKI-Baukosten-Datenbank.

5.1 Das Informationstool ECOBIS

ECOBIS steht für „**öko**logisches **B**austoff**I**nformations**S**ystem". Es hält bauproduktgruppenspezi-

ische Informationen zu Umwelt- und Gesundheitsfragen in den Lebensphasen Rohstoffe, Herstellung, Verarbeitung, Nutzung und Nachnutzung als beschreibende Textinformation bereit. Basis dieser Informationen sind in erster Linie Auswertungen der Fachliteratur, sowie der Informationen und der Angaben von Herstellerverbänden, Herstellern, wissenschaftlichen Instituten und Behörden. Damit soll es dem Planer ermöglicht werden, aus einer unübersichtlichen Menge von Bauprodukten jene herauszufiltern, welche den Umwelt- und Gesundheitsaspekten in gefordertem Umfang entsprechen. Darüber hinaus enthält ECOBIS das komplette Gefahrstoffinformationssystem der Bauberufsgenossenschaft (GISBAU) WINGIS. Dieses ermöglicht eine umfassende Information über die Gesundheitsauswirkungen und rechtlichen Anforderungen bei der Verarbeitung von Bauproduktgruppen und Bauprodukten. Zu beachten ist, dass ECOBIS keine Angaben zu spezifischen Produkten einzelner Hersteller enthält, sondern Informationen produktneutral auf der Produktgruppenebene bereitstellt. Für detaillierte Anfragen an Hersteller einzelner Produkte steht ein Deklarationsraster zur Verfügung, welches im Wesentlichen auf den Ausarbeitungen des schweizerischen Ingenieur- und Architektenvereins (SIA) beruht. ECOBIS enthält Informationen zu folgenden elf Bauproduktgruppen:

- Abdichtung
- Bauglas
- Bauplatten
- Bodenbeläge
- Dämmstoffe
- Holz & Holzwerkstoffe
- Klebstoffe
- Massivbaustoffe
- Metalle
- Mörtel & Estrich
- Oberflächenbehandlung

Außerdem werden Informationen zu drei Grundstoffgruppen bereitgestellt.

- Bindemittel
- Kunststoffe
- Zuschläge

Eine tiefer greifende Analyse der bereitgestellten Informationen zeigt, welche Auskünfte sich in den einzelnen Lebensphasen finden lassen.

Allgemeine Informationen: Anwendungsbereich, Technische Daten

Herstellung: Prozesskette, Ökobilanzdaten, Arbeitsschutz

Rohstoffe: Zusammensetzung, Verfügbarkeit

Verarbeitung: Arbeitshygienische Risiken, Lösemittelemissionen, Oberflächenbehandlung

Nutzung: Beständigkeit, Nutzungsdauer, Reinigungs-/ Unterhaltsaufwand, Schadstoffabgabe, Brandverhalten, Radioaktivität

Nachnutzung: Wiederverwertung, stoffliche bzw. energetische Verwertung, Deponierung, Abfallschlüssel

ECOBIS 2000 wurde als umfassendes Nachschlagewerk auf CD-Rom herausgegeben. Zusätzlich werden Verknüpfungen zu weiterführender Literatur/Links bereitgestellt.

Im Rahmen der Umstellung von ECOBIS auf eine internetbasierte Anwendung erhält ECOBIS einen neuen Namen. Aus ECOBIS 2000 wird WECOBIS, was für „**w**ebbasiertes **öko**logisches **B**austoff**I**nformations**S**ystem“ steht.

5.2 Das Bewertungstool LEGEP

LEGEP ist ein Werkzeug für die lebenszyklusbezogene Planung und ökologisch-ökonomische Bewertung von Gebäuden. Es unterstützt das Entwerfen, Berechnen und Bewerten von Bauobjekten. Dazu bietet LEGEP vier Module an, mit denen sich unterschiedliche Fragestellungen in der Planung beantworten lassen:

LEGEP - Kostenplanung
LEGEP - Wärme und Energie
LEGEP - Lebenszykluskosten
LEGEP - Ökologie

Mit dem Modul LEGEP – Kostenplanung wird dem Planer eine Mengenermittlung sowie eine Baukostenberechnung anhand der DIN 276 Erstellungskosten möglich. Das LEGEP Modul Wärme und Energie unterstützt die Ermittlung des Energiebedarfes (Heizung, Warmwasser, Elektrizität) eines Bauwerkes und der damit verbunden Betriebskosten. Des Weiteren ermöglicht dieses Modul die Erstellung des Energiebedarfsausweises nach EnEV 2001 und EN 832. Eine Lebenszykluskostenberechnung differenziert nach Phasen (Reinigung, Wartung, Instandsetzung, Rückbau) kann unter Zuhilfenahme des Moduls LEGEP – Lebenszykluskosten erfolgen. Das vierte Module LEGEP – Ökologie kann vom Planer zur Erstellung einer Umweltbilanz unter Betrachtung der Stoffflüsse basierend auf der DIN ISO 14040-43 herangezogen werden.

Alle vier LEGEP-Module arbeiten mit denselben Basisdaten. Diese Daten werden in einem unabhängigen Bauteilkatalog (sirAdos-Baukatalog) verwaltet und ermöglichen dem Planer im Entwurfsprozess mit Bauelementen zu arbeiten, welche mit Kostendaten, bauphysikalischen Daten und Energie- und Stoffflusskoeffizienten hinterlegt sind.

Die Datenbereitstellung basiert auf Marktrecherchen, Analysen der Fachliteratur sowie Herstellerangaben. Zusätzlich werden DIN-Normen ausgewertet und Informationen aus Datenbanken (z.B. ecoinvent) hinzugezogen.

LEGEP arbeitet als Anwendung mit einer grafischen Benutzeroberfläche, die auf einer relationalen Datenbank aufbaut.

5.3 Anbindung von WECOBIS

Kurz nach Erscheinen der Ecobis-CD-Rom im Jahr 2000 wurde seitens der LEGEP -Software GmbH (damals LEGOE-Software GmbH) der Wunsch an das BMVBS (vormals BMVBW) und die Bayerische Architektenkammer herangetragen, die Inhalte der CD-ROM mit der Positions- und Elementdatenbank von sirAdos zu verknüpfen und dies mit den Programmfunktionen von LEGEP den Nutzern komfortabel zugänglich zu machen.

Da die Inhalte 2003 bereits teilweise durch neue DIN-Regelungen überholt waren, wurde der Architektenkammer auch die Überarbeitung der Daten angeboten. Dieses Angebot wurde damals von Seiten der Bayerischen Architektenkammer ohne Angabe von Gründen abgelehnt.

Durch die Umstellung von Ecobis auf eine webfähige Version wird eine Informationsabfrage von jedem beliebigen Rechner mit Internetzugang ermöglicht. Innerhalb des Projektes wird demonstriert, wie diese Information aus einem Planungsprogramm wie LEGEP aufgerufen werden kann: Damit soll die Möglichkeit einer zielgerichteten Abfrage sowohl bei der Materialsuche, als auch während der Projektbearbeitung demonstriert werden.

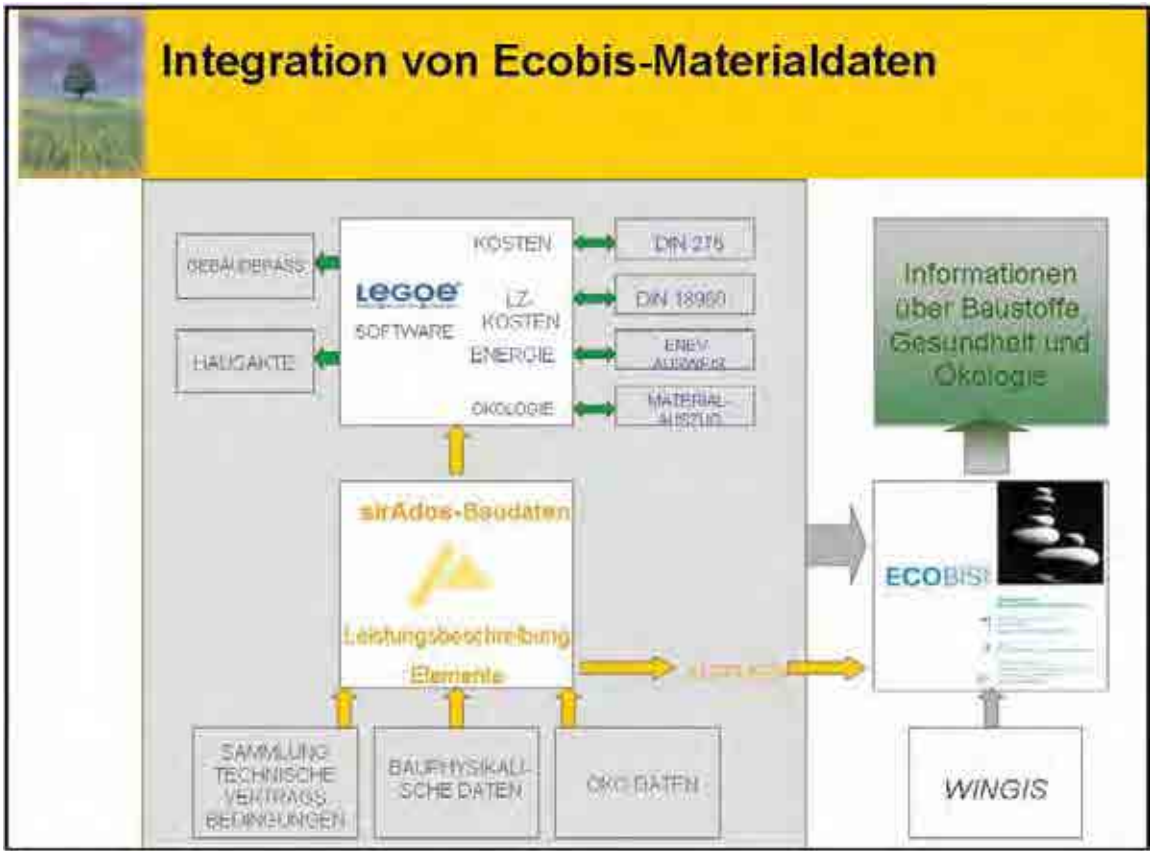


Abb. 8: Integrationsmodell ECOBIS-LEGEP 2003

5.4 Abfrage bei der Materialsuche

Da WECOBIS die Information auf der Material-, bzw. der Produktebene zu Verfügung stellt, ist die Bezugsebene innerhalb der LEGEP-Software ebenfalls die Materialebene. Die Materialdatenbank liegt zwischen den Datenbanken der Sachbilanzmodule und der Positionsdatenbank.

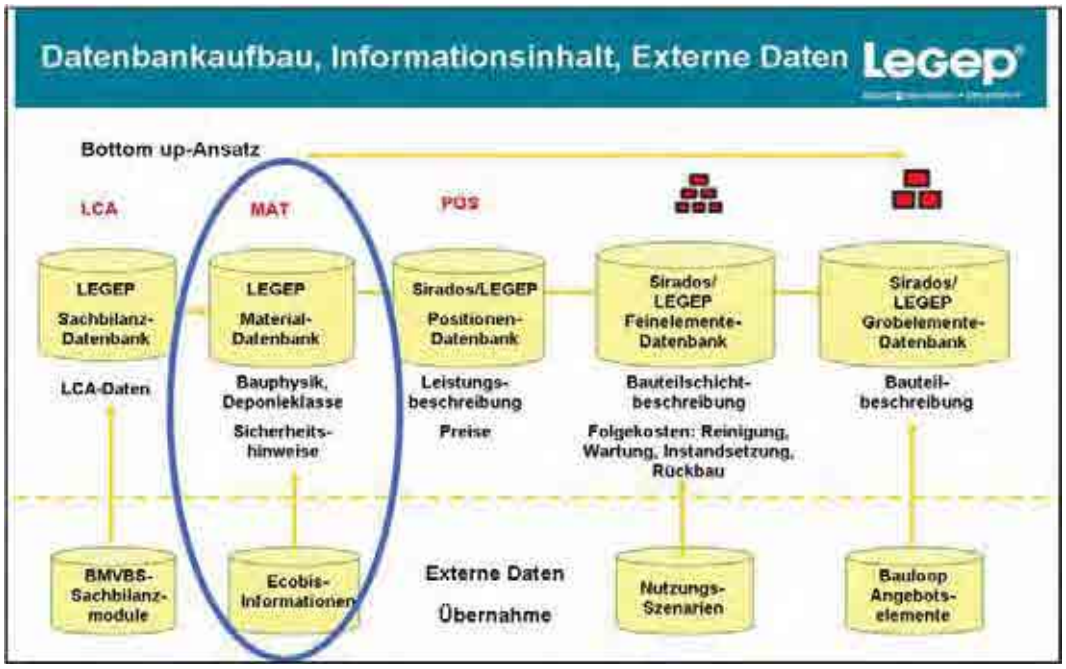


Abb. 9: Verknüpfung in der Datenbank zwischen Material-Position-Sachbilanz

Die Inhalte der Materialdatenbank von LEGEP sind sowohl „generisch", d.h. sie beziehen sich auf unspezifische Materialien oder Bauprodukte, wie z.B. einen Hochlochziegel, als auch „spezifisch", d.h. sie beziehen sich auf herstellerspezifische Produkte, z.B. einen Unipor-Ziegel mit Sonderzulassung. Die Gliederung der Materialdatenbank ähnelt in der Grundstruktur der WECOBIS-Datenbank.

Darüber hinaus werden dem Bearbeiter diejenigen Materialien in seinem aktuellen Projekt angezeigt, für die in WECOBIS-Datenbank Informationen bereitgestellt werden. Diese kann er dann über den Internetzugang abrufen und sich anzeigen lassen.

Die Datenbankstruktur erlaubt beliebige Verknüpfungen. Die Materialien sind sowohl in Richtung Sachbilanzdaten verknüpft, als auch in Richtung Positionen. Eine weitere Programmfunktion erlaubt die Zuordnung von Informationsinhalten. Diese können beliebige Formate besitzen. Zurzeit ist eine Gruppe von Materialien mit Schadstoffinformationen in Form von Dokumenten verknüpft.

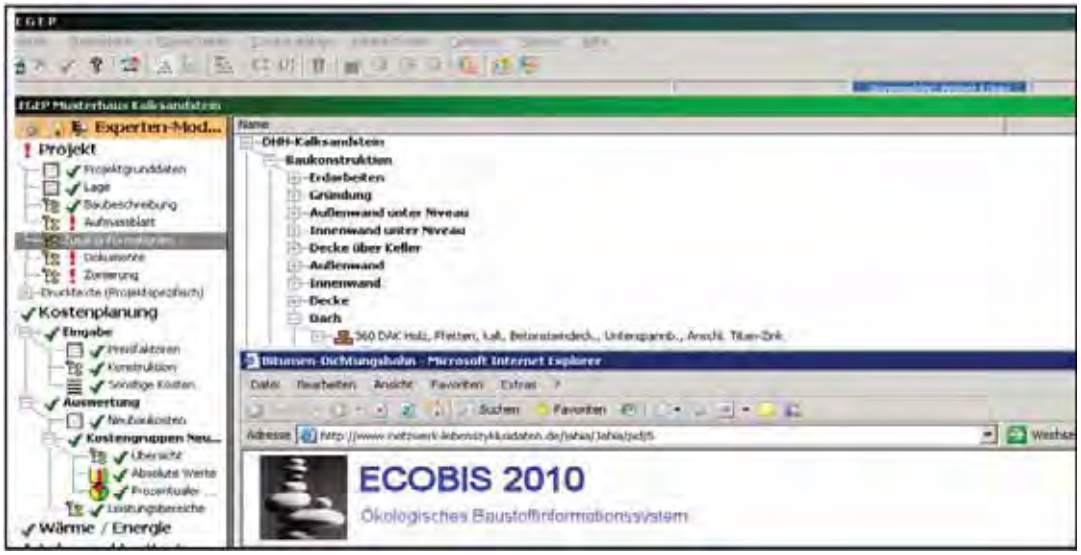


Abb. 10: Aufruf der Materialinformation aus WECOBIS über Internet

5.5 Ausblick

Der Vorteil der projektbezogenen Web-Abfrage liegt in der spezifischen Informationsbereitstellung „on demand". Dies reduziert den Rechercheaufwand auf die Fragestellungen, die im Projekt relevant werden.

Ein weiterer Vorteil der Netzversion besteht in der Verlinkung mit anderen online-Datenbanken. So ist ein Zugriff auf die Informationen der GISBAU-Datenbank „WINGIS" der Berufsgenossenschaften möglich. Viele Inhaltsstoffe und alle Schadstoffe werden mit den Informationen über die Risiken verknüpft, z.B. den R- und S-Sätzen. Diese Hinweise sind besonders für die Identifizierung von Risiken für die handwerkliche Anwendung von großer Bedeutung.

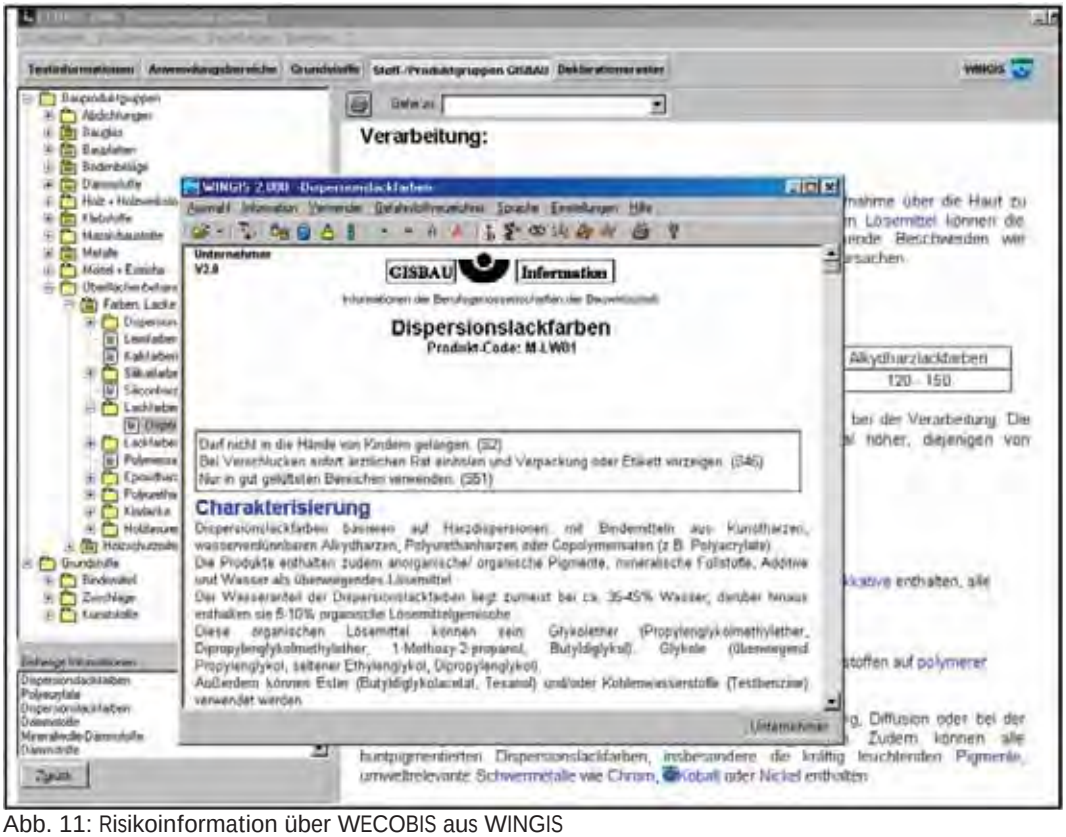


Abb. 11: Risikoinformation über WECOBIS aus WINGIS

Dieses Beispiel soll die zukünftigen Möglichkeiten einer digitalen Informationskette aufzeigen, wenn die Inhalte intelligent verknüpft werden.

6 Schlussfolgerung

Bei einer Gesamtbetrachtung aller laufenden Prozesse und Innovationen, die den Baubereich betreffen, wird deutlich, dass sich das Bauen in Deutschland aus der

- Preisnachfrage - der Billigste bekommt den Zuschlag – entfernen wird hin zu der
- Qualitätsnachfrage - Was bekomme ich für mein Geld?

Der demographische Wandel und die Entwicklung der Energiepreise werden diesen Prozess noch beschleunigen. Sehr gute Gebäude werden nachweisen müssen, dass sie für einen bestimmten Preis:

- einen niedrigen Energieverbrauch aufweisen
- hohen Komfort und Nutzerzufriedenheit
- günstige Nutzungskosten
- bei Rückbau und Entsorgung keine Probleme bereiten.

Dass eine derartige Leistung nicht unmöglich ist, haben in den letzten Jahren immer wieder besondere Gebäude in Deutschland bewiesen. Mit der integralen Software LEGEP wurden diese Gebäude während der Planungsphase begleitend berechnet. Durch die Auswertung der Daten zu Baukosten, Nutzungskosten, Energiebedarf und Umweltbelastung konnten die Entscheidungen der Planer kritisch reflektiert und optimiert werden. Einige dieser Gebäude wurden im Programm „Solarbau“ des Bundeswirtschaftsministeriums gefördert. Das gezeigte Beispiel der „Lebenshilfe Lindenberg“ im Allgäu, geplant vom

Abb. 12: Solarbauprojekt „Lebenshilfe Lindenberg“, Arch. Lichtblau

Architekturbüro Lichtblau in München, hat durch Berechnung und Monitoring nachgewiesen, dass diese Lösung eine heute bereits bezahlbare Alternative für Bauherren und Investoren darstellt. Für die integrale Planung wurde ein als Software LEGEP eingesetzt.

Nachhaltigkeit beim Bauen soll mehrere Aspekte gleichermaßen berücksichtigen:

- das Prinzip der Wirtschaftlichkeit,
- die Umweltbelastung,
- die Gesundheit und Kultur.

Mit den beschriebenen Entwicklungen sind Europa und Deutschland auf einem guten Weg.

4.1 Nachhaltigkeit
Nachhaltigkeit von Holz und Holzprodukten

Dagmar Fritz-Kramer

1 Allgemeines

Das Thema Nachhaltigkeit ist heute in aller Munde und wird im Moment in allen Bereichen für Marketingzwecke missbraucht. Dennoch gibt es einige reale Kernpunkte, die unter Nachhaltigkeitsaspekten auch für die Holzwirtschaft betrachtet werden sollten. Diese sind:

1. Nachhaltigkeit der verwendeten Rohstoffe
2. Nachhaltiger Herstellungsprozess (soziologisch und ökologisch)
3. Umwelteinflüsse des fertigen Erzeugnisses
4. Einfluss auf den Nutzer (Sicherheit, Emissionen, Wohngesundheit)
5. Nachhaltigkeit der Verwertung der Produkte nach Nutzung (Recycling, Downcycling, Wiederverwertung)

Unter diesen 5 Aspekten gilt es, die Nachhaltigkeit jedes Produktes zu prüfen. Beleuchtet man nach diesen Gesichtspunkten den Produktkreislauf eines Einfamilienhauses, so lassen sich die einzelnen Phasen im Produktkreislauf darstellen und auch berechnen (Abb. 1).

Bei einer genaueren Betrachtung der Einzelschritte im Produktkreislauf ergeben sich für das fertige Produkt aus dem nachwachsenden Rohstoff Holz unglaubliche Vorteile gegenüber den konventionellen industriell produzierten Bauprodukten.

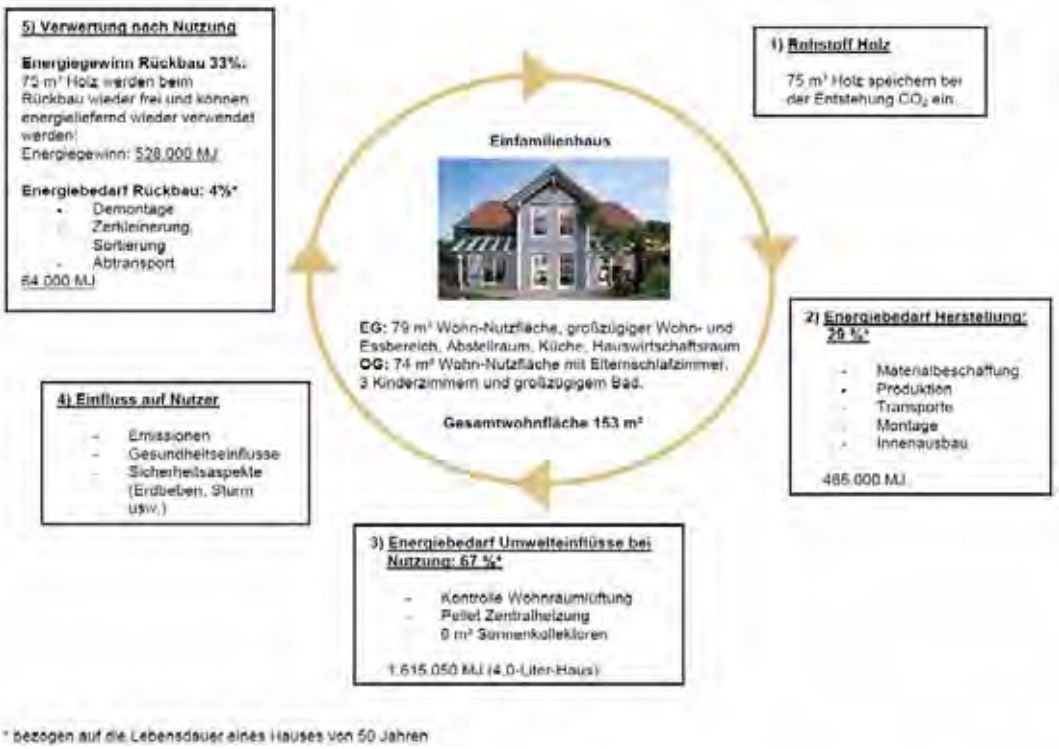


Abb. 1

2 Nachhaltigkeit der verwendeten Rohstoffe

Schon in der Entstehung speichert das Holz bei der Photosynthese soviel CO_2 ein, die es erst bei der Verbrennung wieder abgibt.

Abb. 2: Holz ist CO_2 neutral [1]

3 Nachhaltiger Herstellungsprozess (soziologisch und ökologisch)

Kein anderer Baustoff hält solche CO_2-Reserven vor, was sich bei einer CO_2-Bilanzierung der Baustoffe in Kombination wiederum zeigt. Holz wird mit geringstem Energieaufwand zum fertigen Bauprodukt veredelt. Vergleicht man dazu z.B. den Baustoff Ziegel, so wird schnell klar, dass die Grauenergie, die bei der Veredelung des Rohstoffes anfällt, einen großen Teil zur Ökobilanzierung beiträgt. Die Berechnung der CO_2-Belastungen der „veredelten" Baumaterialien zeigen den Unterschied im „Carbon Footprint", den diese hinterlassen.

Gleichzeitig gilt es neben der Grauenergie bei der „Veredelung" der Rohstoffe auch den Energieverbrauch bei Herstellung und Montage zu betrachten.

Wichtige Maßnahmen zu einer nachhaltigen Herstellung sind sicher:

- Energieoptimierte Maschinentechnik
- Verwendung von Ökostrom für Produktionsmaschinen
- Optimierte Logistik und Verpackungstechnik für geringstmögliche Transportbelastung bei Auslieferung
- Transport mit Hochmodernen LKWs (Euro 3/ 4/ 5)
- Zerlegbare Transportgestelle für geringe Rückfracht
- Montage mit emissionsarmen Spezialkranen
- Reduktion der Anfahrten durch erhöhten Vorfertigungsgrad
- Fahrzeuge mit Russpartikelfilter
- Energiesparende ökologische Produktionsstätten
- Kurze Wege

und vieles mehr…

Abb. 3: CO_2-Bilanz auf Materialebene (Carbon Footprint) [1]

4 Umwelteinflüsse des fertigen Erzeugnisses

Der größte Umwelteinfluss des fertigen Erzeugnisses Einfamilienhaus liegt sicher in der Nutzung. Zur Beheizung und Warmwasserbereitung für den Nutzer fällt der Hauptteil des Energiebedarfes an. Dennoch bietet der Rohstoff Holz auch hier entscheidende Vorteile. Ein Holzhaus ist stets ein Niedrigenergiehaus und kann mit passender Haustechnik und Architektur ohne großen Kostenaufwand in seiner Energiebilanz optimiert werden.

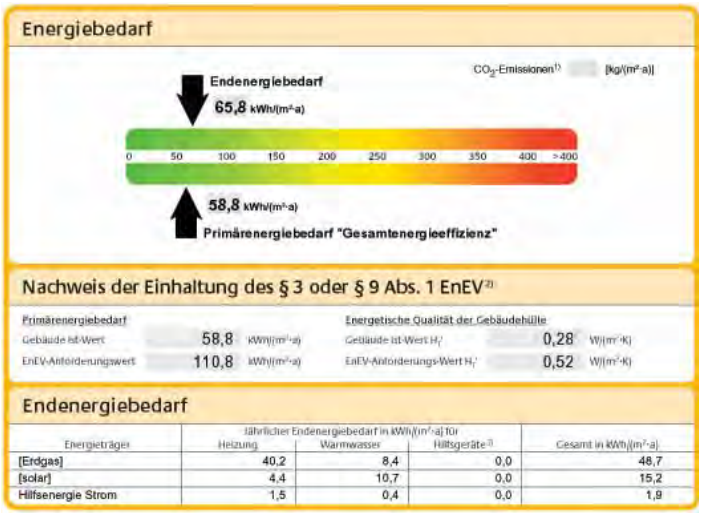


Abb. 4: Energiepass Holzhaus

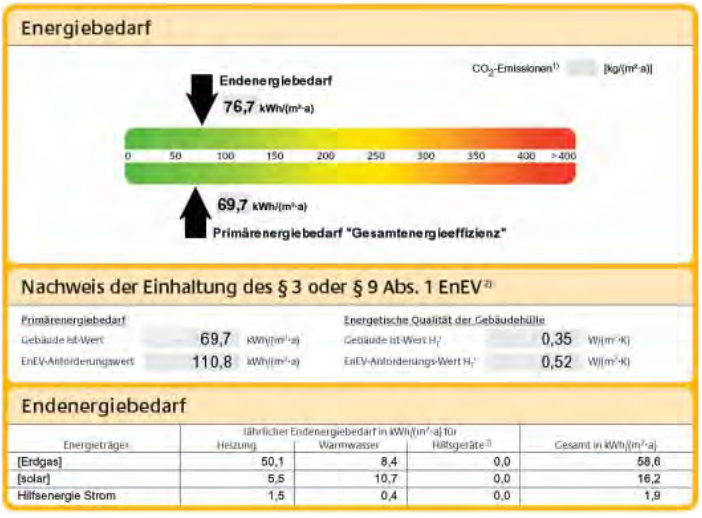


Abb. 5: Energiepass konventionelles Haus

Heutige Holzbauten erfüllen durchaus standardmäßig die KfW-Anforderungen und gehen oft weit darüber hinaus. Kriterium für eine Förderfähigkeit bildet die Wärmebedarfsberechnung nach EnEV. Leider spart diese Berechnungsmethode den Grauenergiebereich aus, wodurch der „ökologische Rucksack“ von weniger nachhaltigen Produkten in der Förderpolitik unberücksichtigt bleibt.

5 Einfluss auf den Nutzer

5.1 Sicherheit

Der Einfluss auf den Nutzer ist gerade beim Einfamilienhaus ein unverzichtbarer Nachhaltigkeitsaspekt. Nicht nur die Standsicherheit, sondern auch Brand- und Schallschutz, wie auch zunehmend Orkan- und Erdbebenschutz sind für den Bewohner unverzichtbare Attribute. Der Holzbau hat sich durch zahlreiche Entwicklungen und Patente in allen diesen Bereichen hoch entwickelt. Der zähelastische Rohstoff Holz liefert gerade für die statischen Bereiche Standsicherheit sowie Orkan- und Erdbebensicherheit die ideale Grundlage. Durch konstruktiven Holzschutz steht die Haltbarkeit von Holzhäusern dem konventionellen Bau in nichts nach. Auch Schall- und Brandschutz führt heute im Holzbau zu hervorragenden Werten.

5.2 Emissionen

Das Thema Emissionen von Baustoffen erhielt nicht zuletzt durch Skandale mit Asbest verseuchten Plattenmaterialien in den 80ern Brisanz. Durch die neuen EU-Normen zur Kennzeichnung und Volldeklarierung von Baustoffen erhält das Thema zusätzlich Aktivität. Grundsätzlich ist es wichtig, jeden Baustoff genau zu prüfen. Im baubiologischen Bau gehört es zum Standard jedes eingebauten Materials vom Baubiologen prüfen zu lassen. Als Prüfmethode für das Gesamtprodukt hat sich die VOC- Luftschadstoffmessung zum Standard-Prüfverfahren etabliert.

5.3 Beschreibung des Prüfverfahrens (VOC-Messung):

1. Abhängen einer Innentüröffnung mit PE-Folie, um die Einflüsse der anderen Räume etc. zu reduzieren.
2. Ein paar Stunden später wird mit einer elektrischen Luftpumpe in diesem Raum ein Volumen von je 50 Litern durch 2 Probenahmeröhrchen (VOC und Formaldehyd) hindurch gesaugt.
3. Luftdichtes Verpacken der beiden benutzen Probenahmeröhrchen.
4. Umstellung Probenahmeequipment auf Holzschutzmittelprobenahme. Dabei wird über Nacht ein Luftvolumen von 8 - 10 m³ gesaugt. Darin enthaltene Staubteilchen werden aufgefangen und am nächsten Morgen - ebenfalls luftdicht verpackt - zusammen mit den anderen Röhrchen und den Probenahmeprotokollen an ein unabhängiges Labor geschickt.
5. Die Kundschaft bekommt nach 3 Wochen die Auswertung anhand einer Tabelle. Das Probenahmeprotokoll enthält Daten der vorgefundenen Bedingungen der Materialien und der vorgenommenen Arbeiten.

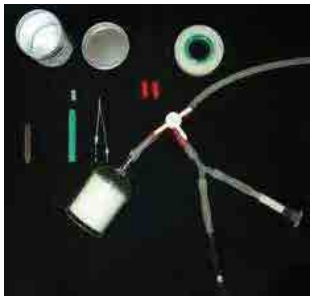


Abb. 6

Abb. 7

5.4 Wohngesundheit

Sicherheitsaspekte und Raumemissionen tragen als harte, berechenbare, messbare Faktoren zur Wohngesundheit bei. Daneben gibt es einige weitere Faktoren, die das Wohngefühlklima beeinflussen. Die Oberflächentemperatur von Baustoffen entscheidet, wie wohl sich der Mensch im Umfeld fühlt.

5.5 Thermische Behaglichkeit im Vergleich

Es gibt eine Vielzahl von Faktoren, die auf die Behaglichkeit des Menschen wirken, wie z.B. der persönliche Gesundheitsstatus, die Kleidung, Aktivitäten/Bewegung, Geräuschpegel, Luftqualität (Zusammensetzung, VOCs, MVOCs, Gerüche, Luftionisation), Lüftungsgewohnheiten, Elektroklima und Kontakt zur Natur. Neben Luftfeuchte und Luftbewegung hat die Lufttemperatur einen wichtigen Einfluss auf die empfundene Behaglichkeit. In Räumen, in denen die Oberflächentemperatur der Außenbauteile auf der Innenseite aufgrund schlechter Isolierqualitäten niedrig ist, muss die Lufttemperatur deutlich höher sein, damit sich der menschliche Körper annähernd behaglich fühlt.

Im ökologisch gebauten Holzhaus ergibt sich im Winter aufgrund der sehr guten Wärmeschutzeigenschaften (U-Wert Außenwand 0,16 W/mK) eine höhere Außenbauteiltemperatur an der Innenseite. Somit kann die Lufttemperatur deutlich niedriger sein und der Mensch fühlt sich trotzdem behaglich. Dies ergibt im Vergleich zu schlechter isolierten Gebäuden ein angenehmeres, freieres Atmen, sowie positive Effekte hinsichtlich Elektrostatikeffekten und Schimmelvorsorge.

Die Luftfeuchte bleibt deutlich länger in einem Komfortbereich und es bleiben nicht zuletzt gravierende Einsparungen beim Energieverbrauch für die Beheizung des Wohngebäudes (1°C Temperaturabsenkung spart rund 5% Heizenergie ein).

Vergleichen Sie selbst in nachstehender Übersicht die unterschiedlichen Bauweisen.

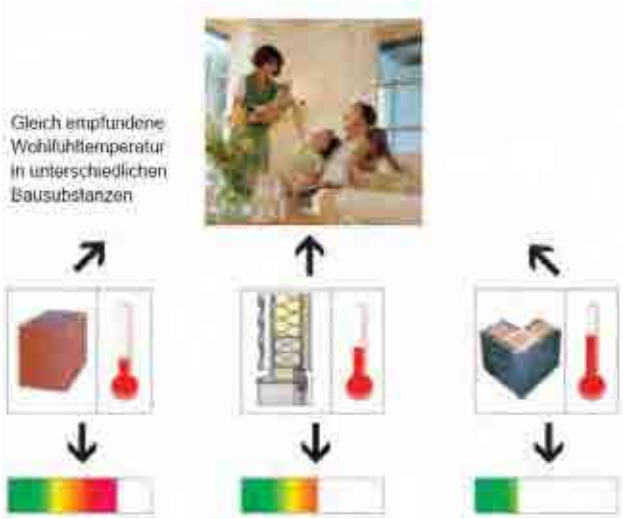


Abb. 8: Vergleich Energieverbrauch

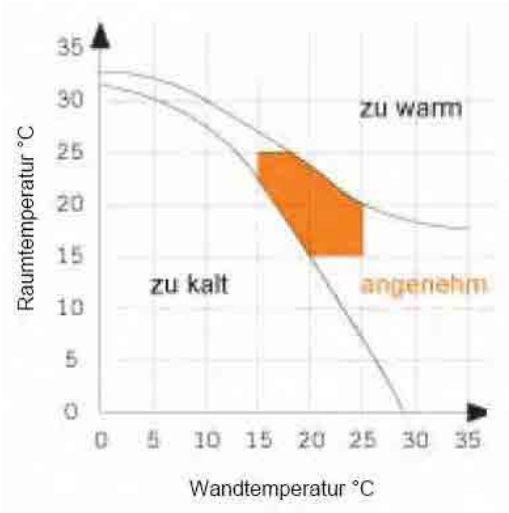


Abb. 9

5.6 Sommerlicher Wärmeschutz

Je nach Ziegelfarbe ergeben sich Oberflächentemperaturen von 40-70°C auf den Dachziegeln. Die Energie „läuft" immer vom höheren zum niedrigeren Niveau, d.h. die Sommerhitze dringt je nach verwendetem Dämmstoff früher oder später in das Dachgeschoß ein. Bei üblichen Dämmstoffdicken von rund 20 cm braucht die Hitze bei Glas-, Stein- und Mineralwolle, sowie bei Styropor und PU-Schlamm 3 - 5 Stunden, bis an der Innenseite eine spürbare Temperaturerhöhung feststellbar ist. Bei Dachaufbauten, die mit nachwachsenden Rohstoffen wie z.B. unserer patentierten und mehrfach ausgezeichneten Hobelspandämmung HOIZ S45 isoliert werden, dauert es 14-16 Stunden, bis die Hitze an der Innenseite ankäme. Dann ist außen aber der „Motor" für den Hitzedurchtritt, die Sonne, bereits weg von der Dachfläche und man hat Gelegenheit zu lüften.

Abb. 10

5.7 Diffusionsfähigkeit

Auch die Diffusionsfähigkeit von Baustoffen trägt zur Regulierung der Wohnraumluft bei.

In jedem bewohntem Gebäude entsteht durch den ganz normalen Alltag mit Kochen, Duschen, Waschen, Schwitzen, Blumen, ein Wassereintrag in der Größenordnung von 2-3 Litern pro Tag und Person.

In modernen Haushalten schaffen es die Bewohner, wie in einer Plastiktüte eingepackt, meist nicht, durch Ihr Lüftungsverhalten die Feuchtigkeit im Haus in einem unkritischen Bereich zu hal-

ten. Um diese Feuchte gefahrlos abzuführen, ist eine bauphysikalisch günstige Bauteilkonstruktion auch im Trockenbau von äußerster Wichtigkeit.

Ökologische Holzbauingenieure setzten daher seit über 15 Jahren erfolgreich auf technische Papiere, die den Dampfdurchgang durch Außenbauteile regulieren. Die Feuchteabgabe nach draußen erfolgt schneller, als von der Raumseite her Feuchtigkeit nachkommt. Die Auswirkungen sind von moderner Funktionskleidung für den Outdoor- Bereich bekannt.

Die Bauteile bleiben trockener, was sich nochmals günstig auf die wärmetechnischen Eigenschaften und die Haltbarkeit auswirkt. Die Diffusionsvorgänge in einem Gebäude, anhand der feuchtetechnischen Kennzahlen dargestellt, führen zu interessanten Ergebnissen. Bei einem Beispielhaus mit rund 260 m² Gebäudehüllfläche, das größenmäßig einem normalen Einfamilienhaus entspricht, ergibt sich im Vergleich zu einem Gebäude, das mit dampfsperrenden Materialien, wie z.B. Plastikfolien ausgeführt ist, eine „Diffusionsreserve“ von rund 2,5 Litern pro Tag.

Neben den Einflüssen der Baustoffe selbst und deren physikalischen Eigenschaften sollten auch durch die Haustechnik möglichst wenige Einflüsse eingetragen werden, die die Wohngesundheit negativ beeinflussen. Das Thema Elektrosmog durch niederfrequente Strahlung in verlegten Kabeln und Steckdosen sollte beim wohngesunden Bauen berücksichtigt werden. Durch Abschirmung bietet heutige Elektrotechnik bereits praktikable Lösungen an.

5.8 Hochfrequenzschutz

Vielfältige Veröffentlichungen von kritischen Wissenschaftlern (Herr v. Klitzing, Medizinphysiker Dr. George Carlo, Umweltmediziner Dr. Gerd Oberfeld, Naila-Studie, Reflex-Studie) warnen seit Jahren vor den sogenannten nicht-thermischen Einflüssen der Mobilfunksender auf den menschlichen Organismus.

Nach Umweltmedizinern wie Herrn Dr. Frank Bartram, Weißenburg oder Prof. Salford, Schweden, macht gepulste Hochfrequenz die sogenannte Blut-Hirn-Schranke im Kopf durchlässiger für Giftstoffe, d.h. die natürliche Barriere zum Schutz des Gehirns verliert ihre Schutzfunktion. Erkrankungen wie Tumore, Multiple Sklerose, Demenz, Parkinson und Alzheimer werden mit diesem Effekt in Verbindung gebracht. Aus Vorsorgegründen wird nach dem Standard der baubiologischen Meßtechnik (SBM 2003) für ungestörte Schlafplatzsituationen ein maximaler Wert von 0.1 µW/m” gefordert, der im Umfeld von Mobilfunksendeanlagen nur mit einer guten Abschirmung erreicht werden kann.

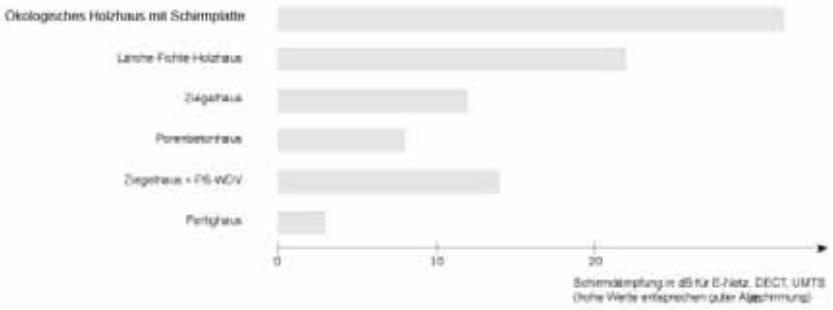


Abb. 11: Schirmung elektromagnetischer Wellen nach PAULI und MOLDAN, Bayer. Landesamt für Umweltschutz

6 Nachhaltigkeit der Verwertung der Produkte nach Nutzung (Recycling, Downcycling, Wiederverwertung)

Oberste Prämisse des nachhaltigen Bauens bleibt sicher die rückstandslose Verwertung der Bauteile und ein Rückgeben an die Natur ohne Schaden zu erzeugen. Dies gelingt sicher nur mit einem reinen Naturbaustoff. Verbundmaterialien und alle Stoffe, die in ihre Ursprungsrohstoffe nicht wieder zerlegt werden können, werden sicher zur Kompostierung nicht mehr geeignet sein. Deshalb gilt es, jedes Detail am Bau so zu durchdenken, dass technische Anforderungen erfüllt werden, dass das Produkt jedoch auch wieder getrennt und sortiert werden kann, sodass einer Wiederverwendung keine Faktoren gegenstehen.

Abb. 12

Gleichzeitig ermöglicht der Holzbau durch das Vergleichsweise geringe Gewicht Bauteile zu demontieren und an anderer Stelle wieder zu verwenden. Die Bilder zeigen ein Beispiel von vorgefertigten Fassaden und Dachelementen, die 1984 auf der IGA in München standen und danach als Ausstellungsgebäude im Allgäu wieder verwendet wurden.

Abb. 13: IGA München 1984

Abb. 14: Werksgelände Allgäu 2006

Nicht in jedem Falle ist eine Verwendung von Fassadenteilen in unveränderter Form möglich. Dennoch bietet der Holzbau auch im Falle einer Umgestaltung die Möglichkeit, einzelne Bauteile wieder zu verwenden, da die statische Tragfähigkeit des Holzes auch nach Jahrzehnten erhalten bleibt. Heute noch erhaltene Dachstühle zeugen von dieser hervorragenden Eigenschaft.

Abb. 15

Sollten Bauteile aus Holz nicht wiederverwertet oder recycelt werden können, so bleibt als letzter Produktschritt auch die Verbrennung als Alternative. Beim Verbrennungsprozess setzt Holz genau die Menge CO_2 frei, die beim Wachsen eingespeichert wurde. Es bleibt also stets CO_2-neutral.

7 Zertifizierung

Bisher bestehen in Deutschland verschiedene Zertifizierungssysteme, die sich darin unterscheiden, ob eine Einzelkomponente, ein Gesamtprodukt oder auch ein Gesamtunternehmen und dessen Prozesse zertifiziert und geprüft werden sollen.

Tab. 1: Überblick über die bekanntesten Zertifikate

Zertifizierung Unternehmen	Zertifizierung Einzelkomponente	Zertifizierung Gesamtprodukt
- EMAS	- natureplus	- ALLOKH
- ÖM	- Ökotest	- LEAD
- Arbeitssicherheit	- ADNR	- KFW
	- IGEF Siegel	- RAL-Gütesiegel
		- Energiepass
		- BDI/DDF

Dabei setzt jedes Siegel eigene Schwerpunkte, die für den Endverbraucher meist wenig transparent sind. Hier liegt auch die Schwierigkeit in der Kommunikation. Bisher konnte sich keines der Zertifizierungssysteme etablieren, es sein denn, es wurde zur Grundlage für staatliche Fördermittel.

8 Fazit

Holz bietet als nachwachsender Rohstoff eine ideale Grundlage als nachhaltig ökologisch gesunder Baustoff. Mit einem Marktanteil von etwa 15 % am Gesamtmarkt deutscher Einfamilienhausbau ist er dennoch unterpräsent. Es gilt die nachhaltigen Vorteile von Holz stärker zu vermarkten. Ein politisches Förderinstrument, das neben dem reinen Energieeinsparpotential während der Nutzung der Immobilien auch die Grauenergie bei Herstellung und Verwertung betrachtet, wie auch Emissionen von Baustoffen in Verbindung mit Umwelteinflüssen der Baustoffe mitberücksichtigt, wäre ein wichtiger Schritt. Beispiele aus dem Ausland zeigen dort bereits Wirkung und übernehmen die Vorreiterrolle (Abb. 16).

Sollte Deutschland als Klimaschutz-Pionier seine Spitzenposition anderen überlassen wollen?

Quellen

[1] König, Holger Dipl.-Ing. Arch.; Vortrag „Energieeffizientes Bauen mit Holz“, Fa. Legep.

Abb. 16

4.1 Nachhaltigkeit
Chancen und Perspektiven im Holzbau durch Zertifizierung

Alexander Rudolphi

1 Einleitung

Holz ist im Bauwesen noch häufig mit negativen Assoziationen behaftet. Holz ist biologisch abbaubar, es wird von pflanzlichen und tierischen Schädlingen befallen. In den 50er und 60er Jahren bedeutete ein Befall durch den Echten Hausschwamm nicht selten das Abrissurteil für einen Altbau. Im Zusammenhang damit stehen die jahrelangen Diskussionen über umwelt- und gesundheitsgefährdende bekämpfende Holzschutzmittel, die zudem durch die Formulierungen der alten DIN 68800-4 unvermeidbar schienen. Diese Problematik erhielt nach 1990 neuen Auftrieb durch die in der ehemaligen DDR teilweise exzessiv verwendeten Biozide DDT, Lindan und PCP. Als nachwachsender pflanzlicher Rohstoff ist Holz zudem leicht brennbar. Dies führte zu entsprechenden Einstufungen und Anwendungsbeschränkungen in Normen und Richtlinien. Die Dauerhaftigkeit von Holzbauwerken wurde noch in der Wertermittlungsverordnung 1988 deutlich geringer eingestuft als die von Massivbauten.

Tatsächlich sind Bauteile und Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen wie Holz in erhöhtem Maße abhängig von der Qualität des Materials, der Konstruktion und Ausführung, da die Verwendung in der Regel mit besonderen Schutzmaßnahmen gegen den natürlichen Abbau und die Brennbarkeit verbunden ist. Durch die sich daraus ergebenden besonderen Qualitätsanforderungen und die damit verbundenen Fehlermöglichkeiten ist in der Praxis die Streuung der real erzielten Nutzungsdauer von Holzbauteilen besonders hoch, das Einzelergebnis ist im Durchschnitt stärker von der Ausführungsqualität abhängig als z.B. bei Mauerwerken, Beton, Kunststoffen oder nicht rostenden Metallen.

Heute hat sich die Situation in vielen holztechnischen Bereichen grundlegend geändert. Vor allem die Einführung zuverlässiger, von unabhängiger Seite überwachter Qualitätssicherungs-Systeme hat aus der historisch handwerklich geprägten Holzbearbeitung zu einer Fülle von modernen, gütegesicherten Bauprodukten und Bauelementen geführt. Dazu zählen vor allem die Gütezeichen deutscher Institute wie RAL e.V. oder des Institutes für Fenstertechnik für Brettstapelelemente, für Bauelemente wie Türen, Fenster und Treppen bis hin zu Konstruktionen wie Dächer, Holzhäuser, Blockhäuser und den Ingenieurholzbau.

Auch der dauerhafte Schutz gegen holzzerstörende Organismen wurde weiterentwickelt. Im Hochbau selbst können die dort auftretenden Gefährdungsklassen 1 und 2 zunehmend durch Beachtung bauphysikalischer Regeln und durch Anwendung konstruktiver Schutzmaßnahmen bewältigt werden, eine Folge des überarbeiteten Teil 2 der DIN 68800, hauptsächlich aber der verbesserten Produktqualitäten und der Informationsarbeit der Verbände und der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung. Parallel dazu stehen zunehmend spezifisch wirkende Schutzmittel mit reduziertem Gefährdungspotential zur Verfügung. Über die Verbote von gefährlichen Wirkstoffen in den letzten 30 Jahren hinaus werden breit wirkende und gesundheitsgefährdende Biozide durch die bis 2012 geplante Überprüfung und Neubewertung im Rahmen der Umsetzung der Biozid-Produkte-Richtlinie 1998 in vielen Fällen vom Markt genommen. Flankiert wird diese Entwicklung von zunehmend verbesserten Beschichtungsprodukten besonders für bewitterte Außenflächen wie Fenster und Türen.

Aktuelle Entwicklungen zur weiteren Verbesserung und Konditionierung von Holzprodukten und Holzwerkstoffen wie die thermische Vorbehandlung (Thermoholz), die chemische Vernetzung der Holzzellen (Belmadur©) und die Verbesserung der Verleimung und Herstellung von Ver-

bindungen und Holzwerkstoffen deuten auf das bestehende Potential für die Verwendung von Holzprodukten und Holzwerkstoffen im Baubereich.

Die Durchsetzung dieser Entwicklungen auf dem Markt ist abhängig von langfristig positiven Erfahrungen der Kunden. Dieser allmähliche Prozess kann dadurch beschleunigt werden, dass die weiteren – insbesondere ökologischen - Vorteile, die sich mit dem Material Holz verbinden, stärker in den Vordergrund treten können.

Holz ist einschließlich der Zellulosefaser der wichtigste nachwachsende Rohstoff im Bauwesen. Holz ersetzt synthetische Produkte aus zunehmend begrenzt verfügbaren fossilen Ressourcen. Durch die CO_2-Speicherung im Wachstum wird das Treibhausgas während der technischen Nutzung der Atmosphäre entzogen, bei thermischer Verwertung ist Holz CO_2-neutral. Zu den technischen Vorteilen gehört die Bearbeitungsfähigkeit und damit die besonders gute Eignung zur Instandhaltung und Reparatur, die Möglichkeit der Oberflächenerneuerung usw.

Um diese ökologischen und ökonomischen Vorteile der Holzverwendung bzw. eines Holzbauteiles während des gesamten Lebensweges und natürlich während der Nutzung zu kommunizieren, muss man sie erkennbar machen. Dazu bedarf es komplexer Instrumente zur Erfassung, Quantifizierung und Bewertung der globalen und lokalen Umweltwirkungen von Gebäuden und der tatsächlichen Kosten, die sich mit der Herstellung und der gesamten Nutzung der Bauteile bzw. des Gebäudes verbinden.

Seit 2007 werden gemeinsam durch die Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB) und das Bundesministerium für Verkehr, Bauen und Stadtentwicklung (BMVBS) diese Instrumente im Rahmen eines Zertifizierungssystems für die Nachhaltigkeit von Gebäuden entwickelt, umgesetzt und eingeführt. Im Januar 2009 wurde das „Deutsche Gütesiegel für Nachhaltige Bauwerke“ der Öffentlichkeit zusammen mit den ersten zertifizierten Gebäuden vorgestellt. Im Rahmen der international bereits bestehenden Zertifizierungssysteme wie dem US-amerikanischen LEED (Leadership in Environmental and Energy Design) oder dem englischen BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) zeichnet sich das Deutsche Gütesiegel als System der 2. Generation durch verschiedene Ergänzungen aus:

- die vollständige und gleichberechtigte Einbeziehung aller Nachhaltigkeitsaspekte, also auch der ökonomischen und gesellschaftlichen im Unterschied zu einem starken Umweltbezug bisheriger Systeme,
- die Orientierung am Stand der internationalen (u.a. ISO TC 59 SC 17) und europäischen Normung (u.a. CEN TC 350) sowie die Integration nationaler Normen, Regelwerke, Richtlinien und Empfehlungen,
- die überwiegende Verwendung quantitativer Bewertungskriterien und eine lebenzyklusorientierte Bewertung durch die Verwendung von Methoden der Ökobilanzierung und Lebenszykluskostenrechnung.

Mit der international erstmaligen Installation der den gesamten Lebenszyklus von Materialien und Gebäuden umfassenden Ökobilanz als zentrales Bewertungsinstrument wurde ein entscheidender Schritt zur wirkungsorientierten Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden vorgenommen.

Die im Rahmen der ganzheitlichen und lebenszyklusorientierten Sicht identifizierten Kriterien und Anforderungen des Zertifizierungssystem werden jeweils nach betrachteten Schutzzielen gegliedert, die sich ihrerseits einordnen in die drei bekannten Dimensionen der Nachhaltigkeit („Drei Säulen Theorie“): Ökonomie (stellvertre-

tend für die Wirtschaft), Ökologie (stellvertretend für die Umwelt) und Soziales (stellvertretend für die Gesellschaft):

- Schutz des Ökosystems
- Schutz natürlicher Ressourcen
- Schutz der menschlichen Gesundheit
- Schutz sozialer Werte und öffentlicher Güter
- Erhaltung von Kapital und Schutz materieller Güter

Als eigenständige und übergreifende Gruppe wurden zusätzlich die Prozessqualitäten eingeführt, die mit einem instrumentellen Charakter die Sorgfalt, die Aufwendungen, die Planungsqualität und die Dokumentation während der Planungs- und Bauprozesse beschreiben. Eine weitere eigenständige Gruppe bilden die standortbeschreibenden Kriterien und Anforderungen, die allerdings nicht in die Schlussbewertung des Gebäudes eingehen.

Mit unterschiedlichen Gebäudenutzungen variieren auch die Anforderungen, sowohl hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit als auch hinsichtlich der Bedeutung und der Zielsetzungen. Das Zertifizierungssystem wurde zunächst mit insgesamt 55 Kriterien und Anforderungen sowie weiteren 8 Kriterien zur Standortqualität für Verwaltungs- und Bürogebäude erstellt. 2009 werden spezifische Kriterienkataloge für weitere Nutzungen wie Wohnungen, Verkaufsflächen und Bestandsgebäude erarbeitet (Die derzeitigen Kriterien und Anforderungen sind in der Anlage zusammengestellt).

Ganz unabhängig von dem Deutschen Gütesiegel als Anreiz für Bauherren und Investoren besteht der entscheidende Fortschritt im Zusammenhang mit der Entwicklung von ganzheitlichen Zertifizierungssystemen in der methodischen Entwicklung und Bereitsstellung entsprechender Bewertungsinstrumente. Die Einführung der lebenszyklusorientierten Bewertung mit Hilfe der Ökobilanz und der Lebenszykluskostenanalyse führt automatisch zur Quantifizierung ökologischer und ökonomischer Qualitäten unter Einbeziehung der Nutzungsphase. Erst mit diesen Bewertungsinstrumenten lassen sich die Vorteile der Verwendung von Holz und Holzwerkstoffen in angemessener Weise ökologisch wie ökonomisch darstellen.

2 Ökologische Qualität

Neben der Einsparung nicht erneuerbarer Ressourcen zeichnet sich die Herstellung von Konstruktionsholz, Holzwerkstoffen und Holzfaserprodukten durch besonders kurze Prozessketten – beginnend beim Einschlag des Holzes bis zur Lieferung des Baumaterials – mit wenigen technischen Bearbeitungsschritten aus. Energieaufwendige Prozesse wie Schmelzen, Brennen, Sintern usw. sind nicht erforderlich.

Nachwachsende Rohstoffe wie Holz können je nach Konfektionierungsgrad und Verarbeitung weitgehend CO_2-neutral verwendet werden. Voraussetzung ist allerdings eine nachhaltige Forstwirtschaft zur Aufrechterhaltung der CO_2-Bilanz – jeder geschlagene und verwertete Baum ist durch einen neu Wachsenden zu ersetzen, um am Ende der Holznutzung das z.B. durch thermische Verwertung wieder freiwerdende CO_2 erneut zu speichern. Diese direkt wirksamen ökologischen Vorteile können durch die Erstellung einer Ökobilanz für Produkte, Bauteile und Gebäude quantifiziert und bewertet werden. Ein wichtiger Baustein hierzu war die Bereitstellung der Ökobilanzdatensätzen sowohl durch zentrale Datenbanken als auch über die Umweltproduktdeklarationen (Environmental Product Declaration EPD, Typ III Deklaration nach ISO 14025).

Von großer Bedeutung ist dabei die Zusammenführung der ökologischen Wirkungen aus der Gebäudeerstellung und -beseitigung mit denen des Gebäudebetriebes. Wirkungskategorien wie der Bedarf an erneuerbarer und nicht erneuerba-

rer Primärenergie PE, PE_{NE} [kWh/m^2_{NGF}a] oder die treibhausfördernde Wirkung GWP [kg $CO_{2äquiv.}$/m^2_{NGF}a] werden für einen definierten Nutzungszeitraum (z.B. t_N = 50 Jahre) umgelegt und den Wirkungen des Gebäudebetriebes (Klimatisierung, Beleuchtung, Nutzung, Instandhaltung, Reparatur, Erneuerung) zugeschlagen. Erst durch diesen Schritt werden die Vorteile nachwachsender Rohstoffe wie Holz gemeinsam mit den Vorteilen einer Qualitäts- und Gütesicherung direkt im Bewertungsergebnis deutlich.

Bereits heute zeigen sich in den bisher vorliegenden Gebäude-Bilanzierungen die Potentiale für die Verwendung von Holz. So besteht z.B. nach der Zulässigkeit von nicht tragenden Fassaden aus Holz- oder Holzwerkstoffen auch für große Gebäudehöhen die aktuelle Herausforderung in der Planung und Umsetzung auch der tragenden Gebäudekonstruktion aus Holz. Bei der im gewerblichen Bau heute vorherrschenden Betonstützen und –deckenkonstruktion resultiert die Hälfte bis zu zwei Dritteln der benötigten Primärenergie und des produzierten Treibhauspotentials (Global warming Potential GWP) allein aus der Beton-Rohbaukonstruktion. Die mit einem Einsatz von tragenden Holzkonstruktionen verbundene Reduzierung des Primärenergieverbrauches und der ökologischen Wirkungen wird in der Gebäude-Bilanzierung sofort positiv sichtbar und bewertbar.

Eine Herausforderung für die zukünftige Planung und Ausführungsplanung besteht darin, mit möglichst schlanken Holzkonstruktionen den Aufwand ergänzender Nebenprodukte aus Stahl oder synthetischer Dichtungsmassen und –folien usw. zu begrenzen, da ansonsten die ökologischen Vorteile des Holzes durch diese Materialien schnell aufgehoben werden können.

Ein wichtiges Einsatzpotential zeigt sich durch die steigenden Wärmeschutzanforderungen an der Fassade. Hier bietet insbesondere die Holztafelbautechnik hervorragende Lösungsansätze sowohl im Neubau als auch in Form vorgehängter Fassadenelemente für die Sanierung von bestehenden Altfassaden. Anders als bei der Kerndämmung oder Wärmedämmverbundsystemen bestehen für Fassadentafeln keine Grenzen für höhere Dämmstoffstärken, zudem sind in der geschützten Lage Faserdämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen einsetzbar. Die Möglichkeit der werkseitigen Fenstermontage erlaubt zudem auch hochwertige Baukörperanschlüsse mit einer Qualitätssicherung, die bauseitig nur mit großem Aufwand erreicht werden kann.

Tab. 1: Ausgewählte Anforderungen des Zertifizierungssystems DGNB zur Ökologischen Qualität

Nr.	Titel	Messgröße
1	Treibhauspotenzial (GWP)	kg CO_2 Äquivalent/m² NGFa
2	Ozonschichtzerstörungspotenzial (ODP)	kg R11 Äquivalent/ m² NGFa
3	Ozonbildungspotenzial (POCP)	kg C2H4 Äquivalent/m² NGFa
4	Versauerungspotenzial (AP)	kg SO_2 Äquivalent/m² NGF
5	Überdüngungspotenzial (EP)	kg PO_4 Äquivalent/m² NGF
	Beschreibung Ökobilanz nach DIN EN ISO 14040 und 14044 über den für die Zertifizierung angesetzten Betrachtungszeitraum td des Gebäudes unter Verwendung definierter Lebensdauern für Bauteile und Werkstoffe Die zugehörigen Lebensdauern sind dem Leitfaden Nachhaltiges Bauen zu entnehmen.	
8	Sonstige Wirkungen auf die globale Umwelt (Tropenholz)	Anteil der Nutzung zertifizierter Hölzer an der Gesamtnutzung von Holz- und Holzwerkstoffprodukten
10	Primärenergiebedarf nicht erneuerbar (PE_{ne})	Primärenergiebedarf ne kWh/m² NGF a
11	Primärenergiebedarf erneuerbar, (PE_e)	Primärenergiebedarf e kWh/m² NGF a
	Beschreibung Voraussetzung ist entspr. Nr. 1-5 eine Ökobilanzierung dar eingesetzten Materialien nach DIN EN ISO 14040 und 14044	

3 Ökonomische und Prozessqualität - Werthaltigkeit und Dauerhaftigkeit von Bauteilen,

Während der Planung und Ausführung liegt der Schwerpunkt der ökonomischen Betrachtung zumeist auf den kurzfristigen Erstellungskosten von Gebäuden. Die zu erwartenden Baukosten beeinflussen maßgeblich die Bereitschaft und Akzeptanz zur Umsetzung von Anforderungen im Rahmen des nachhaltigen Bauens. Bekannt ist hingegen, dass die Betriebskosten des Gebäude – Klimatisierung, Wartung, Instandhaltung und Repa-

raturen, Teilerneuerungen usw. die Baukosten über die gesamte Gebäudenutzung in der Regel deutlich übersteigen.

Aus diesem Grund wird im Anforderungskatalog zum Deutschen Gütesiegel neben der Ökobilanz auch eine Lebenszykluskosten-Analyse (Life Cycle Costs LCC) gefordert.

Tab. 2: Ausgewählte Anforderungen des Zertifizierungssystems DGNB zu den Betriebskosten, der Werthaltigkeit und Dauerhaftigkeit

Nr.	Titel	Messgröße
16	**Gebäudebezogene Kosten im Lebenszyklus**	€/m² NGF
	Beschreibung Lebenszykluskosten unterteilt nach Erstellung-; Folge-; und Rückbau- und Entsorgungskosten im Vergleich zu einem Referenzgebäude	
39	**Dauerhaftigkeit / Anpassung der gewählten Bauprodukte, Systeme und Konstruktionen an die geplante Nutzungsdauer**	Tragkonstruktion Nichttragende Konstruktion außen Nichttragende Konstruktion innen Technischen Gebäudeausrüstung
	Beschreibung 1.1 Dauerhaftigkeit 1.2 Materialausnutzung 1.3 Wurden die Umweltbedingungen/ die Art der Nutzung bei der Wahl der Materialien beachtet?	
40	**Reinigungs- und Instandhaltungsfreundlichkeit der Baukonstruktion**	1. Tragkonstruktion
	Beschreibung Sind wesentliche Teile der Tragkonstruktion für Instandhaltungsmaßnahmen zugänglich?	
		2. Nichttragende Konstruktion außen
	Beschreibung Welches Material ist in der Fassade verwendet worden? Sind Materialien verwendet worden, die eine partielle Instandsetzung/ Austausch erlauben? Lassen sich die verwendeten Materialschichten im Rahmen einer Instandsetzung leicht trennen?	

Tatsächlich verbirgt sich auch hinter den Kriterien wie Reparierbarkeit, Nutzungsflexibilität und Qualitätssicherung das übergeordnete gemeinsame Ziel einer optimierten Dauerhaftigkeit aller Bauteile und Oberflächen. Die mit dem Zertifizierungssystem formulierte Herausforderung besteht darin, diesen Zusammenhang sichtbar und bewertbar zu machen.

Sowohl bei der Ökobilanz als auch bei der Lebenszykluskostenrechnung werden im Rahmen einer einheitlich anzunehmenden Gesamtnutzungsdauer des Gebäudes Daten benötigt über die Reinigungs-, Instandhaltungs- und Erneuerungszyklen von Bauteiloberflächen und Bauteilen. Da mit jeder Handlung während der Nutzung sowohl Kosten- als auch Materialeinsätze gefordert sind, sind diese Datengrundlagen für die Kostenrechnung und für die Ökobilanz weitgehend identisch. Heute verwendete Daten beruhen auf Erfahrungs- und Mittelungswerten, die überwiegend als statische Tabellenwerke vorliegen. Diese Daten sind unflexibel und repräsentieren nicht unbedingt das tatsächlich betrachtete Gebäude, sind nicht zur Abbildung positiver Qualitätseigenschaften von Bauteilen im Rahmen der Bewertung geeignet.

Wenn z.B. für die Rahmenteile von Holzfenstern aus Nadelholz je nach Herstellungs- und Einbauqualität und je nach erfolgter Wartung und Instandhaltung Nutzungsdauern von 15 bis 70 Jahren in der Praxis beobachtet werden, dann wird mit einem angenommenen Mittelwert von 40 Jahren ein erhebliches Optimierungspotential abgeschnitten. Sowohl für die Ökobilanzierung als auch für die Lebenszykluskostenberechnung hat der Unterschied zwischen einer angenommenen Nutzungsdauer von 40 oder 70 Jahren eine erhebliche Bedeutung.

Demzufolge sind nachwachsende Rohstoffe bei der Annahme von statistischen Durchschnittswerten ohne begleitende Bewertung der Qualitätssicherung heute noch systematisch benachteiligt. Je größer die Differenz zwischen einer maximal erreichbaren Nutzungsdauer und einem arithmetischen Mittelwert ist, desto größer wird das durch Qualitätssicherung erreichbare Optimierungspotential, das bei einer pauschalen Mittelwertsannahme vollständig ignoriert wird.

Wenn sich mit der Verwendung von Holz und Holzwerkstoffen sowohl in der Ökobilanz als auch bei den Lebenszykluskosten systematisch besonders hohe Optimierungspotentiale verbinden, müssen diese sowohl sichtbar, als auch berechenbar und kalkulierbar gemacht werden. Entsprechend findet sich in der ISO 15686 – *Buil-*

dings and constructed assets, Service life planning (SLP) mit dem eingeführten Teil 1 und den als Entwurf vorliegenden oder in Bearbeitung befindlichen Teilen 2 – 6 die konkrete Aufforderung zur Entwicklung performanceorientierter Prognoseverfahren zur Dauerhaftigkeit von Bauteilen. Dabei wird in der Norm zu Recht davon ausgegangen, dass der Aufwand zur baulichen Unterhaltung, die Häufigkeiten und die Gesamtdauer der Aufwendungen und die damit verbundenen betrieblichen Kosten maßgeblich durch Planungs- und Ausführungsqualität und die Nutzungsbedingungen beeinflusst werden. Zur Berücksichtigung dieser Einflüsse wird eine Faktor-Methode beschrieben (*factor method for estimating service life*).

Grundlage für die Methode bildet ein Erwartungswert für Bauteile (*reference service life of components – RSLC*), der für durchschnittliche Bauteilqualitäten unter durchschnittlich zu erwartenden Nutzungsbedingungen wahlweise empirisch oder als gezielte Nutzungserwartung formuliert wird. Dieser Wert wird mit Faktoren belegt, die sich aus den unterschiedlichen Einflüssen aus dem Material, der baulichen Funktion, der Material- und Ausführungsqualität und aus der Wartung und Instandhaltung ableiten. Die Faktoren wirken je nach Ergebnis negativ oder positiv auf den Ausgangswert – verkürzen oder verlängern damit die potentiell mögliche Nutzungsdauer. Die erreichten Vorteile werden sowohl in ökologischer als auch in ökonomischer berechenbar und benennbar. Zusätzliche Investitionen in eine verbesserte Material- und Ausführungsqualität können einer wirtschaftlichen Amortisationsrechnung unterzogen werden.

Entsprechende Prognoseverfahren zur qualitätsabhängigen Dauerhaftigkeit von Bauteilen sind stark geprägt durch die betrachtete Materialgruppe. Mit der Förderung, Entwicklung und Bereitstellung entsprechender Verfahren sind daher vor allem die Holzwirtschaft und ihre Fachverbände gefordert.

4.1 Nachhaltigkeit
Plusenergiebaustoff Holz

Holger Wolpensinger, Wolfgang Rid

1 Einleitung

Kein anderer Baustoff schneidet in der Nachhaltigkeitsbewertung und in Ökobilanzen besser ab als der Baustoff Holz. Zu seiner herausragenden Plusenergiebilanz führen der geringe Energieaufwand der Baustoffherstellung und der hohe Anteil der über die Photosynthese eingelagerten Erneuerbaren Energie, die bei der Entsorgung energetisch genutzt werden kann. Dennoch schlägt man derzeit weltweit wissenschaftliche Purzelbäume um das Nachhaltige Bauen neu zu erfinden.

2 Ältester Baustoff mit multifunktionalen Eigenschaften

Holz ist in der Menschheitsgeschichte neben Lehm der älteste Werkstoff. Aus Holz entstanden - und entstehen - Häuser, Brücken, Schiffe, Flugzeuge und Gerätschaften aller Art. Holz ist multifunktional: zuerst Werk- und Baustoff, zu guter Letzt Brennstoff. Dies alles als nachwachsender Rohstoff.

3 Klimaverbesserung durch Holznutzung

Kohlenstoffverbindungen sind die Basis des Lebens. Holz entsteht in der „Fabrik Wald“ in einem gänzlich natürlichen Prozess unter Verwendung solarer Energie. Wie alle Pflanzen wachsen Bäume, indem sie der Atmosphäre CO_2 entziehen, den darin enthaltenen Kohlenstoff als Biomasse binden und den Sauerstoff an die Atmosphäre abgeben. Sauerstoff ist für uns lebenswichtig, der Kohlenstoff dient uns nach wie vor als wichtigste Energiequelle.

Wälder sind für Menschen und Klima unentbehrlich, weil in ihnen permanent CO_2 „verarbeitet“ und Kohlenstoff gespeichert wird. Jeder Baum und jedes verwendete Stück Holz ist Kohlenstoffspeicher. Letzteres wird zudem zur Rohstoffquelle, wenn es entsorgt wird und das anfangs aufgenommene CO_2 in gleichem Umfang wieder in die Atmosphäre gelangt. Um einen Kubikmeter Holz bilden zu können, setzt ein Baum eine Tonne CO_2 um und bindet je nach Holzart zwischen 250 und 300 kg Kohlenstoff. In den Wäldern der Erde sind auf dieser Basis zur Zeit etwa 400 Mrd. Tonnen Kohlenstoff gebunden. Folglich ist die Nutzung der Ressource Holz die beste Gewähr dafür, die natürlichen Lebensgrundlagen der Menschen und der gesamten Natur zu erhalten.

4 Schlüsselrolle des Waldes zur Reduzierung der globalen Erwärmung

Über die CO_2-Speicherung hinaus tragen Bäume durch die Verdunstung von Wasser im Rahmen der Photosynthese zur Verbesserung des Mikroklimas bei. Die entstehende Verdunstungskälte reduziert die Oberflächentemperaturen und damit die langwellige Ausstrahlung in die Atmosphäre. Global stellt der Energieumsatz durch Verdunstungsprozesse den größten Anteil am Energiehaushalt der Erde dar (siehe Abb. 3). Die globalen Änderungen in der Landnutzung und der einhergehende Einfluss auf die Energiebilanz sind wesentliches Kriterium des Klimawandels.

Abb. 1: sowohl Wald als auch Holzhäuser punkten in Sachen Behaglichkeit und Erholung

Bäume stellen eine Schlüsselrolle sowohl zur Reduzierung der lokalen als auch der globalen Erwärmung dar [10].

Abb.2: Kohlenstoffkreislauf von Holzprodukten

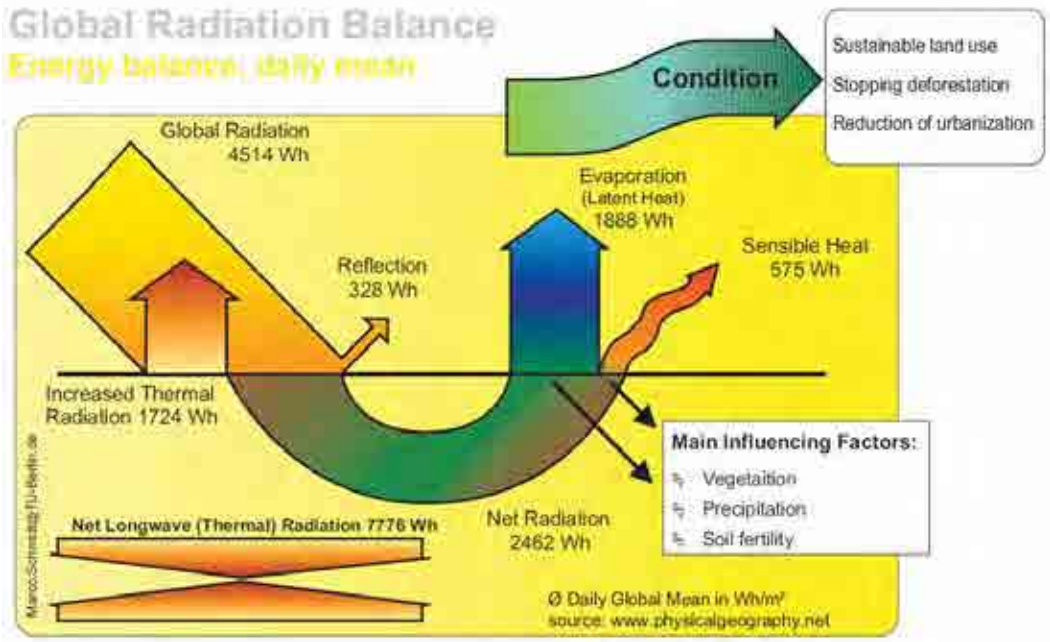


Abb.3: Globaler täglicher Energieumsatz [10]

5 Carl von Carlowitz´s Früchte tragen

Der Bericht „Grenzen des Wachstums" des Club of Rome im Jahr 1972 markiert den Beginn eines wirtschafts- und sozialpolitischen Umdenkens hin zu Entwicklungszielen, die über rein ökonomische Parameter hinausgehen und verstärkt ökologische und soziale Komponenten betrachten. 15 Jahre später definiert die Brundtland-Kommission erstmals Sustainability (Nachhaltigkeit, Zukunftsfähigkeit) als politisches Ziel: „Entwicklung zukunftsfähig zu machen, heißt, dass die gegenwärtige Generation ihre Bedürfnisse befriedigt, ohne die Fähigkeit der zukünftigen Generation zu gefährden, ihre eigenen Bedürfnisse befriedigen zu können."

Seitdem zählen Umweltschutz, Klimaschutz und die Sicherung menschenwürdiger Lebensbedingungen für immer mehr Menschen wie für Staatengemeinschaft zu unverrückbaren politischen Grundsätzen. Die Umweltkonferenz in Rio de Janeiro 1992 mit der dort verabschiedeten Agenda 21 und das Kyoto-Protokoll 1997 markieren Etappen dieser Entwicklung. Am stärksten wird die Zukunftsfähigkeit durch den Klimawandel bedroht. Die hierzulande praktiziert Forst- und Holzwirtschaft leistet in diesem Zusammenhang bereits seit langer Zeit ihren Beitrag. Nachhaltig zu agieren ist streng beachtete Maßgabe im wirtschaftlich ausgerichteten Umgang mit dem Wald und der Nutzung seiner „Früchte". Das wurde erstmals im 17. Jahrhundert durch Carl von Carlowitz postuliert.

6 Herausforderung Nachhaltigkeits- Zertifizierung

Der Ansatz, Gebäude hinsichtlich ihrer Nachhaltigkeitsqualitäten bewerten zu wollen, macht auf den ersten Blick zumindest, die Dinge nicht unbedingt einfacher. Dabei ist die Definition von Nachhaltigkeit ganz konkret: Nicht mehr aus einem Vorrat (bezogen auf Holz aus der Fabrik Wald) zu entnehmen, als nachwächst. Dass diese Festlegung im Laufe der zurückliegenden 300 Jahre sich verändern, erweitert werden würde, war zu erwarten, ist angesichts zunehmender Informationen über die Zusammenhänge und Auswirkungen unseres Tuns angemessen. Was die „Fabrik" Wald angeht, ist Beeindruckendes erreicht worden: immerhin 70 % der Waldfläche in Deutschland sind mittlerweile nach PEFC bzw. FSC zertifiziert, was sehr hohe Nachhaltigkeitsanforderungen an die Forstwirtschaft stellt. Kein anderer Baustoff kann eine nur annähernd gleich gute Quote in Punkto Nachhaltigkeitszertifizierung vorweisen.

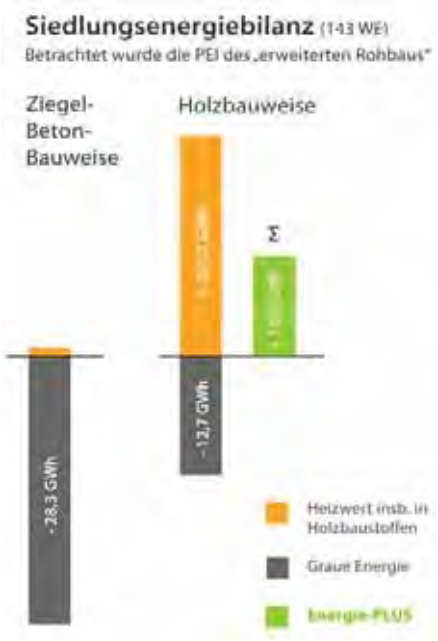


Abb.4: Plusenergiebilanz einer Siedlung

Der Baustoff Holz ist einer der wenigen Baustoffe, der in großem Umfang immer wieder nachwächst, der über den gesamten Lebenszyklus betrachtet nachweislich eine Plusenergiebilanz ausweist und als tragender und dämmender Baustoff eingesetzt wird. Zur Herstellung von Holzbauten ist deutlich weniger Energie erforderlich als im Holz enthalten ist. Nach dem Rückbau und der Trennung der Komponenten von Holzbauteilen

am Ende der Nutzung und deren thermischen Verwertung wird so viel Prozessenergie wieder frei, dass damit zwei je nach Bauweise sogar bis zu drei neuen Gebäuden in Holz errichtet werden können (Abb. 4).

7 Paradigmenwechsel in der Umweltbewertung

Die Studie „ÖkoPot" [1], von einem Forscherteam um das Hamburger Heinrich-von-Thünen-Institut für das Bundesministerium für Bildung und Forschung durchgeführt, kommt als eine der jüngsten Ökobilanzierungsstudien zu dem Ergebnis, dass der Holzbau deutliche Umweltvorteile gegenüber der mineralischen Bauweise hat. Dies soll am Beispiel der Primärenergie einer Außenwandkonstruktion erklärt werden: In Abb. 5 ist die „Graue Energie" dargestellt, die erforderlich ist, um einschließlich der Aufwendungen zur Bereitstellung der Bauteilkomponenten eine Außenwandkonstruktion herstellen zu können. Dieser Wert im negativen Bereich ist der für die Umwelt und im Sinne der Nachhaltigkeit problematische. Dem steht im positiven Bereich der Heizwert (Primärenergie reg.) gegenüber. Diese ist die Energie, die in der Konstruktion und seinen Bestandteilen über die gesamte Nutzungsdauer enthalten ist und erhalten bleibt. Dieser regenerative Energieanteil wird bei der thermischen Verwertung am Ende der Nutzungsphase von Holz wieder freigesetzt, also nutzbar, und sorgt auf diese Weise für die positive Energiebilanz. Nur Holz und Dämmstoffe aus Nachwachsenden Rohstoffen können diese Plusenergiebilanz im Bereich der sog. „$Primärenergie_{Erneuerbar}$" ausweisen.

An diesem Beispiel lässt sich ein Paradigmenwechsel in der Umweltdebatte darstellen. In frühen Ökobilanzen sowie in den meisten Diskussionen wurden vorwiegend Umweltemissionen, also problematische Stoffe und deren zu reduzierende Verwendung thematisiert. Die in den 90er Jahren entwickelte Methode der Ökobilanzierung hatte bislang nicht den Fokus auf neuere stoffliche Ansätze gelegt, die davon ausgehen, dass eine Stoffnutzung auch positive Effekte auf die Umwelt haben kann.

Abb.5: Vergleich von Außenwandkonstruktionen unter Berücksichtigung des Heizwerts in Holz bzw. der Holzverschalung von Betonbauteilen

Holz ist das beste Beispiel für die umweltpositive Stoffnutzung: Neben der Plusenergiebilanz ist der Baustoff Holz im Gegensatz zu den mineralischen Baustoffen CO_2-Speicher - im Wald wie im verbauten Zustand - bei seiner Produktion entsteht als Emission frische Luft und Staub wird nicht erzeugt, sondern in den Wäldern gebunden. Darüber hinaus erhält bzw. schafft die Holznutzung Erholungs- und Lebensräume. In den bisherigen Verfahren zur Bewertung der Nachhaltigkeit wird dies bislang nicht ausreichend berücksichtigt. Hier gilt es nachzubessern, um einheitliche und vergleichbare Ökobilanzergebnisse zu erhalten.

Ein weiteres sehr anschauliches Beispiel für den hohen Energieinhalt von Holz zeigt das in Tab. 1

aufgeführte Beispiel: Allein aus den bei der Produktion von 1 m³ Brettschichtholz anfallenden Holzresten können mit einem modernen Heizkraftwerk 2.154 MJ Strom und 6.678 MJ Wärmeenergie gewonnen werden. Das ist mehr als zur Trocknung von modernen Schnittholzprodukten, z.B. Konstruktionsvollholz, eingesetzt werden muss.

8 Ökobilanzierungs-Tools

Zur Nachhaltigkeit von Gebäuden gibt es umfangreiche Untersuchungen seit Mitte der 90er Jahre. Die ökologische Bewertung von Bauteilen und Gebäuden wird meist mit der Methode der Ökobilanz durchgeführt. Die Methodik ist in der ISO 14 040 festgelegt. In ökobilanziellen Berechnungen wird der gesamte Lebenszyklus des Gebäudes betrachtet. Dies sind die Primärenergieinhalte für den Rohstoffabbau, die Materialproduktion und die Baustofftransporte, die Instandsetzungs- und Renovierungsarbeiten sowie Abriss bzw. der Demontage der Gebäude. Die Ökobilanzierung von Gebäuden ist mit Programmen, auch

Tab.1: Ausschnitt aus der Energiebilanz zur Herstellung von 1m³ Brettschichtholz

	Energie [MJ(E_{aq})]
Energieverbrauch	
Forstliche Produktion	306
Rundholztransport (50 km)	200
Schnittholzherstellung	360
Transport (600 km, 50% LKW Auslastung)	2.400
Brettschichtholzherstellung inkl. Schnittholztrocknung	4.275
Summe	7.541
Energieerzeugung	
Nutzung der Resthölzer	
• elektrische Energie	2.154
• thermische Energie	6.678
Summe	8.832
Energieüberschuss	1.291

Ökobilanz-Tools genannt, mit vertretbarem Aufwand möglich. Die Ökobilanzierung eines einzelnen Gebäudes kann bei guter Datenlage innerhalb von einem bis zwei Tagen erfolgen. Eine hinreichende Anwenderfreundlichkeit ist nur teilweise gegeben. Die Tools versuchen sich in die Arbeitsabläufe der Gebäudeplaner zu integrieren. Für spezifische Fragestellungen sind teilweise kostenlose Tools erhältlich. Bedienerfreundlichere Software kostet zwischen 700 bis 7.000 € und werden mit umfangreichen Datenbanken geliefert, womit Bewertungen ganzer Gebäude möglich sind.

Die am weitesten entwickelten Ökobilanzierungs-Tools in Deutschland sind LEGEP und OGIP. Interessante Prototypen sind das F219 der TU München und das käufliche ÖÖS der Uni Wuppertal, welches als einziges Tool auch den sog. „ökologischen Rucksack", besser bekannt als „MIPS", mit ausweist [11], [4]. Mit allen Tools können sowohl der Energiebedarfsnachweis nach EnEV, Ökobilanzen und die Lebenszykluskosten der Gebäude gerechnet und bewertet werden. OGIP und LEGEP ermöglichen zusätzlich die Erstellung der Ausschreibungsunterlagen. Ein Spezifikum von F219 ist, dass das Tool durch die direkte Kopplung an die 3D-Zeichnung, die für die Ökobilanz benötigten Daten direkt aus der Zeichnung liest [2]. Sogar die Firma AutoCad wirbt mittlerweile für ein solches Tool, die den Lebenszyklus von Gebäuden berechnen können soll.

Es liegen zahlreiche Bilanzen zu Bauprodukten vor. Beispielsweise werden im „Ökologischen Bauteilkatalog" des IBO in Österreich oder in der kostenlos verfügbaren Online-Dokumentation der SIA www.bauteilkatalog.ch gängige Konstruktionen bewertet und vergleichbar dargestellt. Darüber hinaus gibt es kostenlose elektronische Datenbanken, wie z.B. www.wecobis.de oder die BauBioDatenbank, die wie Nachschlagewerke aufgebaut und damit entscheidungsunterstüt-

zend in ökologischen und gesundheitlichen Fragestellungen sind.

Es sei explizit darauf hingewiesen, dass sowohl im www.bauteilkatalog.ch als auch in WECOBIS bislang nur die „Graue Energie" berücksichtigt wird und somit die für Holz positive Entsorgungsphase nicht enthalten ist (Stand März 2009). Dies soll jedoch nachgebessert werden.

9 Ausgewählte Ökobilanz-Ergebnisse

Was die Gebäude betrifft, so sind die größten Einsparungen von Primärenergie (PEI) insbesondere in Bestandsbauten im Heizenergiebereich und der Energieversorgung zu erreichen. An dritter und vierter Stelle fällt der Strom- und Warmwasserverbrauch ins Gewicht. Erst bei optimierter Haustechnik wie z.B. in Passivhäusern werden die PEI in den Baustoffen in einer Größenordnung von bis zu 2/3 der Lebenszyklus-PEI relevant. Sollen die Umweltbelastungen weiter gesenkt werden, ist es lohnend, bei den Baustoffen anzusetzen und auf nachwachsende Baustoffe wie Holz mit ausgewiesener Plusenergiebilanz oder Lehm mit immerhin sehr geringen Herstellungsaufwendungen zurückzugreifen. Die Holzbauvariante verbraucht in der Herstellung (Bilanzgrenze Rohstoffabbau bis Werktor), nur die Hälfte der PEI der Ziegel-Betonkonstruktion. Die für den Transport von Aushub oder Baustoffen nötigen Energiemengen sind im Normalfall vernachlässigbar.

Lediglich der Lkw-Transport der Baustoffe über lange Distanzen kann zur relevanten Größe werden (Abb. 6).

In einer Beispielrechnung wurde für die Erstellung einer Siedlung mit 143 WE eine Lieferung von Betonfertigelementen mit einem Gesamtgewicht von knapp 16.000 t über eine Entfernung von 500 km von Hannover zur Baustelle nach Karlsruhe bzw. dem Transport von Holzbauteilen aus dem 2.000 km entfernten Skandinavien verglichen. Interessanterweise verursacht der Transport des Holzes aus Skandinavien mit dem energieeffizienten Schiff rechnerisch die gleichen Emissionen wie ein Lkw-Transport über 200 km aus der Region. Berücksichtigt man allerdings den im Holz enthaltenen Heizwert, fällt die LCA deutlich besser zugunsten der Holzvariante aus, wie es in Abb. 7 dargestellt ist.

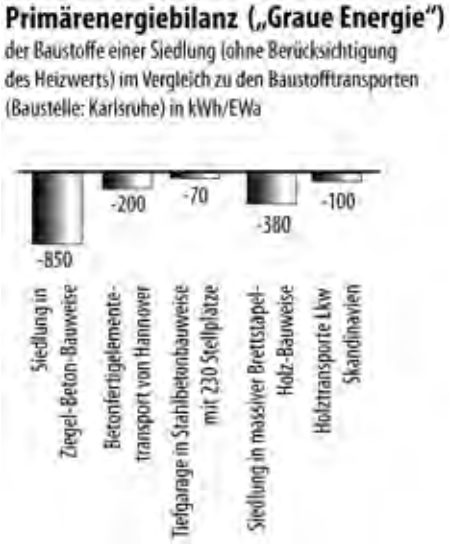


Abb. 6: Vergleich der Primärenergieaufwendungen für Baustofftransport und Baustoffherstellung

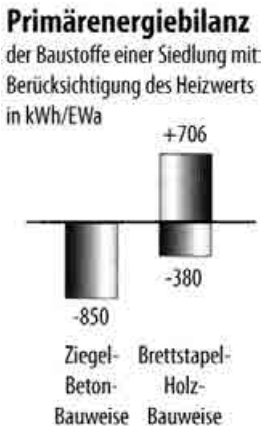


Abb. 7: Primärenergiebilanz von mineralischer Bauweise und Holzbauweise.

10 Nicht alles Silber was glänzt

Die Studie [5] im Auftrag des Vereins der „Freunde des Massivbaus“ des Massivbau-Instituts unter Leitung von Prof. Graubner an der TU Darmstadt zeigt, zu welchen Ergebnissen man kommt, wenn man nicht den kompletten Lebenszyklus der Gebäude bzw. von Holzwerkstoffen bilanziert. Prof. Graubner orientierte sich in der Studie zwar an der international anerkannten Methode der Ökobilanz, deren Verfahren in der ISO DIN 14040ff geregelt ist. Es wurde ein Gebäude in Holzbauweise im Vergleich zu einer mineralischen Bauweise verglichen. Im Gegensatz zu einem Dutzend anderer wissenschaftlicher Studien kommt die Studie jedoch zu einem erstaunlichen Ergebnis: die mineralische Bauweise schneidet in der Graubner-Studie ökologisch sogar leicht günstiger ab als der Holzbau.

Die Studie führte in Fachkreisen zu kontroversen Diskussionen, insb. ob die Methode der Ökobilanz der richtige Ansatz ist, wenn sie zu unterschiedlichen Ergebnissen führt, wie Prof. Graubner vorführt. Die Methode der Ökobilanz stellt die Studie unseres Erachtens allerdings nicht in Frage. Vielmehr zeigt die Graubner-Studie, dass es für die Nutzer von Ökobilanzen schwer nachprüfbar ist, ob die Ergebnisse stimmen und es einen geübten Blick braucht, um solche Studien interpretieren zu können.

Prof. Graubner veröffentlicht die Studie nach wie vor mit Nachdruck und sie wird in der Fachpresse ungeprüft zitiert, weshalb die Berechnungen im Folgenden diskutiert werden. Brisant ist, dass sich das Bundesbauministerium von Prof. Graubner in Frage der Zertifizierung zum Nachhaltigen Bauen beraten lässt. Unabhängig hiervon ist es wissenschaftlich interessant, wie es der Studie gelingt, dieses Ergebnis zu erzeugen, das konträr zu Aussagen anderer den Autoren bekannter Studien steht [6], [3], [13]. Im Prinzip gelingt dies einfach: Er lässt die Entsorgungsphase unberücksichtigt. Bezeichnet sie als nicht relevant [5], was zwar für die mineralische Bauweise angenommen werden kann, aber für die Holzbauweise zu entschieden schlechteren Werten führt. Immerhin kommt ein Doktorand aus Graubners Institut in seiner Dissertation mit dem Tool „bauloop“ zum Ergebnis, das dem entspricht, was ansonsten in internationalen wissenschaftlichen Studien veröffentlicht worden ist: Der Holzbau schneidet in der Umweltbilanz signifikant, also deutlich besser ab, als die mineralische Bauweise [8]. Prof. Graubner korrigiert die Ökobilanzstudie (Graubner 2008, S.14) und bezieht die Entsorgungsphase mit in die Betrachtung mit ein. Das der Holzleichtbau nun einen deutlich höheren Anteil PEI reg. ausweist als der mineralische Bau, was positiv zu bewerten ist, wird nicht weiter thematisiert. Auch scheint der Anteil PEI reg. der Holzbauvariante zu gering und die PEI n.reg. zu hoch, was wir derzeit intern prüfen. Das Bild abrundend ist, dass Prof. Graubner sein Institutsgebäude, ein Stahl-Glas-Gebäude, im Pilotzertifizierungsprozess der DGNB selbst bewertet, selbst geprüft und anschließend sich selbst mit Silber ausgezeichnet hat. Insgesamt ein wenig glaubhaftes Geschäftsmodell.

11 Plusenergiebilanz der „Neue Werkstätten Lebenshilfe Lindenberg“

Die Einrichtung in Lindenberg/Allgäu ist im Baujahr 2005 mit einer BGF von insg. 5.250 m^2 von den Lichtblau Architekten aus München realisiert worden. Im Gesamtkomplex untergebracht sind 40 Büroarbeitsplätze für die Haupt- und Kreisverwaltung und 140 Arbeitsplätzen für behinderte Menschen. Es wurde ein sehr geringer Heizwärmebedarf von 37,1 kwh/m^2a bzw. Primärenergiebedarf: 67,1 kwh/m^2a und ein hoher Anteil des Plusenergiebaustoffs Holz realisiert. Im Einzelnen sind dies eine Holzskelettbauweise mit Tragwerk aus BSH-Rundstützen und Brettstapeldecken; Dach und Fassade: BSH-Boxen mit Zellu-

losedämmung; Glasfassade: BSH-Pfosten-Riegel mit Pressleistensystem.

Die Ökobilanz (Quelle: LEGEP Aktuell 12/2005) des Holzgebäudes im Vergleich zum konventionell gebauten Gebäude zeigt, dass der Anteil der PEI erneuerbar knapp 4.500 GJ über dem PEI nicht erneuerbar also deutlich über den Erstellungsaufwendungen („Graue Energie") liegt; d.h. eine Plusenergiebilanz aufweist. Holz führt also bei massivem Einsatz zu einer Plusenergiebilanz von Gebäuden. Die Baustoffe aus Nachwachsenden Rohstoffen überkompensieren also sogar die Energieaufwendungen und teilweise die Emissionen, die von anderen Baustoffen ausgehen. Die Zahlen sind signifikant und sprechen für sich.

Abb. 8: „Neue Werkstätten Lindenberg in Holzbauweise"

12 Die Stadt als Rohstofflager

Neben der Primärenergiebilanz rückt ein weiterer Aspekt in den Vordergrund: die drängender werdende Frage der Entsorgung von Bauschutt. In Deutschland sind die Deponien voll. Ein hoher Anteil des Abfallaufkommens, die Zahlen schwanken je nach Annahme zwischen 30 und 50 %, stammt aus dem Baubereich. Mineralische Bauabfälle eignen sich im Gegensatz zu Holz nicht für die Müllverbrennung. Bei einem „weiter wie bisher" in Kombination mit dem demografisch bedingten Bevölkerungsrückgang ist in Deutschland bis 2025 mit einem Bauschuttanfall von zusätzlichen rund 25 Millionen Tonnen zu rechnen (Abb.9 Szenario „Ref-2025"), was zu einem erheblichen Entsorgungsproblem werden könnte. Derzeit werden mineralische Bauabfälle vorwiegend als Straßenuntergrund entsorgt. Doch die Straßen in Deutschland sind weitgehend gebaut.

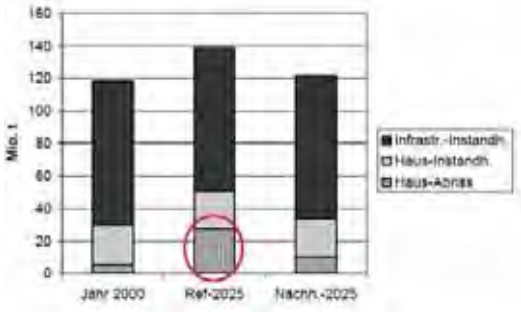


Abb. 9: Bauschuttanfall durch Instandhaltung und Abriss von Wohngebäuden und Instandhaltung technischer Infrastruktur in Deutschland (Referenz- und Nachhaltigkeitsszenario)

Abb. 10: Der Schweizer Pavillion auf der Expo 2000 in Hannover: Gebäude als künftige Rohstofflager

Abb.11: Modellprojekt „Pariser Strasse 11“ in München

Dieses Problem verursachen Holzhäuser nicht. Die Entsorgung ist aufgrund der steigenden Energiepreise und der steigenden Beliebtheit von Holz als Brennstoff wirtschaftlich lukrativ. Aus „Abfall“ könnte ein vermarktbarer Wert- bzw. Brennstoff werden. Die Stadt – bzw. vielmehr die Gebäude der Stadt - könnten demnach als Rohstofflager dienen. Der Architekt Zumthor hatte dies sehr anschaulich mit seinem sog. „Balkenlager“ auf der Expo2000 in Hannover gezeigt (Abb.10). Wesentlicher Aspekt dabei ist eine demontagegerechte Bauweise. Zahlreiche gute Standardlösungen liegen hierzu vor.

13 Wohnungswirtschaftliche Aspekte des Geschosswohnungsbaus in Holzbauweise am Beispiel der WOGENO München e.G.

Mit der Einführung der Gebäudeklasse 4 in der neuen Musterbauordnung aus dem Jahr 2002 und der Muster-Richtlinie M-HFHHolzR von 2004 sind die Rahmenbedingungen für einen bis zu 5-geschossigen Holzbau in Deutschland geschaffen worden. Die WOGENO München eG (Genossenschaft für selbstbestimmtes, soziales und ökologisches Wohnen) errichtet derzeit ein 3+ Geschosswohnungsgebäude in München - Haidhausen (Pariserstr. 11, RG). Bei Fertigstellung im Herbst 2009 entstehen 12 Wohnungen und 1 Gemeinschaftsraum. Die WOGENO verfolgt mit dem Projekt „Pariserstr. 11“ neben den ökologischen und sozialen als Bauträger insbesondere ökonomische Ziele. Der Geschosswohnungsbau in Holzbauweise hat neben den ökologischen Vorteilen, besonders positive Effekte auf die lokale und regionale Wertschöpfung in der Bauökonomie.

Mit dem Projekt „Pariserstr. 11“ soll nachgewiesen werden, dass Geschosswohnungsbau in Holzbauweise bei höheren Qualitäten zu gleichen Kosten zur mineralischen Bauweise hergestellt werden kann. Der Holzbau weist hinsichtlich der 300er und 400er Baukostengruppen („reine Baukosten“) Kostensenkungspotenzial auf. So kann die Fundamentierung infolge geringerer Auflast durch das Bauwerk geringer dimensioniert was im Projekt zu weniger Betonstahl und einer dünneren Bodenplatte und dem Verzicht von Bohrpfählen führte. Weiterhin bleiben Oberflächen (Wände, Decken) teilweise unbehandelt und sparen Kosten im Putz- und Malergewerk ein. Durch die im Holzbau übliche vorgefertigte bzw. elementierte Bauweise kann die Gesamtbauzeit deutlich reduziert werden, so dass sich erhebliche Einsparungen im Bereich der Bauzeitzinsen ergeben. Aufgrund der spezifischen Gebäudelage des Projektes ergeben sich ebenfalls Einsparungen im Vergleich zum mineralischen Geschosswohnungsbau: Aufgrund der Hinterhoflage des neu erstellten Rückgebäudes konnten die tragenden Holzelemente schnell und sicher mit einem normalen Baukran über die Bestandsgebäude hinweg gehoben und am Standort montiert werden.

Aufgrund der geschilderten Standort bezogenen Kostenaspekte erfolgt ein fundierter Kostenvergleich zwischen konventioneller- und Holzbauweise im Geschosswohnungsbau (3+) im Zusammenhang mit einem konkreten Referenzprojekt. Nach Fertigstellung des Gebäudes wird ein Kostenvergleich der durchgeführten Holzbauweise mit einer fiktiven konventionellen Bebauung

desselben Grundstückes durchgeführt. Die Autoren werden darüber an anderer Stelle berichten.

14 Fazit

Mit zunehmenden wissenschaftlichen Erkenntnissen können Bauleute neben den ökonomischen auch ökologische Kriterien bei der Baustoff bzw. Gebäudebauweise berücksichtigen (Rid 2008). Zusammenfassend lässt sich aus den Ergebnissen wiss. Studien schließen, dass besonders nachhaltige Gebäude einen sehr guten Dämmstandard haben, Erneuerbare Energien zur Versorgung nutzen und bei den Baustoffen einen möglichst hohen Anteil des Plusenergiebaustoffs Holz wählen. Dem Bau- und Werkstoff Holz kommt neben den anderen Nachwachsenden Rohstoffen (NaWaRos) eine Sonderrolle zu, weil er als einziger NaWaRo als tragender und dämmender Baustoff eingesetzt werden kann, der am Markt eingeführt und etabliert, sowie technisch ausgereift und preiswert in großen Mengen verfügbar ist.

Quellen

[1] BMBF (2008): Verbundprojekt: ÖkoPot – Ökologische Potenziale durch Holznutzung gezielt fördern. Endbericht. Bonn

[2] Ekkerlein, Christian (2004): Ökologische Bilanzierung von Gebäuden in frühen Planungsphasen auf Basis der Produktmodellierung. Diss. TU München.

[3] Frühwald, Arno et al. (2001): Holz - Rohstoff der Zukunft. Nachhaltig verfügbar und umweltgerecht. Hamburg

[4] Getto, Petra (2002): Entwicklung eines Bewertungssystems für ökonomischen und ökologischen Wohnungs- und Bürogebäudeneubau. Diss. Universität Wuppertal

[5] Graubner, Carl-Alexander (2006): Gegenüberstellung Massivhaus/ Holzelementbauweise – Ökobilanzstudie. Darmstadt

[6] Oswald, Gudrun (2003): Ökologische Bewertung im Holzwohnbau. Diss. Universität Graz

[8] Renner, Alexander (2007): Energie- und Ökoeffizienz von Wohngebäuden. Entwicklung eines Verfahrens zur lebenszyklusorietierten Bewertung der Umweltwirkungen unter besonderer Berücksichtigung der Nutzungsphase. Diss. Darmstadt

[9] Rid, Wolfgang (2008): Analyse von Präferenzstrukturen privater Bauleute im Hinblick auf nachhaltige Siedlungskonzepte unter Verwendung eines discrete choice experiment. Diss. TU München

[10] Schmidt, Marco (2009): Global climate change: the wrong parameter. Proceeding zur Konferenz "RIO 9 - World Climate & Energy Event. Rio de Janeiro
http://www.rio9.com/programme/Book_of_Proceedings/28_ES_Schmidt.pdf

[11] Streck, Stefanie (2004): Entwicklung eines Bewertungssystems für die ökonomische und ökologische Erneuerung von Wohnungsbeständen. Diss. Universität Wuppertal

[12] Umweltbundesamt (2003): Nachhaltiges Bauen und Wohnen in Deutschland. Stoffflussbezogene Bausteine für ein nationales Konzept der nachhaltigen Entwicklung – Verknüpfung des Bereiches Bauen und
Wohnen mit dem komplementären Bereich „Öffentliche Infrastruktur." Bonn/Berlin

[13] Wegener, Gerd et al. (1997): Ökobilanzen Holz. Fakten lesen, verstehen und Handeln. München

[14] Wolpensinger, Holger (2003): Ökobilanzierung von Siedlungen. In: Ökologie im Wohnungs- und Siedlungsbau. Wohnbund-Informationen, München

4.1 Nachhaltigkeit
CO_2 Bank

Matthias Eisfeld

1 Rahmenbedingungen im Abriss

Die Diskussion um das Treibhausgas CO_2 ist allgegenwärtig. Je nachdem welche Wetterkatastrophen auf der Welt passieren, wird auf den direkten Zusammenhang durch die Erwärmung der Erdatmosphäre und Kohlendioxid-CO_2 hingewiesen. Zahlreiche Aktivitäten haben das Ziel den Ausstoß von CO_2 zu verringern. Allen voran der bereits eingeleitete CO_2-Emissionshandel, der seinen Ausgangspunkt auf dem 1997 verabschiedeten Kyoto-Protokoll hat. Ziel ist es danach, die Treibhausgasemissionen ab 2008 zu reduzieren und damit die Erwärmung der Erdatmosphäre zu regulieren. Bei dem Kyoto-Protokoll handelt es sich um eine Völkerrechtlich verbindliche Verpflichtung der Industriestaaten, die sechs klimatisch relevanten Gase von 2008 bis 2012 um mindestens 5 % zu verringern. Diese Gase sind Kohlendioxid (CO_2), Methan (CH_4), Distickstoffoxid (N_2O) Hydrofluorcarbone (HFCs) Perfluorcarbone (PFCs) und Schwefeldhexafluoride (SF_6). Da aber CO_2 von der Menge und der eigentlichen Ursache für die Klimaerwärmung eine Bedeutung von weit über 50 % hat, steht dieses Gas im Mittelpunkt der Betrachtung. Deswegen sind in erster Linie zunächst nur bestimmte Wirtschaftsbereiche betroffen, so z.B. Energiewirtschaft, Mineralölindustrie, Metallindustrie, aber auch Zellstoff- und Papierindustrie, weil diese Bereiche besonders viel CO_2 erzeugen. Den beteiligten Staaten wird eine bestimmte Menge zur Emittierung von CO_2 zugestanden. Wer aber mehr CO_2 emittiert, als er hierfür Emissionszertifikate besitzt, muss Zertifikate hinzukaufen. Durch unabhängige Sachverständige wird die Genehmigung und Überwachung der CO_2-Emissionen überprüft. Werden die Emissionswerte überschritten, sind Strafgelder fällig, die zwischen 40 € und 100 € pro Tonne CO_2 festgelegt worden sind. Dadurch wird deutlich, dass es den Industriestaaten ernsthaft darum geht, einen weiteren Anstieg der CO_2-Emissionen zu verhindern und einer kontrollierten Verringerung zuführen will. Innerhalb der Industriestaaten der sogenannten 1. und 2. Welt ist dadurch eine Diskussion entstanden, die die Probleme und die notwendigen Maßnahmen verdeutlichen. Wie diese Ziele und Vorgaben erreicht werden können und sollen, darüber gibt es verschiedene Ansätze, aber in letztendlicher Konsequenz muss dabei eine Reduzierung des Ausstoßes von CO_2 erreicht werden.

Da gerade die Wirtschaftszweige - die viel CO_2-Emittieren - den wirtschaftlichen Erfolg dieser Staaten ausmachen und innerhalb der Staatengebilde über eine entsprechende Macht verfügen, ist zu erwarten, dass der Prozess der Verringerung des CO_2-Ausstoßes nicht ohne Widerstände und Probleme ablaufen wird. Bemerkenswert ist auch, dass momentan nur die Verringerung von CO_2-Emissionen gehandelt und bewertet werden, aber die Leistung der Wald- und Holzwirtschaft zur Verringerung des CO_2 nicht gewertet werden.

2 Holz und Klimaschutz

Durch den Vorgang der Photosynthese im Blatt des Baumes wird Kohlendioxid (CO_2) gespalten. Der Kohlenstoff (C) bleibt im Baum und wird im Holz gespeichert. Der Sauerstoff (O) wird vom Baum wieder abgegeben und geht wieder in die Atmosphäre. Der Atmosphäre wird dadurch das Treibhausgas CO_2 über die Nutzungsdauer des Holzes entzogen und der Kohlenstoff im Holz gespeichert. Holz reduziert dadurch auf natürlichem Weg CO_2. Die Basis ist zudem eine nachhaltige Forstwirtschaft, wie sie unter anderem in Deutschland umgesetzt wird. Für jeden genutzten Baum wird ein neuer Baum gepflanzt. Deshalb ist Holzverwendung aktiver Klimaschutz! Soweit in kurzer Form ein Vorgang der allgemein bekannt sein sollte. Aber wer weiß eigentlich, wie viel CO_2 durch diesen Vorgang an CO_2 durch Holz reduziert wird? Das gehört nicht zum Allgemein-

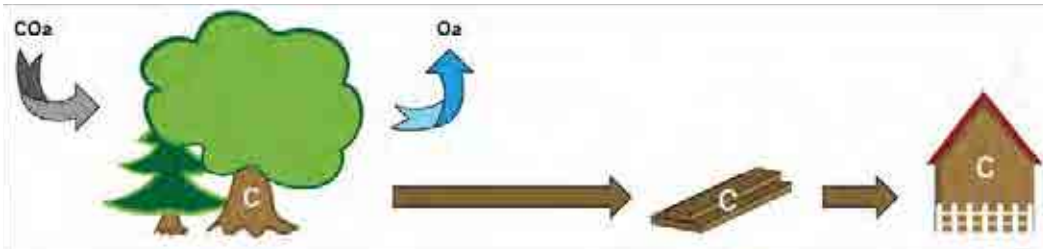


Abb. 1: Holz reduziert CO_2, solange es genutzt wird

wissen und ist nicht selten auch Fachleuten unbekannt.

Der Holzabsatzfonds hat dafür wertvolle Unterstützungsarbeit geleistet und die wissenschaftlichen Ergebnisse aus den Arbeiten von Prof. Dr. Arno Frühwald und Prof. Dr. Dr. habil. Gerd Wegener bereits in den 90er Jahren veröffentlicht. Die Ergebnisse wurden aufgegriffen und auf konkrete Bauobjekte, Holzprodukte usw. und den Wald selber übertragen. Damit soll für die Öffentlichkeit die Dimension der CO_2-Reduzierung durch Holz sichtbar und erkennbar gemacht werden. Dadurch, dass die gemeldeten Ergebnisse aufgelistet, dokumentiert und momentan bereits die CO_2-Emissionen gehandelt werden, war der Schritt zu einer „Bank" nicht mehr weit.

Abb. 2: Das internationale eingetragene Markenzeichen der CO_2 Bank

3 CO_2-Bank

Die CO_2-Bank ist eine Initiative der Wald- und Holzwirtschaft und wird durch den Landesbeirat Holz Nordrhein-Westfalen vertreten. Die CO_2-Bank ist eine Web-Datenbank, die die Qualität und Menge der Reduzierung des Treibhausgases Kohlendioxid (CO_2) durch die Objekte und Leistungen der Forst- und Holzwirtschaft international dokumentiert.

Aus dem Bereich der Wald- und Holzwirtschaft können Konten eröffnet werden. Durch die konkrete Angabe der Rohstoffmenge Holz (Holzart und –menge) wird der vorhandene Kohlenstoffanteil bestimmt und auf die die Menge CO_2 zurückgerechnet, die dadurch reduziert worden ist. Für den Wald wird das Stammholz von neun Baumartgruppen erfasst. Der Holzanteil, der im Wald bleibt wird als Zuwachs und entsprechende CO_2-Reduzierung belegt. Das Holz, das als Abgang den Wald verlässt, wird für die Leistung des Waldes als CO_2-Reduzierer nicht zugerechnet. Aus dem Bestand und dem „Netto" Zuwachs des Waldes ergibt sich dessen CO_2-Reduzierung. Dadurch wird verhindert, dass es zu einer Mehrfachzählung mit der Holzwirtschaft kommt. Von der Holzwirtschaft können Holzprodukte oder Produkte mit einem Holzanteil jeglicher Art (Haus, Tisch, Dämmstoff, Spielzeug usw.) gemeldet werden. Diese werden in der gleichen Form wie vorher beschrieben in der CO_2-Reduzierung berechnet. Zusätzlich werden die Mengen einer zeitlichen Bewertung zugeordnet, die sich an der

üblichen Lebensdauer eines Produkts orientiert (z.B. Holzhaus 100 Jahre, Holzfenster 30 Jahre, Holzmöbel 13 Jahre usw.). Die Leistungen der Holzwirtschaft werden summiert und Abzüge nach der Überschreitung der entsprechenden Zeitgrenzen durchgeführt. Damit wird verhindert, dass die gelisteten Mengen der Holzwirtschaft in die „Unendlichkeit" aufwachsen, sondern der Realität angepasst werden. Durch einen speziellen alphanumerischen Code auf den ausgestellten Belegen kann – einem Geldschein gleich – genau nachvollzogen werden, ob eine korrekte Meldung erfolgt ist. Seit dem offiziellen Start der CO_2-Bank am 01.01.2009 wurden bereits über 200 Konten eröffnet und in einer zweimonatigen vorgeschalteten Testphase konnten 1.598 Tonnen CO_2-Reduzierung durch Holzobjekte registriert werden.

Die Werte können in vielfältiger Art und Weise genutzt werden. Etwa für die Öffentlichkeitsarbeit, aber auch für eine mögliche zukünftige entgeltliche oder steuerliche Bewertung. An einem Beispiel soll diese Möglichkeit und Größenordnung verdeutlicht werden: Für ein Holzhaus können durchaus 80 Tonnen CO_2-Reduzierung durch das verwendete Holz angenommen werden. Legt man z.B. nur 40 € für eine Tonne CO_2 - die geringste Summe aus dem CO_2-Emissionshandel - zugrunde, wäre das eine Summe von 3.200 €. Die Möglichkeiten für einen umfassenden CO_2 Handel sind vorhanden.

Darüber hinaus besteht nunmehr die Möglichkeit einer CO_2 Bilanzierung, also einer zeitlich, räumlich, qualitativen und mengenmäßigen Gegenüberstellung von CO_2 Reduzierung auf der einen Seite und CO_2 Emissionen auf der anderen Seite. Nur so ist z.B. eine Aussage über eine CO_2 Neutralität möglich, oder lassen sich konkrete klimapolitische Ziele und Maßnahmen definieren. Zudem erleichtert es den Menschen eine ganzheitliche Vorstellung über Ursache, Wirkung und Menge bezüglich des Klimagases CO_2 zu bekommen.

Linkliste
www.co2-bank.de

Abb. 3: Der erste offizielle Beleg der CO_2 Bank, die KITA Kleine Löwen des HENKEL Konzern in Düsseldorf

4.2 Baubiologie, Wohngesundheit
Holzbau und Wohngesundheit

Josef Spritzendorfer

1 Einleitung

Zweifellos stellt Holz neben Lehm einen der ältesten Baustoffe dar, dessen „Gesundheitsverträglichkeit über Jahrtausende nicht in Frage gestellt worden ist.

Erst durch Fehlentwicklungen im letzten Jahrhundert (überflüssiger Einsatz chemischer Holzschutzmittel, Einsatz extrem formaldehydhaltiger Holzwerkstoffe) wurden Fragen der Innenraumluftqualität in Holzhäusern öffentlichkeitsrelevant.

Während im Verlauf der letzten Jahrzehnte durch zunehmende Dämmung aufgetretene Probleme von Schimmelbelastungen (Schimmel ist immer noch der Hauptverursacher von Raumlufterkrankungen) in zahlreichen Gebäuden vom qualitativ hochwertigen Holzbau inzwischen vor allem dank verantwortungsbewusster Ausführung der Luftdichtheit nahezu vollkommen ausgeschlossen werden können, stellt die Qualität der Innenraumluft ein immer mehr beachtetes Risiko auch für qualitätsbewusste Holzbau-Unternehmen dar.

Zwischenzeitlich ist vor allem in sensiblen öffentlichen Gebäuden (Schulen, Krankenhäuser, Kindergärten, Altersheime) in vielen Kommunen die Überprüfung der Innenraumluft vor „Übernahme“ des Gebäudes Standard – dabei auftretende Emissions-Werte finden vor allem aber auch starkes Interesse der Medien (Neubauten z.B. 2001 Kindergarten Blütenanger München, 2007 zwei Schulen in Zürich, zahlreiche Beispiele mit Belastungen nach Renovierungen in vielen Schulen bundesweit).

Entsprechend sensibler reagieren daher aber auch private Bauherren zwischenzeitlich auf diese Thematik und suchen entsprechende Beratung im Voraus – oft aber auch erst nach Bezug des neuen Hauses auf Grund auftretender gesundheitlicher Beschwerden oder allergischer Reaktionen.

Erschwerend kommt hinzu, dass in modernen energieoptimierten Gebäuden oft die Luftwechselrate – vor allem bei fehlender ausreichender Belüftung – sehr niedrig ist und zu erhöhten Raumbelastungen führen kann. Wie die Schweizer Liwotev-Studie Liwotev bewiesen hat, stellt aber auch eine technische optimierte Belüftung keinen Ersatz für eine sorgfältige Produktauswahl dar, da gerade VOCs[1] nicht immer mittels einer solchen Lüftung zwangsmäßig reduziert werden können.

2 Belastungen aus Holzwerkstoffen durch verwendete Hilfsstoffe, z.B. Kleber

Hier kann festgehalten werden, dass isocyanathaltige Kleber zwar aus ökologischer Sicht nicht optimal zu bewerten sind - im Gegensatz zu den formaldehydhaltigen Klebern nach entsprechender Austrocknung aber (nach Aussagen der Hersteller – wird derzeit allerdings seitens der „Baubiologie“ noch diskutiert) keinerlei „Reaktion“ und damit Gesundheitsgefährdung mehr zu erwarten ist. Formaldehydhaltige Kleber dagegen erhöhen enorm den ohnedies in jedem Holz enthaltenen Gehalt an „natürlichem“ Formaldehyd, der per se kein gesundheitliches Risiko auf Grund der niedrigen Dosis darstellt.

Formaldehyd insgesamt wurde bereits Mitte 2004 von der International Agency for Research on Cancer (IARC) als krebserzeugend eingestuft.

Überhöhte Formaldehydbelastungen können durch entsprechende Produktauswahl ohne Probleme zwischenzeitlich ausgeschlossen werden.

[1] Flüchtige organische Verbindungen (Abk.: VOC bzw. VOCs nach volatile organic compound[s]) ist die Sammelbezeichnung für organische, also kohlenstoffhaltige Stoffe, die leicht verdampfen (flüchtig sind) bzw. schon als Gas bei niedrigen Temperaturen (z.B. Raumtemperatur) vorliegen.

3 Belastungen aus Oberflächenbehandlungen der Hölzer

Leider sind hier bis heute noch immer holzverarbeitende Betriebe der Überzeugung, chemischer Holzschutz sei unverzichtbar. Der Arbeitskreis Ökologischer Holzbauer AKÖH (siehe link) hat mittels strenger Kriterien jedoch dankenswerter Weise erreicht, dass sich ein Großteil der heute tätigen Holzhausfirmen wieder erfolgreich auf jahrtausendealte Erkenntnisse des konstruktiven Holzschutzes besonnen haben.

Zum allgemeinen Stand der Technik gehört, dass keine Holzbauteile innerhalb der Klimahülle eines Gebäudes mit bioziden Wirkstoffen behandelt werden darf.

In den heute am Markt befindlichen Holzschutzmitteln befinden sich zwar nicht mehr PCP oder Lindan (Stoffe die seit dem Holzschutzmittelprozess allgemein bekannt und auch verboten sind) – dafür aber gesundheitlich weiterhin sehr relevante „Gifte" wie z.B. Propiconanzol[2].

Belastungen können aber ebenso aus Oberflächenbehandlungen wie Ölen, Wachsen, Lasuren, Lacke stammen – nicht zuletzt sind die meisten „Naturfarbenhersteller" bis heute nicht bereit, unabhängige Emissionsprüfberichte vorzulegen und beschränken sich auf selbsterstellte „Volldeklaration der Inhaltsstoffe". Dem Endverbraucher, vor allem sensitiven Menschen, Allergikern interessiert aber weniger die „Ökologie eines Produktes", auch nicht unbedingt, was „hineinkommt" – sondern fast ausschließlich die zu erwartenden Emissionen und damit gesundheitlichen Auswirkungen auf „seine" Raumluft.

Auch die Verwendung „lösemittelfreier Produkte" ist hier keinerlei Garantie der Verträglichkeit – durch die Definition des Begriffes „Lösemittel" über den „Siedepunkt" sind zahlreiche dauerhaft höhersiedige Stoffe (z.B. Glykolverbindungen) hier bei der „Kennzeichnung lösemittelfrei" nicht berücksichtigungspflichtig und können für den Nutzer zu einer langandauernden gesundheitlichen Belastung führen.

Nur durch umfassende Emissionsprüfungen, welche beispielsweise für das Sentinel-Haus® Institut Voraussetzung für einen Einsatz in wohngesundheitlich optimierten Gebäuden sind, können solche Risiken drastisch minimiert werden.

Zitat:
„Eine Reihe von Glykolverbindungen, insbesondere die Ethylen-Glykolether und ihre Acetate, haben sich im Tierversuch als embryotoxisch und Missbildungen erzeugend erwiesen. Darüber hinaus haben sie das Potenzial, die Fortpflanzungsorgane zu schädigen. Da sich die giftigen Abbauprodukte dieser Substanzen im Stoffwechsel nach ihrer Aufnahme nur langsam aus dem Körper ausscheiden, kann bei einer lang andauernden Exposition eine Anreicherung im Körper stattfinden. 2-Butoxy-Ethanol, ein in Wasserlacken häufig verwendetes Lösemittel, ist augenreizend und gesundheitsschädlich beim Einatmen, Verschlucken und Berühren mit der Haut. Weiterhin kann es zu Schädigungen im Blutbild kommen und der Stoff steht unter dem Verdacht, Leber und Nieren zu schädigen. Für andere Glykolverbindungen ist die Datenlage zur Beurteilung teilweise unzureichend. Trotzdem empfiehlt sich aus Vorsorgegesichtspunkten ein eingeschränkter Umgang mit den Glykolverbindungen."
http://www.biomess.de/glykol.html

[2] „Langzeitwirkung durch Speicherung in Fett und Gehirn - je nach Gentypus und Zusatzgiften. Nervengift."

4 Belastungen aus dem natürlichen Werkstoff Holz

Natürliche Terpene aus harzreichen Hölzern können zu VOC-„Grenzwertüberschreitungen" führen ebenso wie „natürliche Lösemittel" in Naturfarben oder „höhere" Aldehyde als Produktions-Folgeprodukte bei der Erhitzung von Stoffen wie Holz (z.B. bei OSB-Platten) und Kork. Trotz vielfacher Anfragen waren bis heute von keinem der OSB-Plattenhersteller neutral erstellte Untersuchungsergebnisse zu den VOC-Emissionen zu erhalten, bei den vor allem auch die Probenahme „wirklich aktueller" Ware durch eine entsprechende neutrale Stelle nachgewiesen werden konnte.

Besonders bei entsprechenden Anforderungen des Bauherrn bezüglich VOC-Emissionen, Gerüchen, kann alleine schon durch entsprechende Auswahl der Holzart eine entsprechende Belastungsreduktion ohne weiteres erreicht werden. Entsprechend haben sich auch bereits industrielle Holzlieferanten und Produkthersteller gefunden, die durch regelmäßige Emissionsprüfungen (natureplus oder andere iso-zertifizierte Institute) ihre tatsächlichen Werte jederzeit offenlegen können.

Dabei stellen diese VOC, manche von ihnen sind „Nur-Reizstoffe", oft für den gesunden Bewohner, zumindest bei nicht extrem überhöhter Konzentration, überhaupt keine Belastung dar. Im Gegenteil – in einer umfangreichen Studie zu den „Terpenen" aus der Zirbelkiefer konnte das Joanneum Graz für Herzpatienten feststellen:
„Gut erkennbar ist ein Absinken der Herzrate in Ruhephase 1 mit gleichzeitiger Absenkung der vegetativen Balance in Richtung Vagotonie (Entspannung)" [2].

Die gleichen „Wirkstoffe" können für Allergiker aber unverträglich sein.
Aus diesem Grunde wird bei der Beratung für „wohngesundheitlich optimierte Häuser" ausdrücklich unterschieden zwischen

- „emissionsminimierten Gebäuden" für Bauherren, die präventiv übermäßige künftige gesundheitsrelevante Belastungen aus Bauprodukten vermeiden wollen,
- und „individuell geplanten" Gebäude für Allergiker, MCS[3] Betroffene mit wesentlich erhöhten Anforderungen bei der Produktauswahl vor allem im Hinblick auf „natürliche Reizstoffe".

Letztere Gebäudeberatung erfolgt ausschließlich in Zusammenarbeit mit dem jeweils behandelnden Arzt. In solchen Fällen ist es manchmal auch durchaus erforderlich, auf gewisse „Naturprodukte" zu verzichten und stattdessen auf emissionsärmere, konventionelle Baustoffe zurückzugreifen.

Auf diese Weise bemühte sich das Sentinel- Haus Institut bereits beim Forschungsprojekt „Umsetzungskonzept für wohngesundes Bauen" 2005/ 2006, gefördert von der Bundesstiftung Umwelt, ausschließlich emissionsgeprüfte Produkte einzusetzen, und sich nicht auf die sehr oft nicht ausreichenden freiwilligen und nicht kontrollierbaren „Deklarationen" der Inhaltsstoffe seitens der Hersteller zu verlassen.

Dies betrifft im Holzbau nicht nur das Hauptprodukt Holz – sondern vor allem auch die nachgelagerten Produkteinbringungen.

Dazu fanden sich zwischenzeitlich bereits eine Reihe von Baustoffherstellern aus dem Bereich Dämmstoffe, Luftdichtesysteme, Ziegelhersteller,

[3] MCS = multiple Chemikalien Sensitivität; Erkrankte, die auf eine Unzahl durchaus auch nichttoxischer Stoffe mit heftigen Abwehrreaktionen reagieren…

Hersteller von Mörtel und Putzen, Türen, Gipsfaserplatten, Perimeterdämmung, Dachfenster, Holztreppen und zahlreiche weitere – siehe auch „natureplus“, die ihr Sortiment bzw. zumindest Teile Ihres Sortiments entsprechend neutral und umfassend prüfen ließen und lassen, und für diese geprüften Produkte hervorragende Messergebnisse vorweisen können.

Vor allem für den zunehmend „gesundheitsbewussten“ Verbraucher stellen diese Daten angesichts ständig zunehmender Allergien in der Gesamtbevölkerung (man spricht bereits von 25 bis 40 % Betroffener) eine sehr wesentliche Information dar.

Ebenso sollte diese Betrachtungsweise für Schulen, Kindergärten zwingend sein.

In umfangreichen Zusammenfassungen von Raumluftmessungen wurden in den letzten Jahren von vielen Institutionen (AGÖF, UFZ, Sentinel-Haus Institut, Bau und Umweltchemie Schweiz u.a.) in Neubauten und frisch renovierten Häusern Belastungen festgestellt, die teilweise eine dauerhafte Nutzung zahlreicher dieser Gebäude – ausgehend von den entsprechenden Richtlinien des Umweltbundesamtes 2007 (ad-hoc-Arbeitsgruppe des Innenrumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes) sogar ausschließen würden.

Der verantwortungsbewusste „Holzbaubetrieb“ sollte daher nicht nur aus seiner Verantwortung gegenüber dem Kunden eine Minimierung sämtlicher angeführter Emissionswerte anstreben – zwischenzeitlich ist er gut beraten, dies auch aus rein rechtlichen und damit wirtschaftlichen Gründen zu tun.

Gerade der Holzbau wirbt seit langem mit dem Argument: „Natur = Gesundheit“, sehr oft auch mit Aussagen zur Allergikerverträglichkeit der Häuser.

Bei rechtlichen Auseinandersetzungen unzufriedener Kunden bezüglich Geruchsbelastungen oder erhöhten Raumluftbelastungen legen die Richter aber zunehmend gerade im Falle solcher veröffentlichten Werbeaussagen zum Thema „Gesundheit“ wesentlich höhere Maßstäbe an – und orientieren sich dabei vor allem an den Empfehlungswerten des Umweltbundesamtes zur Innenraumluft (Abb. 1). In dieser Empfehlung finden sich Werte, die in vielen Fällen auch von qualitativ anspruchsvollen Betrieben mangels entsprechender Berücksichtigung dieser Fragen bei der Produktauswahl und bei der baulichen Umsetzung unnötigerweise um ein vielfaches überschritten werden.

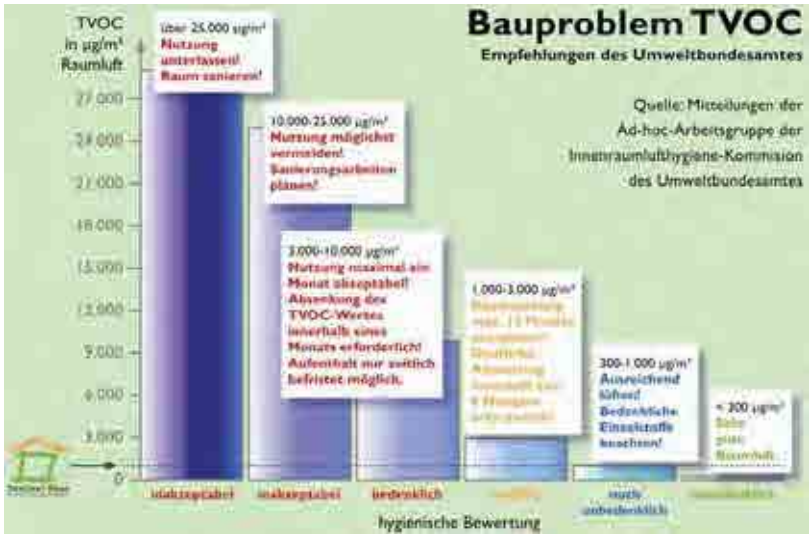


Abb. 1: TVOC-Wert (total volatile organic compounds): u.a. die Summenkonzentration flüchtiger organische Verbindungen – Maß für die Belastung neu erstellter Wohnräume mit Lösemitteln aus Bauprodukten

Mit dem o.g. Forschungsprojekt „Umsetzungskonzept für wohngesundes Bauen“, welches unter anderem von zahlreichen auch mittelständischen Holzbaubetrieben finanziert worden ist, er-

stellten Konzept konnten dank strengster Produktauswahl und umfassender Qualifizierung aller am Bau Beteiligten (Planer/Bauunternehmen/ Handwerker) bei den beiden Projekt-„Holz-Häusern“ absolute „Tiefstwerte“ von Emissionen erreicht werden. In einem dieser Fälle wurden Werte erreicht, die weit unterhalb der vereinbarten Zielwerte lagen.

Abb. 2: Holzständerkonstruktion mit Komfortlüftung erstellt nach dem Sentinel-Haus-Konzept; Fertigstellung 2007; Bruttogeschossfläche: 250 m^2

Ziel und erreichtes Ergebnis des Forschungsprojektes war die Erarbeitung eines praxisnahen, umsetzbaren Konzeptes, das Bauunternehmen ermöglicht, dem Kunden definierte Raumluftergebnisse zuzusichern und sich selbst stets auf dem aktuellen Wissensstand der Forschung im Bereich Umweltmedizin im Bereich Raumluftbelastungen zu halten.

5 Zusammenfassung

Wohngesundheitlich optimierte Holzhäuser sind in unterschiedlichen Bauweisen grundsätzlich jederzeit optimal umsetzbar.

Wichtig ist

- eine sorgfältige – den individuellen Bedürfnissen angepasste Produktauswahl
- Sensibilisierung und Qualifizierung von Planern und Ausführenden (Planung und Umsetzung haben eine immens hohe Bedeutung für das Endergebnis)
- Naturbaustoffe – nachhaltige Bauprodukte stellen in der Regel ein geringeres „Belastungsrisiko“ als viele „industriell-chemisch konditionierte“ konventionelle Bauprodukte dar – bedürfen aber ebenso einer umfassenden Emissionsprüfung, um gesundheitliche Reaktionsrisiken zu minimieren; wertvolle Informationen liefert dazu das Internationale Qualitätszeichen für Naturbaustoffe „natureplus“ [3]
- Beachtung auch weiterer „Gesundheitsfaktoren“ wie optimierte Grundstücksauswahl, elektromagnetische Strahlenbelastungen (Gebäudeextern und intern), Luftwechsel durch entsprechende Lüftung, Emissionsreduktion durch entsprechendes Heizsystem, Hausstaubreduktion durch zentrale Staubsauganlage u.a.

Quellen

[1] http://www.raumlufthygiene.ch/download/-LIWOTEV-Schlussbericht.pdf
[2] Zirbe fürs Wohlbefinden (Endbericht) http://www.zirbe.info/Anbieter/?download=Wohlbefinden_Endbericht.pdf
[3] Internationaler Verein für zukunftsfähiges Bauen und Wohnen – natureplus e.V. (www.natureplus.org)

Buchempfehlungen

„Ökologisches Baustoff-Lexikon: Bauprodukte, Chemikalien, Schadstoffe, Ökologie, Innenraum“ von Gerd Zwiener, Hildegund Mötzl, Verlag: Müller (C.F.), Heidelberg, April 2006
ISBN-10: 3788076860

„Nachhaltiges Bauen mit "wohngesunden" Baustoffen: Nachhaltigkeit im Bauwesen bedeutet ökologisch-ökonomisch-sozial-verträglich“ von Josef Spritzendorfer, Verlag: Müller (C.F.), Heidelberg, März 2007
ISBN-10: 3788078022

„Innenraumklima“ von Reto Coutalides, Roland Ganz, Walter Sträuli, WerdVerlag (November 2002)
ISBN-10: 3859324195

Weiterführende Links

http://www.natureplus.org/uploads/media/natureplus_Fachpressedienst_08-06.pdf

http://www.akoeh.de/6_1_kriterien.php

http://www.toxcenter.de/stoff-infos/p/propiconazol.pdf

http://www.sentinel-haus.eu

http://www.sentinel-haus.eu/fileadmin/downloads/pdf/Wissenschaft/Zusammenfassung_Raumschadstoffe_01.pdf

http://www.natureplus.org/produkte/

https://ufz.helmholtz.de/index.php?de=1448

http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/30455/innenraumbewertung2007.pdf/?command=downloadContent&filename=innenraumbewertung2007.pdf

http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/30455/innenraumbewertung2007.pdf/?command=downloadContent&filename=innenraumbewertung2007.pdf

5 Forst und Sägeindustrie
Inhaltsverzeichnis

5.1 Forst und Sägeindustrie

Märkte für Forst- und Holzwirtschaft	S.	325
Wald und Klimawandel	S.	331
Rohholzbedarf und -bereitstellung	S.	335
Ressourcen – Rohstoffmobilisierung	S.	341
Besondere Absatzkonzepte	S.	347

5.2 Rohstoff Holz

Maschinelle Festigkeitssortierung von Schnittholz	S.	355
Potential der maschinellen Festigkeitssortierung von Schnittholz	S.	361
Hochwertige Bauprodukte aus starkem Stammholz	S.	371

5 Forst und Sägeindustrie
Einleitung

Forstwirtschaft

Die Bundeswaldinventur aus den Jahren 2002 / 2003 zeigt, dass in den kommenden Jahren in Deutschland mit einem potenziellen Rohholzaufkommen von etwa 78 Mio. m^3 im Jahr gerechnet werden darf. In den kommenden 40 Jahren, so die Prognose, kann das Rohholzaufkommen auf etwa 81 Mio. m^3 pro Jahr gesteigert werden. Dies geht aus dem Beitrag „Rohholzbedarf und –bereitstellung“ (Udo Hans Sauter) hervor, der das Rohholzpotenzial von 2002 bis 2042 betrachtet.

Danach verursachen die Branchen der ersten Verarbeitungsstufe der Holzwirtschaft und der Energieerzeugung aus Holz einen Rohholzbedarf von rund 69 Mio. m³ je Jahr. Davon entfällt der bei weitem größte Bedarf auf die Sägeindustrie mit jährlich 35 Mio. m³. Unter Berücksichtigung der Vollauslastung aller derzeit in Deutschland aufgebauten Verarbeitungskapazitäten würden sich jährlich sogar 42 Mio. m³ ergeben mit der Folge, dass sich beim Nadelholz eine Versorgungslücke von zukünftig etwa 11,2 Mio. m³ pro Jahr ergäbe. Beim Laubholz ist die Situation laut Prognose entspannter, da hier das Potenzial etwas höher als der Bedarf ist.

Während die Holzartengruppe „Fichte“ – zu der auch Tanne und Kiefer gezählt werden – derzeit etwa 47 % zum Rohholzaufkommen beitragen, sind es bei der Holzartengruppe „Buche“ etwa 28 %. Bei den Sägewerken sowie bei der Holz- und Zellstoffindustrie werden nur jeweils etwa 1 Mio. m³ des Bedarfs mit Laubholz gedeckt. Diese Verteilung lässt erkennen, dass von den Forstbetrieben weiterhin hauptsächlich die Produktion von Nadelholz erwartet wird.

Konsequenzen für das Bauholz von morgen

Im Hinblick auf eine zukünftig vermehrte Nutzung von Holz und Holzprodukten im Bauwesen ist laut Sauter mit folgender Entwicklung zu rechnen: Zum einen ist das prognostizierte Rohholzaufkommen von rund 80 Mio. m³ und Jahr nur unter bestimmten Annahmen am Rohholzmarkt verfügbar, vor allem im Hinblick auf die Klein-Privatwaldbesitzer. Staatswald- und Körperschaftswaldnutzungspotenziale sind tendenziell bereits stark genutzt, so dass sich die Hauptnutzung zukünftig in den noch vorratsreichen Kleinprivatwald verlagern müsste, um das gleiche Niveau zu erhalten.

Weiterhin müssten die vorhandenen Starkholzvorräte künftig verstärkt abgebaut werden. Dies führt mindestens vorübergehend zu einer Verschiebung der Dimension des Stammholzes hin zu stärkerem Holz (Buche, Tanne), in abgeschwächter Form gilt dies auch für die Fichte. Dazu kommen Faktoren veränderter Umweltbedingungen, welche eine künftige Forstwirtschaft und die daraus resultierende Holznutzung diktieren: So erscheinen bestimmte Holzarten bezüglich Temperatur und Sturmereignissen als besonders stabil. In diesem Zusammenhang könnten Weißtanne und Douglasie in der Zukunft eine zunehmende Rolle im Nadelholzsektor spielen.

Hohes Mobilisierungspotenzial

Von den rund 11 Mio. ha Wald in der Bundesrepublik Deutschland befinden sich ca. 7 Mio. ha in privater und körperschaftlicher Hand. Diesen Wald bewirtschaften 2 Mio. Eigentümer, davon haben sich über 450.000 Eigentümer kleinerer Waldflächen in Forstbetriebsgemeinschaften und sonstigen Zusammenschlüssen organisiert, um die Bewirtschaftung möglichst sinnvoll und ökonomisch zu gestalten. Schwierigkeiten der verstärkten Nutzung im Kleinprivatwald ergeben sich vor allem durch eine nicht durchgängige Bewirtschaftung. Diese ist oft begründet im Desinteresse des Waldeigentümers an der Waldbewirtschaftung, aber auch ein mangelnder Organisationsgrad oder geringes Vertrauen der Waldbesitzer in die Logistikkette bzw. Werksvermessung lassen sich als häufige Gründe für ungenügende Holznutzung finden.

Vor allem der Marktpreis spielt für die nicht organisierten Kleinwaldbesitzer als Motivation für die Mobilisierung eine große Rolle. Zu diesem Ergebnis kommt der Beitrag „Ressourcen – Rohstoffmobilisierung“ (Jerg Hilt), der eine nicht nur knapp auskömmliche, sondern tatsächlich profitable Waldwirtschaft als Voraussetzung für die Mobilisierung des Rohstoffs betont. Entscheidend für die Bereitstellung der Holzmengen ist ganz besonders die Stabilität der Holzmarktlage. In den vergangenen Jahren waren auf den Märkten jedoch regelmäßig extreme Schwankungen zu beobachten. Besonders nach Kalamitäten waren anhaltende Preisrückgänge von über 50 % keine Seltenheit. Instrumente zu entwickeln, die im Interesse von Waldbesitzern und Holzindustrie zu einer Stabilisierung der Märkte beitragen, ist daher von großer Bedeutung. Dabei kommen sowohl ökonomische Instrumente (Langfristverträge) als auch politische Instrumente (Weiterentwicklung des Forstschädenausgleichsgesetzes) in Betracht. Verantwortlich sind demnach Vertreter der Branche selbst, aber auch die politischen Entscheidungsträger.

Sägeindustrie

Die Sägeindustrie ist das wichtige Bindeglied zwischen Forstwirtschaft und Holzwirtschaft. 13 Mio. m³ Nadelschnittholz und 1,1 Mio. m³ Laubschnittholz werden in ca. 2300 Betrieben produziert. Die Exportquote beträgt derzeit knapp 20 %. Die Anzahl der Sägewerke geht ständig zurück, gleichzeitig nimmt die Gesamtschnittholz-Produktion stetig zu.

Die deutsche Sägeindustrie durchläuft derzeit eine ausgeprägte Phase der Konsolidierung. Nach anfänglicher Besserung im Jahr 2008 geriet der Schnittholzmarkt in der zweiten Hälfte deutlich unter Druck, die Mengennachfrage schwächte sich weiter ab. Anfang 2009 war die Nachfrage nochmals stark rückläufig, die negativen Konjunkturmeldungen, die pessimistischen Einschätzungen sowie die Kredit- und Liquiditätsverknappung schlagen in der ersten Jahreshälfte 2009 voll auf den Schnittholzmarkt durch. Angesichts der angespannten Absatzlage und der stark verschlechterten Ertragslage erscheint eine weitere Marktkonsolidierung möglich.

Trotz dieser aktuellen Entwicklung darf langfristig mit einer erhöhten Nachfrage nach Holz jedweder Art gerechnet werden, da sowohl die fossilen Quellen endlich sind als auch der politische Wille in Deutschland zur verstärkten Nutzung nachwachsender Rohstoffe deutlich vorhanden ist.

Großsäger kooperiert mit Kleinwaldbesitzern

Als Beispiel für eine funktionierende Kooperation zwischen Großsäger und Kleinwaldbesitzer darf der Beitrag „Besondere Absatzkonzepte" (Hugo Wirthensohn) gelten. 22 Waldbesitzerverbände des südbayerischen Raums (mit insgesamt etwa 25.000 Mitgliedern) schlossen sich als Genossenschaft mit den Holzwerken Pröbstl zusammen. Der weitreichende Zusammenschluss beinhaltet auch eine Beteiligung der Waldbesitzer an dem Großsägewerk, bei der durch die Genossenschaft Investitionskapital für das Werk aufgebracht wird. Dadurch ergibt sich eine langfristige Liefersicherheit (insbesondere im Starkholzbereich) sowohl für Säger als auch Waldbesitzer – insgesamt eine „win-win-Situation" für beide Seiten.

Starkholz als Sorgenkind und Chance

Das derzeitige Überangebot an Starkholz wurde bereits im Beitrag „Ressourcen - Rohstoffmobilisierung" (Udo Hans Sauter) erwähnt, ihm muss sich nicht nur der Waldbesitzer, sondern auch die Sägeindustrie und die weiter verarbeitende Industrie stellen. Da die inneren Holzeigenschaften starker Bäume im Querschnitt und entlang der Längsachse deutlicher variieren als in schwächeren Stämmen, weisen typische Starkholzprodukte heute eher geringere Dimensionen auf; diese zeichnen sich durch eine hohe Qualität und Homogenität der Holzstruktur aus. Aus starkem Nadelholz werden so u.a. hochfeste fehlerfreie Lamellen, Kanthölzer, Friese und Latten gefertigt, die mit gleichmäßigen, engen und stehenden Jahrringen hohe optische und Festigkeitseigenschaften in sich vereinen.

Starkholzqualität

An dieser Stelle setzt der Beitrag „Hochwertige Bauprodukte mit differenzierter Tragfähigkeit und Optik aus starkem Stammholz" (Michael Tratzmiller) an. Seine auch von anderer Seite gestellte Frage lautet: Hat Starkholz grundsätzlich die nötige Qualität, um daraus hochwertige und marktfähige Bauprodukte herstellen zu können? Diese Frage beantwortet der Beitrag vor allem mit den heutigen Möglichkeiten der maschinellen Sortierung, die weiter unten noch einmal aufgegriffen werden. Nach Tratzmiller geht die Entwicklung zum Beispiel hochkant belasteter Bauprodukte aus Massivholz (wie balkenförmige Träger) vom einstieligen Kantholz der Sortierklasse S10 über das Brettschichtholz der Sortierklasse GL24 aus schwachem Stammholz bis hin zu Balkenschichtholz und Brettschichtholz mit hoher Tragfähigkeit (GL32 und GL36). Bauholz mit hoher Formstabilität, wenig Rissen und hoher Oberflächenqualität kann im Riftschnitt besonders gut aus starkem Stammholz geschnitten werden. Gleichzeitig wird das verbleibende Schnittholz geringerer Qualität dem Bereich mit funktionaler Trennung von Tragwerk und Oberfläche zugeführt. Beispielsweise könne Kanteln der Sortierklasse C18 (mit losen Ästen) als Rahmen im Tafelbau verwendet werden.

Festigkeitssortierung von Schnittholz

Voraussetzung einer rationellen Holzsortierung vor allem in Großsägewerken und innerhalb der Leimholzindustrie ist vermehrt die maschinelle Festigkeitssortierung von Schnittholz. Messtechnische Anlagen zur Vermessung, Güte- und Festigkeitssortierung von Rund- und Schnittholz finden sich heute vielfach bei der Rundholz-Eingangsvermessung von Sägewerken, aber auch innerhalb der Weiterverarbeitung des Schnittholzes. Mit Hilfe von speziellen Sensoren erkennt das System Ein- und Ausbuchtungen, Krümmungen oder die Ovalität eines Stammes. Auch Rohdichte, Festigkeit und Eigenschwingung eines Stam-

mes können im Sägewerk lückenlos erfasst werden, die entsprechenden Daten bleiben während des gesamten Produktionsprozesses dem jeweiligen Stamm zugeordnet. Das führt – auch bei Starkholz – zu einem wertmaximiertes Schnittbild, so dass die nachfolgenden Verarbeitungsstufen besser geplant werden können.

Anwendungsbeispiele für die maschinelle Festigkeitssortierung von Schnittholz finden sich in der Festigkeitssortierung von Brettschichtholz-Lamellen oder der optischen Sortierung von Hobelware. In diesem Bereich wird auch die Rohdichte-Messung mit Röntgenstrahlen und Laserscanner kombiniert, so dass die Brettware bezüglich ihrer Festigkeit und / oder optischen Kriterien sortiert werden. Dieses Messsystem erkennt exakt die Größe und Lage von Ästen, Rissen und sonstigen Fehlern. In Kombination mit einem Gerät zur berührungslosen Festigkeitsmessung kann sowohl die wertmäßige Ausbeute in den oberen Festigkeitsklassen gesteigert werden als auch nach EN 14081 (Europäische Norm für die maschinelle Festigkeitssortierung) CE-sortiert werden. Der Beitrag „Maschinelle Festigkeitssortierung von Schnittholz“ (Julia Denzler, Peter Glos) gibt einen Überblick über den heutigen Stand der Technik.

Der Beitrag „Potenzial der maschinellen Festigkeitssortierung von Schnittholz“ (Markus K. Sandomeer, René Steiger) kommt zu dem Schluss, dass das Potential der maschinellen Festigkeitssortierung durch die Entwicklung und Optimierung alternativer und deutlich effizienterer maschineller Sortierstrategien noch deutlich gesteigert werden kann. Nur durch eine ständige Weiterentwicklung und Verbesserung der Qualitätskontrolle aus technischer und normativer Sicht kann ein bedeutender Beitrag geleistet werden, Holz im Vergleich mit anderen Baumaterialien wettbewerbsfähiger zu machen.

5.1 Forst und Sägeindustrie
Märkte für Forst- und Holzwirtschaft vor dem Hintergrund globalisierter Marktbedingungen

Roderich von Detten

Der Versuch von Zukunftsaussagen oder Prognosen über die Entwicklung von Märkten muss, zumal mit Blick über die nächsten fünf Jahre hinaus, von vornherein unter Vorbehalt betrachtet werden: unaufhebbar und prinzipiell erscheint das Unwissen über das zukünftige menschliche wirtschaftliche Handeln und Verhalten auf Märkten, die sich auf unterschiedlichen, meist miteinander interagierenden lokalen, regionalen oder globalen Ebenen unterscheiden lassen.

Die relevanten Einflussfaktoren wirken dabei zumeist zusammen: volkswirtschaftliche Entwicklungen, Änderungen im Konsumverhalten von Haushalten, soziologische Entwicklungen (z.B. demografischer Wandel), natürliche Entwicklungen (z.B. Klimawandel), geopolitische Entwicklungen, internationale Wirtschafts- und Umweltpolitiken (z.B. Klimaschutzabkommen) etc. interagieren zu sehr intransparenten, in ihren Wechselbeziehungen nur sehr unvollständig darstellbaren, komplexen Prozessen, deren Entwicklung sich mittels Modellen nicht darstellen lässt. Was allenfalls gelingen kann, ist der Versuch, den Raum der zentralen wirksamen Einflussfaktoren analytisch zu strukturieren und die Zukunft im Sinne eines Möglichkeitsraums zu betrachten, in welchem verschiedene denkbare Szenarien deutlich werden.

Im Rahmen des Basispapiers „Entwicklung von Märkten für Forst- und Holzwirtschaft vor dem Hintergrund globalisierter Marktbedingungen" soll das Wertschöpfungsketten-Modell für die Betrachtung möglicher zukunftsrelevanter Faktoren, Prozesse, Trends und Szenarien als Gliederungsmodell dienen. Die Darstellung verortet die in der Zeitperspektive relevanten Einflussfaktoren als solche, die auf die einzelnen Glieder der Wertschöpfungskette einwirken. Rein analytisch werden dabei „Pull-Faktoren" der Wertschöpfungsentwicklung (d.h. Faktoren, die sich mit Blick auf Endverbraucher und –märkte positiv auf die Wertschöpfung auswirken) von „Push-Faktoren" der Wertschöpfungsentwicklung (d.h. Faktoren, die sich mit Blick auf die Produktion und den Ausgangsmarkt positiv auf die Wertschöpfungsentwicklung auswirken) unterschieden. Auf einer zusätzlichen Betrachtungsebene sollen einerseits die implizit und explizit wirksamen Strategien der Marktakteure innerhalb der Wertschöpfungskette Forst-Holz berücksichtigt werden („Profit-Seeking-Faktoren"), andererseits die marktlichen Rahmenbedingungen (Umweltpolitik, Wettbewerbspolitik) angesprochen werden, die für die Forst- und Holzmärkte bestimmend sind.

Im Rahmen der vorliegenden Zusammenfassung sollen fünf zentrale Einflussfaktoren herausgegriffen werden:

Mit Blick auf die Entwicklung der inländischen Nachfrage nach Holz und Holzprodukten ist zunächst zu berücksichtigen, dass der Pro-Kopf-Verbrauch in Westeuropa traditionell eher niedrig ist –im Vergleich etwa beträgt er weniger als die Hälfte des Pro-Kopf Verbrauchs in Nordamerika. Für Deutschland ist nach Einschätzung von Wirtschaftsfachleuten mittel- bis langfristig kein signifikanter Anstieg der realen Arbeitseinkommen und mithin mittelfristig keine deutliche Steigerung der Kaufkraft (Realeinkommen) zu erwarten – so dass mit Blick auf rein konjunkturelle Faktoren keine wesentliche Steigerung der daran gekoppelten Binnennachfrage nach Holzprodukten prognostiziert wird. Allerdings hat der starke Anstieg der Energiepreise die Wettbewerbskraft von Holz sowohl in der stofflichen als auch in der energetischen Verwertung deutlich gestärkt. Eine erwartete zunehmende Berücksichtigung von Klimaschutz- und Nachhaltigkeitsaspekten beim Konsum der Haushalte lässt für viele Experten bei entsprechender Politikgestaltung einen weiteren Anstieg der Nachfrage nach Holz erwarten – in-

wieweit der aus der günstigen Konjunktur der letzten Jahre resultierende Optimismus der Holzindustrie auch mittelfristig begründet ist, ist jedoch fraglich.

Ein zentrales Thema der Zukunft bleibt hier die Konkurrenz zwischen der stofflichen und energetischen Nutzung von Holz. In Deutschland hat sich mit dem politisch geförderten steigenden Anteil der erneuerbaren Energien am Primärenergieverbrauch auch die Nachfrage nach dem Energieträger Holz in den letzten Jahren sehr stark erhöht und der Markt für Pelletheizungen und Holzpellets hat sich in den zurückliegenden Jahren zu einem der größten Wachstumsmärkte entwickelt. Weitere technologische Entwicklungen, die politischen Förderung nachwachsender Rohstoffe als Energieträger und der erwartbare weitere Ölpreisanstieg lassen Einschätzungen aus der Branche zufolge zumindest mittelfristig die Nachfrage nach Holz als Energieträger weiter steigen – ob sich Holz als jedoch langfristig gegen zahlreiche konkurrierende flächeneffizientere Biomasse-Energieträger mit nennenswerten Marktanteilen behaupten kann, muss deutlich hinterfragt werden.

Die seit Jahren zu verzeichnende deutliche Nachfragesteigerung bei der stofflichen Holznutzung ist vornehmlich auf einen wachsenden Außenhandel der deutschen Holzindustrie zurückzuführen (Exportüberschuss seit 2004). Deutschland ist intensiv in den Weltholzhandel eingebunden und die inländische Produktion wird auch zukünftig maßgeblich vom Wirtschaftswachstum in anderen Regionen bzw. Volkswirtschaften beeinflusst: Global gesehen steigt die Nachfrage nach Holz und Holzprodukten - der Außenhandel nach Mengen ist in der Vergangenheit sowohl in der Einfuhr als auch in der Ausfuhr und dort v.a. im Bereich der Halb und Fertigwaren kontinuierlich weiter angestiegen. Vor allem von den rasch wachsenden Volkswirtschaften von China, Indien, Malaysia und den Ländern in Osteuropa/ Russland mit enormen Kaufkraft- und Nachfragesteigerungen wird eine weiterhin deutliche und nachhaltige Nachfrage nach deutschem Holz bzw. Holzprodukten erwartet.

Allerdings wird ebenfalls erwartet, dass der Konkurrenzdruck für die einheimische Wirtschaft durch ausländische Importe aus Plantagenwirtschaft aus Ländern mit niedrigen Lohn- und Rohstoffkosten weiterhin wächst. Das rasche ausländisches Wirtschaftswachstum fördert mittel bis langfristig die Angleichung der Wirtschaftskraft von Schwellenländern und entwickelten Ländern: Fachleute gehen davon aus, dass die ausländische Industrie bereits mittelfristig ihre Wertschöpfung deutlich steigert, ihre Fertigungstiefe erhöht und daher zum einen auf den eigenen nationalen Märkten zunehmend veredelte Produkte anbieten kann (Konkurrenz zu deutschen Importprodukten), zum andern für die deutsche Exportindustrie zum wachsenden Konkurrenten auf den internationalen Märkten wird (Gefährdung dt. Standortvorteile).

Unklar bleibt die Entwicklung des wichtigen Einflussfaktors „Ölpreisentwicklung“, auf den die weltweite Konjunktur sehr sensibel reagiert (Risiko einer Weltwirtschaftskrise bei einer rapiden Ölpreissteigerung/ Ölkrise) und von dem der Welthandel am stärksten abhängt [1]. Mit Blick auf die Zukunft ebenfalls unklar bleibt es, ob sich das allgemein erwartete rasche Wirtschaftswachstum der heutigen Schwellenländer ungehindert fortsetzt. Neben wirtschaftspolitischen Entscheidungen (Entwicklung der Investitionsquoten, Handelsliberalisierungen) spielen hier vor allem auch politische Entwicklungen die Rolle von schwer einrechenbaren Einfluss- oder Störfaktoren, auf die das Wirtschaftswachstum bzw. die Wirtschaftsentwicklung sehr sensibel reagiert (z.B. ungeklärte Fortführung von Demokratisierungs- und Liberalisierungsentwicklungen).

Die Entwicklung der Struktur der Holzindustrie kann für die Zukunft der Forst- und Holzbranche als eigener wirksamer Einflussfaktor verstanden werden. Wenn von dem seit der Jahrtausendwende zu beobachtenden Strukturwandel in der Säge- und Holzindustrie die Rede ist, wird zuallererst ein Konzentrationsprozess beschrieben, dem auf der anderen Seite eine zunehmende Nischenbildung gegenübersteht. Immer größeren Unternehmen mit wachsendem Kapazitäts- bzw. Verarbeitungsvolumen sowie wachsender Angebotspalette steht also eine Vielzahl kleiner, regional bzw. auf Nischenmärkten erfolgreicher Betriebe gegenüber. Von Experten wird eine Fortsetzung des Trends (Konzentration in der Holzindustrie und der Ausdifferenzierung in Global Player und Nischenanbieter) bis über das Jahr 2020 hinaus vorausgesagt. Zentraler Treiber dafür ist die stark gestiegene Außenhandelsaktivität der Holzindustrie, die eine Erhöhung der Kapazitäten und kapitalintensive Investitionen bzw. Modernisierungen erfordert hat, um der wachsenden Konkurrenz auf den internationalen Märkten gewachsen zu sein. Parallel zum beschriebenen Konzentrationsprozess verlaufen Anstrengungen zur Integration bislang fragmentierter Industrie- und Vertriebsstrukturen durch Allianzen, Kooperationen & Netzwerke z.B. zwischen Holzwerkstoffindustrie und Sägeindustrie, in denen Produktentwicklung, –herstellung und –lieferung gemeinsam bzw. gebündelt geschieht und welche die Markteffizienz und Konkurrenzfähigkeit der Partner im Vergleich zu Konkurrenzbranchen steigern soll. Besondere Bedeutung wird von Experten vor allem betriebs-, brachen- und sektorenübergreifend arbeitenden regionalen Forst-Holz-Ketten und Holzclustern beigemessen, wie sie derzeit europaweit im Entstehen sind (z.B. Clusterinitiativen, Zusammenschlüsse kleiner Anbieter, um ihre Marktposition zu stärken & Infrastruktur gemeinsam zu nutzen; Entstehung großer integrierter Forst-Holz-Standorte, die von der Waldpflege über das Sägewerk, Faserplattenproduktion bis zur Laminatherstellung die gesamte Wertschöpfungskette abdecken). Eine besondere Rolle für die Entwicklung der Strukturen im Bereich der Holz- und Sägeindustrie spielt die zukünftige Technologieentwicklung, die als eigenständig wirksamer Entwicklungsfaktor gesehen werden kann: Die Forschung befasst sich in großem Umfang mit vielfältigen Möglichkeiten, den Baustoff Holz zu optimieren und neue Anwendungsfelder durch Innovationen zu erschließen. Die Innovationen betreffen dabei sowohl die Optimierung von Fertigungsprozessen, als auch Entwicklung neuer Produkte bzw. neuer Einsatzgebiete für Holz und Holzwerkstoffe. Dabei werden Verfahren zur chemischen Modifikation des Holzes, die Entwicklung hybrider Werkstoffe (Verbundwerkstoffe: Kombination von Holz mit anderen Materialien), der Einsatz von neuen Technologien zu Modifikation klassischer Holzeigenschaften oder die Weiterentwicklung von Systemlösungen eine Rolle spielen. Es wird erwartet, dass der Trend zu hybriden Werkstoffen und Konstruktionen die Anwendungsmöglichkeiten für Holz zukünftig ganz erheblich erweitert wird (Trend zur „Ent-Naturierung“ des Baustoffs Holz) und die Nachfrage nach Holzprodukten dadurch wesentlich gesteigert werden kann. Fachleute erwarten ferner, dass die mit erheblichen Investitionen verbundenen Technologieentwicklungen zu neuen Kooperationen mit der Kunststoff- bzw. chemischen Industrie im Bereich der Produktentwicklung, aber auch Produktion führen werden, so dass hier Impulse für einen Strukturwandel der Holzindustrie bestehen. Es ist zu erwarten, dass sich durch die Entwicklungen im Bereich der Technologie die Struktur der bisherigen Holzindustrie gänzlich wandelt und vollkommen neue Produktionsbereiche und Unternehmen entstehen.

Änderungen der politischen und ökonomischen Rahmenbedingungen nehmen unmittelbaren Einfluss auf den Forst- und Holzsektor, indem sie zum einen auf das Handeln der Verbraucher d.h.

auf die Nachfrage nach Holzprodukten wirken, zum anderen die Ziele, die Leistungs- und Wettbewerbsfähigkeit der Forst- und Holzbranche beeinflussen. Für Deutschland seien beispielhaft die Nationale Nachhaltigkeitsstrategie (Strategien der Bundesregierung zur Sicherung der Bereitstellung des Rohstoffes Holz und der Schutz- und Erholungsfunktion sowie der biologischen Vielfalt der Wälder), die Charta für Holz (Ziel der Steigerung des Holzverbrauchs um 20 % bis 2014; Formulierung von Maßnahmen zur Erschließung von neuen Anwendungsfeldern von Holz), oder das Nationale Waldprogramm bzw. die Novellierung des Bundeswaldgesetzes (Förderung von Waldumbau und naturnaher Waldwirtschaft) genannt. Wesentliche Wirkungen auf die Waldbewirtschaftung der Zukunft kann von der Energie- und Klimaschutzpolitik im Rahmen internationaler Klimaabkommen (Kyotoprotokoll und Folgeprozesse) erwartet werden, die im Rahmen konkreter Programme etwa die Förderung erneuerbarer Energien sowie die Förderung des energiesparenden Bauens vorsehen und damit wesentliche Impulse für die Forst- und Holzwirtschaft erwarten lassen (Auswirkungen auf die Nachfrage nach Holz als Ressource oder Rohstoff, Auswirkungen auf Waldaufbau, Vorrat & Bestockungen, Wirkung auf Waldbewirtschaftungsformen, Auswirkungen auf Waldnaturschutz - Entstehung von Schutzgebieten, Nutzungseinschränkungen / -auflagen, Auswirkungen auf Nutzungsintensität und –möglichkeit). Die vielfältigen Förder- und Anreizprogramme, Strategien und Maßnahmen aus unterschiedlichen Politikbereichen und auf unterschiedlichen Ebenen setzen jedoch unterschiedliche, zum Teil inkonsistente Signale für die Forst- und Holzwirtschaft – so dass ein klarer Effekt nicht prognostiziert werden kann (Restriktionen für die Forstwirtschaft aufgrund stärkerer politischer Naturschutzorientierung vs. Intensivierung der Waldbewirtschaftung aufgrund des Drucks zur Bereitstellung von Holz zur stofflichen und energetischen Verwendung; weiterhin großzügige Anrechnung von CO_2-Senken in Form von Wäldern?).

Für die Bewertung der Szenarien und ihrer potentiellen Auswirkungen auf die Holznachfrage ist das damit in der Zukunft korrespondierende Rohholzangebot zu berücksichtigen. Das potenzielle Rohholzaufkommen wurde in Deutschland über Jahrzehnte nur zu etwa 2 / 3 genutzt. Der Zuwachs überschreitet nach wie vor die Nutzung (Vorratsaufbau), allgemein wächst in Deutschland der Laubholzanteil. Aufgrund des seit einigen Jahren anhaltenden deutlichen Anstiegs der Rohholznachfrage (stofflich, energetisch; wg. Kapazitätsausbau in der Holz- und Zellstoffindustrie aufgrund gesteigerter Exporte sowie durch Energiepreissteigerungen) über alle Hauptverwendungsrichtungen zeigt sich die Holzindustrie, die in den letzten Jahren ihre Verarbeitungskapazitäten deutlich ausgebaut hat, besorgt um die Rohholzversorgung und verweisen auf regionale Versorgungsengpässe. Inventurdaten und Potenzialabschätzungen zeigen, dass die Holznutzung noch gesteigert werden könnte: Mittelfristig könnten in Deutschland je nach Nutzungsszenario jährlich etwa 80 Millionen m³ Rohholz genutzt werden. Eine weitere Erschließung der Nutzungsressourcen erfordert die Mobilisierung bisher nicht oder nur wenig genutzter Waldflächen, eine stärker an der Holznutzung orientierte Waldbewirtschaftungskonzepte (evtl. unter Absenkung der Umtriebszeiten) oder die Anlage von Schnellwuchsplantagen, die auf mittlere Frist das verfügbare Potenzial erheblich steigern könnten. Ungeklärt bleiben die Möglichkeiten der Rohholzmobilisierung (Rohholzmobilisierung von bisher nicht genutzten Waldflächen, Aufbereitung bisher nicht aufgearbeiteter Sortimente, Änderung waldbaulicher Konzepte (Bestandspflege, Vorratshaltung etc.), Ausweitung der Waldflächen (konventionelle Aufforstungen, Schnellwuchsplantagen)): Welcher Anteil der in Deutschland tatsächlich verfügbaren Rohholzpotentiale

kann vor dem Hintergrund von bestehenden Mobilisierungshemmnissen und unklarer politischer Weichenstellungen (Förderung der Potentialerschließung vs. Naturschutzpolitik / Förderung naturnaher Waldbau) tatsächlich erschlossen werden?

Kurzfassung des Basispapiers
Zukünfte und Visionen Wald 2100:
Langfristige Perspektiven von Wald- und Landnutzung – Entwicklungsdynamiken, normative Grundhaltungen und Governance

5.1 Forst und Sägeindustrie
Wald und Klimawandel

Lorenz Erdmann, Siegfried Behrendt

Der Wald spielt in allen drei Hauptdomänen der Klimaforschung und –politik eine Rolle:

- Auswirkungen des Klimawandels auf den Wald („Climate Impact Assessment")
- Bindung von Treibhausgasemissionen durch den Wald („Mitigation")
- Anpassung an den Klimawandel durch Waldbau („Adaptation")

Studien mit hoher Legitimität und wissenschaftlicher Qualität sowie Strategiepapiere sind ausgewertet worden. Hervorzuheben ist der Forth Assessment Report des Intergovernmental Panel on Climate Change. Die Informationslage lässt eine systematische und valide Beurteilung der Entwicklungsdynamiken und Wechselwirkungen nicht zu. Die vorliegenden Zukunftsstudien sind diesbezüglich lückenhaft, von sehr unterschiedlicher Aussagequalität und teilweise von der Realität eingeholt. Die im Hinblick auf die spezifischen Fragestellungen des Projektes „Waldvisionen" zugespitzten Kernaussagen sind einer integrierten Robustheitseinschätzung (hoch, mittel, gering) unterzogen worden:

1. Der natürliche Klimawandel wird durch einen anthropogenen Klimawandel überlagert, der in seiner Geschwindigkeit ohne Beispiel in der Menschheitsgeschichte ist. Die Menschheit hat keine Erfahrungen mit einem solch raschen Klimawandel innerhalb von Jahrzehnten und betritt somit Neuland. (hoch)
2. Der Klimawandel mit seinen Auswirkungen auf die Wälder (Zunahme extremer Wetterereignisse, Verschieben von Vegetationszonen, steigende Vulnerabilität) lässt sich bis 2020 nicht mehr wirksam aufhalten. (hoch)
3. Eine Trendwende der globalen Klimaerwärmung könnte bis 2100 durch Extremereignisse wie Vulkanausbrüche, „Nuklearen Winter" oder gezielte Einbringung von Aerosolen in die Stratosphäre erreicht werden (gering)
4. Oberhalb eines Temperaturanstiegs um 4 °C gegenüber dem vorindustriellen Niveau wären die Folgen für die Menschheit und die Wälder bereits vor 2050 katastrophal. Regional ist auch schon 2020 - 2050 bei geringerem Temperaturanstieg mit dramatischen landschaftlichen, sozialen und ökonomischen Verwerfungen zu rechnen. (mittel)
5. Die internationale Staatengemeinschaft hat starken klimapolitischen Erfolgsdruck. Je nachdem, welches Stabilisierungsniveau der CO^2-Konzentration erreicht werden soll, müssen bis 2020 die politischen Weichen für eine Klimawende gestellt sein, damit bis 2050 die Maßnahmen greifen können, die zur Stabilisierung des Klimas bis Ende des Jahrhunderts erforderlich sind. (mittel)
6. Um den Anstieg auf deutlich unter 4 °C gegenüber dem vorindustriellen Niveau zu senken, muss bis 2020 ein Maßnahmenportfolio gebündelt werden, das eine starke Waldoption beinhaltet. Auch aus Kostengründen kann es sich die internationale Staatengemeinschaft nicht leisten, auf eine starke Waldoption zu verzichten (z.B. Integration in den Zertifikathandel). (mittel)
7. Mit starkem politischen Willen und finanziellen Anreizen sollte es bis 2050 gelingen, die hohe Entwaldungsrate angesichts des Bevölkerungsdrucks und anderer Nutzungsansprüche dauerhaft unter die Aufforstungsrate zu senken. (mittel)
8. Entscheidend auch für die Kohlenstoffspeicherung ist die Nachhaltigkeit der Forstwirtschaft in Russland, Indonesien, Brasilien und China. Bis 2020 wird sie in Teilgebieten nachhaltig sein, bis 2050 auf der jeweiligen gesamten Fläche. (mittel)
9. Außerhalb Europas wird sich der Plantagenbau bis 2050 verdoppeln und bis 2100 verfünffachen, sofern andere Nutzungsansprüche wie Siedlungsdruck und Nahrungsmittelpro-

duktion wirksam anders bekämpft werden können. (mittel)

10. Bis 2020 wird der Waldumbau verstärkt den veränderten klimatischen Standortbedingungen Rechnung tragen. Regionale Klimaprognosen für Deutschland werden vor 2050 nicht zuverlässig möglich sein, weshalb die regionalen Waldbaustrategien ihren explorativen Charakter beibehalten werden. (mittel)
11. Der Waldumbau wird bis 2050 in Deutschland weitgehend abgeschlossen sein. Das veränderte Angebotspotenzial forstwirtschaftlicher Ressourcen wird sich schleichend bis 2100 in Richtung Laubhölzer verschieben. (hoch)
12. Die Waldschäden durch klimatische Extremereignisse werden bis 2050 sowohl im Privatwald, als auch im Staats-, Landes- und Körperschaftswald auf nahezu der gesamten Waldfläche durch effiziente Versicherungslösungen ausgeglichen. (gering)
13. Der Waldzustand wird sich in Europa durch Anstrengungen zur Verkehrsreduktion und Luftreinhaltungspolitik sowie den Waldumbau bis 2050 erholen, was die Vulnerabilität gegenüber Wetterextremen deutlich verringern wird. (gering)
14. Deutschland wird um 2020 die Voraussetzungen für eine Rohstoffwende geschaffen haben. Auf landwirtschaftlichen Stillegungsflächen werden optimierte Gehölze mit definierten Faserqualitäten für die chemische Industrie und für die energetische Nutzung angebaut, deren Ausbaugrenze um 2050 erreicht wird. (mittel)
15. Im Jahr 2050 wird die Kohlenstoffspeicherung in langlebigen Bestandslagern wie z.B. Bauwerken durch starke Instrumente europaweit gefördert und bis 2100 ein wirksamen Kohlenstoffspeicher im Bestand vorhanden sein. (gering)

Durch Wild-Cards können die o.a. Entwicklungen entweder viel schneller, oder in ganz anderer Ausprägung eintreten. Mächtige Wild-Cards sind: Eintreten von Kippeffekten wie Abbrechen des Golfstroms, Abkehr vom heimischen Rohstoff Holz infolge dramatischer Waldschäden, politische Aufwertung der C-Sequestrierungsstrategie auf das Niveau der Energietechnikdebatte, Lösung der Energieprobleme der Menschheit, z.B. durch Kernfusion, weltpolitische Isolation von Ländern mit großen Waldressourcen, die auf Kahlschlag setzen.

Der großen Unsicherheit bei der Entwicklung des Klimawandels und seiner Auswirkungen auf die Waldwirtschaft wird mit einer Risikoverteilung zu begegnen sein. Die Waldwirtschaft wird sich stärker mit möglichen Anpassungsleistungen auseinandersetzen müssen und Waldbaukonzepte neu ausrichten. Südwestdeutschland mit dem Oberrheingraben, das nordostdeutsche Tiefland, die südostdeutschen Becken und Hügel sowie das Alpenvorland weisen vermutlich die höchste Verwundbarkeit der Forstwirtschaft auf.

Die multifunktionalen Leistungen des Waldes bringen es mit sich, dass durch eine offensive C-Sequestrierungsstrategie (Wald und Waldprodukte) und den an die Klimafolgen angepassten Waldumbau zahlreiche positive volkswirtschaftliche Nebeneffekte erzielt werden können, die vermutlich die negativen Effekte bei weitem überwiegen. Problematisch ist die unsichere Wissensbasis über die Effekte, Voraussetzungen, Grenzen und Gestaltungsmöglichkeiten der C-Sequestrierungsstrategie. Frei werdende Flächen aus der Landwirtschaft bieten ein wichtiges Aufforstungspotenzial. Etwaige Unverträglichkeiten mit anderen übergeordneten politischen Zielen, wie z.B. Ernährungssicherheit, sind zu beachten.

Stake Überschneidungen der Wald- und Klimapolitik gibt es auch mit anderen Politiksektoren.

Zum Beispiel wird die prognostizierte durch den Klimawandel verursachte Wasserknappheit in Brandenburg möglicherweise zu Nutzungskonflikten mit anderen Sektoren wie der Landwirtschaft oder dem Tourismus führen. Hier sind insbesondere von der Politik mittelfristige Ausgleichskonzepte zu entwickeln. Auch über Jahrhunderte im Einsatz befindliche wasserbauliche Maßnahmen, wie z.B. Entwässerungskanäle, müssen angesichts des verringerten Wasserdargebots auf den Prüfstand.

Kurzfassung des Basispapiers
Zukünfte und Visionen Wald 2100:
Langfristige Perspektiven von Wald- und Landnutzung – Entwicklungsdynamiken, normative Grundhaltungen und Governance

5.1 Forst und Sägeindustrie
Rohholzbedarf und -bereitstellung

Udo Hans Sauter

1 Ressourcen und Rohholzbedarf

Auf der Basis der Ergebnisse der Bundeswaldinventur 2 aus den Jahren 2002/2003 [1] wurde das potenzielle Rohholzaufkommen für den Zeitraum 2003 - 2042 in Deutschland prognostiziert. Den Prognosen liegen verschiedene Annahmen zugrunde, die in einem eigens dafür entwickelten Prognosemodell WEHAM zusammengefasst sind. Danach berechnet sich das potenzielle Rohholzaufkommen in Deutschland im genannten Zeitraum auf 78,2 Mio. m³ Erntefestmaß ohne Rinde (m³ o.R.) je Jahr Rohholz. Davon sind 78 % Stammholz, 9 % Industrieholz und 13 % derzeit nicht verwertbares Derbholz. Dabei ist zu berücksichtigen, dass Stammholz und Industrieholz durch eine definierte Dimension voneinander abgegrenzt sind, das heißt je nach tatsächlicher Ausprägung dieser Dimensionsgrenze bei Vermarktung und Verwendung sich gegenseitig verschieben. Im Trend bis zum Ende des Vorhersagezeitraums erhöht sich das potentielle Rohholzaufkommen geringfügig auf ca. 81 Mio. m³/a. Im Prognosezeitraum nimmt der Anteil von Stammholz auf Grund durchschnittlich zunehmender Baumalter um etwa 7 % zu.

Diese Zahlen bedürfen in vielerlei Hinsicht ausgiebiger Erläuterung und sind in Hinblick auf bestimmte Kerninhalte besonders zu analysieren. Im Folgenden werden nur einige Entwicklungen beispielhaft herausgegriffen:

Eine bedeutsame Aussage betrifft die Holzartengruppe Fichte, zu der auch die Holzarten Tanne und Kiefer gerechnet werden. Diese Holzartengruppe trägt mit 47 % am stärksten zum potenziellen Rohholzaufkommen in Deutschland bei. Ihr Aufkommen steigt bis Ende des Prognosezeitraums voraussichtlich von 27,5 Mio. m³/a auf 40,1 Mio. m³/a an. Weitere wichtige Holzarten sind die Holzartengruppe Buche (andere Laubholzarten außer Eiche) mit 28 % und Kiefer mit 7 %. Für die Baumartengruppe Fichte ist zu beachten, dass sich der Anteil starken Rundholzes (Stärkeklasse L4 - L6) im Prognosezeitraum deutlich erhöhen wird, während die von der derzeitigen Sägeindustrie besonders stark nachgefragten schwächeren und mittelstarken Dimensionen insgesamt abnehmenden Trend aufweisen.

Besonders stark ist dieser Trend auch bei der regional bedeutsamen Holzart (Weiß-) Tanne zu beobachten. Hohe Durchschnittsvorräte von 476 m³/ha*a (Vorratsmaß mit Rinde) zu Beginn des Vorhersagezeitraums, im Vergleich hierzu betrug der Durchschnittsvorrat für den Gesamtwald in Deutschland 310 m³/ha*a, vor allem in den hohen Altersklassen bedeuten hohes Nutungspotenzial und gleichzeitig hohe Nutzungsnotwendigkeit im Bereich stark dimensionierten Weißtannenholzes.

Der Rohholzbedarf in den Branchen der ersten Verarbeitungsstufe der Holzwirtschaft und die Energieerzeugung aus Holz einschließlich Hausbrand verursachen einen Rohholzbedarf von rund 69 Mio. m³ je Jahr. Davon entfällt der bei weitem größte Bedarf auf die Sägeindustrie mit 35 Mio. m³ je Jahr. Unter Berücksichtigung der Vollauslastung aller derzeit in Deutschland aufgebauten Verarbeitungskapazitäten ergeben sich ca. 42 Mio. m³ je Jahr [2]. Eine Gegenüberstellung der nach dem WEHAM Basisszenario (Szenario A) [3] prognostizierten Rohholzpotenzialen mit dem Bedarf der ersten Verarbeitungsstufe der Holzindustrie zeigt beim Nadelholz eine Versorgungslücke von insgesamt etwa 11,2 Mio. m³ pro Jahr auf, wobei für das Stammholz nach diesem Szenario und den getroffenen Modellannahmen zur Verfügbarkeit und Aushaltung des Stammholzes allein 7 Mio. m³ pro Jahr fehlen würden. Beim Laubholz ist die Situation laut der Prognose entspannter, da hier das Potenzial etwas höher als der Bedarf ist [4]. Das WEHAM Modell weist für

den Betrachtungszeitraum 2008 – 2012 ein Gesamtpotenzial von 68,5 Mio. m³ pro Jahr an verwertbarem Rundholz aus. Ein Vergleich zweier Szenarien zeigt, dass im Rahmen der Nachhaltigkeit unterschiedliche waldbauliche Entwicklungen des Waldes mit jeweils unterschiedlichem potenziellem Rohholzaufkommen denkbar sind. Um zukünftig den Bedarf an Rohstoff für die stoffliche und energetische Verwendung sicherstellen zu können, sind neue Potenziale zu erschließen. Mögliche Ansätze liegen in einem veränderten Vorratsmanagement, einer verkürzten Umtriebszeit sowie in der Änderung der Durchforstungspraxis. Gemeint ist unter anderem eine Absenkung der im europäischen Vergleich hohen durchschnittlichen Vorratshaltung. Dies käme je nach Holzart, vorhandener Bestandsstruktur und Standort der waldbaulichen Zielsetzung naturnahe stabile Mischbestände aufzubauen entgegen, wodurch auch besonders ökologisch wertvolle Holzarten wie die Weißtanne im Schwarzwald (beispielsweise durch höhere Stabilität im Vergleich zur Holzart Fichte durch bessere Verwurzelung, günstige Beeinflussung des Standorts durch leicht umsetzbare Nadelstreu im Vergleich zu den meisten anderen Nadelholzarten) besondere Berücksichtigung finden könnten. Ebenfalls kann der Anbau besonders ertragreicher Baumarten wie die Douglasie in Betracht gezogen werden. Verkürzte Umtriebszeiten könnten auf Standorten mit hohem Risikopotenzial für Sturmschäden je nach aufstockendem Bestand die Produktionsleistung erhöhen und zur Verringerung von Betriebsrisiken beitragen [5].

„Im Zeitraum 1987 bis 2002 wurden pro Jahr durchschnittlich 8,3 Vorratsfestmeter Holz je Hektar in den alten Ländern geerntet. Im Staatswald (Land; 9,4 m³/ha*a) und Körperschaftswald (9,2 m³/ha*a) wird der Wald am stärksten genutzt, gefolgt vom Privatwald mit 7,4 m³/ha*a. Die Nutzungsintensität steigt mit der Eigentumsgröße. Bei Größen über 1.000 Hektar wird die Nutzungsintensität des Staatswaldes übertroffen. Der Ländervergleich zeigt, dass in Baden-Württemberg die Nutzungsintensität mit 12 m³/ha*a am höchsten, in Niedersachsen mit rund 5 m³/ha*a am niedrigsten ist. Dies liegt u. a. an den unterschiedlichen Standorten, Baumarten, Altersklassen, Bewirtschaftungsstrategien und Marktverhältnissen, die entsprechend unterschiedliche Nutzungsmöglichkeiten bedingen. Bei den Nadelbaumarten ist die Nutzungsmenge je Hektar mit 10 m³/ha*a größer als bei den Laubbaumarten mit 4,6 m³/ha*a. Insbesondere Fichte (rund 13 m³/ha*a) und Tanne (11 m³/ha*a) wurden stark genutzt. Dies liegt v. a. an den hohen Hektarvorräten und hohen Zuwächsen dieser Baumarten. Zudem führten die Stürme der vergangenen Jahre gerade bei Fichte zu hohen Nutzungen.“ [1].

Bezogen auf das Wirtschaftsjahr 2006 lag nach dem amtlichem Holzmarktbericht des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz BMELV 2/2006 der gesamte Holzeinschlag in Deutschland bei 62,3 Mio. m³. Über das letzte Jahrzehnt bedeutet das eine Steigerung von etwa 25 Mio. m³. Die größte Steigerung hat dabei der Einschlag der Holzartengruppe Fichte erfahren, welcher bisweilen stetig steigt und derzeit einen Anteil von rund 60 % am Gesamteinschlag ausmacht. Kiefer folgt mit etwa 20 %, Buche mit 17 % und Eiche mit 4 %. Davon gehen ca. 29,6 Mio. m³ an Sägewerke, 184.000 m³ an Furnierwerke, 10,6 Mio. m³ in die Holzstoff- und Zellstoffindustrie und 30,4 Mio. m³ in die Holzwerkstoffindustrie (Platten). Rund 3,4 Mio. m³ Rohholz werden zusätzlich zum eingeschlagenen Holz importiert, während ungefähr 6,7 Mio. m³ an Rohholz ausgeführt werden. Bei den Sägewerken sowie bei der Holz- und Zellstoffindustrie werden nur jeweils etwa 1 Mio. m³ des Bedarfs mit Laubholz gedeckt. Diese Verteilung lässt erkennen, dass von den Forstbe-

trieben weiterhin hauptsächlich die Produktion von Nadelholz erwartet wird.

Mit diesen Zahlen der amtlichen Statistik werden die weiter oben dargelegten Angaben der BWI 2 im Wesentlichen untermauert. Die über die BWI 2 ermittelte Holznutzung in Deutschland ist jedoch erwartungsgemäß insgesamt deutlich höher, als über die Einschlagstatistik nachgewiesen wird, was überwiegend an teils fehlender Erfassung des Einschlags im Privatwald und der Brennholznutzung liegt.

Die Waldbesitzverhältnisse in Deutschland: Zum Zeitpunkt der BWI 2 entfielen in Deutschland auf Staatswald (Bund) 3,7 %, Staatswald (Land) 29,6 %, Körperschaftswald 19,5 %, Privatwald 43,6 % sowie Treuhandwald 3,7 %.

Die Verteilung der Waldeigentumsarten weist in den verschiedenen Bundesländern Unterschiede auf. Privatwald ist die überwiegende Eigentumsart in Bayern und im Norden (Nordrhein-Westfalen, Niedersachsen und Schleswig-Holstein). Überwiegend ist der Privatwald in Deutschland jedoch eher klein strukturiert und teils zersplittert. Nur 11,9 % der gesamten Waldeigentumsflächen weisen eine Größe von über 1.000 ha auf. Betriebe kleiner als 20 ha repräsentieren dagegen 57,2 % der Privatwaldfläche. Vielfach sind ursprünglich bäuerlicher Besitz, Teilung der Allmende, Aufforstung landwirtschaftlicher Flächen und Realteilung bei Vererbung dafür verantwortlich. Gerade durch die Vererbung und Teilung nimmt auch der Anteil der an landwirtschaftliche Betriebe angeschlossenen Privatwaldflächen ab. Waldeigentümer haben daher vielfach kaum entsprechende Sachkenntnisse und brauchen zunehmend Beratung. Insgesamt liegen jedoch hohe Reserven an Nutzungspotenzial in den kleineren Privatwaldflächen, weswegen diese in Zukunft ein Schwerpunkt der Bemühungen um die Holzmobilisierung sein müssen [1].

Kernaussagen und Schlussfolgerungen zu Rohholzpotenzialen in Hinblick auf eine vermehrte Nutzung von Holz und Holzprodukten im Bauwesen in der Zukunft:

- Das nach WEHAM prognostizierte Rohholzaufkommen von rund 80 Mio. m³/a ist nur unter bestimmten Annahmen nutzbar bzw. am Rohholzmarkt verfügbar.
- Nutzungseinschränkungen durch ökologische Restriktionen (Flora-Fauna-Habitat-Flächen, Totholzprogramme u. a. als Teil der Zertifizierungsanforderungen an Forstbetriebe, andere Naturschutzanforderungen) sind möglich.
- Starkholzvorräte müssen abgebaut werden; das führt mindestens vorrübergehend zu einer Verschiebung der Dimension des Stammholzes hin zu stärkerem Holz (Buche, Tanne), in abgeschwächter Form gilt dies auch für die Fichte.
- Die Vorräte nach Holzarten zeigen wenigstens mittelfristig besonders hohe Nutzungsreserven beim Laubholz, insbesondere bei der Buche.
- Sich verändernde Umweltbedingungen (Temperatur, Stürme) lassen bestimmte Holzarten als besonders stabil erkennen. So könnten die Weisstanne und die Douglasie in der Zukunft eine zunehmende Rolle im Nadelholzsektor spielen.
- Staatswald- und Körperschaftswaldnutzungspotenziale sind tendenziell bereits stark genutzt, so dass sich die Hauptnutzung zukünftig in den noch vorratsreichen Klein-Privatwald verlagern müsste, um das gleiche Niveau zu erhalten.
- Schwierigkeiten der verstärkten Nutzung im Kleinprivatwald ergeben sich durch nicht durchgängige Bewirtschaftung (aussetzender Betrieb, kein Interesse des Waldeigentümers an der Waldbewirtschaftung, mangelnder Organisationsgrad, mangelndes Vertrauen in die Akteure der Logistikkette und die Werksvermessung).

– Der Marktpreis als Mobilisierungsmotivation spielt insbesondere im Klein-Privatwald eine große Rolle.

2 Steigerung der Rohholzmobilisierung durch Optimierung der Forst-Holz-Kette

Die nachfolgende Zusammenstellung stellt keine umfassende Analyse und Aufzählung aller möglichen, auch Erfolg versprechenden, Optimierungsansätze der Forst-Holz-Kette dar. Vielmehr ist es die zu Teilen sicher eingeschränkte Sicht des Verfassers mit einer Schwerpunktsetzung für zukunftsweisende Verfahren und technische Innovationen, in seiner Funktion als Forschungsbeauftragter eines forst- und holzwirtschaftlich orientierten Ressortforschungsinstituts an der Schnittstelle zwischen Forst- und Holzwirtschaft erkennt und an deren Entwicklung zum Teil selbst beteiligt ist.

2.1 Forest- Warehouse

Das Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft der Universität Freiburg hat im Bereich Logistikoptimierung unter Prof. Dr. Dr. h.c. Gero Becker den Grundgedanken entwickelt, den stehenden Holzvorrat in den Waldbeständen genauestens im Sinne der Anforderungen aus der Holzindustrie zu beschreiben und zu allozieren, so dass bei auftretender Rohholznachfrage, die Forstbetriebe mit einer zielgenauen Lieferung nach Menge, Qualität und Zeitpunkt reagieren können. In einem breit angelegten Forschungsvorhaben MatchWood (gefördert durch das BMBF) wurde dieser Forschungsansatz vorangetrieben. Hierzu waren und sind verschiedene Methoden der Ressourcenerfassung aus der Luft und erdgebunden erprobt worden (Laserscanning flugzeuggestützt und terrestrisch) und werden derzeit von verschiedenen Forschungspartnern weiter entwickelt. Weitere eingesetzte Methoden sind die Röntgentechnologie zur Erfassung der Rundholzqualität vor dem Einschnitt im Sägewerk sowie Navigationsinstrumente zur Steuerung und Optimierung der Rohstoffflüsse zwischen Wald und den Rohstoff aufnehmenden Werken der Holzwirtschaft.

2.2 Echtzeitpositionierung von Forstmaschinen unter Einsatz von GPS und/oder ähnlicher Systeme

Die Echtzeitpositionierung von Forstmaschinen mit GPS oder ähnlicher Technologie bedingt ein völlig neuartiges Befahrungsmanagement bei den in der Holzernte eingesetzten Forstmaschinen. Durch Wegeoptimierung werden neben Kraftstoffverbrauch, auch Produktivität, Lebensdauer und ökologische Faktoren wie Boden und Holzbestand günstig beeinflusst. Durch die Einführung der Grundtechnologie auf Forstmaschinen können Feinerschließungslinien/-netze erstmalig automatisiert erfasst und in Geographischen Informationssystemen GIS dokumentiert werden. Das ermöglicht aus betrieblicher Sicht die Optimierung der Holzernteprozesse und das Controlling und wird erhebliche Kosteneinsparungen generieren. Nach flächigen Sturmwürfen wird durch sicheres Auffinden des permanenten Feinerschließungsnetzes die Ressource Boden umfassend geschützt (Vermeidung von Flächenbefahrung) (Projekt in der Antragstellung der FVA zusammen mit Forschungspartnern).

2.3 Innovative Rundholzkennzeichnung mittels RFID

Die innovative Rundholzkennzeichnung bietet erhebliches Potenzial zur Rationalisierung und Effizienzsteigerung für Forstbetriebe und Holzindustrie. Die automatisierte Kennzeichnung und Identifizierung von Baumstämmen und Stammteilen können dazu beitragen, die Kette zwischen Wald und Werk transparenter und rationeller zu gestalten. Die nacheinander gelagerten Arbeits- und Transportschritte stellen Schnittstellen dar, die zukünftig dazu genutzt werden sollen, die benötigten Daten jeweils auf einfache Art abzugreifen. Dadurch ist die Information jederzeit

auf dem aktuellen Stand. Für den Waldbesitz und die Abnehmer des Holzes bedeutet dies, dass sie über den Rohstoffffluss zeitnah informiert sind und dadurch die Warenströme besser, das heißt effizienter steuern können. Zeitgewinne und höhere Effizienz tragen dazu bei, Kosten einzusparen und die Qualität des Rohprodukts zu sichern (geerntetes Rundholz unterliegt der Entwertung ab dem Zeitpunkt der Fällung des Baumes bzw. Trennung von der Wurzelbasis vor allem durch zunehmende Gefahr der Besiedelung des Holzkörpers durch Mikroorganismen infolge abnehmender Holzfeuchtigkeit im Holz).

Ein innovatives Kennzeichnungssystem für Rundholz ist einfach manuell oder auch vollmechanisiert an den Stamm anzubringen. Es muss den Anforderungen der rauen Umgebung mit mechanischen Einwirkungen sowie Eis und Schmutz trotzen können. Zu jedem Zeitpunkt der Prozesskette muss eine Identifikation des Stammes (Lesbarkeit des Tags) und eine damit verbundene eindeutige Zuordnung des Stammes nach Lieferant, Fuhrunternehmer und Käufer erfolgen können. Eine solche Zuordnung ist die Voraussetzung für eine waldbesitzerscharfe Abrechnung, wie sie vor allem bei besitzübergreifenden Hieben im kleinparzellierten Privatwald notwendig ist. Auch der immer mehr an Bedeutung gewinnende Herkunftsnachweis (Chain of Custody) für den Zertifizierungsprozess kann mit Hilfe einer eindeutigen Zuordnung lückenlos erbracht werden. Aktuelle Informationen zum Fortgang der Holzbereitstellung und der Holzabfuhr werden zeitnah auf teilbranchenübergreifenden Datenplattformen zur Verfügung gestellt, so dass die Akteure der Logistikkette Wald-Werk Statusänderungen wie abgefahrene Holzmengen aus einer zentralen Datenbank ohne Zeitverlust abrufen können. Durch Kenntnis des aktuellen Standes der Holzbereitstellung und der Holzabfuhr ist es möglich, den Personal-, Maschinen- und Kapitaleinsatz zu optimieren, die Arbeitsplanung besser aufeinander abzustimmen und kurzfristig auf Marktveränderungen oder Änderungen im Arbeitsablauf zu reagieren. Darüber hinaus werden durch das Kennzeichnungssystem Schnittstellenübergänge lückenlos dokumentiert und die Holzströme transparenter (eindeutige Zuordnung). Ein modernes Kennzeichnungssystem lässt sich somit auch für Garantiefälle oder Reklamationen entsprechend nutzen. Um eine zeitnahe Weiterleitung der Stamminformationen zu ermöglichen, müssen Medienbrüche und Doppelerfassungen im Datenmanagement vermieden werden. Die Identifikationsdaten, sowie Daten zur Herkunft (waldbesitzerscharf) und Qualität des Stammholzes müssen bereits bei der Holzernte bzw. bei der Holzaufnahme am Polter in digitaler Form erfasst werden. Weitere wichtige Faktoren sind die Wirtschaftlichkeit und Prozessverträglichkeit. An der FVA Baden-Württemberg wurde in enger Kooperation mit dem mit dem Ingenieurbüro Föller & Partner der Freiburger Transponderzyklus, ein Rundholzkennzeichnungssystem für Rundholz entwickelt, das den beschriebenen Anforderungen gerecht wird. Kennzeichen: Kreislauf-System mit hoher Wiederverwertungsrate, komplette Entfernung aus dem Rohstoffprozess (Vermeidung von Störungen in sensiblen Produktionsprozessen der Papier- und Zellstoffindustrie, insbesondere der Schliffherstellung), sichere Lesbarkeit der Daten.

Quellen

[1] www.bundeswaldinventur.de
[2] Ochs T., Duschl C., Seintsch B., Holz-Zentralblatt Nr. 16 2007, S. 419 ff.
[3] WEHAM Basisszenario, Polley und Kroiher, 2006a-c
[4] Ochs T., Duschl C., Seintsch B., Holz-Zentralblatt Nr. 12 2007, S. 318 ff.
[5] Ochs T., Duschl C., Seintsch B., Holz-Zentralblatt Nr. 10 2007, S. 269 ff.

5.1 Forst und Sägeindustrie
Ressourcen - Rohstoffmobilisierung

Jerg Hilt

Im Jahr 2006 war Holzmobilisierung eines der wichtigsten Themen in der Forst- und Holzbranche. Eine rasante Nachfrageentwicklung nach Holzprodukten vor allem auf den Exportmärkten hatte ihrerseits die Rohstoffnachfrage von Seiten der holzbe- und –verarbeitenden Betriebe enorm angeheizt. Die Konkurrenz um den Rohstoff und die Sorge um die Versorgung der Werke trieb die Rundholzpreise in seit langem nicht mehr gesehene Höhen. Der Käufermarkt wurde zum Verkäufermarkt. Für die Waldbesitzer nach den langen dürren Jahren nach Wiebke und Lothar eine erfreuliche Entwicklung. Wie selten zuvor in der Nachkriegsgeschichte wurde in dieser Situation die begrenzte Verfügbarkeit des Rohstoffs Holz in Deutschland deutlich.

Auf der anderen Seite hatten kurz zuvor die Ergebnisse der zweiten Bundeswaldinventur (BWI 2) erhebliche ungenutzte Produktionspotenziale in den Wäldern aufgedeckt. Vor allem im Kleinprivatwald haben sich durch geringe Nutzungen hohe Vorräte aufgebaut. Darüber hinaus hat sich durch günstige Witterungen und Stickstoffeinträge der Zuwachs in den Wäldern gesteigert. Hatte die BWI 1 im Jahr 1990 noch ein Nutzungspotenzial von 56 Mio. m³ pro Jahr ermittelt, stellt die BWI 2 ein jährliches Potenzial von 72 Mio. m³ dar. Trotz stetig steigender Einschlagszahlen besteht demnach regelmäßig eine ungenutzte Spanne, zuletzt 2006 in Höhe von ca. 10 Mio. m³. Lediglich 2007 wurde das Potenzial „Dank“ Kyrill erstmals zumindest rechnerisch ausgeschöpft.

Vor diesem Hintergrund änderten sich auch die politischen Ziele. War in Vergangenheit das Augenmerk vor allem auf die Steigerung des Holzverbrauchs gelegt worden, kam nun die Holzmobilisierung als wichtiges politisches Ziel hinzu.

Die Frage wie viel Holz wann und wo zu welchen Konditionen verfügbar ist, hängt jedoch von vielfältigen Einflussfaktoren ökonomischer, technischer, rechtlicher und politischer Art ab.

Als Wirtschaftsgut wird das Produkt Holz zunächst einmal durch Marktmechanismen beeinflusst, nicht zuletzt durch den Preis. Die Entwicklungen in den Jahren 2006/2007 haben deutlich gezeigt, dass durch höhere Holzpreise auch deutliche Mehrmengen mobilisiert werden können – gerade im Kleinprivatwald. Nach den Ergebnissen des Testbetriebsnetzes Kleinprivatwald in Baden-Württemberg wurde der Einschlag im Jahr 2006 in den Testbetrieben von 9,6 auf 13,4 Fm/ha gesteigert, d.h. um fast 30 %. Der durchschnittliche Holzertrag war im gleichen Zeitraum 13 % gestiegen und lag damit inflationsbereinigt immer noch nicht über dem Niveau der späten 80er Jahre. Eine nicht nur knapp auskömmliche sondern tatsächlich profitable Waldwirtschaft ist damit von großer Bedeutung für die Mobilisierung des Rohstoffs.

Das momentane Preisniveau ist jedoch nicht allein entscheidend für die wirtschaftliche Situation der Forstbetriebe. Im Jahr 2007 gingen die Einschläge im Testbetriebsnetz bereits wieder zurück – obwohl die Erträge nochmals um 23 % gestiegen waren. Die Stürme außerhalb des Bundeslandes und vor allem die beginnende Finanzkrise hatte eine Trendwende bei der Holzpreisentwicklung verursacht. Da zwischen Einschlagsentscheidung und Abschluss des Holzverkaufs in der Regel mehrere Wochen vergehen, hatte die unsichere weitere Entwicklung die Waldbesitzer zur Zurückhaltung bewogen.

Großen Einfluss auf die Holzbereitstellung hat offensichtlich die Stabilität der Holzmarktlage. In den vergangenen Jahren waren auf den Märkten jedoch regelmäßig extreme Schwankungen zu beobachten. Besonders nach Kalamitäten sind

anhaltende Preisrückgänge von über 50 % keine Seltenheit. Instrumente zu entwickeln, die im Interesse von Waldbesitzern und Holzindustrie zu einer Stabilisierung der Märkte beitragen, wäre daher wünschenswert. Bislang wurden hierfür sowohl von Seiten der Holzindustrie als auch von Seiten der Forstwirtschaft in erster Linie langfristigere Vertragsvereinbarungen eingesetzt, mit denen sowohl Mengen als auch Preise über einen Zeitraum von mehreren Quartalen bis hin zu mehreren Jahren festgeschrieben werden. Allerdings hat sich auch in der aktuellen wirtschaftlichen Krisensituation gezeigt, dass diese Instrumente nur bedingt geeignet sind, um die Holzmärkte gegen externe Einflussfaktoren zu stabilisieren. Wenn Vertragspreise und freie Marktpreise zu weit auseinander driften haben die Verträge oft nur geringen Bestand. Das Instrument deshalb zu begraben wäre vielleicht verfrüht, allerdings muss geprüft werden, wie Verträge mit längeren Laufzeiten weiterentwickelt werden können, um die gewünschten Stabilisierungseffekte zu erreichen.

Vor dem Hintergrund, dass die Volatilität der Holzmärkte zukünftig eher noch zunehmen wird, sind weitere Ansätze gefragt. Die Forstwirtschaft steht vor der Herausforderung, ihre Vermarktungsstrukturen an diese Schwankungen anzupassen. Außerdem dürfte es sinnvoll sein, sich wieder etwas weg vom Oberziel kurzfristiger Maximalpreise hin zu einer längerfristigen Betrachtung der Betriebsergebnisse und der waldbaulichen Pflege der Wälder zu orientieren. Und schließlich ist der Clustergedanke, der auch in die Forst- und Holzwirtschaft Einzug gehalten hat, eine Möglichkeit durch horizontale und vertikale Vernetzung der Marktpartner eine Stabilisierung zu erreichen.

Trotz deutlicher Fortschritte in den vergangenen Jahrzehnten ist und bleibt die wirtschaftlich tragfähige Holzmobilisierung auch weiterhin eine technische Herausforderung. Große Teile der bislang ungenutzten Holzmengen finden sich auf Standorten, die äußerst aufwendige Holzernteverfahren erfordern. Dies sind vor allem die Steillagen. Teilweise wurde in diesen Wäldern seit Jahrzehnten auf eine Nutzung verzichtet, weil keine technischen Verfahren verfügbar waren, die eine wirtschaftlich interessante Ernte ermöglicht hätten. Das Holz muss dabei schließlich nicht nur gefällt sondern auch aus dem Bestand transportiert werden. Mittlerweile sind verschiedene Verfahren verfügbar, die jedoch weiterentwickelt und optimiert werden müssen. Wissenschaftstransfer aus verwandten Bereichen und die finanzielle Unterstützung dieser Entwicklungen ist weiter notwendig. Insgesamt gilt aber sicher auch zukünftig: Die Holznutzung in diesen Lagen ist kostenintensiver als in befahrbaren Lagen und daher nur bei guten Holzpreisen machbar.

Die Befahrbarkeit hängt allerdings nicht nur von der Geländeform sondern auch vom Untergrund ab. Besonders auf empfindlichen Böden wurde die Nutzung bislang nur bei starkem Frost durchgeführt, um die dauerhafte Befahrbarkeit der Rückegassen zu gewährleisten. Mit abnehmender Häufigkeit stabiler Frostlagen wird die Bewirtschaftung dieser Wälder deutlich aufwendiger. Auch hier muss die Weiterentwicklung technischer Möglichkeiten fortgeführt werden. Andererseits wird an dieser Stelle auch deutlich, dass klimatische Veränderungen den Wald nicht nur als Ökosystem belasten, sie erschweren zudem seine Bewirtschaftung. Auch die Forst- und Holzwirtschaft hat daher ein vitales Interesse an einer Bekämpfung des Klimawandels.

Nicht nur die Erschließung „neuer“ Waldflächen ist jedoch von Bedeutung, auch die optimierte Bewirtschaftung der bereits genutzten Bestände spielt eine wichtige Rolle für die Rohstoffversorgung. Durch Baumartenwahl, Umtriebszeiten und Bestandesbehandlung wird die naturale Holzpro-

duktion beeinflusst, die Sortimentsaushaltung beim Holz entscheidet unter anderem darüber, wie viele ungenutzte Reste im Wald verbleiben. Dieses Waldrestholz steht verstärkt im Fokus, wenn es um die energetische Holznutzung geht. Dabei ist der limitierende Faktor der naturalen Produktion die Standortsnachhaltigkeit.

Besonderes Augenmerk wurde in den letzten Jahren auf die Optimierung der logistischen Abläufe bei der Holzbereitstellung gelegt. Mit der aktuellen Einführung navigationsfähiger GPS-Informationssysteme im Wald wird an einem wichtigen Instrument zur Kostenreduktion und zum Ausgleich des Personalabbaus in der Forstwirtschaft gearbeitet. Ein weiteres interessantes Beispiel ist die Anwendung der RFID-Technologie zur Identifikation lückenloser Dokumentation und Identifikation der Holzströme. Auch im Bereich der Logistik kommt dem Wissenstransfer eine hohe Bedeutung zu. Die besondere Herausforderung im Forstbereich liegt dabei in der großen Anzahl von Betrieben mit sehr geringer Jahresproduktion. Gerade im Kleinprivatwald fallen häufig Sortimentsmengen von unter 10 m³, d.h. weniger als eine Lkw-Ladung an. (s. auch Kapitel 6.4 RFID)

Diese strukturellen Hemmnisse stehen im Fokus vieler politischer Bemühungen zur Steigerung der Holzmobilisierung. Eines der wichtigsten Instrumente dabei ist der freiwillige Zusammenschluss von privaten und kommunalen Waldbesitzern zu Forstbetriebsgemeinschaften, den „Erzeugergemeinschaften“ der Forstwirtschaft. In Baden-Württemberg gibt es ca. 180 Forstbetriebsgemeinschaften mit einer durchschnittlichen Gesamtfläche von 2.500 ha. Dies sind respektable Zahlen, wenn man betrachtet, dass die Durchschnittsgröße privater Forstbetriebe nur bei 2,5 ha liegt. Dennoch ist das Vermarktungsvolumen der einzelnen Zusammenschlüsse in der Regel nicht ausreichend, um eigenständige professionelle Strukturen aufzubauen oder gar ein gewisses Marktgewicht darzustellen. Andererseits kommt die traditionell enge Zusammenarbeit der Forstbetriebsgemeinschaften mit der Landesforstverwaltung durch Personalreduktion im öffentlichen Dienst unter Druck. Vertreter von Verwaltung, Politik und Verbänden sind daher aufgefordert, neue Kooperationsmöglichkeiten und eine weiterentwickelte Aufgabenverteilung zwischen privatem Waldbesitz und öffentlicher Forstverwaltung umzusetzen. Dabei muss es gelingen, professionelle und effiziente Strukturen aufzubauen und gleichzeitig die Identifikationsmöglichkeiten und den Kontakt zum einzelnen Waldbesitzer aufrechtzuerhalten. Benötigt werden die ergänzenden Instrumente der Waldpacht und Waldbewirtschaftungsverträge, um den Waldbesitzern je nach ihren Bedürfnissen die entsprechende Dienstleistung anbieten zu können.

Ungeachtet dieser Maßnahmen, die erhöhten Aufwendungen aufgrund der kleinflächigen Besitzstruktur bleiben erhalten. Wenn die Gesellschaft Interesse an einer Bewirtschaftung und Pflege im Kleinprivatwald hat und an einer Mobilisierung der dort anfallenden Zuwächse, dann muss die Überwindung der strukturellen Nachteile auch zukünftig öffentlich unterstützt werden.

Waldbewirtschaftung und Holznutzung finden Deutschland und insbesondere in Baden-Württemberg immer in der Öffentlichkeit statt. Insbesondere Waldbesucher und Naturschutzvertreter formulieren eigene Ansprüche an den Wald und stehen der modernen Forstwirtschaft häufig kritisch gegenüber. Durch Berücksichtigung dieser Interessen, durch hohe Besucherfrequentierung und die Ausweisung von Schutzgebieten wird die Holzmobilisierung einerseits eingeschränkt und andererseits aufwendiger und damit kostenintensiver. Große Teile der Öffentlichkeit haben nur noch ein eingeschränktes Verständnis von den Prozessen der Urproduktion und weisen ein hohes Informationsbedürfnis auf. Um weitere Ein-

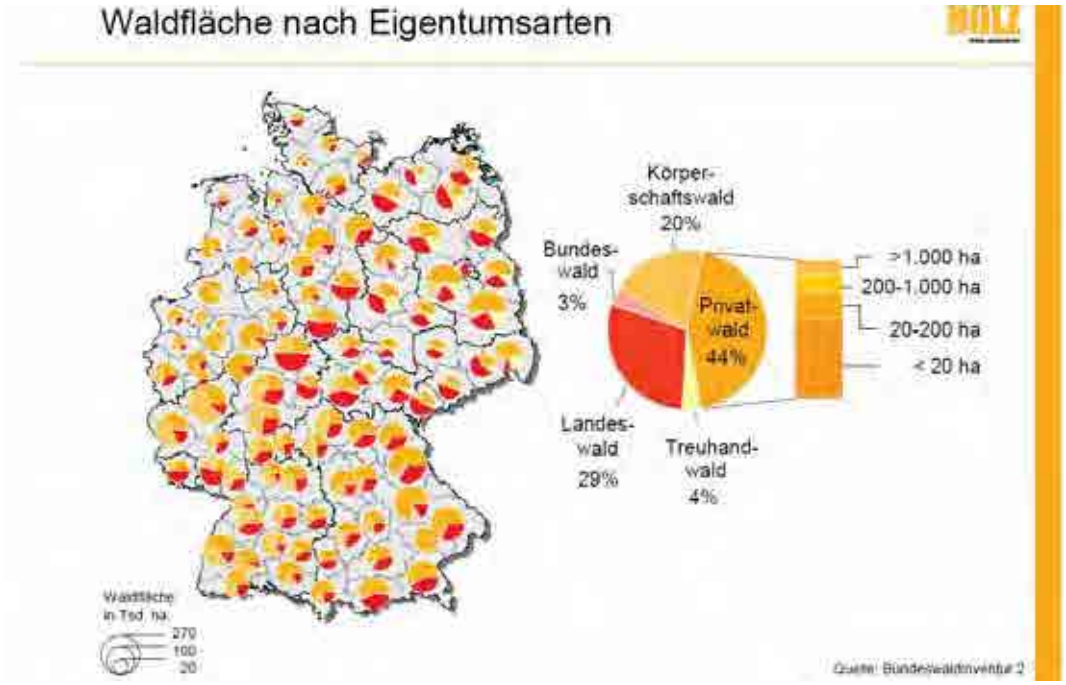


Abb. 1: Waldbesitzverteilung

Ungeachtet der Maßnahmen, die zusätzlichen Aufwendungen aufgrund der kleinflächigen Besitzstruktur bleiben erhalten. Die Überwindung dieser Nachteile muss auch zukünftig finanziert werden.

schränkungen zu vermeiden, muss daher eine breitere rationale und emotionale Akzeptanz in der Bevölkerung für die Waldbewirtschaftung aufgebaut werden. Auch dies ist eine Aufgabe, der sich die Vertreter der Branche nur gemeinsam und im Schulterschluss mit der Politik stellen können.

Diese Kommunikation und Imagearbeit muss jedoch nicht nur nach außen sondern auch nach innen erfolgen. Die Anzahl der so genannten „urbanen“ Waldbesitzer, deren Bezug zum Wald sich von dem traditioneller Waldbesitzer oft grundlegend unterscheidet, ist zunehmend. Mit dem Wegzug aus dem ländlichen Raum, mit veränderten Arbeitswelten außerhalb der Landwirtschaft und mit einem anderen Freizeitverhalten gehen Flächenkenntnis, Bewirtschaftungsmöglichkeiten und Nutzungsinteressen verloren, der emotionale Wert des Waldeigentums rückt in den Vordergrund. Gerade hier müssen der Wert und die Prinzipien der Holznutzung vermittelt werden. Auch ist davon auszugehen, dass in dieser Waldbesitzergruppe die Nachfrage nach individueller Dienstleistung bei der Waldbewirtschaftung besonders hoch ist.

Zwischenzeitlich haben die Finanzkrise und die Orkane Kyrill, Paula und Emma das Thema Holzmobilisierung vorerst wieder von der aktuellen Agenda gefegt. Dass Nachfrage nach Holzprodukten zukünftig aber tendenziell zunehmend sein wird und sein muss, darüber sind sich die Experten einig. Als Ursachen müssen nur die Endlichkeit der fossilen Rohstoffe und Energieträger, die klimapolitischen Oberziele oder die steigende Weltbevölkerung genannt werden. Die Vertreter der Branche sind sich daher bewusst, dass die Holzmobilisierung ein wichtiges Thema für das Cluster Forst und Holz bleiben muss.

Quellen

[1] Informationsdienst Holzmobilisierung des Holzabsatzfond www.info-holzmobilisierung.de
[2] Auswertungsmodul der Bundeswaldinventur2 www.bundeswaldinventur.de
[3] GPS-Navigation im Wald www.navlog.de
[4] Umfangreiches Informationsangebot www.waldwissen.net

5.1 Ressourcen und Rohstoffabsatz
Besondere Absatzkonzepte

Hugo Wirthensohn

1 Rahmenbedingungen in Forst und Holzwirtschaft

Die Erlössituation im mitteleuropäischen Forstbereich ist seit nahezu 40 Jahren unverändert. Einblick in die unterschiedlichen Besitzkategorien geben Testbetriebsnetze in den einzelnen Ländern. Neben dem oftmals in großen Einheiten vorhandenen und professionell bewirtschafteten öffentlichen Wald (Staatswald und Kommunalwald), gibt es noch den Bereich des Privatwaldes. Der Großprivatwald wird meistens ebenfalls hochprofessionell bewirtschaftet und war bislang ein Marktpartner auf Augenhöhe. Der Kleinprivatwald, oftmals bäuerlicher Waldbesitz, ist seit Jahren im Fokus der Forstwissenschaft und der Holzwirtschaft. Hier stehen die höchsten Holzvorräte überhaupt und der Anteil des Kleinprivatwaldes am Gesamtwald ist europaweit zwar stark schwankend, erreicht aber stellenweise wie in Bayern 54 %. Dieses Holz wird bislang nur sehr zögerlich und weit unter dem Zuwachs genutzt und nicht in die nachfolgenden Wertschöpfungsebenen eingespeist.

Abb. 1: Rundholz

Die Gründe hierfür sind vielschichtig: Die bäuerliche Waldwirtschaft ist durch eine hohe Eigenleistungsquote, einen geringen Fixkostenanteil, ohne eigenes Fachpersonal, durch einen aussetzenden Betrieb, in der Regel ohne forstliche Planung, gekennzeichnet. Weiterhin erschweren die Bewirtschaftung Kleinparzellierung, Struktur- und Erschließungsmängel. Die Wald- / Wildproblematik ist hier besonders ausgeprägt, da oft nur in geringem Umfang jagdpolitisch Einfluss genommen werden kann. Die anfallenden Holzkleinmengen bedeuten oft einen Marktnachteil. Die Bereitstellung eines marktkonformen Angebotes ist für den Kleinwaldbesitzer unmöglich. Mittelfristige waldbauliche Planungen können sehr eingeschränkt realisiert werden. Biologische Automation und technische Innovation werden in äußerst geringem Umfang angewandt. Die Forstwissenschaft und die forstliche Ausbildung haben sich während der vergangenen Jahrzehnte fast ausschließlich den Großwaldeinheiten gewidmet und keine auf den Kleinstwald angepassten Technik- und Waldbauverfahren entwickelt. Die Folge ist der „Stillstand“, den wir heute oftmals in diesen Wäldern beobachten und beklagen – besonders vor dem Hintergrund der Holznotwendigkeit für unsere Volkswirtschaften. Kommen hier noch Waldfunktionen wie „Schutzwald“ hinzu, so verschärft sich die Gesamtsituation, wenn z.B. die Verjüngungsnutzung in einem Bergschutzwald ausbleibt. Die Forst- und Holzwirtschaft ist momentan durch rasant fortschreitende Konzentrationsprozesse geprägt. Die Zahl der Sägewerke ist in den vergangenen Jahren stark zurückgegangen. Ca. 12 international ausgerichtete Betriebe schneiden knapp 90 % der Gesamtproduktion in Deutschland ein. Die Werke zeichnen sich durch unterschiedlichste Standards und Kostensituationen aus. Dieses hat eine enorme Strukturproblematik der Branche zur Folge. Es ist eine weitere Minimierung der Werke im Mittelstandsbereich zu befürchten und eine zunehmende Spezialisierung der kleineren Werke. Konzernbildungen und internationale Fusionsbestrebungen werden die absehbare Zukunft weiter prägen. Die Preisbildung, wie sie bisher stattfindet, könnte in Zukunft, ähnlich wie auf dem Industrieholzsektor,

von großen holzverarbeitenden Betrieben gestaltet oder diktiert werden.

2 Bündelung und Betreuung der Waldbesitzer vor Ort

In Bayern existieren 140 forstliche Zusammenschlüsse (Waldbesitzervereinigung (WBV) oder Forstbetriebsgemeinschaft (FBG)). Die Betreuung, d.h. die Ausführung, Leitung und Kontrolle sämtlicher Forstbetriebsarbeiten mit einer anschließenden optimalen Holzvermarktung wird durch die örtliche WBV oder FBG bewerkstelligt. Diese Institution soll kompetenter Ansprechpartner in allen wald- und forstwirtschaftlichen, sowie jagdpolitischen Fragen sein. Forstwirtschaftliche Zusammenschlüsse sind Dienstleister. Sie bieten dem Waldbesitzer einen breitgefächerten Service. Information und Kommunikation stellen hierbei eine zentrale Aufgabenstellung dar. Der forstwirtschaftliche Zusammenschluss verfügt über eine zentrale Service- und Informationszentrale, die Geschäftsstelle, mit kompetenten Ansprechpartnern. Zu allen Fragen der Wald- und Holzwirtschaft sowie Jagd und Naturschutz kann kompetent Auskunft erteilt oder vermittelt werden. Die WBV / FBG ist „Partner für den Wald“ in jeder Hinsicht. Der Waldbesitzer fühlt sich bei seiner örtlichen FBG gut aufgehoben. Weiterhin ist die Präsenz vor Ort mit ausgebildeten Mitarbeitern, welche mit einem großen Verantwortungsbereich ausgestattet sind, von besonderer Wichtigkeit. Diese Mitarbeiter stellen den direkten Kontakt zum Mitglied her. Die Aufgaben einer Waldbesitzervereinigung oder Forstbetriebsgemeinschaft beschränken sich nicht nur auf eine professionelle Holzvermarktung, sondern beinhalten viele weitere Gebiete. Die Holzvermarktung stellt aber das zentrale Betätigungsfeld dar. Sämtliche Sortimente müssen marktkonform aufbereitet sein und an einen großen zuverlässigen Kundenstamm optimal vermarktet werden. Die Vermarktung von Sondersortimenten (Stangen, Bauholz, Mondholz) muss als wichtiges Nischengeschäft wahrgenommen werden. Die Teilnahme an Meistgebotsterminen zur Vermarktung von Wertholz stellt eine wichtige Wertschöpfung für den Kleinprivatwald dar. Eine funktionierende WBV / FBG kann eine Versorgungssicherheit und Mengenkontinuität garantieren und erschließt der heimischen Sägewirtschaft das regionale Marktpotential.

Abb. 2: Rundholzplatz

Durch hohe Qualitätsstandards verringern sich die Einkaufskosten enorm. Sämtliche mögliche Forstbetriebsarbeiten müssen kompetent im Leistungsangebot stehen. Die Durchführung von Spezialarbeiten (Baumuntersuchungen, Spezialfällungen) außerhalb der Forstwirtschaft gehören ebenfalls ins Repertoire. Sämtliche Arbeiten müssen zuverlässig koordiniert und kontrolliert werden. Die Koordination des Waldgrundstückverkehrs, der gemeinsame Material- und Pflanzeneinkauf, die Vermarktung von Christbäumen und Zierreisig, die Anerkennung von Beständen nach dem Forstsaatgutgesetz und die Ernte von Forstsaatgut runden das Angebot weiter ab. Waldpflegeverträge, in welchen individuell gestaltete Vereinbarungen bis zur Komplettübernahme der gesamten Waldbewirtschaftung angeboten werden, sind für die Zukunft besonders wichtig, da immer mehr Waldbesitzer keinen Bezug zur Waldarbeit haben. Diesen Besitzern muss die Möglichkeit eröffnet werden, dass ihr Grundbesitz zuverlässig

bewirtschaftet und verwaltet wird. Ein Grund für die Einführung von Waldpflegeverträgen war der Strukturwandel in der Landwirtschaft und der damit verbundenen Besitzverhältnisse, die in vielen Fällen auch Auswirkungen auf die Waldwirtschaft hatten. Zum einen wurden die Anforderungen in der Landwirtschaft immer höher und die Zeit für die Waldbewirtschaftung immer weniger, zum anderen folgten durch Hofaufgaben und Besitzübergaben Eigentumsverhältnisse, die mit dem Wald in keinster Weise in Verbindung standen. Die Antwort hierauf war ein den individuellen Wünschen und Verhältnissen angepasster Waldpflegevertrag. Wesentlicher Vertragsinhalt ist das Leistungsverzeichnis, welches auf den jeweiligen Vertragspartner abgestimmt wird und die damit verbundene Kostenregelung. Zusätzlich werden auch forstliche Betriebsarbeiten übernommen, die von der Kulturvorbereitung bis hin zum Holzeinschlag die gesamte Palette waldbaulichen Wirtschaftens beinhalten können. Die Durchführung und Abwicklung des Holzverkaufes als dritte Säule rundet die Serviceleistung ab.

Abb. 3: Abtransport im Wald

Der Waldpflegevertrag stellt somit ein Instrumentarium dar, das die oben aufgeführten forstlichen Problemstellungen in seiner Gänze aufnimmt und als kompaktes Lösungsmodell den heutigen Anforderungen effizienter und dennoch ökologischer Waldwirtschaft gerecht wird.

3 Die in.Silva eG

Diese Überlegungen führten im Oktober 2004 zur Gründung der in.Silva eG, einer internationalen Holzhandels- und Logistikgenossenschaft, welche im Frühjahr 2005 ihre Geschäftstätigkeit aufnahm. Gründungsmitglieder sind die forstlichen Zusammenschlüsse des Allgäuholz Markenverbandes e.V. (FBG Memmingen, Mindelheim, Oberallgäu und die WBV Westallgäu und Kempten) für Bayern mit insgesamt 15.000 Privatwaldbesitzern, Stiftungen, Kirchenwäldern und Gemeinden, die Holzhof Oberschwaben eG (FBG mit über 5.000 Mitglieder, bestehend aus Privat- und Kommunalwaldbesitzern und 230.000 ha Waldfläche) in Baden-Württemberg sowie die Stiftung Liebenau (Großprivatwald). Seit 2005 sind auch die ÖBf AG (Die Österreichischen Bundesforste) und der Tiroler Waldverband Mitglied in der Genossenschaft. Mittlerweile sind eine Vielzahl weiterer forstlicher Zusammenschlüsse aus ganz Bayern und Großprivatwaldbesitzer aus Süddeutschland Mitglied geworden.

Die in.Silva eG kauft und bündelt die Massensortimente der Genossenschaftsmitglieder und liefert diese in der Regel frei Werk an Zielkunden. Durch die noch weitergehende Zusammenfassung der Massensortimente sollen bessere Marktkonditionen einerseits und ein Servicepaket für die Holzindustrie (Lieferpläne, Logistikdienstleistung, Versorgungssicherheit) andererseits realisiert werden. Die in.Silva eG ist von vorneherein auf Wachstum ausgelegt um die Marktposition auszubauen und mit dem holzindustrieseitigen Konzentrationsprozess Schritt zu halten.

4 Die Wald-Säge Fuchstal eG

Zielsetzung ist durch die Beteiligung an einem Sägewerk inkl. Verwertungsbereich, durch das Aufbringen von Investitionskapital und durch die langfristige Liefersicherheit (insbesondere im Starkholzbereich) die wirtschaftliche Situation der Waldbesitzer, unter Berücksichtigung der oben

beschriebenen Voraussetzungen, zu verbessern und langfristig zu sichern.

Die Erreichung dieses Zieles soll erfolgen durch:

- Bündelung der Interessen (gemeinsame Vertretung und Geschäftsführung)
- Bündelung der Kapitalaufbringung
- Bündelung der Leistungsströme (gemeinsame Holzvermarktung, gemeinsamer Betrieb eines Sägewerkes, insbesondere für Starkholz und Organisation und Strukturierung der Holzmobilisierung und Verwertung auf gemeinsamer Basis)

Die Interessensvertretung der großen Anzahl der Waldbesitzer erfolgt durch die bestehenden Forstbetriebsgemeinschaften und Waldbesitzervereinigungen (FBGs / WBVs).

4.1 Geschäftsidee

Die grundsätzliche Geschäftsidee dahinter ist der Einstieg der Waldbesitzer in die Wertschöpfungskette Holz nach skandinavischem Vorbild.

22 FBGs / WBVs im südbayerischen Raum schließen sich mit den Holzwerken Pröbstl (HWP) mit dem Ziel zusammen, gemeinschaftlich geschäftlich tätig zu werden.

Diese 22 FBGs / WBVs befinden sich radial im Einzugsbereich der HWP und bündeln ca. 25.000 Mitglieder.

HWP ist ein Familienunternehmen, das bis 2006 350.000 fm Rundholz / Jahr verarbeitet. 50 % dieser Menge kommen von den 22 FBGs / WBVs.

Im Zuge der Bundeswaldinventur und des Konzentrationsprozesses am Sägewerksmarkt haben beide Marktpartner beschlossen sich zusammen zu tun.

HWP stockt seine Kapazitäten auf 800.000 fm pro Jahr auf, indem die Zerspanerlinie erneuert wird und eine leistungsfähige Starkholzlinie für ca. 100.000 fm / Jahr gebaut wird.

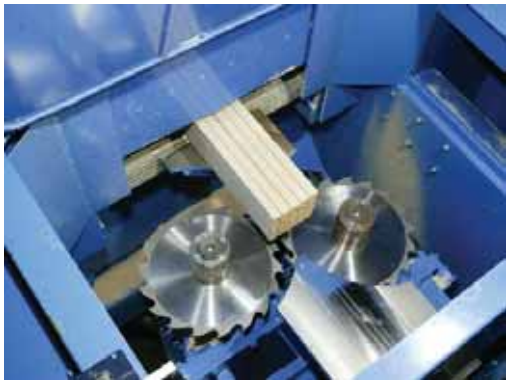


Abb. 4: EWD-Zerspaner

Die Waldbesitzer beteiligen sich an dieser Aufstockung mit Investitionskapital und gesicherten Liefermengen.

Dieses Konzept ergibt folgende „win-win-Situation“:

Für HWP:

- Rundholzsicherung
- Investitionskapital
- Mehrmengenmobilisierung

Für Waldbesitzer:

- Verbesserter Starkholzabsatz
- Einstieg in Wertschöpfungskette
- Preisstabilität
- Abnahmesicherheit
- Mitspracherechte
- Strukturverbesserungen

Im Zuge des Konzentrationsprozesses im Sägewerksmarkt in Deutschland handelt es sich hier um die letzte Möglichkeit, sowohl für die HWP als auch den FBGs / WBVs mit ihren Mitgliedern, marktfähig zu bleiben und eine gesunde Wettbewerbsstruktur zu erhalten. Ansonsten führt die

derzeitige Entwicklung zu einer fortschreitenden Monopolisierung im Sägewerksmarkt und für den privaten Waldbesitz zum bloßen Abliefern von Rundholz. Eine Mobilisierung der Holzreserven im Kleinprivatwald, was überall gefordert wird, kann zudem bei der anhaltenden Entwicklung nicht stattfinden.

Eine solche Geschäftsidee hat deshalb auch immense strukturpolitische Bedeutung, in diesem Fall für das Holzland Bayern.

Erreicht werden soll dieses Ziel durch die Genossenschaft mit der Bezeichnung Wald-Säge Fuchstal eG. Die Genossenschaft ist offen für alle, insbesondere für die Mitglieder der 22 FBGs / WBVs.

4.2 Unternehmensziel

Die Effektivität der Interessensvertretung erfordert die Gründung eines Gemeinschaftsunternehmens, in dem die für die Zielsetzung erforderlichen Aufgaben und Maßnahmen zusammengefasst sind.

Warum „Genossenschaft“

- Durch die Möglichkeit der Steuerbefreiung (§ 5 Abs. 14 KStG), die Möglichkeit, Überschüsse mittels Rückvergütungen auszuschütten (§ 22 KStG) sowie des Entgeltcharakters genossenschaftlicher Rückvergütungen sind in der Rechtsform Genossenschaft Steuervorteile gegenüber allen anderen Rechtsformen gegeben, die eine nachhaltige Renditeverbesserung für die Mitglieder bedeuten.
- Bei der Wahl der Rechtsform Genossenschaft sind keine Probleme hinsichtlich der Annahme unerlaubter Bankgeschäfte (KWG) sowie Haftungsrisiken hinsichtlich Prospekthaftungsgesetz gegeben. Diese Risiken sind bei anderen Rechtsformen nur mit erheblichem Bürokratie- und damit Kostenaufwand zu vermeiden.
- Die mit der Rechtsform Genossenschaft verbundene Pflicht der Selbstverwaltung berücksichtigt, dass (notarielle) Beurkundungspflichten und (rechtliche) Auseinandersetzungsregelungen nicht von Bedeutung sind.
- Beitritt / Austritt / Wechsel von Mitgliedern ist relativ einfach möglich. Hierfür erforderliche Regelungen beinhaltet die Satzung, es besteht keine Beurkundungspflicht und keine Auseinandersetzungsnotwendigkeit mit anderen Beteiligten. Die Führung der Mitgliederlisten erfolgt durch die Genossenschaft selbst (damit sind keine Registereintragungen und Beurkundungen erforderlich).
- Die Stimmrechtsvorgaben des Genossenschaftsgesetzes lassen eine Beherrschung durch Dritte (z.B. Kapitalgeber, andere Gesellschafter) nicht zu.

4.3 Unternehmerteam/Gründungsmitglieder, Mitglieder

- alle FBGs / WBVs und alle Waldbesitzer
- auch andere Personen (HWP, Körperschaften, sonstige natürliche Personen), die den Zweck der Genossenschaft unterstützen.

Gremien

- Generalversammlung:
- Aufsichtsrat:
- Vorstand.

4.4 Geschäftsbetrieb, Betriebsorganisation

a. Tätigkeit der Genossenschaft (§ 2 der Satzung)

- Die Förderung des Erwerbs und der Wirtschaft ihrer Mitglieder durch gemeinsamen Geschäftsbetrieb
- Die Bearbeitung und Verwertung von Holz
- Die Unterstützung der Mitglieder bei der Holzverwertung und der Logistik.
- Die Unterstützung und Hilfestellung der Mitglieder in allen Belangen der Sägewirtschaft.

– Der Erwerb von Beteiligungen an branchengleichen oder ähnlichen Unternehmen sowie das Betreiben eines Sägewerkes.
– Die Sammlung und Verwaltung von Kapital.
– Gesellschafter bzw. Darlehensgeber gegenüber der HWP
– Organisation, Abrechnung und Verwaltung von Holzlieferungen
– Uneingeschränkte Wahrnehmung von Kontrollrechten, Mitbestimmungsmöglichkeiten, Informationsrechten und –pflichten gegenüber Geschäftspartnern.
– gemeinsamer Geschäftsbetrieb mit der HWP

4.5 Rechtliches Konzept

– Die Holzanlieferung erfolgt zur Sicherstellung der steuerrechtlichen Vorteile durch die Genossenschaft.
– HWP errichtet neben der Zerspanerlinie ein Starkholzsägewerk, erhält hierfür ein Darlehen der Genossenschaft, das mittels Grundschuld auf dem Grundstück und Maschinenübereignung abgesichert ist. Die Mitwirkung der Genossenschaft wird im Darlehensvertrag geregelt.
– Die Genossenschaft besitzt die Option sich am Stammkapital der HWP zu beteiligen.

4.6 Planung für die ersten Geschäftsjahre

a. Finanzierungsmodell

Benötigt werden 7,5 Mio. €, davon 3 Mio. € für die Errichtung der Starkholzlinie. Dieses Kapital soll über Genossenschaftsanteile á 250 € bereitgestellt werden. Jedes Mitglied der 22 FBGs/WBVs wird darüber informiert und jedem die Möglichkeit eingeräumt, Anteile zu zeichnen in beliebiger Höhe. Eine 4 %-ige Verzinsung der Anteile ist vorgesehen.

Über die 22 FBGs/WBVs werden ca. 25.000 Mitglieder angeschrieben. Nichtmitglieder sind ebenfalls zeichnungsberechtigt.

Eine Verknüpfung mit Lieferrechten besteht nicht, aber es gibt die Möglichkeit der Rückvergütung.

4.7 Absicherungsstrategie

– Aufbau eines größeren Verbundes (siehe In.Silva)
– Augenhöhe als Marktmacht,
– Konsolidierung des Durchschnittspreises
– Langfristige Verträge auch bei Naturgewalten
– Einblick in Kostenstruktur eines Sägewerkes
– Zielgerichtete Organisation und Lieferung des benötigten Holzes
– Freiwerklieferungen

5 Die Holzwerke Pröbstl (HWP)

Die HWP sind Komplettanbieter für Holzhausbau und Holzhandel und ein Familienbetrieb, der in die dritte Generation geht. Sie sind auch der letzte verbleibende, rein bayerische Industriebetrieb in Südbayern. Die Stärke der HWP liegt im hohen Diversifizierungsgrad. Hier ein Ausschnitt des Produktangebotes:

Als Haupt- und Nebenprodukte werden geführt:

- Schnittholz (Hauptprodukt): Bauholz, Kantholz, Seitenware, Keil- / Traufbohlen, Rahmen- / Kreuzholz, Latten.
- Nebenprodukte: Hackschnitzel, Rinde, Späne (für die Papier- und Zellstoffindustrie; Hauptabnehmer: UPM)

Abb. 5: Rundholz beim Entrinden

Zur Weiterverarbeitung zählen:

- Veredelungsprodukte: Hobelware (Rauhspund, Glattkant- und Profilbretter) und getrocknete Ware.
- Naturholzplatten (NHP): 3-Schicht und 5-Schicht Platten von 12 bis 60 mm Dicke; max. 600 cm Länge und 250 cm Breite; Leimholzplatten. Anwendung im Außen- und Innenausbau (Möbel, Wände, Decken).
- Duo-, Triobalken: zwei bzw. drei kernfreie und keilgezinkte Halbhölzer, die flachseitig miteinander verleimt sind; max. 16 cm Breite x 24 cm Höhe x 16 m Länge. Anwendung im sichtbaren Bereich im Holzhausbau.
- Brettschichtholz (BSH): mehrere (> 3) kernfreie Halbhölzer, die miteinander verleimt sind; max. 24 cm Breite x 52 cm Höhe x 16 m Länge.
- Konstruktionsvollholz (KVH): in der Länge keilgezinktes gehobeltes Holz; max. 14 cm Breite x 20 Höhe x 15 m. Anwendung im sichtbaren Bereich im Holzhausbau (offene Dachstühle, Wintergärten, Carports).

Abb. 6: Duobalken

Mit der Errichtung des Starkholzsägewerkes in Verbindung mit einer neuen Zerspanerlinie und einer Pelletieranlage sind die HWP ein idealer Partner in der Wertschöpfungskette Wald-Holz. HWP kann nun Nadelholzsortimente von 4 m Länge bis 20 m und 15 cm Durchmesser bis 90 cm abnehmen. 40 % seiner Sägeprodukte gehen in die eigene Weiterverarbeitung. Die anfallende Rinde ist ein wichtiger Brennstoff für das eigene Heizwerk, die Hackschnitzel sind ein begehrter Rohstoff für das große Papierwerk in Schongau und das Sägemehl wird zu hochwertigen Pellets verarbeitet, die komplett in der Region abgesetzt werden können u.a. auch über den waldbesitzereigenen Biomassehof Allgäu mit Sitz in Kempten.

6 Ausblick / Probleme

Es soll an dieser Stelle nicht verschwiegen werden, dass auch noch Probleme bestehen die gemeistert werden müssen.

Allgemein kann gesagt werden, dass die Prognose für dieses Modell der Zusammenarbeit des Waldbesitzes mit seinen Organisationen und Verbänden mit den Holzwerken Pröbstl äußerst günstig ist und sich ein sehr gutes „Wir-Gefühl" entwickelt.

Das Engagement der einzelnen FBG / WBV´s mit ihren Geschäftsführern und Vorständen könnte noch besser sein. Zurzeit hat die Wald-Säge Fuchstal eG knapp über 700 Mitgliedern mit Anteilen von 900.000 €, was eindeutig noch zu wenig ist. Seit der Finanzkrise steigt aber die Bereitschaft zu zeichnen sprunghaft an.

Die Finanz- und Wirtschaftskrise beeinträchtigt auch HWP massiv. So sind die Holzprodukte stark im Preis gefallen, der Wettbewerbsdruck steigt stark und die Banken verschärfen die Situation der freien Liquidität massiv durch ihr z.T. äußerst unverantwortliches Nichthandeln. Gerade die jetzige Zeit zeigt, dass die uralte Form der Genossenschaft wichtiger denn je ist, um über eine Vielzahl von Mitgliedern Anteile zu bekommen unter bestmöglicher Absicherung und Risikostreuung aber ohne Banken. Unsere Zeit beginnt, wenn die Finanzkrise überwunden ist.

Quellen

www.wald-saege-fuchstal.de
www.proebstl-holz.de
www.insilva.de

5.2 Rohstoff Holz
Maschinelle Festigkeitssortierung von Schnittholz

Julia Denzler, Peter Glos

1 Zusammenfassung

Der Anteil von maschinell sortiertem Schnittholz steigt in Europa rasant an. Neue Sortierverfahren ermöglichen höhere Sortiergeschwindigkeiten und stellen nicht mehr den Flaschenhals moderner Produktionsabläufe dar. Für Unternehmen liegen wirtschaftliche Anreize der maschinellen Sortierung neben dem Rationalisierungsgewinn in der Möglichkeit, das so sortierte Schnittholz in höhere Festigkeitsklassen einzustufen und somit hochwertige Holzbauprodukte produzieren zu können.

Die Vielfalt der am Markt verfügbaren Sortiermaschinen in Verbindung mit deren unterschiedlichen nationalen und internationalen Anerkennungen erschwert den Überblick über den Stand und die Möglichkeiten der maschinellen Sortierung. Der Artikel gibt einen Überblick über den aktuellen Stand der maschinellen Sortierung auf internationaler Ebene und zeigt die Leistungsfähigkeit der verschiedenen Verfahren auf. Darüber hinaus werden zukünftige Entwicklungsmöglichkeiten und mögliche Lösungsansätze für noch bestehende Probleme diskutiert.

2 Einleitung

Die Holzeigenschaften streuen sowohl von Baum zu Baum als auch innerhalb eines Baumes in radialer und longitudinaler Richtung. Durch den Einschnitt von Rundholz wird die gewachsene Holzstruktur gestört, Äste und Holzfasern werden angeschnitten. Dies beeinflusst die Festigkeitsstreuung des Schnittholzes wesentlich. Die Festigkeitseigenschaften von unsortiertem Schnittholz können so stark streuen, dass sich die Festigkeiten des schwächsten und des stärksten Holzes um den Faktor 10 unterscheiden.

Für den Einsatz von Holz für tragende Zwecke ist dessen charakteristische Festigkeit, d.h. das 5%-Quantil der Grundgesamtheit, maßgebend. Bei der Verwendung von unsortiertem Holz kann die höhere Festigkeit der meisten Schnitthölzer nicht ausgenutzt werden. Ziel einer Holzsortierung ist, Hölzern guter Qualität höhere charakteristische Festigkeitswerte zuzuweisen, um eine wirtschaftliche Nutzung des Holzes zu erzielen.

Die Festigkeit der einzelnen Schnitthölzer kann nicht direkt ermittelt werden. Mit Hilfe von visuell erkennbaren oder zerstörungsfrei messbaren Holzeigenschaften wird versucht, die Festigkeit so genau wie möglich vorherzusagen.

3 Grundlagen der Holzsortierung

3.1 Visuelle Festigkeitssortierung

Traditionell wird die Festigkeit von Schnittholz über dessen visuelles Erscheinungsbild abgeschätzt. Eine wichtige Rolle spielen dabei die Parameter Ästigkeit und Jahrringbreite. Aufgrund der unterschiedlichen Holzarten, Holzeigenschaften und Verwendungen in verschiedenen Ländern wurden landesspezifisch visuelle Sortierregeln entwickelt, die sowohl in der Sortierklassenanzahl als auch in den Sortiergrenzwerten stark differieren. Trotz dieser Vielfalt weisen alle visuellen Sortierverfahren folgende Defizite auf: Für die visuelle Schnittholzsortierung können nur sichtbare Parameter in einer sehr einfachen Kombination verwendet werden, um praktikable Sortierregeln zu erhalten. Wichtige, die Festigkeit beeinflussende Faktoren wie zum Beispiel die Dichte können nicht erfasst werden. Die visuelle Sortierung kann die Festigkeit von Schnittholz deshalb nur grob abschätzen, was zu wirtschaftlichen Einbußen führen kann. Darüber hinaus ist die visuelle Sortierung nicht streng objektiv, da die Sortierentscheidung von der persönlichen Einschätzung des Sortierers abhängig ist.

3.2 Maschinelle Festigkeitssortierung

Zur Verbesserung der Sortiergenauigkeit und damit zur Erhöhung der Ausbeuten in den höheren

Sortierklassen, entstanden ab 1960 in den USA die ersten maschinellen Sortierverfahren. Bedingt durch steigende Qualitätsanforderungen, eine zunehmende Nachfrage nach höheren Festigkeitsklassen und die zunehmende Produktionsgeschwindigkeit wurden die maschinellen Sortierverfahren kontinuierlich weiterentwickelt mit dem Ziel, sowohl die Durchlaufgeschwindigkeit als auch die Vorhersagegenauigkeit zu erhöhen.

Um die Festigkeit von Schnittholz möglichst genau abschätzen zu können, sind diejenigen Parameter von Bedeutung, die einen großen Einfluss auf die Festigkeit besitzen. Die Abhängigkeit zweier Parameter wird in der Statistik durch das Bestimmtheitsmaß r² beschrieben. Tab. 1 gibt einen Überblick über die wichtigsten, mit der Festigkeit korrelierten Parameter und deren sinnvolle Kombinationen. Die ersten vier Parameter zeigen den direkten Zusammenhang zwischen dem jeweiligen Sortierparameter und der Festigkeit. Darüber hinaus sind Parameterkombinationen und deren Aussagekraft in Bezug auf die Festigkeit aufgeführt.

Als Einzelgröße korreliert der Elastizitätsmodul am höchsten mit der Festigkeit. Dieser kann bis zu 65% der Streuung der Festigkeit erklären. Der Elastizitätsmodul kann mittels eines Biegeverfahrens oder durch eine Kombination von Eigenfrequenz und Rohdichte oder von Ultraschallgeschwindigkeit und Rohdichte bestimmt werden. Die aussagestärkste Parameterkombination besteht nach derzeitigem Kenntnisstand aus Ästigkeit, Rohdichte und Elastizitätsmodul.

Aus den Möglichkeiten der Parametererfassung leiten sich die verschiedenen, auf dem Markt vorhandenen Sortiermaschinen ab. Tab. 2 gibt einen Überblick über die gängigen Verfahren zur Parametererfassung. Die Erfassung der Ästigkeit durch Kameras basiert auf dem optischen Erscheinungsbild von Ästen. Bei Scannern wird die höhere Ast-Rohdichte ausgenutzt, die beim Laserscanner zu einer verringerten Lichtbrechung und beim Röntgenscanner zu einer verstärkten Absorption führt. Über die Absorption der Röntgenstrahlung kann auch die Rohdichte des Schnittholzes ermittelt werden. Neben der Wägung ist dies die derzeit einzige Methode zur Rohdichtebestimmung. Der Elastizitätsmodul kann entweder mittels Durchbiegung oder über die Messung der Ultraschallgeschwindigkeit oder der Eigenfrequenz in Kombination mit der Rohdichte ermittelt werden.

Tab. 1: Bestimmtheitsmaß r² möglicher Sortierparameter mit der Festigkeit [1]

Sortierparameter	Bestimmtheitsmaß r²
Ästigkeit	0,15 … 0,35
Rohdichte	0,20 … 0,40
Eigenfrequenz, Ultraschallgeschwindigkeit	0,30 … 0,55
Elastizitätsmodul	0,40 … 0,65
Ästigkeit & Rohdichte	0,40 … 0,60
Ästigkeit & Elastizitätsmodul	0,55 … 0,75
Ästigkeit & Rohdichte & Elastizitätsmodul	0,55 … 0,80

Tab. 2: Maschinelle Verfahren zur Parametererfassung.

Parameter	Prinzip
Ästigkeit	Kamera (schwarz-weiß, Farbe) Laserscanner Röntgenscanner
Rohdichte	Waage Röntgenscanner
Elastizitätsmodul	Durchbiegung Ultraschall, Schwingung

4 Derzeitiger Stand der maschinellen Festigkeitssortierung

4.1 Anerkannte Sortiermaschinen nach DIN EN 14081-4

Aus den in Abschnitt 3.2 erläuterten Parameterkombinationen und deren Erfassungsmethoden ergeben sich verschiedene mögliche Sortiersysteme. Alle derzeit in Europa verwendeten Sortiermaschinen sind in DIN EN 14081-4 [2] einschließlich ihres Anwendungsbereichs zusammengestellt.

Das weltweit gängigste Sortierprinzip ist das Biegeverfahren. Das Schnittholz wird zwischen zwei Führungsrollenpaaren im Längsdurchlauf befördert und dabei kontinuierlich durchgebogen. Aus der zur Durchbiegung erforderlichen Kraft und den Holzabmessungen wird der Elastizitätsmodul ermittelt und die Festigkeit vorhergesagt. Das Sortierprinzip ist kostengünstig und stellt eine Probebelastung des Schnittholzes dar, was einerseits zum Aussortieren nicht tragfähiger Schnitthölzer und andererseits zur unbemerkten Vorschädigung bedingt tragfähiger Schnitthölzer führen kann. Holzenden bleiben unsortiert, da die Durchbiegung erst ermittelt werden kann, wenn das Schnittholz durch beide Rollenlager geführt wird. Bei allen Biegemaschinen ist eine visuelle Zusatzsortierung der Schnittholzenden notwendig. Die Durchlaufgeschwindigkeit von maximal 150 m/min ist relativ gering. Die Holzdicke ist begrenzt, zur Erfassung der Vorkrümmung sind zusätzliche Sortierdurchgänge oder Messsysteme notwendig.

Die Sortiermaschinen Dynagrade, ViSCAN und der MTG Grader bestimmen die Eigenfrequenz des Schnittholzes mittels Längsschwingung. Die Eigenfrequenz ist technisch einfacher zu ermitteln als die Ultraschallgeschwindigkeit, da die Messung nach Anschlagen der Probe berührungsfrei erfolgen kann. Dieses Sortierprinzip ist kostengünstig und ermöglicht Durchlaufgeschwindigkeiten von bis zu 150 Bretter/min im Querdurchlauf. Die Querschnittsmaße sind prinzipbedingt nicht beschränkt, die gesamte Schnittholzlänge geht in die Sortierentscheidung ein. Die Schwingungsmessung weist keine lokalen Schwachstellen aus. Eine visuelle Zusatzsortierung ist erforderlich, falls der schwächste Querschnitt im Schnittholz bestimmt werden muss. Mit dem Handgerät MTG Grader kann gekoppelt mit einer stationären Waage die Festigkeitsklasse bestimmt werden.

Beinhalten Sortiermaschinen einen Röntgenscanner, können Ästigkeit, Rohdichte sowie der schwächste Querschnitt über die gesamte Schnittholzlänge bestimmt werden. Eine visuelle Zusatzsortierung der Schnittholzenden kann entfallen. Röntgenscanner und Durchbiegungsmessung kombinieren die Parameter Ästigkeit, Rohdichte und Elastizitätsmodul. Die Festigkeitsvorhersage wird genauer, die Durchlaufgeschwindigkeit verringert, die Querschnittsmaße durch die Biegemaschine begrenzt.

Die Sortiermaschine GoldenEye 706 kombiniert Röntgenscanner und Längsschwingungsmessung und erreicht damit die beste Festigkeitsvorhersage aller derzeit verfügbaren Sortierprinzipien (Tab. 1). Bei sehr hohen Durchlaufgeschwindigkeiten (bis zu 300 m/min) sind die Querschnittsmaße prinzipbedingt nicht begrenzt. Das Schnittholz wird über die ganze Länge beurteilt, lokale Schwachstellen werden identifiziert. Alle Sortierprinzipien mit Röntgentechnik sind jedoch verhältnismäßig kostenintensiv.

4.2 Neueste Entwicklungen im Bereich der Optimierung der maschinellen Sortierung

In modernen Sortierwerken werden durch die Parallelschaltung zweier Sortierlinien Sortiergeschwindigkeiten von bis zu 600 m/min erreicht. Die maschinelle Sortierung erfüllt zusätzlich den Zweck der Optimierung: Mit Hilfe der eingesetz-

ten Technik können große Äste identifiziert und ausgekappt werden. Abschnitte werden durch Keilzinken wieder zu Schnitthölzern verbunden, die aufgrund ihrer jetzt geringeren Ästigkeit in höhere Sortierklassen eingestuft werden können. Bei der Sortierung spielt neben der Festigkeitssortierung auch das Erscheinungsbild eine zunehmend wichtige Rolle. Neue Entwicklungen kombinieren die maschinelle Festigkeitssortierung mit einer Sortierung des Erscheinungsbildes über Kamerasysteme.

Aus Brettschichtholz werden immer kleinere Querschnitte mit Maßen bis zu 6 x 12 cm² hergestellt. Der Produktionsprozess muss optimiert werden, da kleine Lamellenquerschnitte nur schwer geführt und keilgezinkt werden können. Die Brettschichtholzlamellen werden in der Sortiermaschine virtuell als zwei parallel liegende Einzellamellen sortiert und in Doppelbreite keilgezinkt. Das fertige Brettschichtholz wird aufgetrennt und jeder Hälfte die entsprechende Sortierklasse zugeordnet. Die Sortierung und Verklebung der Lamellen in Doppelbreite ermöglicht höhere Sortiergeschwindigkeiten und damit höhere Durchsätze. Im Bereich der Anerkennung von Sortiermaschinen wird dieses Vorgehen als Sortierung von Trennware bezeichnet.

4.3 Offene Probleme der maschinellen Sortierung

Ziel der maschinellen Sortierung ist es, die Festigkeit des Schnittholzes möglichst zuverlässig abzuschätzen. Für die Sortierqualität ist sowohl die Genauigkeit der Festigkeitsvorhersage als auch die Fähigkeit, Holzschäden (z.B. Faserabweichungen oder Stauchfalten) zu erkennen, entscheidend.

Insbesondere Faserabweichungen spielen in diesem Zusammenhang eine bedeutende Rolle. Wird die Faserstruktur zum Beispiel durch einen Wipfelbruch extrem gestört, kann es im Schnittholz zu Bereichen sehr geringer Tragfähigkeit kommen. Abb. 1 zeigt ein Beispiel für eine starke Faserabweichung, die bisher von keinem Sortierprinzip zuverlässig erkannt wird. In laufenden Forschungsvorhaben werden Lösungen zur Erkennung von Faserabweichungen entwickelt.

Abb. 1: Beispiel für eine Faserabweichung.

5 Auswahl einer geeigneten Sortiermaschine

Der Anwendungsbereich einer Sortiermaschine ist durch folgende Parameter definiert: Holzart, Herkunft, Dicke, Breite, Holzfeuchte, Festigkeitsklassen, Oberflächenbeschaffenheit, Umgebungsbedingungen und Durchlaufgeschwindigkeit. Soll der Anwendungsbereich erweitert werden, ist die Eignung der Maschine dafür durch zusätzliche Untersuchungen nachzuweisen.

Das Sortierergebnis ist stark abhängig von der Holzqualität des zu sortierenden Materials. Wenn das Schnittholz nur kleine Äste aufweist, wie es bei nordischen Holzarten möglich ist, kann die Dichte der sortierentscheidende Faktor sein. Gleiches gilt für visuell vorsortierte Ware. Hier kann eine Ermittlung der Eigenfrequenz für eine treffsichere Sortierung ausreichend sein. Weist das Schnittholz auch große Äste auf, erscheint eine Sortierung über die Eigenfrequenz alleine nicht ausreichend. Das richtige Sortierprinzip ist somit vom Anwendungsbereich abhängig.

6 Auswahlkriterien

Im Folgenden werden die wesentlichen Fragestellungen aufgelistet, die bei der Auswahl eines geeigneten Sortiersystems hilfreich sein können:

Für welche Holzarten, Holzabmessungen, Festigkeitsklassen, Anwendungsbereiche und für welche Länder ist der jeweilige Maschinentyp anerkannt?

Welche Ausbeuten lassen sich in den einzelnen Festigkeitsklassen im Vergleich zu einer Sortierung mit anderen Maschinentypen erzielen?

Bis zu welcher Sortiergeschwindigkeit ist der Maschinentyp anerkannt?

Erfordert die Sortiermaschine einen Längsdurchlauf oder kann das Schnittholz im Querdurchlauf sortiert werden?

Kann die Sortiermaschine den Kundenwünschen entsprechend modular aufgerüstet werden, zum Beispiel für eine Kombination aus Erscheinungsbild- und Festigkeitssortierung?

Wird das Schnittholz über die gesamte Länge maschinell sortiert? In welchem Umfang ist eine visuelle Zusatzkontrolle erforderlich?

Erkennt die Sortiermaschine örtliche Fehlstellen? Können die Sortierdaten an eine Kappsäge übergeben werden, um einzelne Fehlstellen, auch im Bereich der Keilzinkenverbindungen, auszukappen?

Ist die Sortiermaschine zur Sortierung von Trennware anerkannt?

Liefert die Sortiermaschine statistische Daten über die erzielten Ausbeuten je Festigkeitsklasse und je Herkunft, um die Holzbeschaffung optimieren zu können?

Quellen

[1] Denzler, J.K.; Diebold, R.; Glos, P.: "Machine Strength Grading – Commercially used grading maschines – Current developements", in: Proc. of 14th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood. University of Applied Science, Eberswalde. 2005, pp. 9-16.

[2] DIN EN 14081-4:2008-09. Holzbauwerke: Nach Festigkeit sortiertes Bauholz für tragende Zwecke mit rechteckigem Querschnitt. Teil 4: Maschinelle Sortierung – Einstellwerte von Sortiermaschinen für maschinenkontrollierte Systeme. Deutsche Fassung EN 14081-4:2005 + A3 2008. Normenausschuss Bauwesen (NaBAU) im DIN. 33 S.

5.2 Rohstoff Holz
Potential der maschinellen Festigkeitssortierung von Schnittholz

Markus K. Sandomeer, René Steiger

Einführung

Holz kann als moderner und gleichermaßen nachhaltiger Rohstoff durch intelligente Konzepte und Modelle der Produktion, Sortierung und Qualitätssicherung zu einem zuverlässigen, innovativen und konkurrenzfähigen Baumaterial weiterverarbeitet werden. Als natürlich gewachsener Rohstoff weist es je nach Wuchsgebiet und Einschnitt unterschiedliche Ausprägungen seiner mechanischen Eigenschaften auf. Verarbeitet zu Schnittholz, ist die Kontrolle der Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften sowie der Rohdichte und der Holzfeuchte eine unentbehrliche Voraussetzung, um dieses Produkt im konstruktiven Holzbau zuverlässig einsetzen zu können. Diese Kontrolle kann ausschließlich mittels qualitätsgesicherter Sortierverfahren gewährleistet werden, mit dem Ziel, das sortierte Schnittholz definierten Festigkeitsklassen zuzuordnen, deren entsprechende Anforderungen an das Schnittholzprodukt in Normen (z.B. EN 338) verankert sind.

Eine zuverlässige Festigkeitssortierung von Schnittholz setzt die Verwendung konsistenter statistischer Modelle zur Beschreibung der Holz-Materialeigenschaften sowie die Entwicklung effizienter Sortierstrategien voraus. Gleichzeitig ist der Einbezug modernster maschineller Sortiertechniken sowie relevanter nationaler Rahmenbedingungen (Normen) entscheidend.

Generell wird bei der Sortierung von Schnittholz versucht, anhand von zerstörungsfrei feststell- bzw. messbaren Sortierparametern (Qualitätsmerkmalen) die tatsächlichen festigkeitsrelevanten Materialeigenschaften abzuschätzen und, darauf aufbauend, das Schnittholz in eine normativ definierte Festigkeitsklasse einzustufen.

Die Klassierung nach vorgegebenen Qualitätsmerkmalen erfolgte traditionell mittels der sogenannten visuellen Sortierung, bei der jedes einzelne Schnittholzstück nach äußerlich sichtbaren Sortierparametern begutachtet wurde (z.B. Astgrößen, Jahrringbreite, Krümmung,…). Durch eine rein visuelle Sortierung können nicht sichtbare Holzmerkmale, die einen entscheidenden Einfluss auf die Festigkeit von Holz ausüben, nicht ausreichend erkannt werden. Gleichzeitig bestätigen zahlreiche Untersuchungen, dass die visuellen Sortierkriterien mit den tatsächlichen Festigkeitseigenschaften nur eingeschränkt in Zusammenhang stehen (Tab. 1). Auch ist aufgrund der individuellen Beurteilung des Materials durch das Sortierpersonal innerhalb eines extrem kurzen Zeitraumes während der Produktion keine kontinuierlich objektive Beurteilung gegeben [4]. Bedingt durch die Unschärfe der visuellen Sortierung weisen viele Hölzer, die für tragende Konstruktionen verwendet werden, erheblich höhere Festigkeitseigenschaften auf, als ihnen in den jeweiligen Festigkeitsklassen unterstellt werden. Es kommen jedoch auch Fälle vor, in denen visuell nach der Festigkeit sortiertes Schnittholz die deklarierten mechanischen Eigenschaften nicht aufweist. Eine maschinelle Festigkeitssortierung bietet demgegenüber die Möglichkeit, über zerstörungsfrei (zunehmend auch kontaktfrei) ermittelte Sortierparameter eine deutlich genauere und objektivere Festigkeitsvorhersage durchzuführen und dadurch das gesamte Potential des Holzes in Bezug auf seine Tragfähigkeit und Steifigkeit auszunutzen, womit die Wertschöpfung gesteigert wird.

Das erste maschinelle Verfahren zur Festigkeitssortierung von Schnittholz wurde Ende der 60er Jahre in Großbritannien eingesetzt [2]. Seit dieser Zeit wurde eine stetige Weiterentwicklung und Verbesserung der maschinellen Sortierverfahren vor allem im Produktionsbereich von Brettschichtholz stark forciert. Einzelne Sortierparameter, wie die Steifigkeit oder die Rohdichte konnten immer genauer erkannt und erfasst werden und führten

zu immer zuverlässigeren Sortierergebnissen. Wurde der Elastizitätsmodul früher zum Beispiel vorwiegend anhand von Durchbiegungsverfahren ermittelt, versucht man heute das gleiche oder ein besseres Ergebnis durch zerstörungsfreie Schwingungs-, Mikrowellen- oder Ultraschallverfahren zu erreichen. Das Holz wird dabei nicht mehr mechanisch beansprucht und kann somit auch nicht geschädigt werden. Mit der Entwicklung von Sortiermaschinen, die neben der Rohdichte und dem Elastizitätsmodul auch die Äste mittels Durchstrahlung und Bildverarbeitung erkennen, konnte der Zusammenhang der maschinellen Messwerte mit den tatsächlichen Festigkeitswerten erheblich gesteigert werden (Tab. 1). Der holzverarbeitenden Industrie werden somit Hilfsmittel zur effizienten Nutzung von Schnittholz mit besonders hoher Tragfähigkeit bereitgestellt.

Tab. 1: Zusammenhang zwischen beobachtbaren/zerstörungsfrei messbaren Schätzwerten der Festigkeit (Indicating properties IP) und tatsächlich zerstörend gemessenen Festigkeiten [1].

Schätzwert der Festigkeit (IP)	Bestimmtheitsmaß (R^2)
Jahrringbreite	0,15 ... 0,35
Ästigkeit	0,15 ... 0,35
Rohdichte	0,20 ... 0,40
Eigenfrequenz, Ultraschallgeschwindigkeit	0,30 ... 0,55
Elastizitätsmodul, statisch Elastizitätsmodul, dynamisch	0,40 ... 0,65 0,30 ... 0,55
Ästigkeit & Rohdichte	0,40 ... 0,60
Ästigkeit & E-Modul	0,55 ... 0,75
Ästigkeit & Rohdichte & E-Modul	0,55 ... 0,80

Durch die im Europäischen Wirtschaftsraum ab Herbst 2009 für Bauholz verpflichtende Kennzeichnung von festigkeitssortiertem Schnittholz mit dem CE-Zeichen, erlangt die maschinelle Sortierung vor allem für größere, exportorientierte Unternehmen ein zusätzliches Gewicht. Automatisierte Sortierprozesse ermöglichen zum einen eine schnelle und unkomplizierte Markierung der sortierten Holzstücke, zum anderen können Hölzer ausschließlich anhand einer maschinellen Sortierung in eine höhere Festigkeitsklasse eingeteilt werden.

Das Ziel der hier beschriebenen Forschungsarbeit besteht darin, existierende Verfahren und Strategien der visuellen und maschinellen Sortierung hinsichtlich ihrer Effizienz und Zuverlässigkeit zu überprüfen und den aktuellen Stand der Normung auf nationaler und internationaler Ebene zu durchleuchten. Dazu gehört auch die Beschreibung der aktuell erhältlichen Sortiertechnik für eine industriell einsetzbare maschinelle Festigkeitssortierung und das Aufzeigen zukünftiger, technischer Entwicklungstrends. Basierend auf diesen Ergebnissen liegt ein besonderer Schwerpunkt der Forschungsarbeit in der Entwicklung effizienter, alternativer Sortierstrategien. Diese stützen sich auf probabilistische Modelle, anhand derer die maschinelle Festigkeitssortierung von Schnittholz zuverlässig und zukunftsorientiert weiterentwickelt werden soll. Auf diesem Weg wird für das Baumaterial Holz die Grundlage gefestigt, zukünftig steigenden Anforderungen an die Materialeigenschaften für eine bauliche Verwendung gewachsen zu sein und in der Konkurrenz mit anderen Baumaterialien wie Stahl oder Beton die Position zu stärken.

1 Technische Verfahren zur maschinellen Festigkeitssortierung

Der folgende Absatz enthält eine Übersicht der aktuell etablierten technischen Sortierverfahren, die sich für eine industrielle Anwendung zur maschinellen Festigkeitssortierung eignen und bereits im Einsatz sind. Bestimmte Methoden erfassen hierbei einzelne Holzcharakteristiken, andere sind auf die Erfassung mehrerer verschiedener Holzmerkmale ausgerichtet.

1.1 Optische Verfahren

In jüngerer Zeit fanden vielseitige Entwicklungen von optischen Sortierverfahren statt, die sich der

Imitation des menschlichen Auges bedienen. So werden an der Holzoberfläche unterscheidbare Merkmale wie Äste, Risse oder Verfärbungen mittels Laser-Scannern oder photooptischer Technologie erfasst und in digitalisierter Form mittels angepasster Algorithmen zur Erkennung von Mustern ausgewertet. Diese Verfahren eröffnen die Möglichkeit, in den Prozess der Festigkeitssortierung eine Optimierung der Schnittführung z.B. bei der Produktion von Brettschichtholz-Lamellen zu integrieren.

1.2 Durchbiegungsverfahren

Beim Durchbiegungsverfahren handelt es sich um ein maschinelles Sortierverfahren, bei dem in regelmäßigen Abständen (ca. 10 mm) das Schnittholz einer statischen Biegebeanspruchung (3-Punkt-Biegeprüfung) unterworfen wird und somit der statische E-Modul in einer hohen Auflösung über die gesamte Brettlänge gemessen werden kann. Dies geschieht entweder mit konstanter Kraft oder konstanter Durchbiegung; im ersten Fall wird die resultierende Durchbiegung, im zweiten Fall die Widerstandskraft gegen eine aufgezwungene Durchbiegung des Schnittholzes gemessen. Der Anfangs- und Endbereich des Schnittholzes (je ca. 600 mm) kann so allerdings nicht in die Erfassung einbezogen werden. Auch als „Stress Grading" betitelt, kann dieses Verfahren weltweit als das bekannteste und am häufigsten angewandte maschinelle Sortierprinzip angesehen werden. Es wurden dabei hohe Korrelationskoeffizienten von 0,7 bis 0,8 zwischen den erfassten Werten des E-Moduls und den anschließend zerstörend gemessenen Biegefestigkeiten nachgewiesen. Ein Nachteil der Durchbiegungsverfahren liegt darin, dass die maximalen Querschnittsabmessungen auf derzeit ca. 75 mm beschränkt sind. Somit ist das Verfahren wohl für die maschinelle Sortierung von Brettlamellen, nicht aber für Konstruktionsvollholz einsetzbar.

1.3 Durchstrahlungsverfahren mittels Röntgen und Kernstrahlen

Das physikalische Messprinzip der Durchstrahlung beruht auf einer Schwächung von Röntgen- und Kernstrahlung durch Absorption im Holzkörper. Bei Kenntnis der Absorption, der Dicke und der Holzfeuchte können somit die Rohdichte des Holzes, Dichteunterschiede und Strukturstörungen direkt bestimmt werden.

Zur Bestimmung der Ästigkeit dient eine computergestützte Bildverarbeitung, die auf Basis von Graustufenwerten des Röntgenbildes den Holzkörper differenziert. Das Röntgenbild wird über die gesamte Länge der zu sortierenden Probe erzeugt. Da die Rohdichte von Ästen in Nadelholz ca. 2,5-mal höher ist, als die Rohdichte des umgebenden, astfreien Holzes können anhand der Absorptionsauswertung Äste im Holzkörper identifiziert und mit entsprechenden Algorithmen die Größen und Positionen im Holzkörper bestimmt werden [5]. Die Erkennung und Lokalisierung von strukturellen Fehlstellen im Holz (z.B. Äste) ermöglicht ein gezieltes Auskappen dieser Fehlstellen und somit die Herstellung hochwertiger, keilgezinkter Lamellen für die Brettschichtholz-Produktion.

Neueste Entwicklungen der Röntgentomografie machen es möglich, ein räumliches Bild von Struktureigenschaften des Holzes mittels Computer zu produzieren, abzuspeichern und in beliebigen Schritten abzurufen. Damit kann ein Stamm bzw. ein Schnittholzstück mit all seinen Strukturstörungen vollständig erfasst und digital verarbeitet werden [3].

1.4 Durchstrahlungsverfahren mittels Mikrowellen

Eine Durchstrahlung des Schnittholzes kann auch anhand von Mikrowellen realisiert werden. Dabei handelt es sich um elektromagnetische Wellen in einem Frequenzspektrum von 105 bis 107 kHz.

Im Vergleich mit Ultraschallwellen bieten Mikrowellen den Vorteil, dass keine Apparate an den Holzkörper angekoppelt werden müssen und somit berührungsfrei ein großes Frequenzspektrum erzielt werden kann. Bei einer Durchstrahlung mit Mikrowellen werden Holzeigenschaften wie die magnetische Permeabilität, die Dielektrizitätskonstante und die elektromagnetische Leitung erfasst. Die Werte dieser Holzeigenschaften ändern sich in Abhängigkeit der Holzfeuchte und Faserrichtung. Aufgrund von Streuungs- und Reflexionserscheinungen können auch Risse, Hohlräume und Strukturstörungen nachgewiesen werden. Aus der Dämpfung der Mikrowellen lassen sich Rückschlüsse auf Feuchte- und Dichteunterschiede ziehen (Schajer, 2006). Das Verfahren wird in Europa derzeit noch nicht angewandt, kann aber für zukünftige technische Entwicklungen an Relevanz gewinnen.

1.5 Messung der Eigenfrequenz

Bei diesem Sortierverfahren wird das Holzstück durch Anschlagen auf der Stirnseite zu Längsschwingungen (Stress waves) oder in Querrichtung zu langwelligen Biegeschwingungen angeregt. Aus der sich einstellenden Eigenfrequenz und unter Einbezug der Rohdichte und der Abmessungen des Holzkörpers kann der dynamische Elastizitätsmodul berechnet werden [6]. Die dem Körper durch einen Stoß oder Schlag z.B. mit einem Hammer zugeführte Energie resultiert in Schwingungen. In Folge dieser Anregung stellen sich nach kurzer Zeit die Eigenschwingungen des Holzkörpers ein. Die Schwingungen können z.B. mittels Laser-Vibrometer, Mikrofon oder Piezo-Quarz in elektrische Signale transformiert werden. Daraus lässt sich im Anschluss mit Methoden der Fast-Fourier-Transformation (FFT) die erste Eigenfrequenz ermitteln.

Mit diesem Verfahren wird der Mittelwert des dynamischen Elastizitätsmoduls über die gesamte Probenlänge berechnet. Das führt zwar zu sehr guten Korrelationen mit dem statischen Elastizitätsmodul (Korrelationskoeffizienten bis über 0,9), erlaubt allerdings keine Lokalisierung von festigkeitsrelevanten Schwachstellen im Holzkörper.

1.6 Messung der Ultraschalllaufzeit

Ultraschall ist die Bezeichnung für mechanische Schwingungen der Materie oberhalb der menschlichen Hörgrenze (> 20 kHz bis 1 GHz). Die Fortpflanzung von Ultraschallwellen manifestiert sich in der mechanischen Schwingung von Atomen und Molekülen. Die Ausbreitung der Ultraschallwelle im Holzkörper hängt vor allem von dessen physikalisch-mechanischen Eigenschaften wie E-Modul, Dichte und Querdehnungszahl ab.

Die Ultraschallwellen werden durch einen Sendekopf in den Prüfkörper eingeleitet und durch einen zweiten Schallkopf empfangen (Durchschallungsverfahren). Aus der Zeit, welche die Welle zwischen Sende- und Empfängerkopf für den Durchlauf des Holzkörpers benötigt, wird die Ultraschallgeschwindigkeit errechnet [10].

Bei Ultraschallverfahren der ersten Generation, welche nur auf der Laufzeitmessung basieren, werden Fehlstellen in einem Prüfkörper wie Äste, Schrägfasrigkeit oder Dichteunterschiede nicht exakt lokalisiert, sondern gewissermaßen „integriert". Eine Häufung von Fehlstellen eines gewissen Ausmaßes führt zu einer messbaren Reduktion der Schallgeschwindigkeit. Weiter entwickelte Ultraschallverfahren der 2. Generation erfassen neben der Schalllaufzeit auch die Schallschwächung und lassen auf diese Weise Rückschlüsse über die Größe und die Anzahl von Ästen zu.

Während bei langwelligen Biegeschwingungen vor allem die Rohdichte des Prüfkörpers eine Rolle spielt, wird den Stress Wave-Verfahren, zu welchen auch das Ultraschallverfahren gehört, die Ausbreitung der Wellen zusätzlich durch Holz-

merkmale wie Strukturstörungen und Schrägfasrigkeit beeinflusst [12].

1.7 Zukünftige Herausforderungen

Vor allem die maschinelle Erkennung und Quantifizierung der Schrägfasrigkeit z.B. aufgrund von Wipfelbruch, Drehwuchs oder nichtparallelem Einschnitt stellt die Hersteller von Sortiermaschinen vor große Herausforderungen. Wiederholt haben wissenschaftliche Untersuchungen gezeigt, dass ein nicht-paralleler Faserverlauf im Schnittholz einen erheblichen Einfluss auf die resultierende Festigkeit hat.

Aktuell befinden sich verschiedene Laserscanner in Entwicklung, die anhand des Tracheid-Effektes eine Erkennung von lokalen Faserstörungen zu erzielen beabsichtigen. Bei Holz handelt es sich um ein halbreflektierendes Material, das einen Teil des auftreffenden Lichts direkt an der Oberfläche zurückwirft. Der andere Teil des Lichts durchdringt jedoch die Oberfläche und breitet sich im Material aus. Die Tracheiden des Nadelholzes streuen das Licht stärker in Längsrichtung der Holzfasern als quer zu ihnen. Wenn eine Holzoberfläche mit einem definierten Lichtpunkt (Laserpunkt mit einer Wellenlänge von ca. 650 bis 700 nm) angestrahlt wird, leiten die äußeren Faserschichten einen Teil des Lichtes im Holzkörper weiter. Dabei entsteht eine elliptische Form des Lichtpunkts, die in der Richtung des Faserverlaufs ihre größte Ausdehnung aufweist. Der Winkel dieser längeren Ellipsenausdehnung in Relation zu den Seitenkanten des Schnittholzes kann als Messgröße für die Schrägfasrigkeit herangezogen werden.

Obwohl bereits Sortiermaschinen mit einer Sortiergeschwindigkeit von bis zu 600 m/min auf dem Markt zu finden sind, stellt der Weg des Schnittholzes durch die Sortiermaschine oftmals noch das Nadelöhr in dem vielseitig optimierten Produktionsprozess von Großsägewerken dar. Deshalb ist zukünftig mit einer weiteren Beschleunigung der Maschinen zu rechnen.

Gleichzeitig ermöglichen neue Prozessoren und stark erweiterte Speicherkapazitäten eine immer exaktere Erfassung und rechnerische Auswertung der Holzeigenschaften. Es kann also davon ausgegangen werden, dass die für einen baulichen Einsatz relevanten Holzeigenschaften zukünftig immer präziser vorhergesagt werden können.

2 Aktuelle maschinelle Sortierstrategien nach Europäischer Norm

Das Grundgerüst der maschinellen Festigkeitssortierung besteht aus dem Zusammenhang zwischen maschinell zerstörungsfrei gemessenen Schätzwerten der Festigkeit (indicating properties = IP) und den tatsächlich durch eine zerstörende Festigkeitsprüfung ermittelten Festigkeitswerten. Für jedes sortierte Holzstück gibt es somit einen Schätzwert der Festigkeit und einen tatsächlich gemessenen Festigkeitswert, wobei der Zusammenhang dieser Größen statistisch üblicher Weise unter Verwendung der Regressionsanalyse quantifiziert und anhand des Bestimmtheitsmaßes (R^2) kommuniziert wird. Darüber hinaus können auch Schätzwerte für andere festigkeitsrelevante Holzeigenschaften (z.B. Steifigkeit oder Rohdichte) ermittelt werden.

Die maschinelle Festigkeitssortierung von Schnittholz folgt derzeit in Europa im Wesentlichen nach dem sogenannten machine-controlled System, das in der Europäischen Norm EN 14081, Teil 2 geregelt ist. Nach diesem System müssen für jede Sortiermaschine in Abhängigkeit von Holzart, Wuchsgebiet, Dimensionen und Sortierklassenkombination sogenannte Einstellwerte festgelegt werden. Dabei handelt es sich um Grenzwerte des Schätzwertes der Festigkeit, anhand derer die Grundgesamtheit des unsortierten Holzes in sogenannte Sortierklassen mit definierten charakteristischen Werten unterteilt werden kann. Die

Einstellwerte werden so gewählt, dass die daraus resultierenden Sortierklassen den Festigkeitsklassen entsprechend EN 338 zugewiesen werden können (Abb. 1). Bei dieser Sortierstrategie wird die Leistung der untersuchten Sortiermaschine mit der Leistung einer „virtuellen" (perfekten) Sortiermaschine verglichen, von der angenommen wird, dass sie jedes Holzstück entsprechend seiner tatsächlich im Labor ermittelten Festigkeitseigenschaften einer optimalen Festigkeitsklasse zuordnen kann. Diese optimale Klassierung wird mit der berechneten Klassierung der Sortiermaschine anhand einer Kosten-Matrix verglichen. Holzstücke, die von der Sortiermaschine in eine falsche Festigkeitsklasse eingestuft wurden, werden in dieser Matrix mit speziellen Straffaktoren gewichtet [8].

Das machine-controlled System setzt voraus, dass alle Sortiermaschinen eines bestimmten Typs und jede einzelne Maschine über die gesamte Betriebsdauer einheitliche Sortierergebnisse liefern. Wenn eine Sortiermaschine nach diesem System in Betrieb genommen wird, werden auch die Einstellwerte festgelegt und in EN 14081, Teil 4 aufgelistet. Je nach Wuchsgebiet oder Zulieferer können die Materialeigenschaften des Holzes unterschiedlich streuen und somit einen erheblichen Einfluss auf die Zuverlässigkeit und die Ausbeute des sortierten Holzes ausüben. Aktuelle Regelungen der EN 14081 erlauben keine nachträgliche Anpassung an auftretende Schwankungen der Materialeigenschaften, z.B. in Abhängigkeit der Herkunft des verarbeiteten Holzes. Nachteilig ist auch der rein Stichproben bezogenen Ansatz des machine-controlled Systems, der es nicht erlaubt, statistisch konsistente Rückschlüsse auf die Gesamtpopulation (Grundgesamtheit) des zu sortierenden Holzes zu ziehen [7]. Dies hat zur Konsequenz, dass die Einstellwerte zwar sehr gut auf die untersuchte Stichprobe und die verwendete Sortiermaschine passen, es bei einer nachfolgenden industriellen Anwendung jedoch zu erhebli

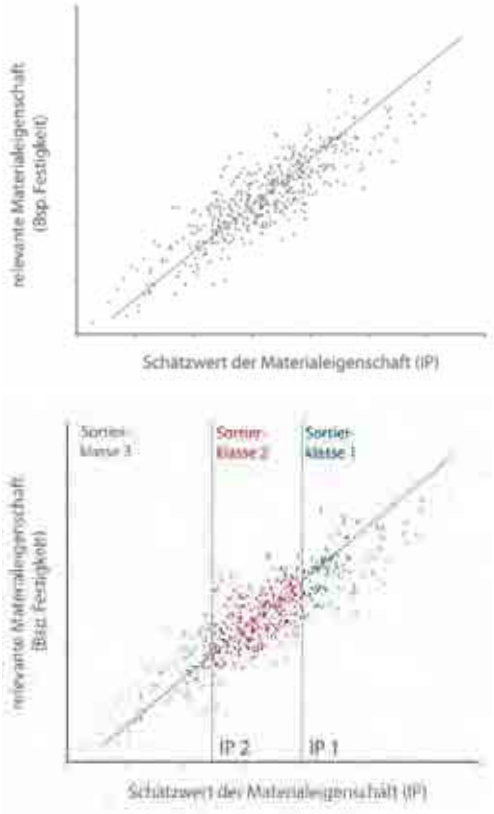


Abb. 1: oben: Zusammenhang zwischen dem Schätzwert einer Materialeigenschaft (zerstörungsfrei gemessen, Sortiermaschine) und dem tatsächlichen Wert der relevanten Materialeigenschaft (z.B. Festigkeit, zerstörend gemessen). unten: Unterteilung der Grundgesamtheit in Sortierklassen anhand der Einstellwerte (IP1, IP2) der Sortiermaschine.

chen Schwankungen im Sortierergebnis kommen kann.

Die zweite Sortierstrategie, die in EN 14081 festgehalten ist, ist das so genannte output-controlled System. Dieses ausgabekontrollierte Verfahren erlaubt dem Betreiber der Sortiermaschine, die Einstellwerte der Sortiermaschine auf der Grundlage kontinuierlich durchgeführter Festigkeitsprüfungen des bereits sortierten Schnittholzes selbst

zu modifizieren und dadurch die Ausbeuten und vor allem die Zuverlässigkeit in den jeweiligen Sortierklassen zu optimieren. Dafür werden in regelmäßigen Abständen, z.B. in Abhängigkeit des Durchsatzes oder bei jeder Arbeitsschicht, eine spezielle Anzahl an Stichproben entnommen und anhand des Proof-Loading Verfahrens (mechanische Prüfbelastung mit zu erreichender Lastgrenze) kontrolliert, ob sich die Festigkeitseigenschaften innerhalb festgelegter Grenzen bewegen. Die Ergebnisse werden in sogenannten CUSUM-Kontrolltabellen ausgewertet. Die CUSUM-Tabellen indizieren, ob die Qualität des maschinell festigkeitssortierten Schnittholzes akzeptabel ist. In Abhängigkeit dieser Indikationen, können die Einstellwerte der Sortiermaschine korrigiert werden. Diese Sortierstrategie erlaubt eine Reaktion und Anpassung der Einstellwerte auf schwankende Holz-Materialeigenschaften. Der Aufwand an Prüfungen und statistischen Auswertungen bedingt, dass das output-controlled Verfahren in der aktuellen Form nach EN 14081, Teil 3 nur dann wirtschaftlich interessant ist, wenn eine hinreichend große Menge Schnittholz einer Holzart, Herkunft, Querschnittsabmessung und Einschnittart in eine Festigkeitsklasse sortiert werden soll.

3 Entwicklung alternativer Sortierstrategien

Die Ermittlung der Einstellwerte sowie deren Kontrolle in Bezug auf Qualitätsschwankungen im Ausgangsmaterial des unsortierten Holzes ist der entscheidende Ansatzpunkt für die Entwicklung konsistenter Sortiermethoden. Dabei müssen mögliche Qualitätsschwankungen der Holz- Materialeigenschaften z.B. nach Herkunft oder Lieferant erkannt und in einem aktualisierbaren konsistenten Modell berücksichtigt werden. Ein Modellansatz dieser Art erlaubt auch einen Lösungsschritt in Richtung der aktuell auf Europäischer Ebene viel diskutierten Anerkennung von sogenannten „Common Growth Areas“. Dabei handelt es sich um den Nachweis, dass Holz, obwohl es von unterschiedlichen Herkünften abstammt, gemeinsam sortiert werden darf, solange belegt werden kann, dass festigkeitsrelevante Holzeigenschaften bei allen Herkünften von einer bestimmten Sortiermaschine gleich gut erkannt werden. Dies birgt enorme Vorteile für die Produktion, den Handel und die Weiterverarbeitung von maschinell sortiertem Holz für den tragenden Einsatz.

Aktuelle Verfahren in den relevanten Sortiernormen zur Ermittlung der Einstellwerte für Sortiermaschinen beruhen auf einem rein auf Stichproben bezogenen Ansatz. Unsicherheiten, entweder aleatorischer Natur - dies sind z.B. natürliche Schwankungen in der Holzqualität aufgrund unterschiedlicher Standorte, Wuchsbedingungen, Einschnittarten etc. - oder epistemischen Ursprungs (statistische und Modell-Unsicherheiten) werden dabei nicht mitberücksichtigt. In den existierenden Sortiermodellen z.B. nach EN 14081 wird versucht, diesen Unsicherheiten anhand von sehr umfangreichen Stichprobenvolumen (mind. 900 Stk. bei Erstzulassung einer Sortiermaschine) zu begegnen, zum einen mit dem Nachteil eines enormen Versuchs- und damit Kostenaufwands, zum anderen sind auf diesem Weg die Versuchsergebnisse nicht auf die Grundgesamtheit extrapolierbar, was sich im alltäglichen Sortierprozess entweder in Form schlechter Ausbeuten oder zu niedriger charakteristischer Werte innerhalb einer Sortierklasse äußern kann. Während ersteres wirtschaftliche Einbussen nach sich zieht, liegen die Konsequenzen von letzterem in unzuverlässigen Materialeigenschaften des verbauten Holzes.

In einem ersten Schritt wurde im Rahmen des Forschungsprojektes eine Befragung unterschiedlicher Interessensgruppen (Säger, BSH-Hersteller, Holzbauingenieure) auf nationaler Ebene durchgeführt. Dadurch wurde zum einen eine frühzeitige Einbindung dieser Interessensgruppen in das Forschungsprojekt ermöglicht und die individuellen Ziele und Bedürfnisse im Zusammenhang mit

der maschinellen Sortierung von Schnittholz berücksichtigt. Zum anderen sollte der status quo der Festigkeitssortierung von Schnittholz im Allgemeinen und der maschinellen Festigkeitssortierung im Speziellen unter den Befragten erkundet werden. Die Ergebnisse dieser Umfrage zeigen deutlich, dass großes Interesse an der maschinellen Festigkeitssortierung besteht, vor allem dann, wenn aktuelle Verfahren effizienter weiterentwickelt und auf die speziellen Betriebsstrukturen kleiner und mittlerer Unternehmen der Sägeindustrie übertragen werden können. Ähnliche Ergebnisse zeichnen sich in einer gesamteuropäischen Umfrage ab, die derzeit (Frühjahr 2009) durch die COST Aktion E53 „Quality Control of Wood and Wood Products" durchgeführt wird. Im Rahmen des Forschungsprojektes wurde eine alternativer Sortierstrategie entwickelt, welche die machine-controlled und ouput-controlled Systeme der EN 14081 kombiniert (Sandomeer et al., 2008). Unter Anwendung dieses kombinierten Verfahrens konnte gezeigt werden, dass zum einen systematische Schwankungen der Holz-Materialeigenschaften (je nach Herkunft, Lieferant, Einschnitt) durch eine kontinuierliche Analyse der fortlaufenden Messwerterfassung der Sortiermaschine aufgedeckt werden können. Die Schätzwerte werden ständig für jedes Holzstück, das durch die Sortiermaschine transportiert wird, erfasst und bewirken somit keine zusätzlichen Kosten.

Da die Messwerte der Sortiermaschine in einem bestimmten Zusammenhang mit den tatsächlichen Festigkeitseigenschaften stehen, können Sprünge in den Messwerten der Sortiermaschine als Indiz für Schwankungen der Holz-Materialeigenschaften angesehen werden. In solchen Fällen sollte die Sortiermaschine neu kalibriert werden. Dies geschieht durch eine Aktualisierung des statistischen Sortiermodells auf Basis der neuen Messwerte der Sortiermaschine und zusätzlicher Festigkeitsprüfungen. Sodann werden neue, optimale Maschinen-Einstellwerte ermittelt.

Ein großer Vorteil des kombinierten Ansatzes (machine-control + output control) besteht darin, dass die ersten Maschinen-Einstellwerte zwar ähnlich dem machine-controlled System aus EN 14081 ermittelt werden, jedoch mit wesentlich geringerer Stichprobengröße und damit wesentlich geringerem Kostenaufwand. Auch sind die Einstellwerte nicht für immer fixiert, sondern können je nach Schwankung der Holz-Materialeigenschaften (indiziert durch das integrierte output-controlled System), angepasst werden. Die Kontrolle des sortierten Schnittholzes erfolgt „online" über die maschinell gemessenen Schätzwerte der Festigkeit (oder des E-Moduls). Festigkeitsprüfungen müssen demnach nur dann durchgeführt werden, wenn diese Kontrolle Qualitätsschwankungen des Holzmaterials indiziert. Dadurch können im Vergleich zum ausschließlich ouput-controlled System gemäß EN 14081, Teil 3 enorme Kosten eingespart werden.

Abb. 2: Vereinfachte Darstellung eines konsistenten, aktualisierbaren Sortiermodells. Durch eine kontinuierliche Beobachtung des maschinellen Schätzwertes der Festigkeit (IP) können Qualitätsschwankungen im unsortierten Ausgangsmaterial erkannt werden. Ein aktualisierbares Modell ermöglicht in dieser Situation, auf solche Qualitätsschwankungen zu reagieren.

Zusammenfassung

Das hier vorgestellte Forschungsprojekt veranschaulicht neben den grundlegenden Verfahren und Strategien der maschinellen Festigkeitssortierung, dass die Verwendung von Schnittholz als moderner und gleichermaßen nachhaltiger Rohstoff durch intelligente Konzepte und Modelle der Qualitätssicherung zu einem zuverlässigen und wirtschaftlichen Hightech-Produkt gefördert werden kann. Das Kernelement für diesen Schritt ist in der Entwicklung konsistenter statistischer Modelle unter Einbezug aktuellster maschineller Sortierverfahren und landesspezifischer sowie internationaler normativer Rahmenbedingungen zu sehen. Nur durch eine optimale Ausnutzung aller zur Verfügung stehenden Informationen unter Einbezug der damit verbundenen Unsicherheiten kann der komplexe Sachverhalt der maschinellen Festigkeitssortierung in Form konsistenter Sortiermodelle zuverlässig abgebildet werden. Zuverlässig vor allem auch im Hinblick auf die Sicherheit von Holzkonstruktionen, die mit dem sortierten Holz gebaut werden. Die maschinelle Sortierung ermöglicht im Vergleich zur rein visuellen Sortierung eine objektive Beschreibung der Holzqualität und liefert somit eine konsistente Beurteilungs- und letztlich Bemessungsgrundlage.

Das Potential der maschinellen Festigkeitssortierung kann durch die Entwicklung und Optimierung alternativer und deutlich effizienterer maschineller Sortierstrategien noch deutlich gesteigert werden. Nur durch eine ständige Weiterentwicklung und Verbesserung der Qualitätskontrolle aus technischer und normativer Sicht kann ein bedeutender Beitrag geleistet werden, Holz im Vergleich mit anderen Baumaterialien wettbewerbsfähiger zu machen.

Quellen

[1] Denzler J., Diebold R., Glos P. (2005). Machine strength grading – Commercially used grading machines – Current developments. Symposium on Nondestructive Testing of Wood. Hannover, 2005. 9-16.

[2] Fewell A. R. (1982). Machine Stress Grading of Timber in the United Kingdom. Holz als Roh- und Werkstoff, 40. 1982 455-459.

[3] Giudiceandrea F. (2008), Erster Computertomograf für Holz vorgestellt. Holz-Zentralblatt, 134 (26), S. 728.

[4] Glos P. (1995), Festigkeitssortierung. Holzbauwerke nach Eurocode 5: Step 1 - Bemessung und Baustoffe. Arbeitsgemeinschaft Holz e. V., Düsseldorf, A6/1-A6-9.

[5] Glos P., Diebold R. (1999). Untersuchung der Möglichkeiten zur Festigkeitssortierung von Schnittholz mittels eines Röntgenscanners. Bericht Nr. 99501. Holzforschung München. Technische Universität München.

[6] Görlacher R. (1984), Ein neues Messverfahren zur Bestimmung des Elastizitätsmoduls von Holz. Holz als Roh und Werkstoff. 42. 219-222.

[7] Köhler J. (2006). Reliability of Timber Structures. Dissertation ETH No. 16378. Swiss Federal Institute of Technology, Zurich. Switzerland.

[8] Rouger F. (1997). A new statistical method for the establishment of machine settings. Proceedings of the 30th Meeting. International Council for Research and Innovation in Building and Construction. Working Commission W18 – Timber Structures. CIB-W18. Paper No. 30-17-1. Vancouver, Canada. 1997.

[9] Sandomeer M. K., Köhler J., Faber M. H. (2008). Probabilistic Output Control for Structural Timber – Modelling Approach. Proceedings of the 41st Meeting. International Council for Research and Innovation in Building and Construction. Working Commission W18 – Timber Structures. CIBW18. Paper No. 41-5-1. St. Andrews, Canada. 2008.

[10] Sandoz J.-L. (1989). Grading of construction timber by ultrasound. Wood Science and Technology. 23 (1). 95-108.

[11] Schajer G. S., Orhan F. B. (2006). Measurement of wood grain angle, moisture content and density using microwaves. Holz als Roh- und Werkstoff. 64 (6). 483-490.

[12] Steiger R. (2009). Dynamische Methoden zur Charakterisierung der mechanischen Eigenschaften des Baustoffs Holz. SIA-Dokumentation D0230 „Baudynamik im Holzbau". März 2009.

[13] CEN (1999), EN 1194: Holzbauwerke - Brettschichtholz - Festigkeitsklassen und Bestimmung charakteristischer Werte, Europäisches Komitee für Normung, Brüssel, Belgien.

[14] CEN (2005), EN 14081, Teil 1-4: Holzbauwerke - Nach Festigkeit sortiertes Bauholz für tragende Zwecke mit rechteckigem Querschnitt. Europäisches Komitee für Normung, Brüssel, Belgien.

[15] COST E53: „Quality Control of Wood and Wood Products". www.coste53.net

5.2 Rohstoff Holz
Hochwertige Bauprodukte mit differenzierter Tragfähigkeit und Optik aus starkem Stammholz

Michael Tratzmiller

Einleitung

Die Anforderungen an Holzprodukte haben sich durch die Erweiterung des europäischen Marktes und durch technischen Fortschritt bei den Herstellern verändert. Traditionelle Produkte aus starkem Stammholz stehen mit einfachen kostengünstigen Produkten aus schwachem Stammholz in Wettbewerb. Wollen die klein- und mittelständischen Hersteller der traditionellen Produkte weiter am Markt bestehen, brauchen sie eine Weiterentwicklung ihrer Produkte.

Dies kann durch die innovative Kombination der Anforderungen an Holzprodukte mit den Potentialen des Rohstoffs geschehen. Dabei wird die Messlatte für die neuen Produkte nicht nur höher gehängt, sondern auch die Grenzen am unteren Ende der Qualitätsskala erweitert.

Künftige Anforderungen an Bauprodukte

Die Anforderungen an Holzprodukte im Bauwesen gliedern sich in Kriterien für sichtbare Anwendungen und solche für statische Anwendungen. Die Formstabilität und Rissbegrenzung ist aber auch durch die Anforderungen an die Dichtheit der Gebäude gefordert. Statisch lassen sich durch höhere Festigkeiten und Steifigkeiten der Holzprodukte Kosten einsparen. Konkurrenzfähige Bauteile müssen beide Kriterien erfüllen.

Fortschrittliche Bauteile mit optimaler Tragfähigkeit, Optik und Dichtheit werden entweder in funktionaler Einheit oder funktional getrennt hergestellt. Zum einen werden statisch beanspruchte Bauteile mit sichtbaren Oberflächen verbaut, die an den Anschlüssen dicht sein müssen, wie beispielsweise sichtbare Unterzüge und Massivholzdecken mit gehobelter Oberfläche. Zum anderen werden die Massivhölzer mit Holzwerkstoffen in funktionaler Trennung kombiniert. In diesem Fall übernehmen die kostengünstigen Massivhölzer im Hintergrund statische Aufgaben, während die Holzwerkstoffe die edle Optik und die Dichtheit gewährleisten.

Ein Beispiel dafür ist eine wärmegedämmte Außenwand mit schlanken Rahmen und einer edlen Optik auf der Innenseite.

Wie passt zu diesen erweiterten Anforderungen das Potential des Rohstoffs „starkes Stammholz“? Eine oft gestellte Frage der Verwender lautete: Ist eigentlich genug Rohstoff vorhanden? Aufgrund neuer Inventurdaten und Nutzungsmodellen hat die bayerische Landesanstalt für Wald- und Forstwirtschaft allein für Bayern mittelfristig ein jährliches Aufkommen von starkem Stammholz von mindestens 3 Mio. m³ ermittelt. Dieses Starkholz, das zu 90% aus Nadelholz besteht, findet sich vornehmlich im bäuerlichen Wald wie zum Beispiel im Plenterwald in Weiler im Allgäu. Dieses Potential lässt sich über kleine und mittelständische Unternehmen in der Region durch deren traditionell gute Beziehungen zu den Waldbesitzern erschließen.
Der Rohstoff „Starkholz“ ist auf diese Weise gut verfügbar.

Potential von Starkholz

Eine ebenfalls häufig gestellte Frage lautete: Hat Starkholz grundsätzlich die nötige Qualität, um daraus hochwertige und marktfähige Bauprodukte herstellen zu können?

Differenzierte Qualität in Stammlängsrichtung

Nicht jeder Stammabschnitt hat die gleiche Qualität. Die Eigenschaften der Abschnitte verändern sich in Stammlängsrichtung. Die unteren Stammabschnitte weisen astfreie Schichten auf oder haben feine zum Teil lose Äste. Daneben kommen einseitig angeordnete Druckholzbereiche vor. Sind einzelne Erdbloche besonders fehlerarm, dann werden sie als Wertholz eingestuft. Die

große Masse der unteren Stammabschnitte ist von guter mittlerer Qualität. Im mittleren Stammbereich nehmen die Durchmesser der losen Äste zu und damit die Qualität entsprechend ab. Die oberen Stammabschnitte weisen größere Äste auf, die aber fest mit dem umgebenden Holz verwachsen sind. Zunehmende Harzgallenzahl und –größe senkt hier die Qualität ab.

Abb. 1: Hochwertige Bauprodukte für weit gespannte Tragwerke und repräsentative Fassaden aus starkem Stammholz

Differenzierte Qualität über den Querschnitt

Die Qualität ändert sich nicht nur in Stammlängsrichtung, sondern auch im Stammquerschnitt vom Mark zur Rinde. Erst in starkem Stammholz können sich in markfernen Schichten positive Eigenschaften wie hohe Rohdichte, niedrige Ästigkeit und hoher Elastizitätsmodul ausbilden. Wie eigene Untersuchungen gezeigt haben, ist die Rohdichte in markfernen Schnitthölzern um 15% höher als in Marknähe. Die Ästigkeit von Brettern ist markfern um 50% geringer als in Marknähe. Zusammen mit anderen bewirken diese Eigenschaften einen um 45% höheren Elastizitätsmodul und eine um 70% höhere Biegefestigkeit in den markfernen Schnitthölzern (Abb. 2).

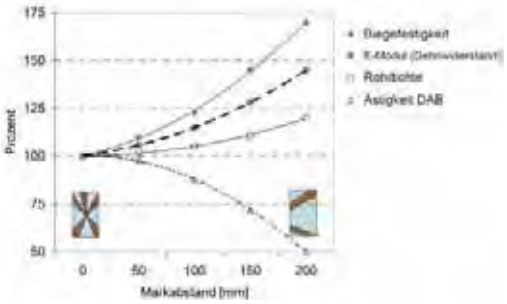


Abb. 2: Holzeigenschaften über dem Stammquerschnitt

Differenzierte Qualität durch das Sortierverfahren

Diese Unterschiede können erst durch die in den letzten Jahren entwickelte und verbesserte maschinelle Sortierung des Schnittholzes nach Elastizitätsmodul, Rohdichte und Ästigkeit nutzbar gemacht werden. Starkhölzer weisen in den markfernen Stammbereichen deutlich höhere Anteile an hochtragfähigen Lamellen auf als schwaches Stammholz. Wie eigene Untersuchungen zeigten, können nahezu ¾ der breiten Lamellen aus markfernen Schichten der Sortierklasse C35M zugeordnet werden, während die schmalen marknahen Lamellen aus schwachem Stammholz nur zu 1/8 diese Sortierklasse erreichen (Abb. 3).

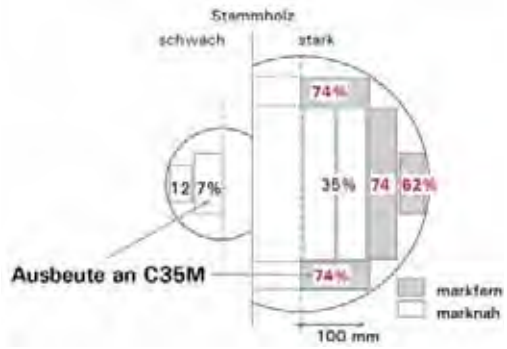


Abb. 3: Differenzierte Qualität durch das Sortierverfahren

Differenzierte Qualität durch das Einschnittmuster

Die neuesten Untersuchungen haben gezeigt, dass die Wahl des Einschnittmusters einen erheblichen Einfluss auf das Verhältnis von Rohdichte und Elastizitätsmodul von Schnittholz hat. Werden Lamellen herkömmlich eingeschnitten, so haben sie liegende Jahrringe. Diese Flader haben bei einer mittleren Rohdichte von 450 kg/m³ einen Elastizitätsmodul von knapp 11.000 N/mm². Wählt man stattdessen den Riftschnitt, so weisen die Lamellen im Wesentlichen stehende Jahrringe auf. Diese Rifts haben bei der gleichen Rohdichte einen Elastizitätsmodul von etwas mehr als 13.000 N/mm².Gleichzeitig haben die Rifts höhere Formstabilität und eine bessere Oberflächenqualität als die Flader (Abb. 4).

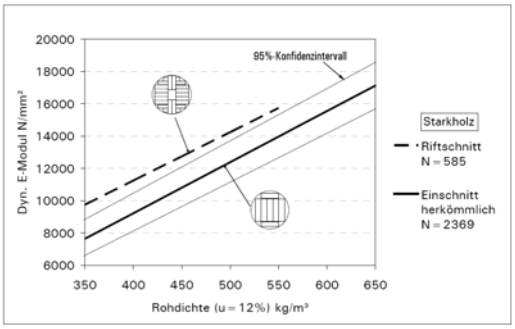


Abb. 4: Verhältnis von Rohdichte und Elastizitätsmodul bei Riftschnitt und bei herkömmlichem Fladerschnitt

Zur vollen Ausschöpfung des Potentials von starkem Stammholz sind eine Einteilung des Rundholzes, der geeignete Einschnitt und die Sortierung des Schnittholzes für das jeweilige Bauprodukt notwendig. Will man Fensterkanteln mit hohem Elastizitätsmodul erzeugen, so sind gute Erdbloche im Riftschnitt zu sägen und die Lamellen maschinell zu sortieren. Erdbloche mit normaler Qualität können zu hochwertigen Brettschichtholzlamellen (BSH) gesägt werden und durch maschinelle Sortierung der optimalen Verwendung zugeführt werden.

Bloche mit größeren Ästen können zur Herstellung von Kanthölzern für Balkenschichtholz dienen. Die Kanteln sollten maschinell sortiert und die weniger tragfähigen Kanteln für den Rahmenbau absortiert werden. Im oberen Stammbereich können Balken und Bohlen mit größerem Querschnitt für KVH gewonnen werden. Die anfallenden Latten sind nur in Verbundquerschnitten als Mittellagen nutzbar.

Neben den Spänen aus den marknahen Bereichen und den Schwarten fallen erhebliche Mengen an Hobelspänen an, die sich zu Holzwerkstoffen wie Holzleichtbeton verarbeiten lassen.

Innovation

Die Entwicklung der hochkant belasteten Bauprodukte aus Massivholz wie balkenförmige Träger geht vom einstieligen Kantholz der Sortierklasse S10 über das Brettschichtholz der Klasse GL24 aus schwachem Stammholz hin zu Balkenschichtholz und Brettschichtholz mit hoher Tragfähigkeit (GL32 und GL 36), hoher Formstabilität, wenig Rissen und hoher Oberflächenqualität aus Rifts aus starkem Stammholz. Gleichzeitig wird das verbleibende Schnittholz geringerer Qualität dem Bereich mit funktionaler Trennung von Tragwerk und Oberfläche zugeführt. Beispielsweise werden Kanteln der Sortierklasse C18 mit losen Ästen (G4-4) als Rahmen im Tafelbau verwendet (Abb. 6).

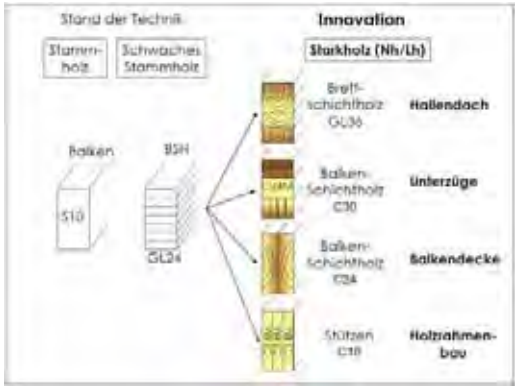


Abb. 6: Träger mit differenzierter Tragfähigkeit und optisch ansprechender Oberfläche durch Einsatz von Rifts

Die Entwicklung der flachkant belasteten Bauprodukte aus Massivholz wie plattenförmige Deckenteile geht von der Balkendecke mit Brettern der Sortierklasse S10 über das nicht sichtbar verbaute Brettsperrholz hin zum sichtbaren Brettstabholz aus Decklamellen der Sortierklasse C35M. Die bisherigen Decken haben geringe Steifigkeit, was zu unangenehmen Schwingungen führt. Dies kann durch eine Erhöhung der Steifigkeit vermindert werden. Ein Weg die Steifigkeit zu erhöhen ist die Erhöhung des Elastizitätsmoduls der Decklamellen (Abb. 7).

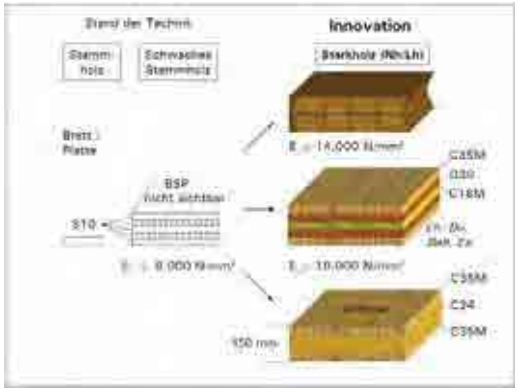


Abb. 7: Großformatige Platten mit differenzierter Tragfähigkeit und optisch ansprechender Oberfläche durch Einsatz von Rifts und Trapezen

Eigene neuere Untersuchungen zeigten, dass dadurch die Plattensteifigkeit um 25% bis 30% erhöht werden kann, ohne die Bauteilhöhe zu verändern. Aber nicht nur das Tragverhalten wird so verbessert, sondern auch die Oberflächenqualität. So können die Plattenoberflächen im eingebauten Zustand sichtbar bleiben.

Mittelfristig kann durch Innovationen im Bereich des Einschnitts von Starkholz Schnittholz mit noch höherer Steifigkeit und besserer Oberflächenqualität erzeugt werden. Dazu muss der Querschnitt des Stammes in radialer Richtung aufgesägt werden und die entstehenden Trapeze mit ihren stehenden Jahrringen und der geringen Ästigkeit durch Sortierung nach Elastizitätsmodul, Rohdichte und Ästigkeit den optimalen Verwendungen zugeführt werden. Die markfernen Trapeze werden eher den Brückenelementen zugeordnet werden, während die Trapeze mit mittlerer Entfernung vom Mark sich gut für Deckenelemente eignen. Die sehr leichten Trapeze aus Marknähe können in leichten Wand- und Dachelementen eingesetzt werden.

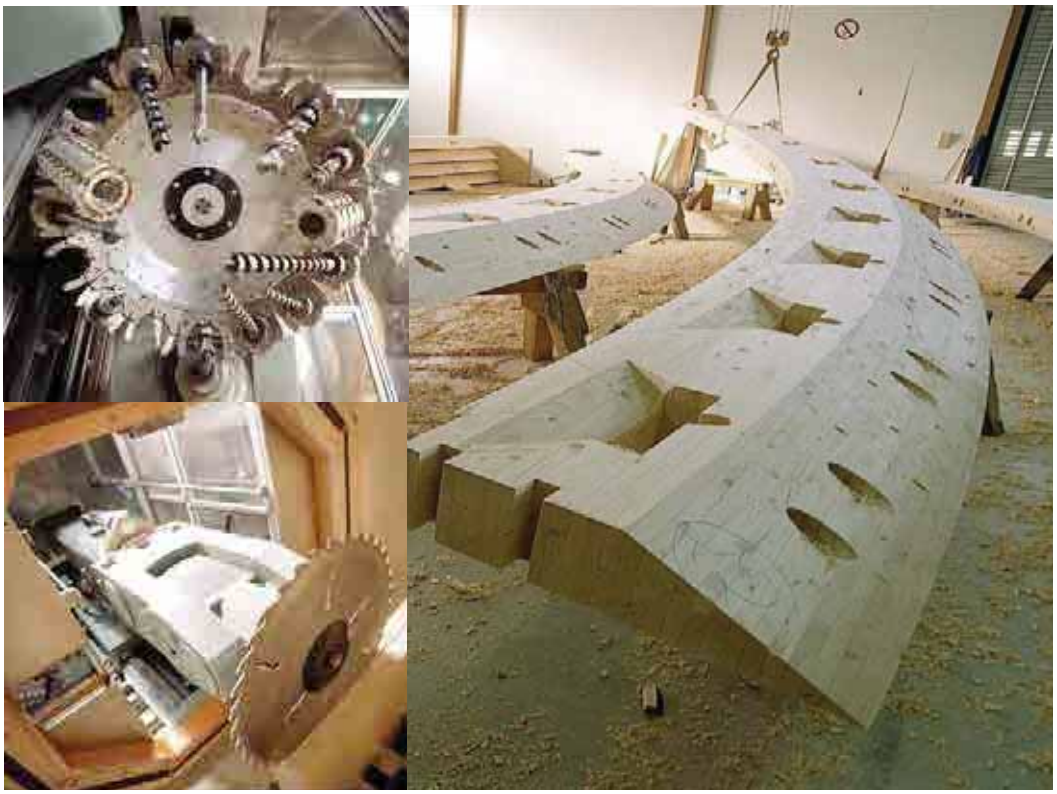
Für die meisten der gezeigten Entwicklungen besteht derzeit keine bauaufsichtliche Zulassung. Die Zulassungen sind sehr kosten- und zeitintensiv. Dies bildet für Innovationen aus kleinen und mittleren Betrieben eine erhebliche Hürde für den Marktzugang.

Um diese neuen Bauprodukte vermarkten zu können, sollten die regionalen Absatzwege genutzt werden. Die Vermarktung der Bauprodukte aus Starkholz aus dem Kleinprivatwald wird hauptsächlich über die Sägewerke, die Brettschichtholz- und Brettsperrholz-Objektbauer und den Handel erfolgen. Die kleinen und mittleren Betriebe der Sägeindustrie in der Region können zum einen das trockene und keilgezinkte Konstruktionsvollholz aus Starkholz direkt den Zimmereien zur Verfügung stellen und zum anderen

können sie die Rifts den Objektbauern liefern, die daraus besonders tragfähiges BSH und BSP für sichtbare Anwendungen herstellen. Dieses BSH und BSP kann dem Holzbau über den Handel und direkt angeboten werden. Daneben kann ein Teil der Bauteile exportiert werden.

Die geringer tragfähigen Schnitthölzer für nicht sichtbare Verwendungen können durch den Handel gesammelt und termingenau den großen Nachfragern aus der Holzbauindustrie geliefert werden. Dabei kann die Handelsfunktion durch ein logistisch günstig gelegenes Sägewerk wahrgenommen werden.

Das Projekt ist Teil des Gesamtprojekts „Holzbau der Zukunft“ und ist von der bayerischen Staatsregierung im Rahmen der High-Tech-Offensive Zukunft Bayern gefördert worden.



6 Produktion, Qualitätssicherung
Inhaltsverzeichnis

6.1 Produktentwicklung
- Zusammenhang zwischen F&E und Geschäftsentwicklung in der Holzindustrie S. 385
- Trendentwicklung Weißtanne S. 391

6.2 Produktionsverfahren
- Standardisierung und Typisierung von Verbindungen im Holzbau S. 397
- Standardisierung am Beispiel Schweden S. 401

6.3 Maschinen, Werkzeug
- Maschineneinsatz im Holzbau S. 417

6.4 Qualitätssicherung
- Überprüfung und Unterhalt von Hallentragwerken aus Holz S. 427
- Auswertung von Schäden an Hallentragwerken aus Holz S. 433
- Zerstörungsfreie und –arme Überprüfungsmethoden S. 437
- Ultraschall-Echo Verfahren zur zerstörungsfreien Fehlstellenlokalisierung in Holz S. 443
- Radio Frequency Identification - RFID S. 451

6 Produktion, Qualitätssicherung
Einleitung

Produktentwicklung
Es ist offen, in welche Richtung sich neue Produkte und die Anforderungen der Kunden an das Produkt Holz zukünftig entwickeln. Man kann aber auf Grund der aktuellen Entwicklung erahnen, welche Ansprüche künftig an den Baustoff Holz gestellt werden.

Systemlösungen: Die Holzindustrie entwickelt sich von einfachen Produkten wie Schnittholz und Plattenwerkstoffen hin zu Systemen und komplexen Lösungen wie etwa kompletten Wandaufbauten.

Die grundlegenden Entwicklungen im Bereich der Holzprodukte sind laut einer Trendstudie der Knauf Consulting GbR wie folgt einzuordnen:

„Trend Verbund-Materialien: Die Entwicklung und Verwendung von Verbundwerkstoffen wird ein wichtiges Thema der nächsten Jahre sein. Verbundwerkstoffe werden sowohl in der Möbel- als auch in der Bauindustrie sehr viel wichtiger werden…
Trend zu schnellen Produkten: Sowohl dem privaten Endanwender (z.B. im Baumarktbereich) als auch dem professionellen Endanwender werden zunehmend verbraucherfreundlichere Produkte angeboten. Dabei ist die Schnelligkeit der Verarbeitung neben dem mit den Produkten verbundenen Lifestyle und der Optik ein wichtiger Treiber für Innovationen… Die Holzindustrie, dabei natürlich in erster Linie die verarbeitende Industrie, wird Produkte entwickeln, die leicht und schnell zu handhaben sind.
Trend zu leichten Produkten: Das Gewicht von Produkten ist ein Aspekt von Verbraucher- bzw. Verarbeiterfreundlichkeit… Natürlich bedeuten leichtere Platten bei Erfüllung der Produktnormen auch immer eine Materialersparnis. Also wird man von Seiten der Verfahrenstechnik versuchen, das Gewicht zu minimieren. Wie dies erreicht werden kann, ist unter den Experten strittig: Einige Experten aus der Holzwerkstoffindustrie sehen die Rohdichten von MDF und Spanplatten schon weitgehend ausgereizt. Andere sehen auch hier noch enormes Potenzial für leichtere Platten… Manche Experten halten es auch für möglich, dass andere leichte Holzwerkstoffe kreiert werden.“ [M. Knauf, A. Frühwald, Trendanalyse Zukunft Holz – Delphistudie zur Entwicklung der deutschen Holzindustrie – Abschlussbericht, 2004, S.20-23]

Zusammenarbeit mit dem Kunden
Die Geschäftsentwicklung eines größeren Unternehmens ist bei der Verbesserung und Weiterentwicklung bereits existierender Produkte oder Produktionsprozesse in der Regel auf die Unterstützung durch die Abteilung für Forschung und Entwicklung angewiesen. Handelt es sich dagegen um die Entwicklung eines völlig neuartigen Produkts, das nicht einfach nur ein anderes Produkt ersetzt, verhält sich die Situation anders. Welches Zusammenwirken zwischen Forschung und Entwicklung, kaufmännischer Leitung sowie Marketing erforderlich ist, um ein profitables Geschäftsergebnis zu erzielen, wird in dem Beitrag „Zusammenhang zwischen Forschung & Entwicklung und Marketing in der Holzindustrie“ (Matti Kairi, Hannelore Damm) anhand des Holzwerkstoffes Furnierschichtholz dargestellt. Der hohe Innovationsgrad und der damit einhergehende Markterfolg dieses homogenen Werkstoffes beruht auf den vielseitigen Einsatzmöglichkeiten im Bauwesen sowie der kontinuierlichen Entwicklung neuer Anwendungen in Zusammenarbeit mit dem Kunden.

Standardisierung
Holz wird immer weniger ein individuell und handwerklich verarbeiteter Werkstoff sein. Stattdessen entwickelt sich Holz immer mehr zu einem homogenen Werkstoff von industrieller Qualität. Dieser Trend wird nicht nur durch die Fertigung selbst getragen, sondern auch durch

die geänderten Ansprüche der Holzverwender. Das handwerkliche Know-how des Verwenders wird tendenziell zurückgehen. Die Produkte müssen deshalb für den Verwender sicher und verlässlich gemacht werden. Daher ist die Industrie gezwungen, standardisierte Produkte zu entwickeln.

Gerade wegen der großen Vielfalt und Streubreite seiner Eigenschaften konnte Holz im Zuge des Übergangs von der handwerklichen Fertigung zur industriellen Massenproduktion nicht mithalten und wurde deshalb aus vielen Bereichen verdrängt. Er ist vor allem deshalb wieder interessant geworden, weil sich in den letzten Jahren echte Innovationen durchsetzten: Neben der Entwicklung der Holzwerkstoffe wurden bei der Sortierung und Klassifizierung von Vollholz durch die Einführung der maschinellen Festigkeitssortierung erhebliche Fortschritte erzielt. Ein weites Entwicklungspotenzial bietet die Verwendung bisher wenig genutzter hochtragfähiger Nadelhölzer wie der Douglasie oder von Laubhölzern wie der Buche oder Esche. Dabei ist die Standardisierung der Produktion und Vergütung von Vollholzprodukten von besonderer Bedeutung. Die spezielle Ausgangslage beschreibt der Beitrag „Standardisierung“ (Anja Niemeier, Ludger Dederich).

Bei sichtbar verbautem Holz spielt neben der Tragfähigkeit das Aussehen eine entscheidende Rolle. In der Vergangenheit kam es oft zu Missverständnissen und Enttäuschungen, weil in diesem Bereich keine befriedigenden Normen bzw. Auswahlkriterien bestehen, die dem Architekten oder Bauherrn helfen, die gewünschte Qualität sachgerecht auszuschreiben. Einen großen Fortschritt der letzten Jahre stellt die Einführung neuer Produkte wie dem Konstruktionsvollholz oder den Duo- bzw. Triobalken dar, bei denen durch die klar geregelte Art des Einschnitts, der Sortierung und des Trockenheitsgrades ein hoher Qualitätsstandard gesichert ist.

Die Landesbauordnungen fordern für Bauprodukte eine Bescheinigung der Übereinstimmung mit den technischen Regeln (Normen, Allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen, Allgemeine bauaufsichtliche Prüfzeugnisse oder Zustimmungen im Einzelfall). Die Übereinstimmung wird für Bauprodukte, die nationalen technischen Regeln entsprechen, mit dem Übereinstimmungszeichen (Ü-Zeichen) bestätigt. Bauprodukte, die europäischen Regelungen entsprechen, werden zukünftig mit dem CE-Zeichen gekennzeichnet.

Standardisierung in Schweden

Auch die „Charta für Holz“ des Bundesministeriums für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft hat 2004 festgeschrieben: „Der Prozess der Standardisierung und Qualitätssicherung ist fortzuführen, um mit dem Roh- und Werkstoff Holz breitere und neue Märkte zu erschließen“. Dass sich dieser Prozess auch in anderen Ländern bewährt und Vorbildcharakter für Deutschland entfalten kann, beschreibt der Beitrag „Standardisierung am Beispiel Schweden“ (Anja Niemeier, Ludger Dederich)

Die Forst- und Holzwirtschaft spielt in Schweden eine deutlich größere Rolle als in den übrigen EU-Mitgliedsländern (außer Finnland). Auf 12 %, in einigen Regierungsbezirken sogar 20 %, beläuft sich der Anteil der Forst- und Holzwirtschaft an Industrieproduktion, Umsatz und Wertschöpfung. Die Struktur der Sägewirtschaft Schwedens ist der in Mitteleuropa ähnlich. Die Verteilung der Unternehmen entspricht deutschen Verhältnissen.

Ernstzunehmende Ansätze zu standardisierten Lösungen für den Holzbau sind in Schweden seit den 1920er Jahren festzustellen. Um breiten Bevölkerungsschichten Wohneigentum in Form von Einfamilienhäusern zu ermöglichen, wurden Typenhäuser entwickelt, zu deren Umsetzung Sägewerke wie auch Möbelhersteller ihre Produkti-

onsmethoden und Produkte mit dem Ziel einer weitgehenden Vorfertigung aufeinander abstimmten. Aus dieser Zeit rührt die Vereinheitlichung der Sägeprodukte, der unmittelbar die Standardisierung der Holzbaunebenprodukte folgte.

Die schwedische Bauwirtschaft verfügt seit mehr als 40 Jahren über Erfahrungen und eine damit verbundene Flexibilität in der Anwendung vorgefertigter Bauelemente. Davon könnte Deutschland profitieren. Als übergeordnetes Ziel wird empfohlen, den methodischen Ansatz sowie die technologische Kompetenz des schwedischen Holzbaus mit der in der Regel ausgezeichneten Planungs- und Umsetzungsgüte hierzulande zu verschneiden. Der sich selber europäisch definierende Verband des gewerblichen Holzbaus sollte auf Partner in Schweden zugehen, um analog zu den Forschern und Entwicklern, den Lehrenden, Planenden und Lernenden Strukturen aufzubauen, die einen grenzüberschreitenden Austausch und die damit verbundene Entwicklung ermöglicht.

Standardisierung und Typisierung

Der Grund für den vergleichsweise geringen Anteil des Holzbaus liegt unter anderem darin, dass der Planungsaufwand für die beteiligten Architekten und die Tragwerksplaner sehr hoch ist. Das Honorar dafür ist aber nicht höher als bei Planungen mit Baustoffen, die wesentlich weniger Arbeit machen. Im Holzbau wird viel Aufwand bei der Ausarbeitung und Konstruktion von Anschlüssen und Details betrieben. Es sind vielfältige Randbedingungen aus Forderungen an die Tragsicherheit, die Bauphysik und den Brandschutz zu berücksichtigen.

Dies führt bei vielen Planungsbüros, insbesondere bei jenen, die bisher wenig mit Holz gebaut haben, zu einem erhöhten Zeit- und Kostenaufwand gegenüber den anderen Konstruktionsarten und birgt das Risiko, dass mangelhafte Details zur Ausführung kommen. Beide Effekte sind der gewünschten Verbreitung der Holzbauweise abträglich. Ähnliche Bedingungen gelten auch für die Ausführung der Holzbauarbeiten. Der Anteil der Kosten für die Konstruktion der Verbindungen an den Erstellungskosten eines Gebäudes ist sehr hoch. Daran konnten auch die immer stärker voranschreitenden Automatisierungen bei Planung und Ausführung nur teilweise etwas ändern.

Hier setzt der Beitrag „Standardisierung und Typisierung von Verbindungen im Holzbau“ (Nikolaus Nebgen) an: Die Standardisierung und Typisierung stellt also eine Möglichkeit zur Rationalisierung von Planung und Fertigung im Holzbau dar. Gerade im Stahlbau gibt es schon seit Jahrzehnten standardisierte Verbindungen mit Angaben zu deren Tragfähigkeiten. Diese zu entwickeln war leichter als im Holzbau, da im Stahlbau von Anbeginn Standardprofile und nur wenige gebräuchliche Verbindungsmöglichkeiten (Schweißen und Schrauben) existieren. Zudem liegen die Mittel für die Verbindungen in der Hand der Stahlbaubetriebe und nicht bei einer Zubehörindustrie. Im Holzbau dagegen können leistungsfähige Verbindungen selten unmittelbar, sondern nur mit Hilfe von stählernen Verbindungsmitteln hergestellt werden. Dafür ergeben sich unzählige genormte oder zugelassene Möglichkeiten.

Abhilfe sollte hier das Forschungsvorhaben „Standardisierung und Typisierung von Anschlüssen und Verbindungen zur Rationalisierung der Planung und Fertigung im Holz-Wohnhausbau“ schaffen. Ergebnis ist eine Datenbank für standardisierte Verbindungen, in die Anbieter ihre Produkte mit deren spezifischen Eigenschaften einstellen und die über das Internet für alle Planer frei zugänglich ist. Die konkurrierende Situation der Unternehmen verhinderte bisher den Aufbau

dieser Datenbank, obwohl die Akzeptanz des Baustoffes Holz bei den Planern wesentlich steigen würde, wenn durch Bereitstellung ausgereifter Hilfsmittel die Unterschiede im Planungsaufwand gegenüber anderen Baustoffen verringert werden. Ein Lösungsansatz für diese Problematik könnte die Beschränkung auf wenige leistungsfähige Verbindungen mit Exklusivrechten für deren Anbieter sein. Doch das würde einen Eingriff in das Marktgeschehen bedeuten, der nur schwer durchsetzbar ist.

Qualitätssicherung

Es ist eine Eigenheit des Holzes, dass es im Gegensatz zu allen übrigen Baustoffen in vielen Anwendungen tragende, raumtrennende und gestaltende Funktionen gleichzeitig übernimmt. Dafür muss zur Optimierung der Bauqualität ein möglichst integraler, umfassender Standpunkt gewahrt sein. Qualität resultiert vor allem aus geistiger und nur in geringem Masse aus manueller Tätigkeit, da die wichtigen, qualitätsrelevanten Entscheidungen am Anfang eines Projektes gefällt werden. Die erste und wirksamste Massnahme zur Verhinderung von Qualitätsmängeln ist bereits in der Planungsphase das Bewusstwerden der kritischen Anwendungen und schwierigen Prozesse. Bauten aus Holz unterscheiden sich gegenüber anderen Baumaterialien im Hinblick auf die Qualität vor allem in zwei Punkten: Holz reagiert wesentlich rascher auf eine falsche Anwendung als ein anderes Baumaterial, ist aber im allgemeinen Holzkonstruktionen leichter zu reparieren und zu sanieren.

Lernen aus Schäden

Die ersten Monate des Jahres 2006 waren geprägt von zahlreichen Schäden und Einstürzen weitgespannter Tragwerke, von denen eine nicht unwesentliche Zahl aus Holz waren. Die Stadt München entschied sich systematisch die Tragsicherheit aller 152 weitgespannten Holztragwerke unter ihrer Verantwortung zu überprüfen. Der Beitrag „Überprüfung und Unterhalt von Hallentragwerken aus Holz“ (Philipp Dietsch, Stefan Winter) erläutert den Leitfaden, der für die Überprüfung dieser Tragwerke erarbeitet wurde. Er beinhaltet Empfehlungen zum Vorgehen bei der Untersuchung sowie zu Untersuchungsintervallen, welche es ermöglichen das angestrebte Tragsicherheitsniveau über die angestrebte Lebensdauer aufrechtzuerhalten.

Um zukünftige Überprüfungen zu erleichtern und eine einheitliche Dokumentation zu gewährleisten wird das Konzept des Bauwerksbuches eingeführt. Für Bestandsgebäude sollte es in Verbindung mit der eingehenden Überprüfung aufgestellt werden und alle verfügbaren Informationen zum Bauwerk enthalten. Für Neubauten wird empfohlen, dass das Bauwerksbuch der Tragwerksplaner erstellt. Der Aspekt der Wartungsfreundlichkeit und Überprüfbarkeit kritischer Bauteile sollte schon in der Planungsphase berücksichtigt werden. Das Bauwerksbuch ist nur vollwertig nutzbringend, wenn es vom Eigentümer und zukünftigen Prüfern im Sinne eines „Bauwertstagebuches“ fortgeführt wird.

Menschliches Versagen

Der Beitrag „Auswertung von Schäden an Hallentragwerken aus Holz“ (Philipp Dietsch, Arthur Wolfrum, Stefan Winter) bezieht sich auf ein zweites Projekt am Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion der TU München zur Überprüfung von weitgespannten Holztragwerken. Die Untersuchung von 109 Holztragwerken und Tragwerken aus Brettschichtholz ergab als häufigste Ursache (33 %) für Schäden Fehler in Planung, Ausführung und Unterhalt (fehlerhafte statische Berechnungen, unzulängliche Ausführungsplanung, mangelhafte Ausführung, nachträgliche Umbaumaßnahmen ohne Nachweis). Umgebungsbedingungen, die zu hohen Holzfeuchten (und damit zu Fäulnis) führen, waren zu 21 % die Schadensursache. Die mangelnde Be-

rücksichtigung der klimatischen Einflüsse in der Planung oder bei späteren baulichen Veränderungen (z.B. offene Bauwerke, die zu Ausstellungshallen umgenutzt und somit allseitig geschlossenen werden) ist wiederum als menschliches Versagen zu werten. Materialschwäche, zu der auch Querzugversagen gezählt wurde, bedingte 21 % der Schäden. Auch hierbei sind menschliche Fehler nicht auszuschließen.

Der Großteil der erfassten Schäden lässt sich also auf menschliches Versagen zurückführen. Das Holz selbst, nach dem Stand der Technik bearbeitet und eingebaut, war in den seltensten Fällen die Ursache für Schäden. Der fachlich und zeitlich korrekte Bauunterhalt ist eine Grundvoraussetzung für ein gleichbleibendes Tragverhalten über die Lebenszeit des Gebäudes. In vielen der untersuchten Fälle war diese Anforderung nicht erfüllt, was zu einer abnehmenden Tragsicherheit und einem erhöhten Schadensrisiko führte.

Neue Verfahren gesucht

Alle Arten von Einwirkungen beanspruchen Bauwerke auf verschiedenste Arten und generieren unterschiedliche Probleme. Es besteht offensichtlich ein enormer Bedarf an Überprüfungen von bestehenden Bauwerken. Der Beitrag „Zerstörungsfreie und -arme Überwachungsmethoden“ (Mareike Vogel, Thomas Tannert) beschäftigt sich mit der Untersuchung von Holzbauteilen im Zuge einer Zustandserfassung, um die Ursache, den Grad und die Ausbreitung von Schädigungen sowie die verbleibenden Festigkeitseigenschaften zu bestimmen. Bei den Methoden der Prüfung und Kontrolle von geschädigten und gefährdeten Holzkonstruktionen werden zerstörungsfreie, zerstörungsarme und zerstörende Methoden unterschieden, deren Kombination zu zuverlässigen Resultaten führen kann.

Der Analyse und präzisen Einschätzung der noch vorhandenen Restragfähigkeit geschädigter Holzbauteile kommt eine besondere Bedeutung zu. Es müssen Verfahren zur Ermittlung des Alterungs- und Schädigungszustandes etwa von geklebten oder mit mechanischen Verbindungsmitteln zusammengesetzten Bauteilen entwickelt werden. Unter anderen ist es denkbar, die Ultraschall-Echo-Technologie dahingehend weiterzuentwickeln, dass die Darstellung der Messungen in Form von Tomogrammen sichtbar gemacht wird. Zur Erfassung von Rissen in BS-Holz könnte man Lasermethoden so entwickeln, dass beim Scannen von Balken die Dimension und exakte Lage von Rissen aufgezeichnet werden. Aus diesen Informationen ließe sich mit einer geeigneten Software ein 3D-Bild des Balkens rekonstruieren.

Untersuchung mit Ultraschall

Nicht sichtbare Schäden in Holz wie Innenfäule, Astansammlungen, Risse und nicht zugängliche und damit ebenso nicht sichtbare Oberflächenfäule stellen bei Holz ein Problem dar. Bei Gebäudebegutachtungen ist es wichtig, solche Fehlstellen und Materialinhomogenitäten im Inneren des Holzes zu finden. Unerkannte Fäulnis oder Risse können unter ungünstigen Bedingungen zum Einsturz eines Gebäudes führen.

Der Beitrag „Ultraschall-Echo-Verfahren zur zerstörungsfreien Fehlstellenlokalisierung in Holz“ (Andreas Hasenstab) beschreibt die erfolgreiche Anwendung von Niederfrequenz-Ultraschall in Echotechnik an Vollholz und BS-Holz. Damit ist es möglich, unter bestimmten Bedingungen Störstellen wie Fäulnis, Äste und Risse und Minderdicken auch dann zu lokalisieren, wenn nur eine Bauteilseite zugänglich ist. Das Verfahren lässt sich trotz der Vielfalt von Holzbauteilen (Holzart, individuelles Wachstum, Anteil Kernholz und Splint, Art des Sägens aus dem Stamm) sehr gut zur vergleichenden Messung anwenden. Bauteile, die bisher als „nicht prüfbar“ galten, können nun mit ausreichender Sicherheit zerstörungsfrei untersucht werden.

Automatische Identifikationstechnologie

Eine optimale und wirtschaftlichere Gestaltung der holzverarbeitenden Prozesse in den Unternehmen und entlang der Wertschöpfungskette gewinnt in Zeiten der Globalisierung zunehmend an Bedeutung. Statt Einzelunternehmen befinden sich immer häufiger Liefer- und Wertschöpfungsketten im Wettbewerb. Schwachpunkte und Quellen für Unwirtschaftlichkeit sind dabei in der Regel die Schnittstellen zwischen den beteiligten Unternehmen. Es ruhen also viele ungenutzte Potenziale in der Organisation arbeitsteiliger Prozesse.

Hilfe soll hier RFID schaffen, eine automatische Identifikationstechnologie, deren Anwendung in der Holzwirtschaft in dem Beitrag „Radio Frequency Identification – RFID" (Thomas Strautmeister) untersucht wird. Hierbei werden Informationen auf einem Datenträger (Mikrochip, auch Transponder oder Tag) gespeichert, der innerhalb eines Hochfrequenzfeldes kontaktlos beschrieben und gelesen werden kann. Damit bietet diese Technologie ideale Voraussetzungen für den Einsatz in der Holzwirtschaft, wo Klimaschwankungen, hohe Bearbeitungstemperaturen, Feuchtigkeit, Staub und Schmutz und Veredelungsverfahren mittels Farbauftrag typisch sind.

Wendet man dies zum Beispiel auf die BS-Holz-Herstellung an, so kann ein RFID-Tag Informationen darüber enthalten, an welcher Lamelle er angebracht (und damit Informationen zur Herstellungshistorie bieten) oder auch in welches Bauteil er eingebaut und wie bzw. wo dieses Bauteil zu verwenden ist. Somit wird es möglich, in den Prozess integrierte, sich automatisch fortschreibende Qualitätsdokumentationssysteme aufzubauen. Die Kennzeichnung von Lamellen in BS-Holz-Bindern wurde bereits in der Praxis umgesetzt.

Im Rahmen von Festigkeitsuntersuchungen lässt sich genau nachvollziehen, welches Holz aus welcher Stammposition und welchem Erntegebiet zu welchen Eigenschaften führt. RFID-Tags können Messinformationen zu Temperatur, Feuchte, Dehnung, Spannungen oder Verschiebungen ereignis- oder zeitorientiert speichern. Damit wird es möglich, in das Bauteil integriert, den Gebäudezustand zu überwachen und bei Bedarf rechtzeitige Interventionsmaßnahmen einzuleiten.

6.1 Produktentwicklung
Zusammenhang zwischen F&E und Geschäftsentwicklung in der Holzindustrie

Matti Kairi, Hannelore Damm

1 Vorbemerkung

Der Text ist eine Zusammenfassung und Übertragung ins Deutsche des Vortrages von M. Kairi: „Interaction of the R&D and business development in wood product industry", gehalten 2008 in Venedig bei der Cost Action E 44 Conference, welcher eine Zusammenfassung der Untersuchungen im Rahmen einer Dissertation (Kairi 2005) darstellt.

Es wird am Fallbeispiel Furnierschichtholz der Entwicklungsprozess für ein technisches Bauprodukt aufgezeigt. Furnierschichtholz ist ein Holzwerkstoff, der vorwiegend aus Fichtenfurnieren besteht, welche zu großformatigen Platten verleimt werden. Diese Platten werden als plattenförmiger Werkstoff, ähnlich wie Sperrholz verwendet, bzw. es werden aus den Platten stabförmige Bauteile zugeschnitten, welche als Balken oder Stützen im Bauwesen verwendet werden.

Produzent von Furnierschichtholz in Europa ist das Unternehmen Finnforest. Finnforest gehört als Produzent zur Holzwerkstoffindustrie, der Schwerpunkt liegt in der Produktion, das Know-How ist besonders auf die Verbesserung der technischen Eigenschaften der Holzwerkstoffe und der Holzwerkstoffproduktion ausgerichtet. Der Vertrieb und die Weiterverarbeitung standen zu Beginn der Furnierschichtholzentwicklung weniger im Focus. Die Marktsituation für Bauprodukte, besonders im Holzbau mit der Anforderung an Einzellösungen für Baumaßnahmen und mit teilweise starken Bautraditionen, war dem Unternehmen unbekannt. Die Holzwerkstoffindustrie ist grundsätzlich von den Unternehmen und den Organisationen anders strukturiert als der Bereich des Holzbaus mit vielen kleinen und mittleren Unternehmen, mit individueller Planung durch Architekten und Tragwerksplaner. Die Einbeziehung eines oder mehrer Partner aus dem Bereich des Holzbaus, die diese anderen Marktbedingungen kennen, bringt Vorteile für den Holzwerkstoffhersteller und die Partner.

2 Zusammenfassung

Bei der Verbesserung und Weiterentwicklung von bereits eingeführten Produkten und Produktionsprozessen, ist die Geschäftsentwicklung auf die Unterstützung durch die Abteilung für Forschung und Entwicklung (F&E) angewiesen. Bei der Entwicklung eines neuen Produktes hingegen, welches nicht nur ein anderes Produkt ersetzt, ist die Situation völlig anders. Welche Wechselwirkungen zwischen Forschung und Entwicklung und Geschäftsentwicklung sind erforderlich, um zu einem profitablen Ergebnis zu führen?

Es wird gezeigt, welche unterschiedlichen Marktpositionen das neue Produkt in unterschiedlichen Stufen der Entwicklung eingenommen hat. In einer weiteren Analyse wird detaillierter untersucht, welchen dynamischen Veränderungen der Entwicklungsprozess eines neuen Holzproduktes unterworfen ist. Der Produkthersteller, Forschung und Entwicklung und nicht zuletzt der Kunde müssen eng zusammenarbeiten, um eine Verbindung von technologischem Schub und dem Sog der Marktbedürfnisse zu bewirken.

3 Ergebnis der Fallstudie Furnierschichtholz

Es gab Überlegungen, dass alle wesentlichen Entwicklungen von Basisprodukten in der gut entwickelten allgemeinen Holzindustrie bereits abgeschlossen seien. Dennoch führten verschiedene, in Finnland ab ca. den 90er Jahren erfolgreiche Technologieprogramme zu der Idee, dass die Holzproduktindustrie als eigener Teilbereich weiterentwickelt wird. Ziel war, Forderungen nach alternativen Baumaterialien der Bauindustrie zu entsprechen. Vorstudien Anfang 1998 formulierten die Vision 2010 des Produktherstellers wie folgt: (Finnish Forest Industries Federation 1999,

S. 9): Bis 2010 wird Holz in Europa das vorrangige Material für Systemlösungen für die Bauindustrie und in Endverbraucherprodukten für hochwertiges Bauen und Wohnen sein. Diese Vision wurde als Pan-Europäisches Projekt aktualisiert: "Roadmap 2010 for the European woodworking industries".

Es dauerte ca. 25 Jahre für die Entwickler von Kerto-Furnierschichtholz um einen erfolgreichen Durchbruch im Markt zu erreichen (Kettunen 2002, S. 71).

Es soll hier zusammengefasst werden, was aus den überwundenen Schwierigkeiten und der Entwicklung neuer Verfahrensmethoden für das Kerto-Furnierschichtholz gelernt werden kann und wie das Gelernte auf die Verbesserung der Verfahren in der Holzindustrie allgemein übertragen werden kann.

In der Holzindustrie allgemein wurde von den Beteiligten in der Wertschöpfungskette jeweils unabhängig und ohne wesentliche Zusammenarbeit oder Wechselwirkungen agiert.

Der Erfolg eines Produktes hängt davon ab, wie gut das Produkt selbst und die Marktsituation dem Unternehmen bekannt sind. Die Beziehung, ob das Produkt bzw. der Markt dem Unternehmen bekannt, bzw. allgemein bekannt sind, kann als Matrix (F + E Portfolio) dargestellt werden. In der Anfangsphase war Kerto-Furnierschichtholz als Produkt neu, ebenfalls war die Marksituation neu. Es ist eine Innovationsstruktur erforderlich, welche aus den Kenntnissen und den Mitwirkenden (Personen und Organisationen) besteht, die nötig sind, dem Produkt zum Erfolg zu helfen. Es ist erforderlich, dass sämtliche relevanten Kenntnisse verfügbar sind und der interaktive Prozess zwischen den verschiedenen Parteien gut funktioniert.

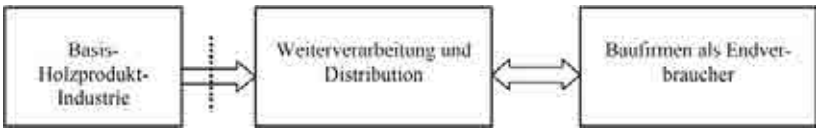


Abb. 1: Herkömmlicher Entwicklungsprozess in der Holzproduktindustrie nach (Kairi 2005, S. 7)

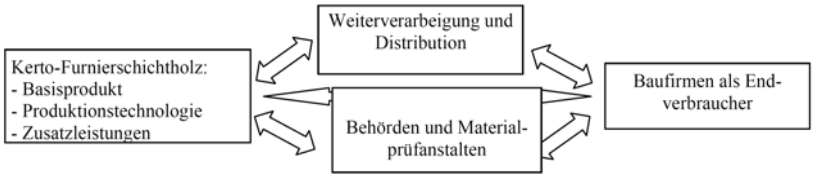


Abb. 2: Wechselwirkungen im Entwicklungsprozess bei Kerto-Furnierschichtholz nach (Kairi 2005, S. 8)

In der Anfangsphase ist der Hersteller in der Lage, eine Innovationsstruktur aufzubauen, aber es ist nicht möglich, diese mit den Anforderungen des Marktes in Einklang zu bringen. Einige Stufen des Produktentwicklungsprozesses bleiben unfertig oder weisen falsche Prioritäten auf. Eine partnerschaftliche Kooperation mit z.B. Kunden ist ein Lösungsweg in dieser Situation.

Die Matrix (Abb. 3) veranschaulicht den Entwicklungsbedarf für, bzw. innerhalb einer neuen Produkt-Innovation.

a) Zu Beginn der Startphase ist die Innovation ausreichend, eine funktionierende Wertschöpfungskette für das Produkt einzurichten. Die Innovationsstruktur enthält noch nicht alle erforderlichen Aktivitäten/Bereiche, so fehlt für das neue Produkt (B) der Bedarf.
b) Zu Beginn der industriellen Phase, ohne die Partnerschaft, liegt der Focus auf dem technologischen Schub. Das Eindringen in einen neuen Markt erfordert eine 100% Lösung für das Produkt und eine komplette Innovationsstruktur, sogar, wenn diese noch nicht an den Marktbedürfnissen ausgerichtet ist. (Das 100% Produkt ist definiert, als das Maximum aus Produktvorteilen und Service, welche erforderlich sind, damit der Zielkunde einen

zwingenden Kaufanreiz erhält, nach Moore 1995, S. 20-21).

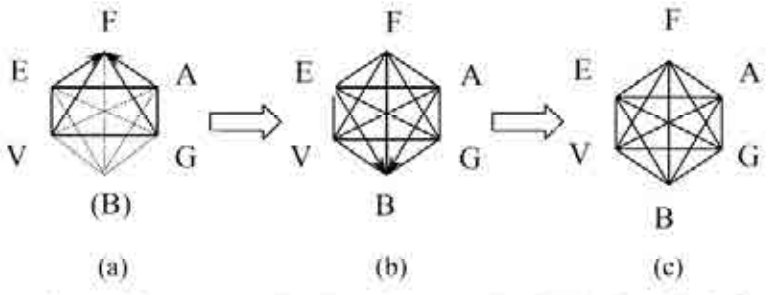
c) In der Durchbruchsphase ist es nötig, ein Gleichgewicht in der Innovationsstur für ein neues Produkt zu erreichen, dazu ist erforderlich, den grundsätzlichen Entwicklungsbedarf in Kooperation mit den Partnern auf Basis des Marktsogs festzustellen.

Die Innovationsstruktur ist ein Ergebnis der verschiedenen Phasen des Entwicklungsprozesses. Die Ergebnisse der Entwicklungsarbeit, die erreichbaren Nutzen und die nötigen Veränderungen der Wertschöpfungskette werden im Entwicklungsprozess aufgezeigt und stellen die Basis für eine gegenseitige Partnerbeziehung dar. Der Zweck einer sich entfaltenden Partnerschaft ist es, gemeinsam eine am Markt ausbalancierte Innovationsstruktur zu entwickeln.

Der Entwicklungsprozess generiert Wertschöpfung für die gesamte Herstellung- und Vertriebskette und eine Win-Win-Position für alle Beteiligten.

Um eine partnerschaftliche Kundenbeziehung im Zielmarkt zu erreichen, ist es erforderlich, dass der Produkthersteller dem neuen Partner die Möglichkeit gibt, von den Ergebnissen der neuen Produktentwicklung in einem neuen Markt zu profitieren. Die lokalen Konkurrenten des Partners sehen dies als Wettbewerbsnachteil, da der Produkthersteller ihnen nicht den gleichen Zugang zu Informationen wie dem Partner gibt.

	Pilotphase			Industrielle Phase			Durchbruchsphase		
	Markt			Markt			Markt		
Produkt	BU	NU	NW	BU	NU	NW	BU	NU	NW
BU							x		
NU		x			x				
NW			(x)						



BU = dem Unternehmen bekannt
NU = dem Unternehmen neu
NW= der Welt neu

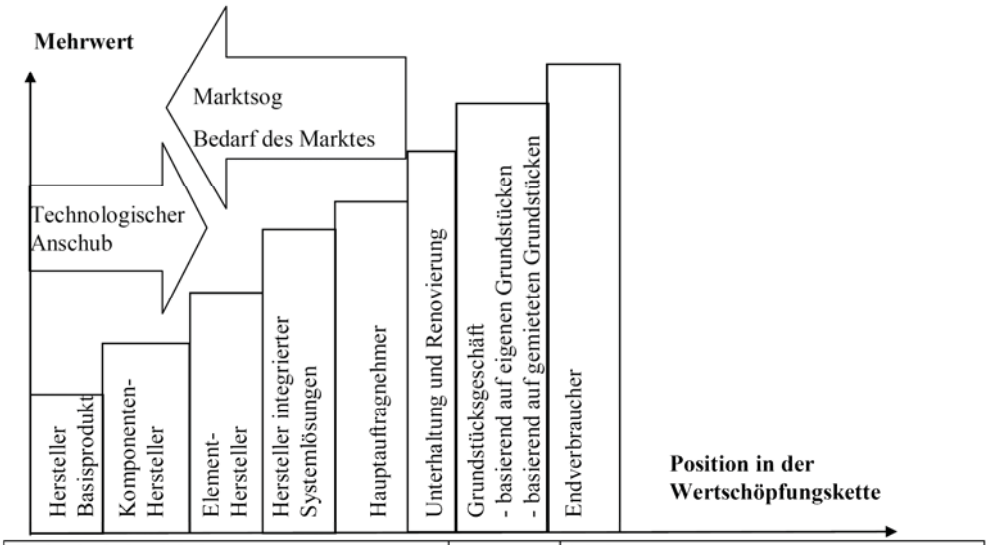
F= Forschung
A= Anwendung
G= Geschäft

B= Bedarf und Bedarfsänderungen
V= Verbraucher
E= Entwicklung

Abb. 3: Matrix mit dem Zusammenhang zwischen Markt und Produkt (F + E Portfolio) und Stationen der Innovationsstruktur in den verschiedenen Phasen eines neuen Produktes

Eine weiterführende Schlussfolgerung führt zur Frage, welche Aktivitäten für den Produktherstellen möglich sind, um sich dem Endverbraucher in der Wertschöpfungskette zu nähern. Bezogen auf Furnierschichtholz bedeutet dies, einen Übergang vom Material- und Komponentenlieferanten zu einem Elementlieferanten. Dies erlaubt Marktverwerfungen durch Newcomer, die in den neu geschaffenen Markt eindringen, zu vermeiden. Die Dynamik der Wertschöpfungskette ist im Zusammenhang zwischen technologischem Schub und Sog aus dem Markbedarf sichtbar, wie folgende Abbildung zeigt.

Um neue Märkte zu erschließen ist es nötig, aktive Partner zu finden, die zusammen mit dem Produkthersteller helfen, beides, Produkt und Geschäft zu entwickeln. Ergebnis dieser Partnerschaft ist eine vergrößerte Produktplattform, d.h. Produktbasis und Produktumgebung mit Produktionsmethode, Technologie, Organisation, Normung etc., da die Partner die Verantwortung für die lokale Entwicklung im Sinne von z.B. einem System von Anwendungshilfen für Produktanwender und entsprechend dem Zusammenhang zwischen Markt – und Produkt (F&E Portfolio) übernehmen.



Technologischer Schub		Marktsog
Technische Produktentwicklung des Basisproduzenten, Phase 1	→	Partner 1 erarbeitet damit sein eigenes Produkt Anwendung 1
Investition des Basisproduzenten in neue Produktionstechnik	→	Partner 1 erarbeitet sein eigenes Element Anwendung 2
Technische Produktentwicklung des Basisproduzenten, Phase 2	→	Partner 2 erarbeitet damit sein eigenes Produkt Anwendung 3
Investition des Basisproduzenten in weitere Verarbeitungsanlagen	→	Partner 2 erarbeitet sein eigenes Element Anwendung 4
Technologietransfer zum Basisproduzenten	→	Etc.

Abb. 4: Management/Steuerung der Veränderung in der Wertschöpfungskette durch Nutzung der Beziehung zwischen technologischem Schub und Marktsog

Steigen die Anforderungen an das Produkt, müssen Forschungen begonnen werden, Lösungsmöglichkeiten für die neuen Praxiserfordernisse zu finden. Dies führt zur Anwendung eines Modells von Schlüsseltechnologien. Problemadäquate Forschung kann die Entwicklung von nötigem Know-how für das neue Produkt sichern.

Weitere Schlussfolgerung ist, dass der Grad eines 100 % Produktes und seiner systematischen Anwendungshilfen sich in Abhängigkeit von der Marktentwicklung ergeben.

Tabelle 1 auf der nächsten Seite zeigt den Ansatz von 100% Produkt und Anwendungshilfen in verschiedenen Phasen der Produktentwicklung. Gleichzeitig weitete sich das Produkt zu einer Produktfamilie aus.

Wenn das Produkt, Produkttechnologie und der Markt neu für das, für die Forschung und Entwicklung, verantwortliche Unternehmen sind, sollte der Innovationsprozess mit einem Rahmen unterstützt werden, der Geschäftsidee, Innovationsstruktur und Schlüsseltechnologien kombiniert. Die Entwicklungsarbeit für Kerto-Furnierschichtholz zeigt diesen interaktiven, aus verschiedenen Phasen, bestehenden Prozess.

Quellen

[1] Blomqvist, K. (2002) Partnering in the Dynamic Enviroment: The role of Trust in Asymmetric Technology Partnership Formation. Acta Universitatis Lappeenrantaensis 122, Diss. Lappeenranta University of Technology. ISBN 951- 764-638-0.

[2] Finnish Forest Industries Federation (Metsäteollisuus ry) (1999). Vision 2010.

[3] Ford, D. (1998) Managing Business Relationships. John Wiley & Sohns, Chichester

[4] Jahnukainen, I., Junnelius, C., Sonkin, L. (1980). Liiketoiminnan kehittäminen liikeidean pohjalta. Ekonomia 66, Espoo, ISBN 951-35-2400-0

[5] Jumppanen, P. (2003-09-16) An interview

[6] Kairi, M., (2005) Interaction of R&D and Business Development in the Wood Products Industry, Case Kerto®- Laminated Veneer Lumber (LVL), Dissertation in Helsinki University of Technology, ISSN 951-22-7706-9 (PDF)

[7] Kettunen, J. (2002) Kuuseen kurkottajat, Teknologian kehitys Metsäliiton piirissä 1950-luvulta vuosituhannen vaihteeseen (The history of the technological development in Metsäliitto from 50' to 2000), ISBN 952-91-4477-6

[8] Kettunen, J. (2005-01-28) An interview

[9] Klus, P.J., (2004-09-23) An interview

[10] Klus, J. and Hirvensalo, R. (1997) The Mechanical Wood Processing (PMT) and Wood-based Panels (PLT) Technology Programmes 1992-1996. Evaluation report. Technology Development Centre Finlamd (TEKES), Technology Programme Report 7/97, Helsinki, ISBN 951-53-0759-7

[11] Lahtinen, J., Isoviita, A. and Hytönen, K. (1993). Asiakassuuntainen markkinointi (Customized marketing), ISBN 951-96199-3-3.

[12] Moore, G.A., (1995). Inside the Tornado, HarberBusiness, ISBN 0-88730-765-5

[13] Normann, R. (1975). Skapande företagsledning (Creative business leadership), Dissertation.

[14] Paajanen, T. (1998) Osaamisen haasteet puutuotealan kehittämisessä (The challenges of the knowledge in wood product industry's development), Suomen Puututkimus Oy:n 10-vuotisjuhlaseminaari 26.08.1998

[15] Tekes (1997) Puun mekaanisen jalostuksen PMT ja PLT teknologiaohjelmat (The Technology programmes of Mechanical Wood Processing (PMT) and Wood-Based Panels (PLT)). Tekes brochure.

Tab. 1: Entwicklung eines neuen 100% Produktes und seiner systematischen Anwendungshilfen in Abhängigkeit von der Entwicklungsstufe

Entwicklungsstufe	Entwicklung des *100% Produkt-Umfanges*	Entwicklung des Umfanges der Anwendungshilfen
Pilotphase	- Der Kunde nimmt das Produkt, seinen Gebrauch und den Anwendungsnutzen nicht wahr. - Der Produzent hat keine Kenntnis, wie das Produkt dem Bedarf von Industriekunden gerecht wird. - Die Lösung für das aktuelle Problem des Kunden wird zusammen erreicht, im dem das Produkte für Produzent und Kunden befriedigend angepasst wird. - Der Produzent setzt die vereinbarten Veränderungen und Erweiterungen des Produktes um und modifiziert die eigenen Handlungsanweisungen, um die Herstellung und Lieferung des neu definierten Produktes zu sichern. Der Kunde modifiziert seine Handlungsanweisungen, um Vorteile aus der Produktanwendung zu erhalten. - Das *100% Produkt* ergibt sich aus diesen gemeinsamen Bemühungen..	- Als offizielles Dokument ist eine Zulassung für das Basisprodukt vorhanden. - Anwendungsberatung besteht meist aus einzelnen technischen und wirtschafltichen Hinweisen für die Endverbraucher und ihre Umgebung (Architekten, Konstrukteure und die Aufsichtsbehörden). - Auf Basis dieser Erfahrungen entsteht ein Leitfaden für das Produkt nach und nach.
Industrielle Phase	Als Ergebnis der vorherigen Erfahrungen, ist das Produkt auch für Projekte größerer Maßstäbe ausreichend zuverlässig. Der Hersteller und der Kunde ändern ihre Handlungspraxis, so dass sie mit zu den Möglichkeiten der Produktnutzung kompatibel ist. Es ist entscheidend, - eine gemeinsame Vereinbarung über die Produktspezifikationen zu treffen, - die Produktqualität zu beachten, - die Lieferzeiten zu beachten. Ein wachsender Kundenstamm ändert seine Handlungspraxis, da er nun die Arbeit auf der Baustelle und die Arbeitsmethoden vereinfachen kann - Die Produktverteilung wird wirtschaftlich. - Planer beherrschen die Produktanwendungen.	- Einzelberatung ist nicht mehr die Hauptberatungsform, sie ist auf Projekte ausgerichtet, die Spezialisten erfordern. Die systematische Anwendungsberatung wir zunehmend automatisiert. - Tabellen zur Produktauswahl mit Erläuterungen für die Kunden sind online, in Leitfäden oder Schulungsmaterialien verfügbar. - Es gibt Anweisungen zu aktuellen und neuen technischen Anwendungen. - Es gibt Anweisungen zum erweiterten Service für Produkt.
Durchbruchsphase	- Das produktbezogene Wissen der Kunden wächst - Ein Teil der produktbezogenen Dienstleistungen werden zu Kundeneinrichtungen verlagert, ein Teil wird zu Dienstleistern im Kundennetzwerk verlagert (Architekten, Tragwerksplaner etc.) - Produktbezogene kundenspezifische Dienstleistungen werden nicht mehr benötigt. Dies geschieht besonders mit der Verwendung von Standardprodukten durch die Kunden und gleichzeitig mit dem Wandel der Marktsituation von Einzellösungen zur breiten Verteilung. - Die Partner entwickeln mit ihren eigenen Netzwerken verschiedene Stufen von weiterbearbeiteten Produkten oder Systemösungen mit allen Informationen, wie diese zu planen, zu fertigen und zu errichten sind. - Um den Verbrauch des Produktes weiter auszudehnen, wird das Konzept der Schlüsseltechnologie mit zusätzlichen Technologie erarbeitet..	- Die Beratung für das bereits vorhandene Produkt wurde automatisiert. Sie basiert auf Selbstbedienung und Online- Werkzeugen. - Das Know-How der Partner und Kunden wie das Produkt anzuwenden ist, entwickelt sich zu einem wachsenden System der Handlungsanweisungen und Anwendungshilfen.

6.1 Produktentwicklung
Trendentwicklung Weißtanne

Ralph Loth

1 Ausgangssituation

Die Weißtanne (abies alba) ist in Mitteleuropa eine ökologisch besonders wichtige Mischbaumart. Sie ist Garant für eine naturnahe Waldwirtschaft und übernimmt eine unentbehrliche Funktion als Waldstabilisator. Ihre starke Pfahlwurzel erschließt tiefere Bodenschichten als die flachwurzelnde Fichte und widersteht besser dem Sturm. Tannenholz sieht dem Holz der Fichte sehr ähnlich. Selbst für den Holzfachmann ist es nicht immer leicht, die beiden Hölzer zu unterscheiden. Für den Laien ist dies fast unmöglich. Das Farbenspektrum von Tannenholz reicht von rötlichweiß über gelblichweiß bis fast ganz weiß. Es ist glanzlos und weist häufig einen grauvioletten oder bläulichen Schimmer auf. Das Holz hat weder Harzgallen, noch Harzkanäle und riecht nicht nach Harz. Damit unterscheidet es sich wesentlich von den anderen heimischen Nadelhölzern.

Als lokal verbreitete Baumart droht sie im global ausgerichteten Holzhandel ins Hintertreffen zu geraten, zumal die Vermarktung überwiegend zusammen mit der Fichte erfolgt. Dies führt insbesondere bei der Schnittholztrocknung zu Schwierigkeiten, die die Holzindustrie mit Preisabschlägen belegt. Ein Nachteil für die Weißtanne, da die Waldbesitzer bei der Baumartenzusammensetzung ihres Waldes eher zur Fichte tendieren.

Es existieren innovative, holzverarbeitende Betriebe, die sich auf die Herstellung spezieller Tannenprodukte eingerichtet haben. Allerdings steht einem hohen Rohstoffangebot nur ein geringer Anteil an guten Holzqualitäten gegenüber. Marktsegmente aus mittleren Qualitäten haben sich noch kaum etabliert.

Das Forum Weißtanne e.V. initiiert und unterstützt seit seiner Gründung im Jahr 2000 vielfältige Vermarktungsinitiativen im Verbreitungsgebiet. Eine länderübergreifende Internetplattform enthält allgemeine und weiterführende Informationen zur Weißtanne mit einer Produkt- und Lieferantendatenbank www.weisstanne.info. Das Profil der Weißtanne hat in der Öffentlichkeit und in den Betrieben hierdurch eine deutliche Aufwertung erlangt. Ziel ist es, durch eine kundenspezifische Differenzierung der Produkte, zu qualitativem Wachstum zu gelangen: Vielfalt als Tor zur Effizienz.

2 Weißtanne- für Menschen mit Leidenschaft

2.1 Ökologie der Weißtanne

Innerhalb ihres natürlichen Verbreitungsgebietes ist die Weißtanne ein unverzichtbares Element der natürlichen Baumartenzusammensetzung. So steht sie insbesondere für Diversität, Artenvielfalt und Stabilität der Wälder. In der Schweiz ist sie mit ca. 15 % am Gesamtvorrat, in Österreich mit ca. 5 % und in Baden-Württemberg mit ca. 10 % vertreten.

Eine hohe Verjüngungsfreudigkeit ermöglicht eine konsequente nachhaltige, naturnahe Waldwirtschaft. Plenterwälder werden als Königsweg des Tannenwaldbaus bezeichnet. Diese Bewirtschaftungsform wird ermöglicht, durch eine ausgezeichnete Schattenverträglichkeit. Im Schutz des Mutterbaumes wächst die Tanne z.T. über Jahrzehnte hinweg langsam voran, um dann nach Freistellung die neue Waldgeneration zu bilden. Probleme in der Verjüngung ergeben sich nur bei überhöhten Wildbeständen. Waldbesitzer fordern deshalb seit Jahren angepasste Wildbestände.

Weißtannen sind die größten Bäume Europas. Sie erreichen eine stolze Höhe bis zu 60 Metern und können auf optimalen Standorten bis zu 600 Jahre alt werden. Dabei werden Stammdurchmesser von 2-3 Metern erreicht.

In den Tannenregionen Baden-Württembergs bildet die Tanne eine wesentliche wirtschaftliche Stütze. Staatliche Waldbauförderprogramme tragen diesem Umstand, insbesondere in den bäuerlichen Waldungen, Rechnung. Ein verbesserter Weißtannenabsatz ist für die Waldbauern zur nachhaltigen betrieblichen Absicherung unabdingbar. Dazu bedarf es auf der Verarbeiterseite der Profilierung einer eigenständigen Vermarktung der Weißtanne unter besonderer Berücksichtigung der spezifischen und arttypischen Holzeigenschaften.

Nur ein angemessener Preis für das Rohholz bestärkt die Waldbesitzer für ihr Interesse an der Erhaltung der Baumart. Im anderen Fall werden Baumarten wie Fichte und Douglasie noch mehr begünstigt, die allerdings in Zeiten des Klimawandels gravierende Nachteile hinsichtlich Stabilität, Ökologie und Bodenzustand vereinen.

2.2 Eigenschaften des Weißtannenholzes

Die Weißtanne hat weitgehend die gleichen Eigenschaften wie die Fichte, sie ist elastisch und sehr belastbar, eignet sich gut für Konstruktionen, besitzt Warnfähigkeit und verschafft ein angenehmes Wohnklima.

In einigen wichtigen Materialeigenschaften übertrifft die Weißtanne jedoch die Fichte:

Harzfrei

Die Harzfreiheit macht das Tannenholz zum besonderen Holz. Es hat gegenüber anderen Nadelholzarten den Vorteil, dass keine Harzgänge und Harzgallen vorkommen. Deshalb eignet sich Tannenholz besonders für den Innenausbau wie Böden, Möbel, Fenster und Türen. Die Harzfreiheit erleichtert Oberflächenbehandlungen in höchster Qualität für den Innen- und Außenbereich. Die Pflege wird außerdem ungemein erleichtert.

Tränkfähig und wetterbeständig

Egal ob Öle, Wachse oder andere ökologische Veredelungsprodukte verwendet werden, die Tanne verfügt über eine hervorragende Tränkfähigkeit und übertrifft darin viele andere Hölzer. Die Tanne ist ebenso dauerhaft und wetterbeständig. Deshalb ziert sie oft speziell die Fassaden der Wetterseite alter Bauernhäuser. Gleiches wird über Schindeldächer und -verkleidungen berichtet. Auf Grund ihrer guten Wetterbeständigkeit und Tränkfähigkeit empfiehlt es sich, sie für Außenfassaden, Pergolen oder Balkone zu verwenden. Für die Dauerhaftigkeit bürgt natürlich eine fachgerechte Konstruktion und Anwendung des Holzes.

Konstruktionsholz

Die technischen Eigenschaften von Tannenholz sind sehr gut. Die Biege- und Druckeigenschaften ähneln denen der Fichte. Damit eignet sich das Weißtannenholz ausgezeichnet als Konstruktionsholz. Einseitige Ausschreibungen auf Fichtenholz lassen sich mit technischen Argumenten nicht begründen. Schnittholzprodukte aus Tannenholz sind wie bei anderen Holzarten auch in unterschiedlichen Qualitätsstufen verfügbar.

Edle Erscheinung

Helle Hölzer sind zeitlos schön. Das Weißtannenholz ist von matter weißlicher Farbe. Es erlaubt ein ästhetisches, zeitloses Design. Der warme Farbton des Holzes schafft behagliche Lebensräume mit Atmosphäre. Die helle, natürliche Farbe behält das Weißtannenholz auch im Licht. Es dunkelt weniger nach als andere Hölzer. Weißtanne lässt sich auch ideal mit anderen Baustoffen wie Glas, Stahl, Beton oder Stein kombinieren.

3 Renaissance einer außergewöhnlichen Baumart und Erfolgsgeschichte zum Premiumprodukt

Erfreulich ist, dass die Weißtannenverwendung langsam an den früheren „Ruhm" der Schwarzwaldtannen anknüpft, als Tannenholz im Schiffs- und Wasserbau eine gefragte Verwendung fand und der „Holländerholzhandel" den Schwarzwälder Waldbauern eine gute Verdienstmöglichkeit bot.

Tannenholz ist langsam, aber stetig wieder als eigenständiges Produkt am Markt aufgetaucht. Es hat hierdurch eine Imageaufwertung erfahren und ist in das Bewusstsein der Bevölkerung zurückgekehrt. Als regionales Premiumprodukt ist es auf dem besten Weg als Schwarzwälder Tanne einen nationalen- und internationalen Bekanntheitsgrad zu erreichen.

Ein umfangreiches, vielschichtiges Maßnahmenpaket der Weißtannenakteure hat wesentlichen Anteil an der Wiederentdeckung der Weißtanne:

- Intensive zielgruppenspezifische Öffentlichkeitsarbeit mit den dafür notwendigen Informations- und Werbematerialien (Tannenbroschüre, Tannen-Booklet, Tannenland Vorarlberg u.a.)
- Bündelung sämtlicher Aktivitäten der Weißtannenakteure im europäischen Raum (z.B. gemeinsame Messeauftritte, Workshops, Fachtagungen)
- Umfassende Information der Waldbesitzer über die waldbaulichen Vorteile und Vermarktungschancen der Weißtanne mit dem Ziel, der Unterbewertung entgegenzuwirken
- zusammen mit Marktpartnern Produktlinien für höherwertige Weißtannenprodukte (z.B. Konstruktionsholz, Innenausbau, Möbelbau, Bootsbau, Japanholz) erarbeiten. Ganz wesentlich ist die Entwicklung von Weißtannenprodukten mit mittleren Qualitäten (z.B. Brettschichtholz, Deckenverschalung).
- Kunden- und marktorientierte Differenzierung der Tanne nach Qualitäten durch Waldbesitzer und der holzbe- und verarbeitenden Industrie erarbeiten.

3.1 Comeback in der Architektur

Die Weißtanne ist mit ihren Vorzügen wieder begehrt bei den Architekten. Dies zeigt sich an vielen anspruchvollen und herausragenden Objekten im Wohnungs- und Gewerbebau.

So gibt es jetzt schon viele besonders gelungene und herausragende Tannenobjekte:

- Das Expodach in Hannover aus dem Jahr 2000, Bauherr die Deutsche Messe AG, Bauherr Herzog+Partner, München.
- Der Weißtannenturm auf der Landesgartenschau in Kehl 2004, Bauherr LGS Kehl 2004, Architekt Werkgruppe Lahr
- weitere Objekte im Wohn- und Gewerbebau sind z.B.: Büro- und Wohnhaus St. Georgen, Feuerwehrhaus Frickingen, Naturparkinformationszentrum Ruhestein, Freilichtmuseum Gutach, Schenkenbergbrücke Epfendorf.

Auf der Suche nach neuen interessanten Trends, sind verschiedene Versuchsreihen gestartet, um weitere spezielle Absatzmöglichkeiten zu finden. In einigen Nischenprodukten hat sich die Weißtanne schon bewährt oder besitzt Erfolgschancen:

3.2 Eignung als Thermoholz

Bei thermisch behandeltem Holz werden ausschließlich durch hohe Temperaturen und ohne Zusatz von chemischen Hilfsstoffen die Eigenschaften des Holzes verändert. Das Schnittholz wird kontrolliert auf bis zu 230°C für mehrere Stunden in speziellen Hochtemperaturanlagen erwärmt. Unter dem Einfluss von Hitze und Feuchtigkeit wird der Zellaufbau des Holzes dahingehend verändert, dass die Wasseraufnahmefähigkeit des Holzes eingeschränkt wird. Daraus

ergibt sich eine reduzierte Ausgleichsfeuchte und eine Verringerung des Quell- und Schwindverhalten des Holzes, womit eine Verringerung der inneren Spannungen einhergeht und somit zu einer Erhöhung der Dimensionsstabilität führen. Das Holz erhält eine höhere natürliche Dauerhaftigkeit sowie eine selektive Erhöhung der Pilzresistenz. Das Verfahren führt zu einer Farbveränderung, das Holz wird dunkler. Diese Farbveränderung ist aber nicht UV-stabil und das Holz vergraut im Außenbereich in gleichem Maße wie unbehandeltes Holz. Durch die Veränderung des Zellaufbaus nehmen Biegefestigkeit, Rohdichte und Härte des Holzes ab und die Sprödigkeit nimmt zu. Aufgrund der mechanischen Eigenschaften darf thermisch behandeltes Holz nicht für tragende Zwecke eingesetzt werden.

Die Weißtanne ist für Thermoholz geeignet. Sie unterliegt preislich allerdings der Kiefer, die hier vornehmlich Verwendung findet.

3.3 Lignotrend Elemente

Ein breites Spektrum an Wand- und Deckenelementen hat die Firma Lignotrend aus Weißtannenholz im Angebot. Herausragendes und sehr erfolgreiches Beispiel sind Akustikelemente die aus Premiumqualitäten der Weißtanne hergestellt werden. Sie vereinen auf besonders schöne Art die guten akustischen und optischen Eigenschaften des Tannenholzes.

3.4 Dreischichtplatten aus Weißtanne

Der sehr unterschiedlichen Feuchtigkeitsgehalt und der damit verbundene erhöhte Verarbeitungsaufwand bringen bei den Dreischichtplatten aus Weißtanne einen erhöhten Aufwand mit sich. Die wunderschöne Optik der Weißtanne besticht jedoch. Leider lassen sich keine höheren Preise als bei den Fichten Dreischichtplatten erzielen.

4 Evaluierung künftiger Marktpotentiale

Beim 2. Internationalen Tannenworkshop am 24.03.2009 in Ellhofen haben Fachleute und Freunde der Weißtanne folgende Ziele formuliert:

- Angebot einer Tannen-Produktpalette mit Bezugsgarantie
- Holzsortentrennung im Wald als Daueraufgabe
- Lagerhaltung von Tannenprodukten: Prüfung im Rahmen eines LEADER-Projektes
- Überarbeitung des Bezugsquellenverzeichnisses in allen LEADER-Kulissen
- Akzeptanzmanagement für „Natürlichkeit“
- Produktentwicklung mittlerer Qualitäten
- Fortbildungsveranstaltungen für Zimmerer und Schreiner
- Weißtannen-Wissen in der Bildung (Schule)

5 Forum Weißtanne e.V.

Durch die Globalisierung der Holzmärkte hatte die Weißtanne, ihre einstmals führende regionale Marktposition im Schwarzwald und in anderen Regionen Süddeutschlands verloren.

Um dieser Entwicklung entgegen zu wirken, hat sich 1997 der Arbeitskreis Weißtanne gebildet, der im Oktober 2000 in den eingetragenen gemeinnützigen Verein FORUM WEISSTANNE e.V. übergegangen ist. Vorsitzender ist Forstpräsident Meinrad Joos.

Zweck des Vereins ist die Förderung und Erhaltung der Weißtanne als natürliche Hauptbaumart des Schwarzwaldes und des übrigen Verbreitungsgebietes. Veranstaltungen und Publikationen sollen auf die Tannenproblematik hinweisen und die Verwendungsvorteile des Tannenholzes bekannter machen. Die 15-köpfige Vorstandschaft setzt sich derzeit zusammen aus Waldbesitzern, Geschäftsführern von holzbe- und verarbeitenden Betrieben, Bauplanern und Architekten, Vertretern von Wissenschaft, Forstverwaltung und Kommunalpolitik.

Das FORUM WEISSTANNE e.V. ist auf ideelle und finanzielle Unterstützung angewiesen.

6 Ausblicke

Die Waldbesitzer kommen nicht an der Notwendigkeit vorbei, Tannenholz separat anzubieten und somit den Preisabschlag bei Fichten-Mischlosen zu unterbinden. Bereits jetzt schon zeigt sich, dass die Tannenqualitäten verbunden mit deren Wertschöpfung auf den gesamten Stamm bezogen besser sind als die der Fichte, da diese im unteren (wertvollsten) Stammabschnitt häufig durch Rotfäule wertgemindert ist. Die Säger sollten ihre Haltung gegenüber der Weißtanne überdenken, da die erzielbaren Erlöse der Weißtanne heute schon teilweise über denen der Fichte liegen. Qualitativ hochwertiges Tannenrundholz konnte sich preislich bereits von der Fichte abkoppeln.

Starkholzanteile werden auch in Zukunft weiter zunehmen, allerdings nicht nur bei den guten Qualitäten. Die Entwicklung neuer Tannenprodukte muss in Workshops vorangetrieben werden. Vornehmlich geht es dabei um Ideen für mittlere Qualitäten. So könnte die Weißtanne z.B. im nicht konstruktiven Bereich sehr gut als optischer Gewinn zum Einsatz kommen. Aber auch Brettstapelelemente und Brettschichtholz könnten sich eignen.

Eines scheint heute schon Realität zu sein: die „Schwarzwälder Tanne“ hat sich mit ihrer innovativen Verwendung und einer durchdachten regionalen Wertschöpfungskette eine Marktnische erobert.

6.2 Produktionsverfahren
Standardisierung und Typisierung von Verbindungen im Holzbau

Nikolaus Nebgen

Wenn man nach dem Grund für den vergleichsweise geringen Anteil des Holzbaus z. B. im Wohnungsbau fragt, kommt man sehr schnell darauf, dass der Planungsaufwand sowohl für die beteiligten Architekten, als auch für die das Tragwerk planenden Ingenieure sehr hoch ist. Das Honorar dafür ist aber nicht höher, als bei Planungen mit Baustoffen, die deutlich weniger Aufwand erfordern.

Im Holzbau besteht ein wesentlicher Teil der Planungsarbeit in der Ausarbeitung und Konstruktion von Anschlüssen und Details. Die Schwierigkeit dabei besteht in der Berücksichtigung vielfältiger Randbedingungen aus Forderungen an die Tragsicherheit, die Bauphysik und den Brandschutz, die gleichzeitig erfüllt werden müssen, um ein mangelfreies Bauwerk zu erstellen. In vielen Fällen widersprechen sich die Anforderungen aus den einzelnen Bereichen, so dass Kompromisse geschlossen werden müssen.

Dies führt bei vielen Planungsbüros, insbesondere bei jenen, die bisher wenig mit Holz gebaut haben, zu einem erhöhten Zeit- und Kostenaufwand gegenüber den anderen Konstruktionsarten. Zudem besteht das Risiko, dass u. U. sogar mangelhafte Details zur Ausführung kommen.
Beide Effekte sind der gewünschten zunehmenden Verbreitung der Holzbauweise abträglich.

Ähnliche Bedingungen gelten auch für die Ausführung der Holzbauarbeiten. Der Anteil der Kosten für die Konstruktion der Verbindungen an den Erstellungskosten eines Gebäudes ist sehr hoch.

An den genannten Handicaps konnten auch die immer stärker voranschreitenden Automatisierungen bei Planung und Ausführung nur teilweise etwas ändern.

Ein Durchbruch ist nur zu erwarten, wenn es gelingt, standardisierte Verbindungen mit klar definierten Eigenschaften zu schaffen.

Im Stahlbau gibt es schon seit Jahrzehnten eine Lose-Blatt-Sammlung mit standardisierten Verbindungen mit Angaben zu deren Tragfähigkeiten.

Dies lag im Stahlbau näher als im Holzbau.

- Im Stahlbau gibt es fast von Anbeginn an Standard-Profile.
- Das Hauptanwendungsgebiet von Stahl liegt nicht im Wohnungsbau.
- Bauphysikalische Belange können in vielen Fällen von den Maßnahmen für die Tragfähigkeit abgekoppelt werden.
- Es gibt nur wenige gebräuchliche Verbindungsmöglichkeiten – Schweißen und Schrauben – und die sind sehr einfach.
- Die Mittel für die Verbindungen liegen in der Hand der Stahlbaubetriebe und nicht bei einer Zubehörindustrie.

Mit der Schaffung von Standardquerschnitten für Vollholz und Brettschichtholz wurde in Richtung Standardisierung ein erster, wichtiger Schritt getan. Der zweite wichtige Schritt bestand darin, die Standardquerschnitte mit zugesicherten Eigenschaften, vor allen Dingen trocken, z.B. als Konstruktionsvollholz (KVH) lagermäßig anzubieten. Das trockene und damit weitgehend maßhaltige Holzbauteil eignet sich auch wesentlich besser für die Verarbeitung auf einer Abbundanlage. Zudem wird die erforderliche Passgenauigkeit für Stahlblechformteile gewährleistet.

Gegen die Standardisierung von Vollholz haben sich seinerzeit die Verbände der Sägeindustrie über viele Jahre gewehrt. Kleinere Sägewerke, deren Interessen die Verbände auch vertreten mussten, sahen ihre Stärke und damit auch ihre Konkurrenzfähigkeit gegenüber den großen dar-

in, jeden beliebigen Querschnitt , einzuschneiden. Somit wurde auch mit jedem beliebigen Querschnitt geplant und für die erforderlichen Verbindungen das „Rad täglich neu erfunden".

Holz ist leider (noch) nicht schweißbar. Auch ansonsten gibt es für den Holzbau wesentliche Unterschiede in den Bedingungen gegenüber dem Stahlbau.

- Das größte Anwendungsgebiet des Holzbaus ist der Wohn- und Verwaltungsbau.
- Hier müssen größtenteils Belange von sowohl der Tragfähigkeit, als auch der Bauphysik und des Brandschutzes an gleicher Stelle berücksichtigt werden.
- Leistungsfähige Verbindungen erfordern meist mittelbar stählerne Verbindungsteile. D.h. die zu übertragenden Kräfte werden nicht mit einem Verbindungsmittel von Holz zu Holz übertragen, sondern von Holz über Stahl zu Holz.
- Dadurch bedingt gibt es sehr viele genormte oder zugelassene Möglichkeiten, die zu einem großen Teil, zumindest für Wohn- und Verwaltungsbauten, von einer Zubehörindustrie angeboten werden.

Die Notwendigkeit der Standardisierung von Verbindungen wurde schon vor langer Zeit erkannt.

In 2001 wurde ein Forschungsvorhaben mit dem Titel „Standardisierung und Typisierung von Anschlüssen und Verbindungen zur Rationalisierung der Planung und Fertigung im Holz- Wohnhausbau" fertig gestellt, das mit Mitteln des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung über die Deutsche Gesellschaft für Holzforschung finanziert wurde.

Ergebnis dieses Vorhabens ist eine Plattform für standardisierte Verbindungen, die über Internet für alle Planer frei zugänglich ist.

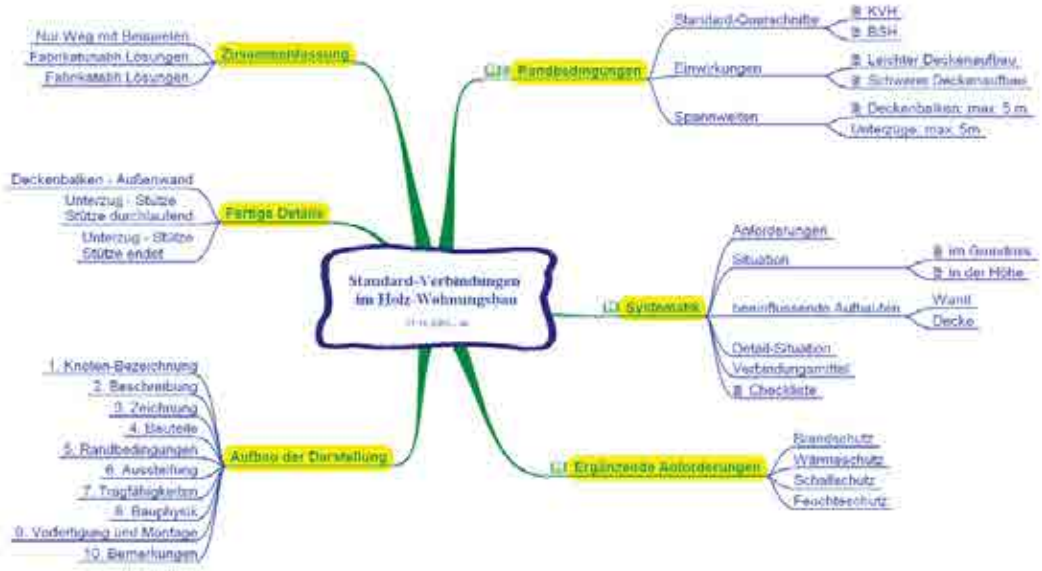


Abb. 1: Standard-Verbindungen im Holz-Wohnungsbau [Forschungsbericht]

Zitat aus einem Zwischenbericht des Vorhabens:
„Das Forschungsvorhaben hat zum Ziel, Verbindungen und Anschlüsse zu entwickeln, zu recherchieren, zu sammeln, die den jeweils gestellten Anforderungen genügen und als Standardlösungen genutzt werden können.

Die gesuchten, funktionierenden Details sollen anhand der im Einzelfall gestellten Anforderungen schnell, einfach und zielgerichtet gefunden werden können. Der Planungsaufwand wird bei gleichzeitig größerer Planungssicherheit reduziert. So können Holzkonstruktionen auch für Planungsbeteiligte, die bisher dem Baustoff Holz mangels Erfahrung eher skeptisch gegenüberstehen, sowohl für Bauherren als auch für Planer besser erschlossen werden**.“**

Das erarbeitete Programm wird mit Abb. 1 aus dem Vorhaben deutlich. Es stellte sich heraus, dass sich bei einem einfachen zweigeschossigen Einfamilienhaus über 500 unterschiedliche Anschlusssituationen ergeben, für die es jeweils mehrere Alternativen an Verbindungen gibt.

Um dem Anwender einen schnellen Überblick über die erfassten Möglichkeiten in der jeweiligen Situation zu verschaffen, wurde eine Datenbank erstellt, in die Firmen Ihre Produkte mit deren spezifischen Eigenschaften einstellen können. Diese Datenbank soll für die Planer frei zugänglich über das Internet nutzbar sein. Das Einstellen und Pflegen der Daten soll durch die Gemeinschaft der Anbieter erfolgen.

Bei einem Treffen von potenziellen Anbietern stellte sich dann heraus, dass die meisten von ihnen an der Präsentation ihrer Produkte über diese Datenbank zwar interessiert sind, aber nicht bereit, die dazu erforderlichen Arbeiten selbst zu finanzieren.

Der Markt für fast alle Produkte rund um den Holzbau ist relativ klein und jeder Anbieter hofft, Produkte mit einem Alleinstellungsmerkmal anzubieten. Über die geplante Datenbank wären seine Lösungen, sowohl von der Leistungsfähigkeit als auch von den Kosten her, direkt vergleichbar mit allen erfassten Angeboten seiner Mitbewerber. Auch das könnte ein Grund für die Zurückhaltung der Anbieter gewesen sein.

An dem für das Forschungsvorhaben gesteckten Ziel sollte festgehalten werden. Die Akzeptanz des Baustoffes Holz bei den Planern wird wesentlich steigen, wenn die Unterschiede im Planungsaufwand gegenüber anderen Baustoffen, durch Bereitstellen ausgereifter Hilfsmittel verringert oder gar in das Gegenteil verwandelt werden.

Dies ist umso wichtiger, da die Planer als Multiplikatoren zu betrachten sind. Bei der Auswahl der Baustoffe haben sie einen wesentlichen Einfluss auf die Bauherren und wer überzeugt seinen Kunden schon gerne von einer Lösung, bei der er weniger verdient.
Eine Beschränkung auf weniger Angebote könnte die Lösung sein, d.h. Beschränkung auf wenige sehr leistungsfähige Verbindungen und Exklusivrechte für deren Anbieter. Doch diese Möglichkeit würde einen Eingriff in das Marktgeschehen bedeuten.

Bewegung in dem Markt der Verbindungsmittelanbieter bringen Forschung und Entwicklung von Anwendungsmöglichkeiten für selbstschneidende Holzschrauben und eingeklebte Stifte. Schon heute können viele Verbindungen sehr kostengünstig durch diese, meist sehr einfach herzustellenden Schraubenverbindungen, ersetzt werden.

Das führt zu einer Reduktion auf sehr einfache Lösungen, so wie oben erwähnt, im Stahlbau. Damit ist es auch wesentlich leichter, standardisierte Verbindungen so übersichtlich für den An-

wender anzubieten, wie im Zusammenhang mit dem genannten Forschungsvorhaben gehofft hatte.

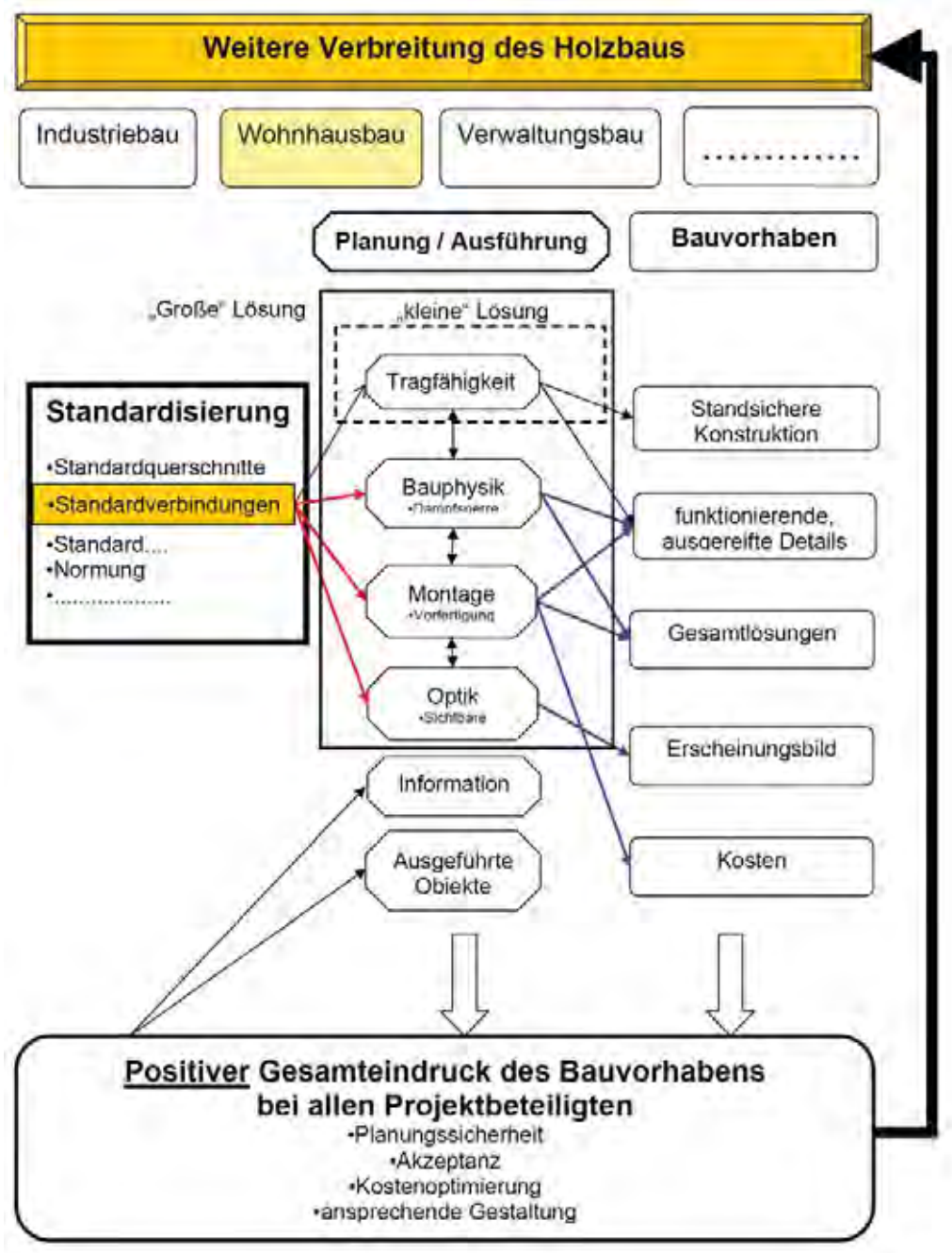


Abb. 2: Diagramm zur Beurteilung von Verbindungsmittel

6.2 Produktionsverfahren
Standardisierung am Beispiel Schweden

Anja Niemeier, Ludger Dederich

„Über die Rationalisierung üblicher Bauverfahren hinaus müssen wir die Industrialisierung des Bauens als die wirtschaftlichste, aber auch kapitalintensivste Form der Bauproduktion akzeptieren und Schritt für Schritt vorbereiten. Diese Form stellt eine neue Phase der bauökonomischen Entwicklung dar."
Lauritz Lauritzen, Bundesminister für Städtebau und Wohnungswesen zur Eröffnung der DEUBAU 1971

1 Rahmenbedingungen der Entwicklung des Bauwesens in Schweden in den ersten 75 Jahren des 20. Jahrhunderts

In den 1930er Jahren beschloss die regierende Sozialdemokratie die Modernisierung Schwedens. Konkret bedeutete dies, eine bis dahin noch vorwiegend agrarisch geprägte Gesellschaft in eine Industriegesellschaft zu wandeln. Inspiriert durch den „radikalen Rationalismus" legte die Regierung „Die großen Programme" auf, die aus einer Reihe von Reformen bestanden, welche wiederum mittels systemanalytischer Planungstechnik durchgeführt wurden. Ziel und Ergebnis dieser Programme war das „folkhemmet" (gemeinhin mit „Volksheim", besser mit „Wohlfahrtsstaat" übersetzt; Anm. der Autoren). Die im 20. Jahrhundert umgesetzten Maßnahmen haben ihre Ursprünge in der Arbeit des Pauperismus-Komitees, das 1865 anlässlich einer Choleraepidemie vor dem Hintergrund des starken Bevölkerungswachstums in den Jahren 1810 bis 1850 bei gleichzeitig einsetzender Industrialisierung sowie Landflucht die Lebensumstände in Göteborg untersuchte [1].

Resultierend aus den Bedingungen der 1940er Jahren führten die Konsequenzen der großen Programme (wirtschaftliche Expansion, deren Motor die Exportwirtschaft, und hier insbesondere die Metall verarbeitende Industrie war) über einen beschleunigten Prozess der Urbanisierung zu einem erheblichen Wohnungsmangel bzw. Wohnungsbaubedarf. Mit dem Baugesetz von 1959 schuf man daher einheitliche nationale Regeln, und gründete 1960 den Byggforskningsrådet (Staatlicher Rat für Bauforschung). Beide Instrumente, letzteres vorrangig technisch ausgerichtet, wurden mit dem Ziel etabliert, das Bauen und das Bauwesen zu rationalisieren. Aber auch scheinbar nebensächliche Aspekte wurden genauestens untersucht: Das Institut zur Erforschung der Hausarbeit ermittelte und vermaßte den Platzbedarf für die verschiedenen Arbeitsabläufe im Haushalt [2].

Als das größte der Programme wurde vor diesem Hintergrund im zentralistisch strukturierten Schweden das Wohnungsbauprogramm „Miljonprogrammet" aufgelegt. Damit war der Bau von 1 Million Wohnungen für den Zeitraum von 1965 bis 1974 beabsichtigt. Dieses Programm mit seinem zentralistischen Charakter war im Wesentlichen darin begründet, dieses kontrolliert in die Volkswirtschaft einzubinden ohne die Überhitzung der Wirtschaft oder den Wettbewerb verschiedener Wirtschaftsbereiche um die verfügbaren Arbeitskräfte auszulösen.

Umgesetzt werden sollten dabei unterschiedliche Grundrisslösungen, die mehr oder weniger zentral vorgegeben in jedem einzelnen Projekt umgesetzt werden sollte:
- 10% 1-Raum-Appartments,
- 30% 2-Zimmer-Wohnungen,
- 50% 3-Zimmer-Wohnungen und
- 10% 4-Zimmer-Wohnungen [3].

Die Lösung der Aufgabe war die Industrialisierung des Bauwesens durch Systematisierung und Mechanisierung. Folge dieses, insbesondere seitens der Unternehmen mit Vehemenz betriebenen Prozesses, war, dass die Architektenschaft Schritt für Schritt ihre Position im Gefüge der am

Bau Beteiligten verlor. Den Unternehmen gelang es, sich als führende Wohnungsbauplaner und -bauer sowie als Verwalter zu etablieren. Dabei wurde ihrerseits zurückgegriffen auf die Prinzipien des Generalunternehmertums [4], der geschlossenen Systeme (Patente) sowie des Großmaßstabs.

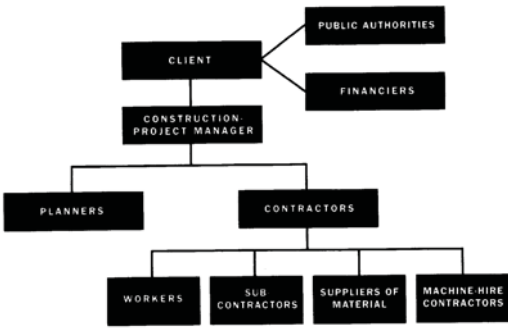


Abb. 1: Konstellation der am Bau Beteiligten [2]

Technologisch wurde dabei auf Erfahrungen zurück gegriffen, die noch im Zusammenspiel mit Architekten gewonnen worden waren, die ihre gestalterischen Grundssätze aus dem Funktionalismus ableiteten (z.B. Ralph Erskine mit sechs Wohnblock in Växjö in Betonfertigteilen oder Hjalmar Klemmings 2-geschossige Reihenhäuser in Vällingby) [5]. Die Zeit der Baumeister aber war mit dem Beginn des Miljonprogrammet zu Ende gegangen. Ebenso beendet wurde die Ära, in der sich der Blick mitteleuropäischer Architekten gen Norden wandte, wenn es galt, Orientierung im Umgang mit Herausforderungen im Diskurs von Tradition und Moderne zu finden [6].

Kritik an der gewählten Form der Umsetzung des Millionenprogramms ließ nicht lange auf sich warten, waren doch die Ergebnisse großmaßstäblicher, gleichförmiger Wohngebiete mit mehrgeschossigen Plattenbauten in Großstadtvororten mit wenig ambitionierter Formensprache bzw. -vielfalt verbunden mit in der Folge erheblichen, unmittelbaren sozialen Problemen. Bereits 1966 waren kritische Stimmen zu den Ergebnissen und

Abb. 2: Kv Lassaskog in Växjö, Architekt: Ralph Erskine (1954) [7], Foto: Autor Auswirkungen auf die Bewohner im Besonderen,

die Städte wie die Gesellschaft im Allgemeinen zu vernehmen. Kristallisationspunkte waren insbesondere das siebzehngeschossige Punkthaus sowie der elfgeschossige, bogenförmige Plattenbau im nordöstlich von Stockholm gelegenen Täby. Björn Linn schrieb dazu: „Für die nächsten Jahrzehnte werden sie (die Bauten des Millionprogramms; Anm. der Autoren) Zeugnis dafür ablegen, was in einer Zeit der Wohnungsnot alles gebaut und vermietet werden kann.“ [8]. Diese Bauten waren der intensiv diskutierte Versuch, „die neue Monumentalität“ zu schaffen, von der Siegfried Giedion meinte, das Tempo des Automobils erfordere diese. Die sozialen wie baugeschichtlichen Nach- und Auswirkungen der gebauten Fakten des Millionenprogramms werden nicht nur bereits seit einigen Jahren in der Fachwelt dargestellt und erörtert [9], sondern bieten in nicht geringerem Umfang Schriftstellern den Hintergrund für ihre z.T. deutlich sozialkritischen

Erzählungen und Romane, in denen eine Gesellschaft präsentiert wird, die nach der Lektüre der Werke von Astrid Lindgren irritiert [10].

Dabei findet sich die typische Bebauung dieses Programms in kleinen und mittelgroßen Gemeinwesen und besteht aus dreigeschossigen Wohnungsbauten als 2- oder 3-Spänner. Von diesen ist eine nicht genau zu beziffernde Anzahl in Mischbauweise (d.h. in Schottenbauweise in Kombination mit Holzbauteilen für die vertikalen Teile der Gebäudehülleerrichtet) worden [11].

Wie im Programm vorgesehen, wurden in den Jahren bis 1975 1 Million neuer Wohnungen errichtet.

2 Verwendung von Holz im Bauwesen in Schweden

2.1 Waldfläche, Baumartenverteilung, Waldbewirtschaftung bzw. Forst- und Holzwirtschaft

Etwa die Hälfte der schwedischen Landfläche (knapp 450.000 km²) ist mit Wald bedeckt. Die gewöhnlichsten Baumarten sind Fichte (Picea abies; 42%) und Kiefer (Pinus silvestris; 38%), die etwa 85% des Bestandes ausmachen. Lärche (Larix decidua) macht nur einen kleinen Teil des Vorkommens an Nadelholz aus. Die restlichen Nadelholzarten sind für das Bauwesen von deutlich nachgeordneter Bedeutung. Den restlichen Teil des Bestandes stellen Birke (Betula pubescens bzw. Betula pendula; 11%) und Espe, aber auch Buche (Fagus silvatica) und - geringfügig ökonomisch relevant - Eiche (Qercus robur bzw. Qercus petraea). Die übrigen Laubbaumarten sind nur für das Kunsthandwerk sowie die Möbel- und Werkzeugindustrie von Bedeutung [12].

Die schwedische Waldwirtschaft ist heute bei durchaus heterogen zu nennenden Eigentumsverhältnissen bzw. -anteilen von einer industriell-großmaßstäblichen, ganzjährigen betriebenen

Abb. 3: Waldsituation in Roslagen, Foto: Autor

Bewirtschaftung geprägt, die in der Vergangenheit handwerklich, kleinmaßstäblich und in Abhängigkeit von den Jahreszeiten bestimmt gewesen ist. Aktuell sind große Waldflächen Schwedens angelegte Fichten- und Kiefern-Monokulturen. In Südschweden ist ein angelegter Fichtenbestand nach etwa 60 Jahren hiebreif, während im Norden des Landes ein solcher doppelt so alt werden muss, bevor er geerntet werden kann. Seit einiger Zeit wird innerhalb der Forst- und Holzwirtschaft Schwedens, aber auch darüber hinaus, diskutiert, in wie weit sich behaupten lässt, dass nicht zuletzt die veränderten Waldbaumethoden zu einer Verschlechterung der Schnittholzqualitäten geführt hat [13].

Die Forst- und Holzwirtschaft spielt in der schwedischen Volkswirtschaft eine relativ deutlich größere Rolle als in den übrigen EU-Mitgliedsländern (mit Ausnahme Finnlands). Auf 10 bis 12% be-

läuft sich der Anteil der Forst- und Holzwirtschaft an Industrieproduktion, Umsatz und Wertschöpfung, in einigen Regierungsbezirken steht die Forst- und Holzwirtschaft für 20 % und mehr der regionalen Industrieproduktion. Der Anteil am schwedischen Warenexport beträgt 11% [12].

Während des 20. Jahrhunderts war die Waldbewirtschaftung Schwedens schwerpunktmäßig zu Ungunsten der Laubholzbestände auf die Produktion von Fichte und Kiefer ausgerichtet. Aus verschiedenen Gründen hat im Hinblick auf die Bedeutung der Laubhölzer ein Umdenken eingesetzt, das in seinen Konsequenzen bei Aufforstungen im Bestand und von ehemals landwirtschaftlich genutzten Flächen zu erkennen ist.

3 Technologische Entwicklungen

3.1 Entwicklung der Sägewirtschaft

Die technologische Entwicklung und Struktur der Sägewirtschaft Schwedens entspricht der Entwicklung und der Situation in Mitteleuropa. Mitte des 19. Jahrhunderts wurde die manuelle Verarbeitung von Rundholz zu beschnittener Ware abgelöst durch die Einführung maschinenbetriebener Anlagen. Somit wurde in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts die Produktpalette der Sägewerke bis hin zu Hobelware erweitert.

In Schweden gibt es ca. 3.000 Sägewerke (bei ca. 9,1 Millionen Einwohnern), doch trägt die Mehrzahl in nur geringem Umfang zur gesamten Schnittholzproduktion bei. Die Sägewirtschaft bzw. die Schnittholzproduktion wird von etwas mehr als 10 Unternehmen dominiert. Entsprechend breit aufgefächert ist der Ausstattungsstatus der Sägewirtschaft, was wiederum Auswirkungen auf das bereit gestellte Sortiment sowie die optische wie mechanische Qualität der Schnittholzprodukte hat. Darüber hinaus entspricht die Unternehmensstruktur bzw. die Verteilung der Unternehmen der Forst- und Holzwirtschaft nach Größe den Verhältnissen in Deutschland. Die holzverarbeitenden Betriebe z.B. im waldreichen Småland haben im Durchschnitt 10 Mitarbeiter [14]. Nur so ist zu erklären, dass eine aktuelle Studie für die Holzwirtschaft in Schweden feststellt, dass es mit Blick auf die Bauindustrie als Partner nicht ausreicht „gerade Ständer und Deckenelemente“ liefern zu können. Für einen Anfang sei das ganz gut, aber es würde nicht reichen [15].

Bereits 2000 war allerdings in einer Untersuchung des schwedischen Wirtschaftsministeriums festgestellt worden, dass der gesamte Bausektor von einem nur gering ausgeprägten Grad an Erneuerung bzw. Verbesserung von Produkten und Produktionsprozessen geprägt sei. Mit Blick auf die sonstige Industrie und deren Produktivitätsentwicklung zwischen 1965 und 1996 im Umfang von 2,9% pro Jahr wird bezogen auf die Bauwirtschaft im gleichen Zeitraum eine Steigerung von nur 1,7% pro Jahr konstatiert [16].

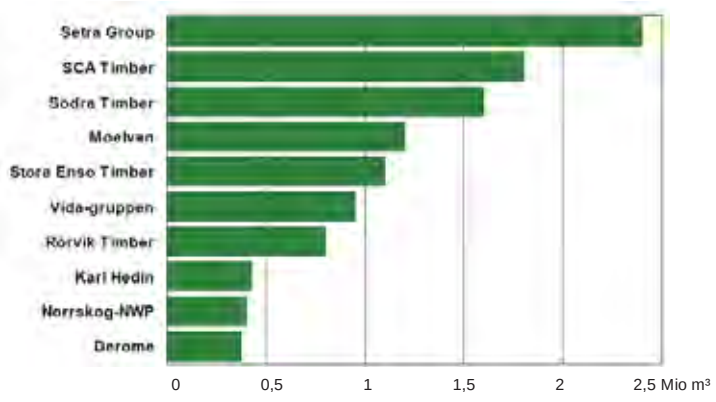


Abb. 5: Schwedens größte Produzenten Schnittholzprodukten aus Nadelholz, 2006 [12]

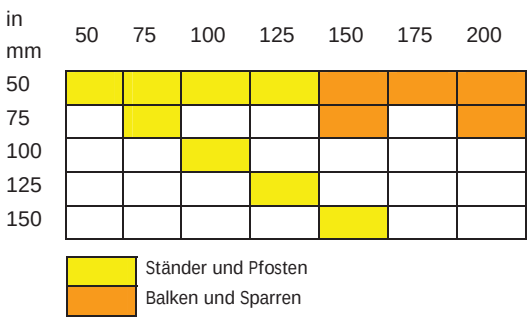
Die Palette der relevanten Vollholzprodukte entspricht in wesentlichem Umfang dem uns bekannten:

- Rundholz
- Latten
- Bretter (d ≤ 50mm) und Bohlen (d ≥ 50mm)
- sägeraues Bauschnittholz mit individuellen Abmessungen
- sägeraues Bauschnittholz mit standardisierten Abmessungen
- grob gehobeltes Bauschnittholz (einseitig fein gehobelt)
- Konstruktionsvollholz
- Brettschichtholz

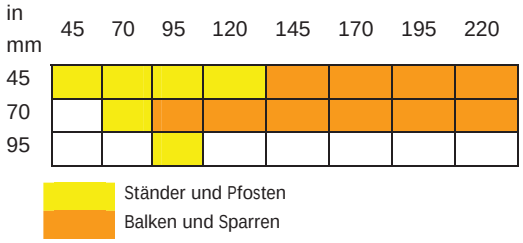
Die Standardabmessungen konstruktiver Vollholzprodukte gründen in Schweden mit der Basis 1 Zoll (1“ = 25,4 mm; engl: inch, schwed.: tum) auf dem angelsächsischen Maßsystem. Es finden sich noch Handwerker, die Gliedermaßstäbe nutzen, auf denen die metrische Skala auf der einen Seite, die Skala auf der Basis Zoll auf der anderen Seite vorhanden ist.

Aus der Standardabmessung 50 x 100 mm (2“ x 4“; two-by-four) für sägeraues Bauschnittholz abgeleitet stehen flächendeckend (z.B. über den Baustoffhandel) die in den Tabellen 1 und 2 dargestellten Vorzugssortimente für sägeraues Bauschnittholz bzw. Konstruktionsvollholz zum Einsatz im Bauwesen zur Verfügung [17]:

Tab. 1: Vorzugsabmessungen für sägeraues Bauschnittholz

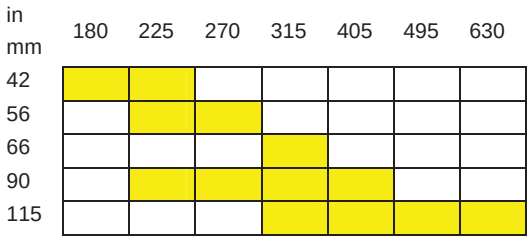


Tab. 2: Vorzugsabmessungen für Konstruktionsvollholz



Bei statisch notwendig größeren Abmessungen werden entweder die Standardquerschnitte z.B. in einem Wandaufbau oder als Obergurt einer Binderkonstruktion verdoppelt oder ggf. vervielfacht (die Verbindung zwischen den einzelnen Teilhölzern erfolgt mechanisch) oder aber es werden Brettschichthölzer eingesetzt. Dabei basieren die Höhenmaße für die Vorzugsabmessungen auf einer Lamellendicke von d = 45mm (siehe Tab. 3):

Tab. 3: Vorzugsabmessungen für Brettschichtholz [18]



3.2 Entwicklung der schwedischen Holzbautechnologie

Im Bezug auf den traditionellen Holzbau werden in Schweden drei Bauweisen unterschieden, die ihre spezifischen Ausprägungen vor dem Hintergrund der Verfügbarkeit des Rohstoffs Holz erfuhren. Der materialintensive Blockhausbau konnte in den Regionen (z.B. Svealand, Småland und Norrland) umgesetzt werden, in denen scheinbar unbegrenzt Nadelholz (insbesondere Kiefer) zur Verfügung stand. In den Laub- und Mischwaldregionen Götalands sowie auf Öland und Gotland entwickelte man den Blockbohlen-

bau weiter und im waldarmen Skåne (Schonen) fand der Fachwerkbau Anwendung [19].

Abb. 6: Detail der großen Scheune von Kista Hembygdsgård auf Väddö, Foto: Autor

Abb. 7: Rathaus in Mariefred (1784 errichtet vom Hofchirurgen Lars Grubb)

Aufbauend auf der sich über Jahrhunderte angesammelten Erfahrung versuchte sich zu der Zeit als das Empire die schwedische Architektur stark beeinflusste Fredrik Blom (1781 bis 1853) mit vorgefertigten Holzbaukonstruktionen und -häusern. Als ausgebildeter Zimmerer, Offizier und Architekt gleichermaßen wurde sein Schaffen von der Planung und Errichtung militärischer Bauten dominiert. Vor diesem Hintergrund steht der Anstoß durch König Karl XIV. Johan aufgrund des Bedarfs an schnell zu errichtenden, dabei transportablen Gebäuden. Dafür entwickelte Blom Gebäude aus Bauteilen mit zwei Brettlagen (die äußere Lage war lotrecht, die innere Lage waagerecht angeordnet) und einer zwischen den Lagen angeordneten Windpappe(!). Decken- und Dachkonstruktion waren ebenfalls auf diese Weise aufgebaut. Zudem waren die Gebäude mit mobilen Kachelöfen und – wenn nötig – Wendeltreppen ausgestattet. Bloms Entwicklung wurde für die Errichtung von Pavillions und Lusthäusern unterschiedlicher Größe genutzt. Die Gestaltung der Fassaden war vom Empire geprägt, ergänzt um klassische Details. Da der König ein emsiger Auftraggeber war, waren die „Blomschen Häuser" schnell à la mode. Nicht zuletzt die königliche Nachfrage veranlasste Blom, einer der produktivsten schwedischen Architekten seiner Zeit, eine eigene Werkstatt für die Produktion einzurichten, von der die Bauteile und Bauten u.a. nach Frankreich und Russland exportiert wurden. Vermutlich wurden bis in 1840er Jahre hinein wahrscheinlich mindestens 150 Gebäude produziert. Bekannt ist das kleine Lusthaus, das im Freilichtmuseum Skansen in Stockholm steht, und auf seinem Weg dorthin mindestens dreimal versetz wurde. Nach Bloms Tod wurde seine Architektur als trocken und fantasielos bewertet, doch waren seine technischen Lösungen wesentlich im Hinblick auf die Haltung der Nation zum Bauen am Beginn des Übergangs von der Agrar- zum Industriegesellschaft [20].

Daneben übte Charles Emil Löfvenskiöld (1810 bis 1888) Einfluss auf die Standardisierung im Holzbau Schwedens aus. Er veröffentlichte Musterbücher nach mitteleuropäischem Vorbild für die Gestaltung beispielsweise von Holzfassaden und -balkonen. Daraus abgeleitet sind im schwedischen Sprachgebrauch zwei Begriffe: Bei aufwändigen, verschnörkelten Applikationen rund um Fensteröffnungen spricht man vom „snickarglädje" (Schreinerglück) und bei entsprechenden Verzierungen an Balkonen vom „Schweizerstil". Seine formale Haltung ist der Neorenaissance zuzuordnen und wurde von Zeitgenossen teilweise heftig als unschwedisch kritisiert. Seine Bauten realisierte Löfvenskiöld in erster Linie im ländlichen Raum, zu der Zeit, die in

Schweden als die der Agrarrevolution bezeichnet wird. Zu seinem Werk gehören keine öffentlichen Bauten, sondern zahllose landwirtschaftliche Bauten in bis dahin nicht gekannter Größe und Form, bei denen er Pfosten-Träger- (oder Binder-) Konstruktionen umsetzte, die leicht wirkten und bei geringem Materialeinsatz große Spannweiten überbrückten. Seine Entwürfe wurden in (Fach-) Zeitschriften veröffentlicht, wodurch die konzeptionellen Ansätze Löfvenskiölds landesweite Verbreitung fanden. Zusätzlich etablierten sich landwirtschaftliche Ausstellungen, in deren Rahmen Löfvenskiöld seine Pläne nicht nur für einzelne Gebäude sondern - im Sinne von Masterplänen - auch für ganze Hofanlagen vorstellen konnte. Die Verbreitung seiner Ansätze erfuhr zusätzliche Unterstützung aus dem Umstand, dass auf dem Land traditionell nach gemeinsamen Vorbildern gebaut wurde. Pläne der Baumeister wurden oftmals unverändert übernommen, und da Löfvenskiölds Pläne ausgefeilt angeboten wurden, waren die Voraussetzungen für eine - wenn auch unkoordinierte - Serienfertigung bei nur geringfügigen Modifikationen gegeben. Die Bedeutung des Schaffens Löfvenskiölds über den ländlichen Raum hinaus lässt sich daran erkennen, dass die Scheune, die er für das Gut Ryholm entworfen hatte, 1866 mit dem 1. Preis der großen Industrieausstellung in Stockholm ausgezeichnet wurde.

Grundlage für die Umsetzung der Entwürfe Löfvenskiölds zu multifunktional angelegten Zweckbauten schuf die technologische Entwicklung in den Sägewerken sowie der Verbindungsmittel: Schnittholz konnte dank maschinengetriebener Gatter nunmehr in „feineren“ Abmessungen mit größeren Längen in großer Menge, dabei vergleichsweise maßhaltig hergestellt und geliefert werden. Und die metallverarbeitende Industrie Schwedens stellte in großem Stil Schrauben und Bolzen mit Gewinde und die dazu gehörenden Muttern her. Insbesondere für die von Löfvenskiöld entworfenen Wohnbauten ist die industrielle Fertigung von Glas von nicht geringerer Bedeutung. Auf diese Weise konnten große Belichtungsöffnungen realisiert werden, die der ländlichen Bevölkerung bislang aus ökonomischen Gründen verwehrt geblieben waren, und nun ein vollkommen neues Raumerlebnis ermöglichten. Beigetragen zu der rasanten Verbreitung von Löfvenskiölds Ideen hat nicht zuletzt der Ausbau des Eisenbahnnetzes in Schweden. Auf den Schienen konnten Baumaterialien wie Schnittholz, Glas, Farbe und Baubeschläge von den Produktionsstandorten schnell und leicht in den ländlichen Raum transportiert werden [21].

3.3 Entwicklung im 20. Jahrhundert

Eine als solche zu bezeichnende technologische Entwicklung von ernstzunehmenden Ansätzen zu standardisierten Lösungen für den Holzbau ist in Schweden seit den 1920er Jahre festzustellen. Zuvor, etwa ab 1900, wurden die formalen Anliegen der Nordischen Romantik (die nordeuropäische Variante des Jugendstils) mit traditionellen Holzbautechniken umgesetzt. Galt es doch, angesichts einer ins Ungewisse laufenden technologischen wie sozialen Entwicklung, einem jungen Nationalbewusstsein Bezugspunkte aus der Vergangenheit in die Gegenwart zu transferieren. Von daher sind Ausführung und Erscheinung der prominenten Holzbauten (u.a. die Villa Tallom in Stocksund von Wahlman, 1904) jener Zeit an den traditionellen Blockhausbau angelehnt.

Angesichts unhaltbarer Wohnverhältnisse insbesondere in den Städten wurden in den Jahren nach dem 1. Weltkrieg staatliche Instrumente (u.a. Statens byggnadsbyrå) eingerichtet, um breiten Bevölkerungsschichten Wohneigentum in Form von Einfamilienhäusern zu ermöglichen. Dazu wurden ebenfalls zentral Typenhäuser entwickelt, zu deren Umsetzung sowohl die Sägewerke wie auch die Möbelhersteller ihre Produktionsmethoden weiter entwickelten und ihre Pro-

dukte mit dem Ziel einer weitgehenden Vorfertigung aufeinander abstimmten. So nahmen das Unternehmen BORO-Hus 1920 und das heute noch am Markt agierende Fertighausunternehmen Myresjöhus 1927 den Betrieb auf [22].

Abb. 8: Die Abstimmung zwischen Möbel und Gebäude auf die Spitze getrieben: Das IKEA-Prinzip BoKlokt in Växjö, Foto: Autor

Die Architekturprotagonisten des Funktionalismus setzen auf den Holzbau und die Kombination von Vollholzprodukten und Holzwerkstoffen (hier insbesondere Sperrholz), aber nur zu dem Zweck, die Formensprache ihrer Architektur zu betonen. Die Materialität der Bauten spielte nicht mehr die zuvor noch deutlich herausgestellte Rolle. Die Holzbautechnik entwickelte sich hin zu einfacheren, leichteren Konstruktionen. Amerikanische Anregungen bezogen auf den Rahmenbau wurden aufgegriffen, und in geringem Umfang Variantenvielfalt bei der Fassadengestaltung bzw. der Wahl des Fassadenmaterials geübt. Aus dieser Zeit rührt nicht zuletzt die Anlehnung der Vorzugsabmessungen für die Sägeprodukte. Der Vereinheitlichung der Sägeprodukte folgte unmittelbar die Standardisierung der Holzbaunebenprodukte: die Konfektion der Dämmstoffe wie die Abmessungen der Plattenwerkstoffe zur Bekleidung der Rahmenkonstruktionen, was insgesamt zu einem Rationalisierungsschub im Bauwesen beigetragen hat [23].

Relikt dieser Zeit ist die staatliche Gesellschaft SMÅA, die seit 1927 Selbstbaugruppen fördert, betreut und finanziert. Dabei sorgt SMÅA für die Baureife und Erschließung der Grundstücke, der Rest wird von den Bauherren in Abstimmung mit der Projektleitung in Eigenleistung erstellt, für die sich der Holzbau als Leichtbau besonders eignet [24, 25].

Parallel zum Prinzip des Holztafelbaus wurde bereits in den 1930er und 1940er Jahren das Bauen mit Modulen diskutiert und entwickelt. Ziel war, die Baukosten zu senken. Pate stand der Gedanke, den Industrialisierungsgrad anderer Produktionen (Schuhe, Kleider, Autos) auf das Bauen übertragen zu können. Dieser Anspruch führte zur Einrichtung der Baustandardisierung (BST) und baute auf der Vision auf, ein für das gesamte Bauwesen einheitliches Maßsystem zu schaffen, das gleichzeitig Raum lässt für architektonische Vielfalt. Mitte der 1950er Jahre konstatierten die Architekten, dass ihnen der Prozess aus den Händen zu gleiten drohe, und es zeichnete sich das Szenario ab, dass allein die Ingenieure und Bauunternehmen die Bedingungen in der Zukunft bestimmen würden. Letztendlich haben die Architekten die Entwicklung zwar vorausgesehen, aber nicht aufhalten können.

1953 begann das Unternehmen Elementhus mit der Produktion von Modulen in Holzbauweise zur Errichtung von Einfamilienhäusern. Zu Beginn beschränkte man sich bei der Vorfertigung auf die Tragkonstruktion, erst später ergänzte man den Rohbau um verschiedene Ausbauelemente. Ein Argument war, das es unnötig sei, Luft zu transportieren [26]. Mittlerweile werden Gebäude in Modulbauweise oberflächenfertig montiert, so dass bauseits nur noch die Modulstöße bearbeitet werden müssen.

Nach 1945 kamen die konkurrierenden Baustoffe stärker auf, insbesondere Beton, bevor in den sechziger Jahren mit dem modernen Holzskelettbau eine Renaissance des Holzbaus einsetzte. Sein Anteil im Wohnungsbau stieg ziemlich rapide auf 60% bei den Einfamilienhäusern. Maßgebend für diese Entwicklung war nicht so sehr, wie in Mitteleuropa, die verstärkte Suche nach ökologischen, gesünderen Lösungen bzw. Bauweisen. Die technischen Vorteile des Holzbaus als da sind Anpassungsfähigkeit, Variabilität sowie der frühzeitig weit entwickelte Vorfertigungsgrad, die in der Konsequenz präzise Ausführung und das seinerzeit relevante Argument der „neuen Handwerklichkeit" sowie die vergleichsweise niedrigen Baukosten waren Anlass für diesen Entwicklungsschub.

In der Folge wurden die Produktionen für Holzbauteile weiter industrialisiert. Gleichzeitig wurden die Holzbauweisen verfeinert und optimiert, so dass im Wohnungsbau u.a. NP-Konstruktionen, die hierzulande für Industrie- oder landwirtschaftliche Bauten akzeptiert werden, Verwendung finden. Daran lässt sich ablesen, welche Akzeptanz das Bauen mit industriell vorgefertigten Bauteilen in Schweden hat, da die Vorteile hinsichtlich höherer Flexibilität, geringerem Materialbedarf und kürzerer Montagezeiten auf diese Weise im Sinne ökonomischer Effizienz genutzt werden. Instrumente dieser Optimierung und Rationalisierung sind bereits in den 1970er Jahren die CAD-gestützte Ansteuerung der Abbundanlagen, Montage- bzw. Wendetische bereits in kleineren Holzbauunternehmen, Nagelbrücken u.ä. in Produktionen der Fertighausindustrie, die teilweise bis zu 1.000 Häuser im Jahr herstellten. Dabei sind in Schweden die Abbundanlagen nicht solche im Sinne des im traditionellen Handwerk verwurzelten Selbstverständnis. Im Grunde handelt es sich um Kappsägen, bei denen maximal das Sägeblatt um die Vertikalachse des Blattes gedreht wurde. Das Sägeblatt zur Ausführung von Schifterschnitten neigen konnten und können solche Anlagen nicht.

Allerdings hat die Rationalisierung im Holzbau nicht dazu geführt, in Schweden eine einheitliche Holzrahmenbauweise durchzusetzen. Jedes Unternehmen hat für sich seine spezifischen Aufbauten, Materialkombinationen, Details und Anschlüsse entwickelt. Dies führt u.a. dazu, dass in den Ingenieurbüros, die die Unternehmen der Fertighausindustrie zu ihren Kunden zählt, Mitarbeiter nur bestimmten Kunden zugeordnet werden können, da die Beschäftigung mit den Projekten der Fertighausunternehmen eine umfassendes Wissen mit den unternehmensspezifischen Besonderheiten erforderte. Nicht ohne Respekt wird daher von Schweden aus auf den Holzrahmenbau-Katalog geschaut, der in Deutschland veröffentlicht und als Leitfaden tatsächlich genutzt wurde und wird [27].

Ungeachtet dieses Umstandes sind in diesem Zusammenhang zwei Aspekte von Bedeutung:

- Umgesetzt wurde und wird der Holzrahmenbau seitens der Unternehmen der schwedischen Fertighausindustrie wie der Bauteilfertigung größtenteils in konventioneller Ausfertigung mit einer aussteifenden Beplankung auf der außen- und einer dampfsperrenden Folie auf der Innenseite des lastabtragenden Holzrahmens.
- Die Möglichkeiten zur Verwendung von zeitgenössischen Massivholzbauteilen wie z.B. der Brettstapelbauweise im Hochbau waren in Skandinavien insgesamt nicht so weit verbreitet wie zum gleich Zeitpunkt Mitte der 1990er Jahre im deutschsprachigen Raum. Nach 1994 wurden dann zügig erste Projekte unter Einbindung von Massivholzbauteilen realisiert, so etwa im 5-geschossigen Bürogebäude „Lotsen" (Der Lotse) in Usrviken bei Skellefteå [28]

3.4 Baurechtsnovelle 1994

Mit der Novellierung der Baugesetzgebung im Jahr 1994 nach dem Beitritt Schwedens zur Europäischen Union und der damit verbundenen Einführung des Prinzips der Funktionsanforderungen im Rahmen der Regularien eröffnete sich dem Holzbau ein Marktsegment, das in Schweden über etwa 100 Jahren und den Landshövdingehus für den Holzbau nicht von Bedeutung, weil unmöglich, gewesen ist: mehrgeschossige Gebäude [29, 30, 31].

Als Teil des skandinavischen Nordic-Wood-Projekts „Mehrgeschossige Holzhäuser" entstanden daraufhin in Växjö im Rahmen einer Kooperation von Södra Timber AB (Sägeunternehmen) und Skanska Sydöst AB (Unternehmen der Bauindustrie) ein fünf- und zwei viergeschossige Wohnbauten in Holzbauweise mit insgesamt 52 Wohneinheiten. Unter Verwendung der handelsüblichen Vollholzprodukte (als Standardständer 45 x 120 mm; teilweise als Ständerpakte mit Abmessungen bis zu 315 x 120 mm) wurden die Bauteile in Holzrahmenbauweise in einer Feldfabrik vor Ort vorgefertigt. Zur Realisierung wurde die zuerst gefertigte Dachkonstruktion als ganzes jeweils vom Rohbau genommen, nach Abschluss der geschossweisen Montage wieder auf den Rohbau gesetzt. Durchschnittlich konnte im Laufe einer Woche ein Geschoss rohbaufertig montiert werden. Die brandschutztechnischen Anforderungen an die Tragkonstruktion waren R 90 für das fünfgeschossige Gebäude und R60 für die viergeschossigen Bauten. Für die Aufzugsschächte wurden Rahmenkonstruktionen aus Brettschichtholz gewählt [32, 33].

Abb. 9: Kvarngården, dreigeschossiges Seniorenwohnheim in Holzbauweise in Ingelstad (1994), Foto: Autor

Abb. 10: Wälludden, Architekten: Mattson & Wik Arkitektkontor, 2007, Foto: Autor

3.5 Neue Ziele nach 2000

Erst 2005 wurde in Schweden ein Vorstoß unternommen, auf der Basis der Erfahrungen aus den 1990er Jahre, den Holzbau in neuen Dimensionen zu etablieren. Das prominenteste Vorhaben unter einer stetig zunehmenden Anzahl ambitionierter Projekte ist die Vision der Stadt Växjö, mit dem Projekt „Välle Broar – den moderna trästaden“ Stadtentwicklung unter besonderer Berücksichtigung des Holzbaus zu betreiben. [34] Bislang fertiggestellt wurde im Kontext des Gesamtvorhabens das Projekt Kv Limnologen mit vier achtgeschossigen Wohngebäuden in Holzbauweise.

Abb. 11: Kv Limnologen in Växjö, Architekten: Arkitekt Bolaget, (Bauzustand Juni 2008),

Abb. 12: Kv Limnologen in Växjö (Seeseite Haus 1), Architekten: Arkitekt Bolaget, (Bauzustand Juni 2008)

Innerhalb Schwedens hat zudem ein Projekt für beträchtliche, allerdings eigentumsrechtliche Konsequenzen gesorgt: Im Rahmen des Aufstockungsprojekt „Klara Zenit“ wurde in der Stockholmer City von 2002 bis 2004 ein komplettes Wohnviertel auf der ehemaligen Hauptverwaltung der schwedischen Postbank realisiert. Das Vorhaben konnte aus tragwerksplanerischen Gründen nur in Holzbauweise realisiert werden, so dass in der Folge der Diskurs hinsichtlich „neuer Dimensionen in der Architektur“, „dreidimensionaler Eigentumsbildung“ oder auch „strategischer Bauvorhaben“ mit den Möglichkeiten des modernen Holzbaus in Verbindung gebracht wurden [35, 36].

Abb. 13: Übersicht über das Projekt Klara Zenit, Architekten: Equator AB, Foto: Skogsindustrierna

Mit dem „Nationalen Holz-Programm“ war nach einem Beschluss des Reichstages im April 2002 eine politische Initiative gestartet worden, die den in 100 Jahren etablierten Vorbehalten gegenüber Holz im Zusammenhang mit verdichtetem Bauen entgegen wirken sollte. Im Januar 2004 wurde der Entwurf für eine „Nationale Strategie zur Unterstützung der Holzbauweise für mehrgeschossige Gebäude“ vorgestellt. Die Regierung begann mit der Umsetzung der Strategie im Mai 2004 im Rahmen einer Fortbildungskampagne zu zeitgemäßen Holzbaukonstruktionen.

Aufgabe und Ziele der „Nationalen Holzbaustrategie“ sind:

- **Schaffung von Alternativen und Stärkung des Wettbewerbs**
  Mit der Einführung von modernen Holzbaukonstruktionen sollen dem Bauwesen Alternativen zu den konventionellen Bauweisen geboten, was darauf ausgelegt ist, gleichzeitig die Qualität zu steigern wie die Gestellungspreise zu senken.
- **Stärkung des Binnenmarktes und Steigerung der Exportaktivitäten**
  Die Wertschöpfung innerhalb Schwedens soll gestärkt werden und damit zu mehr Beschäftigung beitragen. Gleichzeitig bedarf der Export von Holzprodukten zunächst der Anwendung im eignen Land.
- **Reduzierung von Fehlern und Mängeln im Bauprozess**
  Unter Anwendung neuester Technologien soll das witterungsunabhängige Bauen weiter entwickelt werden, um Risiken für Baumängel und -schäden minimieren zu können.
- **Umweltschonendes Bauen**
  Um mit Blick auf die Formen moderner Waldbewirtschaftung dem Schlachthausparadoxon entgegen wirken zu können [37], soll die Rolle des Walds als Kohlenstoffsenke und die Bedeutung der stofflichen Nutzung als Beitrag zur Biodiversität gemäß dem Umweltziel „Lebende Wälder“ hervorgehoben werden.
- **Aufholen des Vorsprungs der konventionellen Bauweisen**
  In Verbindung mit der Baurechtentwicklung des zurück liegenden Jahrzehnts soll dem Baustoff Holz mit staatlicher Unterstützung die Möglichkeit eingeräumt werden, den „Vorsprung“ der konkurrierenden Baustoffe abbauen zu können [38].

Zu diesem Zweck soll die Umsetzung von Wohngebäuden großen Maßstabs, öffentliche Bauten und Infratsrukturmaßnahmen (z.B. Brücken) in Holzbauweise gefördert werden. Installiert wurde dazu die Träbyggnadskansliet (Holzbaukanzlei oder –sekretariat), die die Strategie kommunikativ bei der Ansprache von Entscheidungsträgern und Multiplikatoren umsetzt. Dabei erfolgt die Mitwirkung im Rahmen der Kooperation der Verbände der Forst- und Holzwirtschaft, den entsprechenden Gewerkschaften und dem Wirtschaftsministerium.

Für diese und andere jüngere wie anstehende Projekte ähnlicher Größenordnung werden mittlerweile die Holzbauweisen gemischt. So kommen häufig Holzrahmenbauteile für Wandkonstruktionen, Massivholzelemente und bei Bedarf zusätzlich Brettschichtholzbauteile in Kombination mit Massivholzbauteilen für Deckenkonstruktionen zum Einsatz. Allerdings zeigen die Bauzustände deutlich eine nicht von der Hand zu weisende Diskrepanz zwischen dem Anspruch, den Holzbau in neue Dimensionen tragen zu können, und der Umsetzungsqualität [39].

Abb. 14: Bauteilmuster für das Projekt Kv Limnologen (2007)

Diese Beobachtungen bestätigt ein Bericht, der seitens SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut nach der Begleitung der Projekte Kv Limnologen und Kv Rya (fünfgeschossiger Holzbau) in Rydebäck bei Helsingborg erstellt wurde. So wird – an dieser Stelle sei nur auf diese Punkte hingewiesen

– konstatiert, dass es im Projekt Kv Limnologen schwierig gewesen sei, die erforderliche Luftdichtheit der Konstruktion messen zu können. Hinsichtlich Kv Rya wird festgehalten, das es für den ersten Bauabschnitt nicht möglich gewesen sei, innerhalb eines angemessenen Zeitraums Konstruktionsvollholz mit der vorgeschriebenen Holzfeuchte von max. 15% geliefert zu bekommen. So wurde im nördlichen Bauteil zunächst Konstruktionsvollholz mit einer Lieferfeuchte von 18% eingebaut. Angesichts der Tatsache, dass Veränderungen der Holzfeuchte und der damit verbundenen Dimensionsänderung im mehrgeschossigen Holzbau erhebliche Risiken birgt, eine bemerkenswerter Vorfall [15].

Gleichzeitig ist festzustellen, dass insbesondere im Projekt Kv Limnologen zwar für die dort verwendeten Holzrahmenbauteile auf Produkte mit Vorzugsabmessungen verwendet wurde, aber ebenso Massivholzkonstruktionen und eine Geschossdeckenkonstruktion, zu der abgesehen von Laborprüfungen keine Erfahrungswerte vorlagen. Angesichts auch der Außenwirkung eines solchen Vorhabens stellt sich dem außenstehenden Betrachter die Frage, warum man zunächst nicht stärker auf bewährte Konstruktionsprinzipien zurückgegriffen hat, die man - in der Nähe mit dem Hus M auf dem Campus der Universität Växjö - in den 1990er Jahren hat sammeln können.

Abb. 15: Große Halle von Hus M der Universität Växjö, White Arkitekter (1998/1999)

Abb. 16: Konstruktionsfenster für die Geschossdeckenkonstruktion mit Södra*Semi* im M-Huset der Universität Växjö

4 Zusammenfassung und Ausblick

Die schwedische Bauwirtschaft verfügt seit mehr als vierzig Jahren über Erfahrungen und eine damit verbundene breite aufgestellte, erhebliche Flexibilität in der Anwendung vorgefertigter Bauelemente.

Dies aufgrund der langen Tradition im Hinblick auf die Anwendung des Baustoffes Holz wie auch aufgrund der zwischenzeitlich politisch bedingten Anforderungen an die dortige Bauindustrie (z.B. das sogenannte "Miljonprogrammet" der 1960er und 1970er Jahre). In Deutschland hat die Vorfertigung im Holzbau eigentlich immer nur ein Schattendasein geführt, dem sich im vergleichbaren Zeitraum allein die Unternehmen der Fertighausindustrie gewidmet hatten. Allerdings sind diese Unternehmen nicht wesentlich über den Markt der Einfamilienhäuser hinausgekommen.

Auf die Frage von Prof. Natterer, warum man denn in Schweden angesichts der geringen Bevölkerungsdichte unbedingt achtgeschossig bauen müsse, antwortete im Rahmen der Auftaktveranstaltung zum 12. IHF 2007 Tobias Schauerte von der Universität Växjö kurz und knapp: „Weil wir wissen wollten ob es funktioniert!" [40] Sicherlich ist dies eine stark verkürzte Aussage, doch trifft sie den Kern des Unterschieds zwischen den Holzbautechnologien Schwedens und Mitteleuropas. Zweifelsfrei steht fest, dass die

schwedische Holzbaubranche methodisch und konzeptionell besser ist. Dem steht eine Detail- und Fügekompetenz sowie ein Qualitätsanspruch (um nicht von einem Perfektionsanspruch zu sprechen) im deutschsprachigen Raum gegenüber, dessen Niveau in der Umsetzung die schwedischen Unternehmensstrukturen nicht gewachsen sind. Dies ist u.a. auch einer der Gründe dafür, warum sich die schwedischen Fertighausunternehmen ungeachtet eines technologischen Vorsprung gegenüber den hierzulande umgesetzten Holzbauweisen im Laufe der zweiten Hälfte der 1990er Jahre aus dem deutschen Markt zurück gezogen haben.

Anzustreben wäre zur Steigerung der Akzeptanz des Holzbaus bei den Planern, in Anlehnung an das Angebot in Schweden die Anzahl der im Holzbau üblichen Vollholzquerschnitte zu reduzieren. Da in Schweden nicht nur bei Neubauten deutlich mehr Konstruktionsvollholz eingesetzt wird als hierzulande bei neu zu erstellenden Holzbauteilen (Dachstühlen usw.), bietet sich in diesem Zusammenhang die Möglichkeit zu einer umfänglichen weitergehenden Standardisierung.

Das übergeordnete Ziel sollte sein, den methodischen Ansatz sowie die technologische Kompetenz des schwedischen Holzbaus mit der in der Regel ausgezeichneten Planungs- und Umsetzungsgüte hierzulande verschneiden zu können. Dazu müssten auf schwedischer Seite grundsätzliche Vorbehalte gegenüber Neuerungen von außen ausgeräumt werden, auf deutscher Seite tradierte Bedenken gegen industrialisiertes Bauen abgebaut werden.

Unerlässlich ist aber der ernsthaft betriebene Erfahrungsaustausch im Hinblick auf die beiderseits der Ostsee gesammelten Erfahrungen insbesondere im Hinblick auf den mehrgeschossigen Holzbau. Im nord- wie mitteleuropäischen Kulturkreis ist es dem Holzbau noch nicht lange wieder möglich, Bauaufgaben in mehrgeschossigen Strukturen anzubieten und zu lösen. Gleichzeitig deuten sowohl Gespräche mit Experten wie Ergebnisse erster Evaluierungen gebauter Beispiele mehrgeschossigen Holzbaus darauf hin, dass sich der Bedarf an technischer Entwicklung deckt. So sind neben den Verformungen aus Schwinden und Quellen die Gebrauchstauglichkeit Deckenkonstruktionen und der Schallschutz im Niederfrequenzbereich die größten Herausforderungen, die vereinheitlichter und zufriedenstellender Lösungen bedürfen [46].

Eine Möglichkeit, den Erfahrungsaustausch über die Ostsee hinweg in Gang bekommen zu können bietet die aktuelle Herausforderung, der sich die Baubranche Schwedens gegenüber gestellt sieht: Es gilt, die Bauten des Miljonprogrammet energetisch-konstruktiv zu optimieren und zukunftsfähig zu machen. Dazu bietet sich das Konzept der Mischbauweise an, die in der uns heute bekannten Form ihre Ursprünge in Schweden hat. Konkrete Schlüsse aus den Sanierungsvorhaben hierzulande beinhalten Lösungsansätze für die in Schweden anstehenden Aufgaben.

Darüber hinaus bedarf es auf allen Ebenen an Verbindungen, die entweder erst aufgebaut oder intensiviert werden müssen. So sollte z.B. der sich selber europäisch definierende Verband des gewerblichen Holzbaus auf Partner in Schweden zugehen, um analog zu den Forschern und Entwicklern, den Lehrenden, Planenden und Lernenden Strukturen aufzubauen, die einen übergreifenden grenzüberschreitenden Austausch und die damit verbundene Entwicklung ermöglicht.

Letztendlich müssen angesichts der Tatsache, dass beiderseits der Ostsee bestehende Vorbehalte nur von nachwachsenden Generationen an Holzbauern und Holzbauplanern beiderlei Disziplinen aufgehoben werden können, die Möglichkeiten für Auszubildende und Studierende, im je-

weils anderen Kulturkreis lernen und / oder praktische Erfahrungen sammeln zu können, institutionell organisiert, vorgehalten und vermittelt werden.

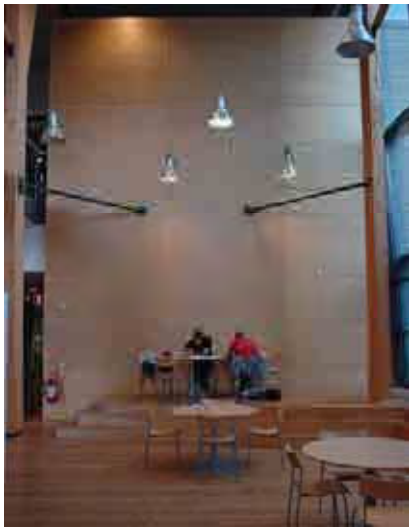


Abb. 17: Holzbau lernen im Holzbau,
Foto: Autor

Parallel dazu sollten die Erfahrungen untersucht und mit den Voraussetzungen der mitteleuropäischen Verhältnisse abgeglichen werden, die Unternehmen der schwedischen (und – ergänzend - der finnischen) Forst- und Sägewirtschaft mit Ansätzen, weiter in die Wertschöpfungskette „nach vorne zu greifen", gemacht haben. Beispielhaft zu nennen sind folgenden Konzepte bzw. Projekte:

- Kv Wälludden auf Basis einer Kooperation eines Gemeinschaftsunternehmens von Waldbesitzer (Södra AB) mit einem Unternehmen der Bauindustrie (Skanska Sverige AB);
- Konzept Södra Building Systems AB des Unternehmens Södra AB in der Entwicklung und Bereitstellung von Holzbauelementen (Söda*Semi*, Södra*Sinus*, Soda*Solid*) in projektspezifischem Vorfertigungsgrad (siehe Abb. 14: Realisierung von Hus M der Universtität Växjö);
- Kv Rya Rydebäck als Auftragsarbeit der Deromé Fövaltning AB, einem Tochterunternehmen des Sägewerksunternehmens Derome AB (Leitbild des Konzern: Från skog till färdigt hus (Vom Wald bis zum fertigen Haus"; siehe auch Abb. 5).

Abb. 18: ... und zuletzt lacht der Holzbau!

Quellen

[1] Ramberg, K., Allmännyttan. Välfärdsbygge 1850-2000, Stockholm 2000
[2] Caldenby, C., et al., Architektur im 20. Jahrhundert: Schweden, München New York 1998
[3] Nyström, L., Living in Sweden between Tradition and Vision, Karlskrona 1996
[4] The Swedish Institute, Swedish Museum of Architecture, The Swedish Art of Building, Stockholm 1992
[5] Kidder Smith, G.E., Sweden builts, New York 1957
[6] Eriksson, E., Der langsame Weg in die Moderne Skandinaviens, in: der architekt, Berlin 1/1996
[7] Egelius, M., Ralph Erskine, arkitekt, Stockholm 1988
[8] Linn, B., Tankar i Colosseum, in: Arkitektur, Stockholm 8/1966
[9] Arkitekturmuseet, , En miljon bostäder, Arkitekturmuseet Årsbok, Stockholm 1996 aber auch z.B.: Sewing, W., Volksheim, in: der architekt, Berlin 3/2007
[10] u.a. Flygt, T., Made in Sweden, Bergisch-Gladbach 2004, oder Gustafsson, L., Wollsachen, München 1977

[11] Arkitekturmuseet, , En miljon bostäder, Arkitekturmuseet Årsbok, Stockholm 1996 sowie Caldenby, C., et al., Architektur im 20. Jahrhundert: Schweden, München, New York 1998

[12] Skogsindustrierna, ww.skogsindustrierna.se, Stockholm 2009

[13] Riksantikvarieämbetet, Nordiska museet, Var virket bättre förr, Stockholm 1982

[14] Thörnqvist, T., Cooperation between university and timber construction industry in Sweden – The Växjö model, Vortrag anl. Hochschultag des INFORMATIONSDIENST HOLZ, Nürnberg 2006

[15] Rosenkilde, A., et al., Flervåningshus med trästomme – Uppföljning av Kv Lomnologen och Kv Rya, Rydebäck, SP Rapport 2008:18, Borås / Växjö / Stockholm 2008

[16] Byggkostnadsdelegationens betänkande, Från byggsekt till byggsektor, SOU 2000:44, Stockholm 2000

[17] Svenskt Trä, Lathunden, Stockholm o.J. sowie Södra Building Systems AB und Gyproc AB, Högre hus med trästomme, Bålsta / Växjö 2002

[18] Svensk Limträ AB, Limträ Guide, Stockholm 2007

[19] Hall, T., et al., Svenska Hus, Stockholm 1999

[20] Roth, T., Fredrik Blom – officer, arkitekt och professor, Marinmuseums årsbok, Stockholm 1998

[21] Svala, C., Löfvenskiöld gav alla verandan och snickarglädje, in: Byggnadskultur, Stockholm 1/1996

[22] Swedish Museum of Architecture, the Swedisch Timber Council an the authors, Architecture in wood, Stockholm 1992

[23] Statens Provningsanstalt et al., Träbyggnadsteknik för 2000-talet, Stockhom, Borås Växjö, 2007

[24] Stürzebecher, P., Wiedemann, D., Mehrgeschossiger Wohnungsbau in Holz, Arbeitsgemeinschaft Holz e.V. / Deutsche Gesellschaft für Holzforschung e.V., Düsseldorf / München 1988

[25] Svenska Turistföreningen, Bygga och bo, Stockholm 2002

[26] Bergvall, L., Bostaden som elementbygge, in: Arkitekturmuseet Årsbok, Stockholm 1995

[27] Bund Deutscher Zimmermeister, Holzrahmenbau, 2. überarbeitete Ausgabe, Bonn 1992

[28] NORRA Massivträ, En barriär är passerad, Unternehmensbroschüre, Skellefteå o.J.

[29]Boverket, Boverkets byggreglar – BBR 94, Stockholm 1993

[30] Boverket, Boverkets konstruktionsreglar – BKR 94, Stockholm 1993

[31] Sveriges Träbyggnadskansli, Sverige bygger åter stort i trä, Stockholm 2007

[32] Klumpers, J., Fünfgeschossiger Holzrahmenhausbau: Das Wälludden Projekt in Växjö, 2. IHF 1996

[33] Caldenby, C., Wälludden, Växjö, in: arkitektur, Stockholm 7/1997

[34] Schauerte, T., Schaufenster in eine bessere Zukunft - Holzbau und mehr für eine ganzheitliche und nachhaltige Stadtentwicklung, 13. IHF 2007

[35] Bjur, H., Levin, H., Nya dimesnioner i arkitekturen, in arkitektur, Stockholm 7/20047

[36] Holzabsatzfonds (Hrsg.), Holzbau und Stadtentwicklung, Band zur Fachtagung Holzbau des INFORMATIONSDIENST HOLZ, Bonn 2005

[37] Ekman, K., Der Wald, München 2008

[38] www.trabyggnadskansliet.se, 2009

[39] Hänninen, T., Limnologen – Ett projekt för den tyska marknaden, Examensarbeit an der Universität Växjö, 2007

[40] Löfgren, G., Höga trähus – Befintliga trähusproducenters förutsättningar och intresse att bygga flervåningshus med bärande trästommemed fler än två våningar, Examensarbeit an der Universität Växjö, 2008

6.3 Maschinen, Werkzeug
Maschineneinsatz im Holzbau

Jürgen Klaus

1 Einleitung

Um über die aktuellen Fertigungstechnologien sprechen zu können muss man sich vorher mit den verschieden Fertigungsmethoden von Holzhäusern auseinander setzten. Da nicht alle Fertigungsmethoden gleich gut für die maschinelle Produktion geeignet sind. Ferner sind länderspezifische Vorschriften und Gegebenheiten zu berücksichtigen. Diese werden in den Abschnitten 2 und 3 beschrieben.

2 Marktsituation im Holzhausbau

Die Marktanteile des Holzhausbaues in den verschiedenen Länder bzw. Regionen sind sehr unterschiedlich. Dies ist oftmals historisch begründet, ist aber auch von den lokalen Ressourcen und Akzeptanz in der Bevölkerung abhängig. Nicht unterschiedlich ist die Entwicklung in den letzten Jahren. Denn auch wenn es momentan einen Stau im Neubaubereich gibt, ist der Bedarf an Wohnraum unvermindert da. Und es spricht einiges dafür, dass er künftig zunehmend durch Holzkonstruktionen gedeckt werden wird

Zum einen ist der Holzbau im sozialen Wohnungsbau schon seit einigen Jahren auf dem Vormarsch. Das ist kein Zufall, denn der Baustoff Holz bietet Investoren und Institutionen entscheidende Vorteile: Mit keinem Baustoff lässt sich in kürzerer Zeit und in höherer Qualität mehr Wohnraum schaffen. Dabei ist man dank hohem Vorfertigungsgrad weitgehend unabhängig von klimatischen Einflüssen und kann mit einem relativ kleinen Bestand an ausgebildetem Personal in hohen Stückzahlen bauen. Vor allem letzteres gibt den Ausschlag, wo die Manpower für die Umsetzung ehrgeiziger Wohnbauprogramme mit konventionellen Mitteln fehlt. Außerdem ist Holz als Baustoff oft besonders gut verfügbar – zum Beispiel in den Ländern Südamerikas.

Auch in der Energiedebatte zeichnet sich ab, dass Holz gegenüber konventionellen Baustoffen immer mehr an Bedeutung gewinnt. Die Erklärung dafür ist einfach: Je weiter man den Energiebedarf von Neubauten minimiert, desto wichtiger wird der Dämmstandard der Haushülle. Im Klartext: Massivbauten können auch mit aufwändiger Haustechnik die Vorgaben an Energiesparhäuser immer schlechter erfüllen. Weicht man auf eine stärkere Außendämmung aus, wachsen die Wandstärken schnell auf 40 oder 50 cm. Das bedeutet weniger Wohnfläche bei gleicher Grundfläche, außerdem weniger Licht im Haus, also weniger Wohnqualität.

Neben seinen konstruktiven Vorteilen sprechen aber noch zwei weitere Argumente für den Baustoff Holz: Es handelt sich erstens um einen nachhaltigen Baustoff, mit dem man CO_2 aus der Atmosphäre längerfristig binden kann, und zweitens um einen Baustoff mit hervorragender Ökobilanz. Was bedeutet, dass bei Transport, Produktion und Montage von Holzbauteilen sehr viel weniger Energie verbraucht wird als zum Beispiel bei Ziegeln oder Beton.

3 Einsatz von Maschinen

Ob Maschinen bzw. eine Produktionslinie effektiv funktionieren kann, ist unter anderem eine Frage des richtigen Hallenlayouts. Dies gilt nicht nur für industrielle Großbetriebe, sondern auch schon für die Abbundhalle einer Zimmerei. Denn gerade hier geht es oft darum, auf engem Raum mög-

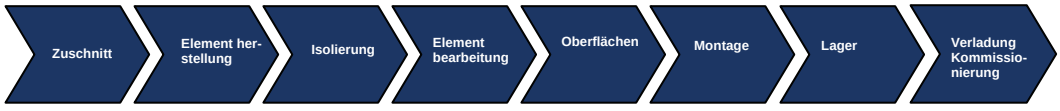


Abb. 1: Prozesskette im Holzbau

lichst viel unterzubringen. Nachfolgend drei Beispiele in unterschiedlichen Größenordnungen.

Die vorausschauende Planung der maschinellen Ausstattung, der Platzierung von Arbeitsstationen, Lagern und Versorgungspunkten, der Wege, die Produkte, Materialien und Mitarbeiter in der Halle zurücklegen, gleicht der Konzeption eines Uhrwerks: Alle Teile müssen möglichst reibungslos ineinander greifen.

Gibt es Fehler im Hallenlayout, stehen sich Mitarbeiter später gegenseitig im Weg, müssen permanent Material umschichten, weite Wege auf der Suche nach Material zurücklegen oder überflüssige Arbeitsgänge ausführen – Formen von Leerlauf, die Zeit und Geld kosten, demotivieren und oft zu Qualitätseinbußen führen.

Vor diesem Hintergrund lohnt es sich nicht nur für Großunternehmen, sich intensiv mit der Optimierung ihrer Hallenlogistik zu beschäftigen. Auch kleine Zimmereien sollten einen Spezialisten zu Rate ziehen, gilt es doch hier, möglichst viel auf engem Raum unterzubringen. Deshalb kann die Planung ergonomischer Materiallager oder eines reibungslosen Material- und Arbeitsflusses zu einer schwierigen Aufgabe werden.

Spätestens vor einem Hallenneubau lohnt es sich deshalb, sich professionelle Hilfe zu holen. Die könnte zum Beispiel von einem Maschinenhersteller kommen – sofern der die Planung des Hallenlayouts als Service anbietet.

Den Einstieg in die Hallenplanung bildet dann wahrscheinlich eine Bedarfsanalyse. Dabei geht es um die gewünschte Hausstückzahl, um den Wandaufbau, um die verarbeiteten Materialien und um Zukunftsoptionen: Plant das Unternehmen zum Beispiel, die Kapazität zu erhöhen, den Wandaufbau zu ändern oder neue Materialien zu verarbeiten?

3.1 „Bottlenecks“ als Sand im Getriebe

Die entscheidende Größe für den ersten Layoutentwurf ist die geplante Kapazität. Sie gibt Zahl und Art der benötigten Maschinen vor, außerdem die Taktzeiten, in denen die Produkte diese Maschinenausstattung durchlaufen müssen. Besonderes Augenmerk wird der Berater schon jetzt auf so genannte „Bottlenecks“ richten.

Ein solcher „Flaschenhals“ ist der schwächste Punkt in der Produktionskette. Hier wird es zu einem Rückstau kommen, wenn die Kapazität erhöht wird. Dann bremst ein solcher „Bottleneck“ alle anderen Stationen aus. Er gibt also – unabhängig von der Kapazität der restlichen Hallenausstattung – die real erreichbare Maximalstückzahl vor.

Zum Problem wird der „Bottleneck“ an dem Punkt, wo diese Maximalstückzahl die geplante Kapazität unterschreitet. Deshalb kann es für einen Großbetrieb erforderlich sein, je einen Tisch für das Einbringen von Dämmung und Installationsmaterial anzuschaffen, während eine kleine Zimmerei beide Arbeiten problemlos auf einem Tisch erledigen kann. Woraus ersichtlich wird, dass ein gutes Hallenlayout exakt auf den Bedarf des Holzbauers zugeschnitten ist.

3.2 Beispiel 1: Optimum auf engem Raum

Die Holzbau Beispiel GmbH ist eine Zimmerei, die pro Jahr etwa 20 Holzhäuser produziert. Die Produktionsanlagen verteilen sich auf zwei Hallen: In Halle 1 befindet sich der Abbund, die Elementierung wird in Halle 2 durchgeführt.

Dieser Schmetterlingswender ist quasi die Keimzelle zu einer Kompaktanlage, die aus Wendetisch plus Multifunktionsbrücke aus der WMS-Baureihe besteht. Geber und Nehmer des Schmetterlingstisches stehen bei der Kompaktanlage hintereinander. So kann eine Multifunktionsbrücke über beide Tische fahren, um Platten

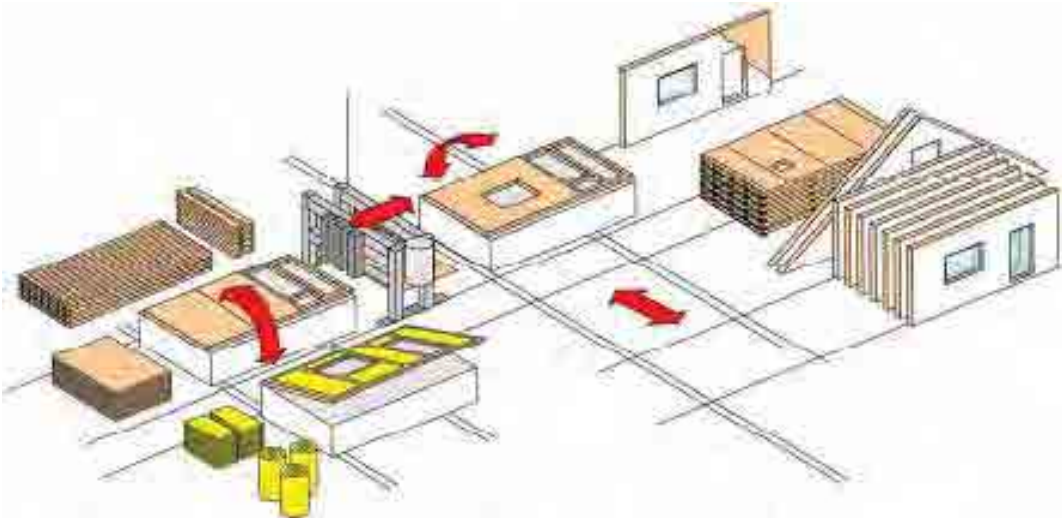


Abb. 2: Weinmann-Kompaktanlage

abzunageln, Öffnungen auszufräsen etc. Der Gebertisch (Tisch 1) ist in der Längsachse, der Nehmertisch (Tisch 2) in der Querachse verfahrbar.

Auf dem Geber legen die Mitarbeiter die Holzrahmenkonstruktion, verspannen und nageln sie und bringen die Innenbeplankung an; anschließend verfährt der Nehmer nach der Seite, sodass der Geber für den Wendevorgang neben ihn gefahren werden kann. Nach dem Wenden fahren beide Tische zurück in die Ausgangsposition.

Auf Tisch 1 kann jetzt ein neues Element aufgebaut werden, während auf Tisch zwei gedämmt, isoliert und die äußere Beplankung aufgebracht wird. Auch Fassaden mit Holzschalung werden hier ausgeführt, wobei Tisch 2 zum klassischen „Bottleneck“ wird. Für solche Arbeitsgänge ist es besser einen dritten Tisch einzuplanen, auf dem man auch Decken- und Dachelemente produzieren kann.

Platten und Stiele werden auf Lagerstellen gegenüber von Tisch 1 verteilt. Die Zimmerer transportieren die Platten von dort mittels Vakuumsauger auf die Tische. Dämmmaterial lagert in einem Hochlager bei Tisch 2.

Keine Kompromisse ging man bei der Lagerung der fertigen Elemente ein, die in der kleinen Halle schwer zu handeln sind: Sie kommen in ein Rungenlager in der Nähe des Hallentors, wo sie via Hallenkran problemlos auf einen rückwärts eingefahrenen LKW zu verladen sind.

Auch bei der Konzeption seines Rungenlagers ließ sich der Zimmerer vom Maschinenhersteller beraten. Der riet zu plan mit dem Boden abschließenden Schienen, aus denen man die Rungen herausziehen kann. So kann man den Platz flexibel nutzen – für Finisharbeiten, Außendämmung, Putzauftrag, zur flachen Lagerung von Decken- und Dachelementen oder als Fläche für die Gaubenproduktion.

3.2.1 Auch kleine Hallen brauchen ein Layout

Das Beispiel der Holzbau Beispiel GmbH belegt bereits anschaulich, inwiefern auch bei kleinen Firmen ein optimales Hallenlayout Vorraussetzung für eine effektive Produktion ist. Aber auch wenn eine Firma nur einen Arbeitstisch anschafft,

hält man bei Weinmann eine Layout-Beratung für sinnvoll. Zumal man nur für die Planung komplexer Industrieanlagen eine Gebühr erhebt, der Planungsservice für kleine Firmen also kostenlos ist. Auch hier ist es schon wichtig, sich Gedanken über die Materiallogistik zu machen, weil man einen Arbeitstisch nicht beliebig in der Halle hin und her schieben kann.

Weiterhin ist es immer besser, wenn man die Bewegungsabläufe in der Halle bildlich vor Augen hat. Dann kann man zum Beispiel mit einem Blick erkennen, wo man Raumreserven für den Schmetterlingswender braucht, wo also kein Material herumstehen darf.

Außerdem erleichtert das Layout die Planung mit externen Handwerkern. Und führt dem Kunden vor Augen, wie sich seine Produktion weiter entwickeln könnte. Eine Zukunftsperspektive, die für alle Kunden sehr wichtig ist.

3.3 Beispiel 2: Montage & Fertigung getrennt

Die Beispiel-Haus GmbH in ist ein Teil eines mittelständischen Unternehmens, das sich in drei Sparten aufgliedert: Zimmerei, Holzhausproduktion plus Vertrieb und Immobiliengesellschaft. Im Holzhaus-Segment werden im Jahr etwa 70 Häuser produziert und vermarktet – nicht nur Ein- und Zweifamilienhäuser, sondern auch Objekte im mehrgeschossigen Wohnungsbau.

Bei Planung der Produktionsanlage legte man unter anderem besonderen Wert auf die Vereinfachung des Materialflusses: Jede Arbeitsstation befindet sich in der Näher eines der Hallentore, durch die Materialien an- und fertige Produkte abtransportiert werden.

Ein weiterer wichtiger Gesichtspunkt war die Umstrukturierung der kompletten Produktionslogistik im Zuge des Maschinenkaufs: Produzierten früher die Montagetrupps des Unternehmens „ihre“ Häuser manuell, sind Produktion und Montage heute strikt getrennt. An den neuen Maschinen in der Halle und beim Aufbau auf der Baustelle arbeiten heute Spezialisten, was für die Produktion bedeutet, dass sie sehr viel effektiver und flexibler geworden ist.

Kernstück der Produktionsanlage ist eine Kompaktanlage mit WMS-Multifunktionsbrücke, was eine Jahreskapazität von 80 - 100 Häuser bedeutet.

Abb. 3: Kombi-Wandsystem WEK120

Mit Anschaffung dieser Brücke vollzog das Unternehmen also den Übergang von einer handwerklichen zu einer industriellen Produktion. Wobei unter anderem der Aufbau einer kompatiblen CAD / CAM-Peripherie erforderlich wird, während sich im Gegenzug die Einmesszeiten gegen Null reduzieren und die Produktivität sprunghaft ansteigt. Dennoch ist vor der Anschaffung die Frage zu klären, ob sich eine Brücke für das Unternehmen rechnet. Bei Beispiel-Haus kein Thema, liegt doch die Rentabilitätsgrenze für eine Brücke bei etwa 30 Häusern / Jahr.

Die Firma nutzt die Kompaktanlage nur zur Fertigung der Wandelemente. Decken und Dach werden zimmermannsmäßig auf der Baustelle montiert. Im Vergleich dazu ist die Wandfertigung hochautomatisiert: die Multifunktionsbrücke fördert die Beplankung per Vakuumheber auf die Holzrahmenkonstruktion, klammert die Platten,

bohrt Steckdosen und Wandanschlüsse, sägt Fenster- und Türausschnitte aus.

Anschließend wird das einseitig beplankte Element gewendet, auf dem Nehmertisch gedämmt und automatisch geschlossen. Plattenlager am Kopf- und Fußende der Kompaktanlage versorgen die Multifunktionsbrücke dabei mit Beplankungsmaterial. Sind die Lager leer, werden sie von einem Stapler aufgefüllt – über Tor 1, hinter dem sich ein externes Plattenlager befindet.

Sanitär- und Außenwände werden von der Kompaktanlage aus auf einen dritten Tisch weitertransportiert, auf dem die Mitarbeiter die Fenster bzw. die Sanitärinstallation einbauen. Fertige Wände kommen zum Abtransport in ein Rungenlager in Nähe von Tor 1. Gegenüber befindet sich eine Kappsäge für den manuellen Abbund. Die Abbundmaterialien kommen durch Tor 2 in die Halle.

Die Umstrukturierung bringt dem Unternehmen vor allem mehr Fertigungsqualität: Das Anschlagsystem und die Spannvorrichtungen des neuen Arbeitstischs erleichtern die Fertigung eines rechtwinkligen und extrem maßhaltigen Holzrahmenwerks. Auch die Multifunktionsbrücke arbeitet nicht nur sehr schnell, sondern auch extrem präzise. Die Produktion des Unternehmens ist derzeit sehr gut ausgelastet, Spitzen werden im Zweischichtbetrieb aufgefangen.

3.4 Beispiel 3: Großserie auf drei Linien

Dank ihres modularen Aufbaus eignet sich die Kompaktanlage einerseits für kleine Betriebe mit begrenzter Stückzahl, lässt sich aber andererseits zu einer industriellen Fertigungsstraße erweitern, in der sich die Bearbeitungsschritte auf mehrere Kompaktanlagen verteilen. Als sinnvolle Ergänzung zählen Abbundanlagen in verschiedenen Varianten und eine vollautomatische Riegelwerkfertigung, außerdem Produkte zur Verbesserung der Hallenlogistik, (Rungen-, Hänge- und Rollenlager, Verteilwagen, Kräne) und Portale für das bessere Materialhandling in der Maschinenperipherie.

Wie aus diesen Bausteinen ein komplexes Layout entsteht, lässt sich am Beispiel von Muster-Haus verdeutlichen. Hier arbeiten drei Multifunktionsbrücken in einer Fertigungsstraße mit einer Kapazität von max. 700 Häusern / Jahr.

Eine dieser Komponenten ist die Abbundanlage am Anfang der Produktionslinie. Die Hölzer für den Abbund befinden sich, vom Beschickungssystem automatisch eingelagert, hinter der Maschine in einem Hochlager. Bauteile aus dem Abbund werden automatisch zur rechten Seite der Riegelwerkstation weitertransportiert. Standardformate kommen, über ein Linienportal aus einem separaten Lager gefördert, auf der linken Maschinenseite an.

Dort muss sie ein Mitarbeiter nur noch zwischen Unter- und Obergurt einlegen, die von hinten in die Maschine hineinlaufen. Das Spannen und Abnageln der Konstruktion erfolgen automatisch. Die gewünschte Kapazität ließ sich nur mit einer solchen halbautomatischen Riegelwerkfertigung erreichen.

Zu den Besonderheiten der Anlage gehört, dass auch Fenster- und Türmodule halbautomatisch auf der Riegelwerkstation hergestellt werden. Die entsprechenden Öffnungen werden auf den beiden folgenden Tischen nicht ausgesägt, sondern durch passend zugeschnittene Plattenformate ausgebildet. Letztere kommen aus einem Plattenzuschnitt rechts von der Produktionslinie, in dessen unmittelbarer Nähe sich das Plattenlager befindet. Die Kleinformate werden von Hand gekennzeichnet, mit Kommissionierwagen zu den Arbeitsstationen weitertransportiert und dort von Hand aufgelegt.

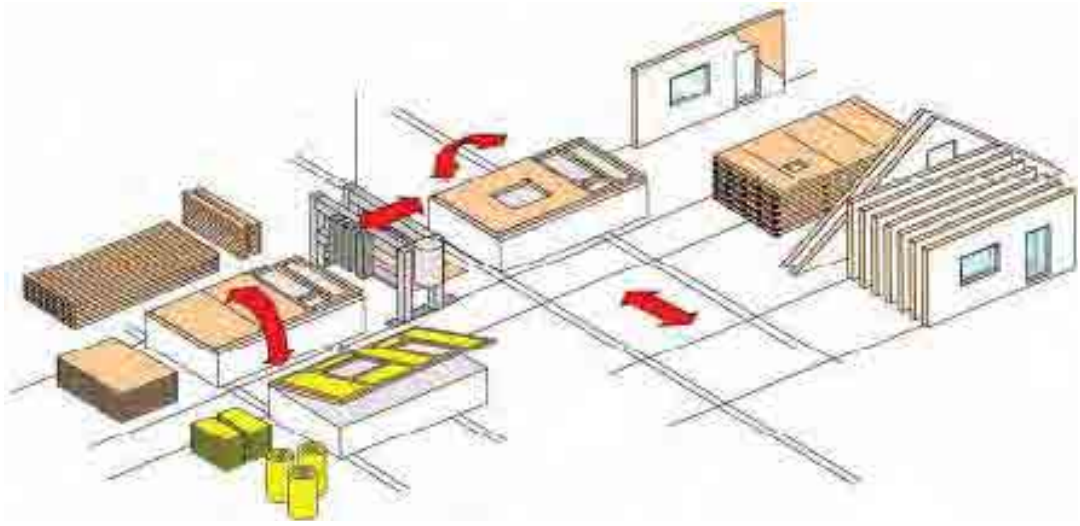


Abb. 4: Produktionsanlage für geschlossene Elemente

Großformate kommen per Vakuumheber auf die Elemente. Die WMS-Multifunktionsbrücke nagelt auf Tisch 1 die erste, auf Tisch 2 die zweite Beplankungslage, sodass man an beiden Tischen gleichzeitig arbeiten kann.

Gewendet werden die Elemente auf zwei separaten Tischen, die in der Querachse verfahrbar sind. Innenwandelemente fahren von hier aus auf dem Nehmertisch zur Innenwandlinie, Außenwände kommen auf Rollen zurück auf den Geber, der sie seitlich zur Außenwandlinie weitertransportiert.

Diese Aufteilung in zwei Linien verbessert den Workflow, weil der Zeitverlust bei Installationswänden besser kompensiert und der Putzauftrag in die Außenwandlinie integriert werden kann.

Die Innenwandlinie besteht aus vier Tischen für das Einbringen der Dämmung, der Installation und für das Aufbringen der beiden Beplankungsschichten. Das Klammern übernimmt auch hier eine Multifunktionsbrücke, Dämmstoffe und andere Materialien befinden sich in großen Lagern auf beiden Seiten der Linie.

Die Außenwandlinie ist analog aufgebaut, allerdings entfällt hier der separate Tisch für die Installation. Dafür gibt es hinter der Arbeitsbrücke die zusätzliche Station für den Putzauftrag. Von hier gelangen die Außenwandelemente zum Fenstereinbau, von wo aus sie anschließend über Hängetraversen zum Wandlager transportiert werden. Ebenerdige Verladepritschen, die von einer hydraulischen Hubanlage (einem Hallenkran) auf den LKW gehoben werden, erleichtern das Verladen.

Deckenelemente fertigt das Unternehmen auf einer älteren Produktionslinie in einem anderen Hallenteil, Dachelemente mit einem hohen Anteil an manueller Arbeit auf Einlegetischen.

4 Trends und Entwicklungen

Zwei folgende Trends sind auf dem Markt erkennbar. Zu einem die massive Holzbearbeitung als Alternative zum Steinbau, die aber für den Wohnungsbau ein begrenztes Marktpotential birgt, jedoch für den Ingenieur-Holzbau eine große Marktchance bedeutet. Immer mehr sind Brücken und Kommunal- bzw. Hallenbauten mit bearbeiteten Holzleimbindern ausgeführt.

Zum zweiten ist die einseitig beplankte Elementbauweise im sozialen Wohnungsbau schon seit einigen Jahren auf dem Vormarsch. Dabei ist man dank hohem Vorfertigungsgrad weitgehend unabhängig von klimatischen Einflüssen und kann mit einem relativ kleinen Bestand an ausgebildetem Personal in hohen Stückzahlen bauen. Vor allem letzteres gibt den Ausschlag, wo die Manpower für die Umsetzung ehrgeiziger Wohnbauprogramme mit konventionellen Mitteln fehlt.

4.1 Elementbearbeitung

WEK 120 - Die Maschine ist die kompakte Kombination aus einer Multifunktionsbrücke und einer Riegelwerkstation.

Abb. 5: Kombi-Wandsystem WEK120, Riegelwerkmontage

4.1.1 Weniger Platzbedarf, geringere Kosten

Die Produktion des Holzrahmenwerks und die einseitige Beplankung der Elemente können damit auf einer Arbeitsstation durchgeführt werden. Sie benötigt deutlich weniger Platz als zwei getrennte Einheiten und kann von nur einem Mitarbeiter bedient werden.

Gleiches gilt für ihren Energiebedarf: er ist bei gleicher Leistung um etwa 35 % niedriger. Außerdem nutzt die WEK 120 die bereitgestellte Energie sehr viel effektiver, weil die Maschinenkomponenten optimal aufeinander abgestimmt sind und praktisch ohne Leerlauf im Taktwechsel arbeiten. Hinzu kommen weitere Energieeinsparungen durch das geringere Hallenvolumen.

Konstruktiv wurde bei der WEK 120 im Prinzip eine Multifunktionsbrücke mit dem Abfuhrgreifer der Riegelwerkstation kombiniert. Die Brücke arbeitet also über dem Einlegetisch der Riegelwerkstation, was bei einer 6 m großen Anlage schon eine Platzersparnis von 10 m bringt. Bei einer 12 m großen Anlage kann der Kunde seine Halle sogar um 15 m kürzer planen.

Wie bei der Basisvariante der Riegelwerkstation werden Schwelle, Rähm und Stiele manuell in die Maschine eingelegt, anschließend automatisch ausgerichtet, gespannt und vernagelt. Ein vollautomatisches, CNC-gesteuertes Abfuhrsystem sorgt dabei für die genaue Längspositionierung.

Nach Fertigstellung des Riegelwerks kann der Mitarbeiter manuell die Elementbeplankung auflegen. Das System ist zu diesem Zweck mit einer modifizierten Lichtschranke ausgestattet, die sich automatisch ausschaltet, wenn Riegelwerksstation und Arbeitsbrücke inaktiv sind. Ist die Beplankung aufgelegt, übernimmt die Arbeitsbrücke das automatische Abnageln. Das Element wird dabei mit der automatischen Breitenverstellung der Riegelwerkstation, die primär dem Einstellen der Elementhöhe dient, zuverlässig eingespannt. Als hinterer Anschlag und Nulllinie für die Multifunktionsbrücke fungieren zwei automatische Bolzen – ein System, das man bereits von den Weinmann-Arbeitstischen her kennt.

4.1.2 Vielseitig und variabel

Optional lässt sich die WEK 120 mit einem Fräsaggregat für die Außenformatierung und für das Ausfräsen von Steckdosen-, Fenster- und Türöffnungen bestücken. Ebenfalls sind eine Inkjet-Einheit für die Multifunktionsbrücke sowie zwei Sägeaggregate zum Schneiden von Schwelle und Rähm für die Riegelwerkstation erhältlich.

Abb. 6: 5-Achs-Hauptspindel in der WMP250

Eine ebenfalls aufrüstbare Station für den Einbau von Längsstielen rationalisiert den Einbau von Brüstungshölzern und dient als Anschlag für Giebelelemente. Außerdem kann ein automatischer Längstransport der Elemente zur nächsten Arbeitsstation nachgerüstet werden. Damit ist es für Holzhausbauer möglich, die Maschine mit steigender Stückzahl ihren Produktionserfordernissen anzupassen. Einzige Einschränkungen: Die Zahl der Bearbeitungsaggregate auf der Multifunktionsbrücke ist auf zwei plus Inkjeteinheit beschränkt.

4.1.3 Bewährte Technik für offene Elemente

Zielgruppe der Neuentwicklung sind Hersteller von offenen Elementen, die Hauptmärkte dürften dementsprechend in Großbritannien, Irland, den USA und Frankreich liegen. Die Kapazität liegt bei etwa 200 Häusern im Jahr, rentabel wird die Anlage ab einer Stückzahl von etwa 100 Häusern im Jahr. Die Investitionen sind um etwa 50 % niedriger als für eine herkömmliche Anlage mit gleicher Kapazität.

4.2 Massivholzverarbeitung

Speziell für die Bearbeitung ebener Massivholzelemente (Magnumboard, Leimholzbinder, Sandwichelemente etc.) gibt es eine neue Powerline-Multifunktionsbrücke WMP 250.

Abb.7: Plattenbearbeitungszentrum WMP250

4.2.1 Elemente bis 50 Meter Länge

Basis der WMP 250 ist eine stabile Stahlprofilkonstruktion. Sie nimmt die Aggregatträger auf, die mit verschiedenen Aggregaten bestückt werden können. Je nach Ausbaustufe kann die Maschine bohren, fräsen, sägen und oder eine breite Palette weiterer Bearbeitungen ausführen. Dabei bearbeitet sie die Werkstücke nicht nur von oben, sondern auch von den Stirnseiten her. Dank einem Verfahrweg von 50,00 m und einer maximalen Elementbreite von 4,00 m ist die Bearbeitung von Massivholzwänden oder Leimbindern kein Problem. Die maximal bearbeitete Elementstärke liegt momentan bei 35 cm.

4.2.2 Zwei Spindeln plus Werkzeugwechsler

Standardmäßig ist die WMP 250 mit zwei 20 W-Hochleistungsspindeln ausgestattet. Beide arbeiten im Fünfachsbereich und mit hohen Drehzahlen bis 18000 U/min, die eine qualitativ hochwertige Holzbearbeitung ermöglichen.

Die elektronisch geregelte Hauptspindel der Maschine wird durch einen 18fach-Werkzeugwechsler ergänzt, der sie je nach Bedarf mit verschiedenen Bohrern, Fräsern und Schleifwerkzeugen bestücken kann. Angeboten wird außerdem ein Fünfachs-Kettensägeaggregat mit 40 cm Schnitttiefe für den Shifterschnitt. Da auch ein Etikettendrucker, eine Anreißnadel und ein Schreibstift zu den einwechselbaren Werkzeugen gehören, ist auch das Beschriften, Markieren und Anreißen der Werkstücke kein Problem. Dabei reduziert der Werkzeugwechsler die Rüstzeiten auf ein Minimum und macht die Maschine zukunftssicher, weil sie auch auf den Einsatz weiter- und neuentwickelter Werkzeuge vorbereitet ist.

Auf der zweiten Spindel der WMP 250 befindet sich eine Fünfachs-Kreissäge mit einer maximalen Schnitttiefe von 350 mm. Ohne Absaughaube ausgestattet, kann die Säge um 360° gedreht und bis zu 90° geschwenkt werden.

4.2.3 Flexibel und sicher

Die Staubbelastung der Arbeitsumgebung wird zusätzlich zur Absaughaube durch eine Vollkapselung der Maschine minimiert, die gleichzeitig der Sicherheit des Bedienpersonals dient. Weitere Sicherheitsvorrichtungen sind Lichtschranken und – bei mehreren Arbeitstischen – Trittschutzmatten zwischen den Tischen

Bearbeitungsdaten können vom Bediener manuell eingegeben oder aus dem CAD-System übernommen werden. Die WMP 250 ist mit einer Windows-basierten Steuersoftware, einem Netzwerkanschluss und einem Telefonmodem für die Ferndiagnose ausgestattet.

6.4 Qualitätssicherung
Überprüfung und Unterhalt von Hallentragwerken aus Holz

Philipp Dietsch, Stefan Winter

Dieser Beitrag gibt Empfehlungen zum Vorgehen bei der Untersuchung von weitgespannten Holztragwerke sowie zu Untersuchungsintervallen, welche es ermöglichen das angestrebte Tragsicherheitsniveau über die angestrebte Lebensdauer aufrechtzuerhalten. Das Konzept des Bauwerksbuches wird erläutert.

1 Einleitung

Am Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion wurden zwei großangelegte Projekte zur Überprüfung von weitgespannten Holztragwerken durchgeführt. Beide begannen im März 2006, zwei Monate nach dem Einsturz der Eishalle Bad Reichenhall.

Die Zielsetzung des im Folgenden dargestellten Projektes war, die Tragsicherheit aller 152 weitgespannter Holztragwerke in der Verantwortung der Stadt München festzustellen und zu beurteilen. Aus den Ergebnissen dieser Untersuchungen wurden Angaben zu potentiell notwendigen Ertüchtigungs- und Verstärkungsmaßnahmen abgeleitet. Zusätzlich wurden Vorgehen und Intervalle für zukünftige Gebäudeuntersuchungen erarbeitet. Diese Vorgehensweise soll auch zukünftig das geforderte Tragsicherheitsniveau gewährleisten.

2 Überprüfung der Holztragwerke der Stadt München

Angeregt durch die Ereignisse des Winters 2006 entschied sich die Stadt München, systematisch die Tragsicherheit aller weitgespannter Konstruktionen unter ihrer Verantwortung zu überprüfen, beginnend mit Tragwerken aus Holz. Der Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion wurde beauftragt, zum Zwecke einer besseren und sicheren Ablaufplanung die Tragwerke in Prioritäten einzustufen, einen Leitfaden zur Überprüfung dieser Tragwerke zu erstellen, die Ergebnisse der Überprüfungen auszuwerten und Vorschläge für zukünftige Inspektionsintervalle zu geben. Die Überprüfung der Tragwerke selbst wurde in Zusammenarbeit mit fünf Prüfingenieuren durchgeführt.

3 Einstufung der Tragwerke

Die Dringlichkeit der zu überprüfenden Bauwerke wurde, unter Betrachtung der Schwerpunktsetzungen Tragsystem und Schadenskonsequenz, in drei Prioritäten aufgeteilt (Tab. 1).

Die Bauwerke der ersten Priorität mussten in einer sehr kurzen Zeitspanne untersucht werden, um notwendige Ertüchtigungs- und Verstärkungsmaßnahmen vor dem nächsten Schneefall zu ermöglichen. Die Tragwerksuntersuchungen an Bauwerken der Prioritätsstufen zwei und drei hatten vor dem nächsten Winter zu erfolgen.

Tab. 1: Prioritäten der Stadt München für die Überprüfung von Holztragwerken

Priorität	Zeitraum	Beispiele
I	Überprüfung und potentielle Ertüchtigungsmaßnahmen vor dem nächsten Schneefall	Gebäude: Versammlungshallen und Sportstätten Bauteile: Fachwerkträger, Nagelplattenbinder, Kämpfstegträger sowie gekrümmte Träger und Satteldachträger
II; III	Überprüfung vor dem nächsten Winter; Ertüchtigungsmaßnahmen nach Bedarf	Tragwerke kürzerer Spannweite, stelle Dachtragwerke, Sekundärtragwerke aus Holz

Im Anschluss an die Untersuchungen der Tragwerke der ersten Prioritätsstufe wurden Ertüchtigungsmaßnahmen definiert. Es erfolgte eine Einteilung in vier Kategorien:

- Kategorie I – Sofort Sperren
- Kategorie II – Ertüchtigung noch vor Winter
- Kategorie III – geringfügige Sanierung
- Kategorie IV – keine Sanierung notwendig

4 Leitfaden für die Überprüfung von Holztragwerken

Der Leitfaden, der für die Überprüfung dieser Tragwerke vorbereitet wurde, ist vergleichbar mit dem "Leitfaden zu einer ersten Begutachtung von Hallentragwerken aus Holz" [1], erstellt von einem Gremium aus fünf Fachleuten (Blaß, Brüninghoff, Kreuzinger, Radovic und Winter) und herausgegeben von der Studiengemeinschaft Holzleimbau. Er umfasst die folgenden Schritte (Tab. 2)

In gegebenem Projekt ergaben sich die ersten Probleme mit dem häufigen Fehlen von Planunterlagen und statischen Berechnungen, was häufig eigene Messungen vor Ort sowie die Neuberechnung wichtiger Tragwerksteile bedingte. Die Untersuchungen vor Ort wurden häufig in zwei Teilen durchgeführt, da eine erste Begehung notwendig war, um einen Überblick zu gewinnen und das Vorgehen für die handnahe Untersuchung sowie dafür notwendige Werkzeuge, Messinstrumente und Arbeitskräfte festzulegen. Wenn notwendig, wurden die Überprüfungen mit Materialuntersuchungen gekoppelt. Zu diesen gehörten z.B. Scherprüfungen an Bohrkernen zur Bestimmung der Qualität der Klebefuge oder Bohrwiderstandsmessungen um die Tiefe von biologisch geschädigten Bereichen zu bestimmen.

Für jedes überprüfte Gebäude wurde ein Gutachten erstellt, welches die folgenden Kapitel beinhaltete:

- kurze Beschreibung von Gebäude / Tragwerk
- vorhandene Dokumente
- Untersuchung vor Ort inkl. Bilddokumentation
- Beurteilung und Schlussfolgerungen (Relevanz der Schäden für die Tragsicherheit)
- Richtlinien für Ertüchtigungs- / Verstärkungsmaßnahmen
- Empfehlungen für zukünftige Überprüfungen und deren Intervalle

Tab. 2: Auszüge aus "Leitfaden zu einer ersten Begutachtung von Hallentragwerken aus Holz"

Schritt	Beschreibung	Aufgaben (auszugsweise)
1	Sichtung der Unterlagen zum Tragwerk	Plausibilität der statischen Berechnung und Ausführungspläne Prüfberichte; Übereinstimmungsnachweise Übereinstimmung der wesentlichen Bauteile mit Normen und Zulassungen Übereinstimmung des Tragwerks mit den Konstruktionsunterlagen Informationen zu z.B. Verklebung (Leimbuch) und Montage
2	Bestimmung der Gebäudenutzung	Nutzung des Gebäudes / Umnutzung Zuordnung zu einer Nutzungsklasse im Hinblick auf die klimatischen Beanspruchungen im Gebäude Anzunehmende Einwirkungen wie Eigengewicht und Nutzlasten im Hinblick auf die Gebäudenutzung
3	Feststellung von baulichen Veränderungen	Vergleich von Planung und aktuellem Stand Änderungen (Gründach, Lüftung, Wärmedämmung,…) Nachträgliches Schließen offener Gebäude Nachträgliche Durchbrüche, nachträglich angehängte Lasten
4	Überprüfung der Geometrie des Gebäudes	Inaugenscheinnahme zur Feststellung von Überhöhungen und Verformungen Lasermessung zur Feststellung von Durchbiegungen und Verformungen Messung von Verwölbungen und Schrägstellungen mittels Richtlatte
5	Handnahe Inaugenscheinnahme	Verbindungen (fester Sitz, Anzahl der Verbindungsmittel) Wasserflecken (Feuchtequelle; Zustand von Holz und Verklebung; Feuchtemessung in mehreren Tiefen) Entwässerung (beheizte Rohre und Rinnen; verstopfte Rohre; Notabläufe) Pilze, Korrosion metallischer Bauteile Verfärbungen; Klangänderungen beim Abklopfen des Holzes Oberflächenbehandlung bei Bauteilen im Freien (Wirksamkeit der Oberflächenbehandlung)
6	Feststellen von Rissen	Rissaufnahme nach Tiefe, Breite, Länge, Anzahl und Verteilung; Dokumentation Bei Rissen von mehr als 90 mm Tiefe oder b/6 bzw. b/8 (bei Querzug) sollte eine Fachmann (s. Kap. 7) eingeschaltet werden Holzfeuchtemessung mit ausreichend langen, isolierten Elektroden in unterschiedlichen Tiefen; Dokumentation
7	Bauphysikalische Randbedingungen	Luftdichtigkeit der Gebäudehülle (Anschlüsse) Bauteilfeuchte Überprüfung des Klimas im Gebäude

5 Ergebnisse und Richtlinien zur Tragwerksertüchtigung

Von den 45 in Priorität I eingeordneten Gebäuden mussten zwei Gebäude bis zur Fertigstellung der Ertüchtigungsmaßnahmen geschlossen werden. In beiden Fällen war die Aussteifung unzureichend bzw. inexistent. 19 Tragwerke (= 42%) konnten weiter betrieben werden, waren jedoch bis zum nächsten Schneefall zu ertüchtigen (Abb. 1). Tragwerke, welche in diese Kategorie eingeordnet wurden wiesen unterschiedlichste Mängel auf, vorwiegend waren dies fehlerhafte statische Berechnungen, Mängel in der Ausführung von Verbindungen oder Aussteifungssystemen sowie Verklebungsfehler bei großen Brettschichtholzträgern. Die Gebäude der Prioritäten II und III zeigten bessere Ergebnisse.

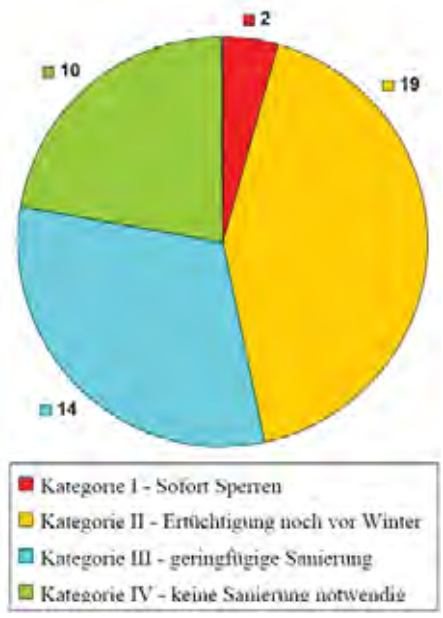


Abb. 1:Holztragwerke der Stadt München - Priorität I

Von allen 152 kategorisierten Gebäuden fiel die Mehrheit in Kategorien III und IV. Die verbleibenden 24% der Tragwerke wiesen Schäden auf, die in Stand zu setzen waren (Abb. 2).

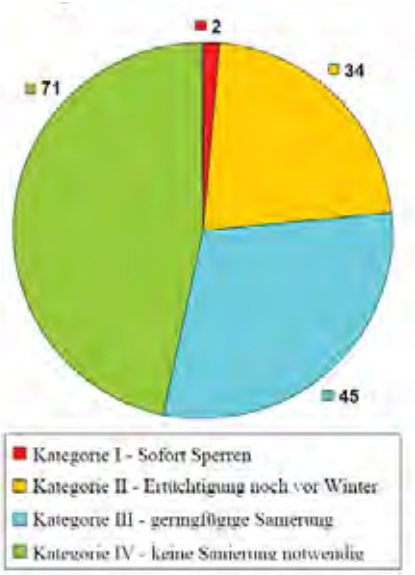


Abb. 2: Holztragwerke der Stadt München - Prioritäten I-III

Ein Vergleich der Abb. 1 und Abb. 2 zeigt, dass die vorab durchgeführte Priorisierung der Tragwerke sehr sinnvoll war, da so zum einen der Großteil der nach den Überprüfungen als kritisch eingestuften Tragwerke schon in der ersten Runde der Überprüfungen enthalten war, zum anderen, da dies eine bessere Disponierung der für die Ertüchtigungsmaßnahmen notwendigen Arbeitskräfte erlaubte.

6 Schneelastkataster

Für den Fall, dass notwendige Verstärkungs- / Ertüchtigungsmaßnahmen nicht vor dem nächsten Schneefall vollendet werden konnten, wurde ein Schneelastkataster eingerichtet. Dieses listete alle Tragwerke und ihre zugehörige, bis zur Vollendung der Ertüchtigungsmaßnahmen maximale zuzulassende Schneelast auf. Zusätzlich wurden „Referenzdächer“ bestimmt, auf welchen die Schneelast zu definierten Zeiten gemessen wurde. Diese sollten gleichmäßig über die Stadtfläche verteilt sein und die relevanten Dachformen repräsentieren. Erreichte die Schneelast auf einem Referenzdach 80% der zulässigen Schneelast, so

war das betreffende Gebäude zu schließen und der Schnee günstigstenfalls abzuschaufeln. Jedem Gebäude wurde eine zuständige Person zugewiesen, die für die Durchführung dieser Aufgaben verantwortlich war.

7 Empfehlungen für zukünftige Bauwerksüberprüfungen

Um eine zuverlässige Fortführung des begonnenen Projektes zu gewährleisten, wurden für jedes Gebäude Empfehlungen für zukünftige Überprüfungen aufgestellt. Diese wurden in Übereinstimmung mit dem obengenannten Leitfaden unter besonderer Betonung der während der Überprüfung ermittelten kritischen Elemente erstellt (Angabe der zu überwachenden Elemente, durchzuführende Messungen,…). Die Festlegung von Überprüfungsintervallen und notwendiger Qualifikation des durchführenden Fachpersonals wurde auf Basis eines Dokumentes durchgeführt, welches im gleichen Winter in Zusammenarbeit mit der Bayerischen Obersten Baubehörde erstellt wurde. Die „Hinweise für die Überprüfung der Standsicherheit von baulichen Anlagen durch den Eigentümer / Verfügungsberechtigten“ [2] teilen bauliche Anlagen (aller Baustoffe) vor dem Hintergrund des Gefährdungspotentials und der Schadensfolgen ein (Tab. 3). Dokumente mit vergleichbaren Angaben wurden auch schon in anderen Ländern veröffentlicht [3].

Basierend auf dieser Einteilung werden Anhaltswerte für Zeitintervalle der Überprüfungen gegeben.

Diese Einteilung ermöglicht es dem Eigentümer, die häufig wiederkehrenden Begehungen selbst durchzuführen. Für die Sichtkontrolle und die eingehende Überprüfung sollte er fachkundige und besonders fachkundige Personen hinzuziehen. Fachkundige Personen sind z.B. Bauingenieure oder Architekten mit mehr als 5 Jahren Erfahrung in entsprechendem Bereich (Aufstellen von Standsicherheitsnachweisen, technische Bauleitung). Besonders fachkundige Personen sind z.B Prüfingenieure, öffentlich bestellte und vereidigte Sachverständige und Bauingenieure mit mehr als 10 Jahren Erfahrung in entsprechendem Fachbereich (hier: Holzkonstruktionen).

Um zukünftige Überprüfungen zu erleichtern und eine einheitliche Dokumentation zu gewährleisten wurde das Konzept des Bauwerksbuches eingeführt.

Tab. 3: Einteilung von baulichen Anlagen entsprechend den „Hinweisen für die Überprüfung der Standsicherheit von baulichen Anlagen durch den Eigentümer / Verfügungsberechtigten“ [2]

Gefährdungspotential/ Schadensfolgen	Gebäudetypen und exponierte Bauteile	Beispiele (auszugsweise)
Kategorie 1	Versammlungsstätten für mehr als 5000 Personen	Stadien
Kategorie 2	Bauliche Anlagen mit über 60 m Höhe	Fernsehtürme, Hochhäuser
	Gebäude und Gebäudeteile mit Stützweiten > 12 m und/oder Auskragungen > 6 m sowie großflächigen Überdachungen	Einkaufsmärkte, Sporthallen, Produktionshallen, Schulen, Theater,…
	Exponierte Bauteile von Gebäuden, soweit sie ein besonderes Gefährdungspotential beinhalten	Große Vordächer, angehängte Balkone, Kuppeln,…

Tab. 4: Überprüfungsintervalle nach [2]

Kategorie	Begehung (jeweils nach … Jahren)	Sichtkontrolle	Eingehende Überprüfung
1	1-2	2-3	6-9
2	2-3	4-5	12-15
Durchzuführen von:	Eigentümer/ Verfügungsberechtigter	Fachkundige Person	Besonders fachkundige Person

8 Bauwerksbuch

Das Bauwerksbuch sollte alle notwendigen Informationen beinhalten, die die verantwortliche Person und zukünftige Prüfer benötigen. Es kann folgenden Aufbau haben:

Für Bestandsgebäude ist das Bauwerksbuch ein gutes Mittel um zukünftige Überprüfungen zu vereinfachen und um eine durchgängige Dokumentation zu gewährleisten, sogar für den Fall des Wechsels der verantwortlichen Personen. Für Bestandsgebäude sollte es in Verbindung mit der eingehenden Überprüfung aufgestellt werden und alle verfügbaren Informationen enthalten. Sollten notwendige Informationen (z.B. Planunterlagen, statische Berechnungen) nicht mehr vorhanden sein, ist mit dem Eigentümer abzustimmen, welche Informationen neu zu erstellen sind. Für Neubauten wird empfohlen, dass das Bauwerksbuch vom Tragwerksplaner erstellt wird. Der Aspekt der Wartungsfreundlichkeit und Überprüfbarkeit kritischer Bauteile sollte schon in der Planungsphase berücksichtigt werden. Das Bauwerksbuch ist nur vollwertig nutzbringend, wenn es vom Eigentümer und zukünftigen Prüfern im Sinne eines „Bauwertstagebuches“ fortgeführt wird.

9 Diskussion und Schlussfolgerungen

Ein weiterer Artikel (6.4 Auswertung von Schäden an Hallentragwerken aus Holz) der Autoren in diesem Kompendium verdeutlicht, dass ein Großteil der auftretenden Schäden auf menschliches Versagen zurückzuführen ist. Um solche Fehler und damit das Auftreten von Schäden zu verringern, zeigte es sich als sehr vorteilhaft, Leitfäden und Intervalle zur Gebäudeüberprüfung einzuführen. Das Bauwerksbuch, welches ein Tragwerk über seine Lebenszeit begleitet, bietet die Möglichkeit diese Zielsetzungen an das betreffende Gebäude anzupassen und ist deshalb ein gutes Hilfsmittel um die obengenannten Zielsetzungen für jedes Tragwerk zu erreichen.

Tab. 5: Beispielhafter Aufbau des Bauwerksbuches

1	Allgemeines
2	Aufstellungsdaten (Architekt, Fachingenieure, Prüfingenieur, Baufirmen,…)
3	Bauwerkseinzelblatt (Gebäudetyp, Tragsystem, Abmessungen, Fundamente,…)
4	Bauwerksbeschreibung und Bauwerksskizzen (Positionsplan, Baumaterialien und Querschnitte)
5	Aufbauten / Lastzusammenstellung / Nutzlasten (z.B. Schneelasten)
6	Standsicherheitsnachweis (verwendete Normen (Ausgabe), Stabwerksprogramme,…)
7	Baugrund (z.B. Grundwasserstand)
8	Materialien / Bauteile (Materialeigenschaften, Zulassungen,...)
9	Änderungen / Umbauten / Instandsetzungen (z.B. Durchbrüche, Gründach, Lüftung, Wärmedämmung,…)
10	Sanierungsmaßnahmen / Prüfungs- und Überwachungsanweisungen (und -Intervalle)
11	Bauwerksprüfungen (Prüfer, Geräteeinsatz, Besonderheiten)
12	Planunterlagen (vorhandene Dokumente, Datum des Dokuments)
13	Ausfertigungen (Aufsteller, Kopien an…)
14	Inhaltsverzeichnis

Quellen

[1] Blaß H.-J., Brüninghoff, H., Kreuzinger, H., Radović, B., Winter, S., "Leitfaden zu einer ersten Begutachtung von Hallentragwerken aus Holz", Studiengemeinschaft Holzleimbau, Wuppertal, 4S.

[2] Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Inneren, "Hinweise für die Überprüfung der Standsicherheit von baulichen Anlagen durch den Eigentümer/ Verfügungsberechtigten", München, 2006, 11S.

[3] Toratti, T. et al., „Quality of timber construction – guidance for buildings and load bearing structures", COST Action E55, 1st Workshop, Technische Universität Graz, 2007, 68S.

6.4 Qualitätssicherung
Auswertung von Schäden an Hallentragwerken aus Holz

Philipp Dietsch, Arthur Wolfrum, Stefan Winter

1 Einleitung

Am Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion wurden zwei großangelegte Projekte zur Überprüfung von weitgespannten Holztragwerken durchgeführt. Beide begannen im März 2006, zwei Monate nach dem Einsturz der Eishalle Bad Reichenhall.

Die Zielsetzung des im Folgenden dargestellten Projektes war, Informationen zu geschädigten Holztragwerken zusammenzustellen und auszuwerten, deren Schäden in der Größenordnung von Bauteilschäden bis zum Totaleinsturz lagen. Die Ergebnisse sollen es ermöglichen, Schadensmechanismen zu identifizieren. Mithilfe dieser sollen für vergleichbare Tragwerke zuständige Ingenieure in die Lage versetzt werden, notwendige Maßnahmen zu ergreifen um vergleichbare Schäden zu vermeiden. 109 Schadensfälle aus Bayern und benachbarten Ländern wurden im Rahmen dieser Untersuchung ausgewertet. Die Grundlage bildeten Informationen von Behörden, Fachverbänden und Sachverständigen, hauptsächlich wurden sie jedoch durch eigene Recherchen vor Ort erbracht.

2 Ausgangssituation

Die ersten Monate des Jahres 2006 waren geprägt von zahlreichen Schäden und Einstürzen weitgespannter Tragwerke. Eine nicht unwesentliche Zahl dieser waren Tragwerke aus Holz. Die Einstürze ereigneten sich überwiegend unter hoher Schneelast, die jedoch nur in 13% der Fälle die Bemessungsschneelast überstieg. Demzufolge ist die Schneelast sicherlich als Auslöser, in den seltensten Fällen jedoch als Ursache für die Einstürze anzusehen.

3 Datenerfassung und Auswertung

Insgesamt wurden 109 Tragwerke in der Untersuchung berücksichtigt. Der Großteil der untersuchten Gebäude liegt in Bayern. Dies kann durch den starken Schneefall sowie die frühe Reaktion der Baubehörden begründet werden, welche beide zu einer verstärkten Überprüfungstätigkeit an weitgespannten Tragwerken führten. Denn nur untersuchte (oder sichtbar geschädigte) Tragwerke können auffällig werden.

Die Schäden wurden in die Kategorien Totaleinsturz, Teileinsturz, Sperrung (auch vorübergehend) und Sanierung eingeteilt (Abb.1). 71% der gemeldeten Gebäude beinhalteten Holzbauteile (77 insgesamt). Dies kann u.a. mit der hohen Sensibilität der Behörden gegenüber Holztragwerken in der Folge des Einsturzes der Eishalle Bad Reichenhall begründet werden, die zu einer erhöhten Überprüfung von Holztragwerken führte. In 54% der Fälle waren Holzbauteile die Ursache für einen Einsturz. 62% der erfassten Holztragwerke bestanden aus Brettschichtholzbauteilen (Abb.2). Dieses begründet sich aus der überwiegenden Verwendung von Brettschichtholz für weitgespannte Holztragwerke, deutet jedoch auch Problemstellungen in mit diesem Material realisierbaren Tragwerken an (z.B. Querzugverstärkungen in gekrümmten Trägern), die heutzutage jedoch größtenteils durch die neue Normengeneration berücksichtigt sind. Da die erhältlichen Informationen teilweise nicht ausreichend waren, enthalten alle Diagramme eine Spalte „nicht definiert“. Die Variationen der Gesamtsummen begründen sich dadurch, dass teilweise mehrere Schadensursachen angegeben wurden.

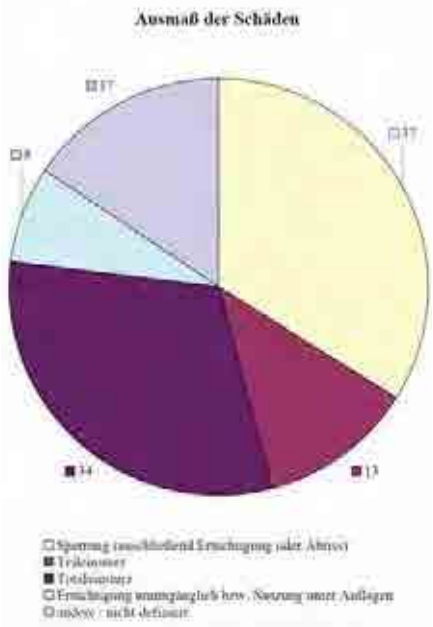


Abb.1: Ausmaß der Schäden

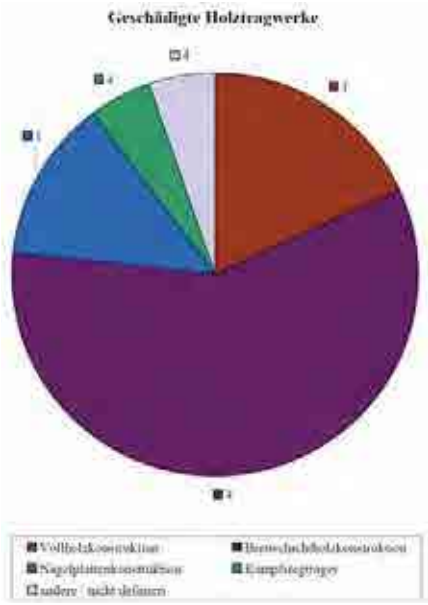


Abb.2: Geschädigte Holztragwerke

4 Schäden an Holztragwerken

Eine Betrachtung aller Holztragwerke und Tragwerke aus Brettschichtholz zeigt nur minimale Abweichungen in den Häufigkeiten der Schadensursachen.

4.1 Fehler in Planung, Ausführung und Unterhalt

Die häufigste Ursache für Schäden sind Fehler in Planung, Ausführung und Unterhalt (fehlerhafte statische Berechnungen, unzulängliche Ausführungsplanung, mangelhafte Ausführung, nachträgliche Umbaumaßnahmen ohne Nachweis). Sie begründen 33% (bzw. 43% bei BSH-Konstruktionen) der Schäden (Abb.3 and Abb.4). Die Anzahl der geschädigten Tragwerke, bei denen die Ausführung wesentlich von den geprüften Berechnungen und Konstruktionsplänen abwich, war bemerkenswert. Eine weitere beachtenswerte Schadensursache waren Umbaumaßnahmen (u.a. das Aufbringen eines Gründaches ohne zusätzliche statische Berechnungen), welche z.B. zu höheren Lasten oder zu veränderten Klimabedingungen führten.

Schäden an älteren Tragwerken ergaben sich z.T. aus einem geringeren Wissensstand (Stand der Technik) zum Planungszeitpunkt (z.B. bezüglich Blockscheren in Verbindungen oder Querzugspannungen in gekrümmten Trägern)

4.2 Klimabeanspruchungen

Umgebungsbedingungen, die zu niedrigen oder hohen Holzfeuchten (und damit im Falle hoher Holzfeuchten möglichenfalls zu Fäulnis) führen, waren in 21% (20%) der Fälle die Schadensursache. Die mangelnde Berücksichtigung der klimatischen Einflüsse in der Planung oder bei späteren baulichen Veränderungen (z.B. offene Bauwerke, die zu Ausstellungshallen umgenutzt und somit allseitig geschlossenen werden) ist wiederum als menschliches Versagen zu werten. Besondere Beachtung ist Bauteilen mit großen Querschnitten zu schenken, wenn diese aufgrund der späteren

Gebäudenutzung (z.B. Eishallen, Reithallen), hohen Holzfeuchteänderungen unterworfen sein werden. Deren stark wechselnde Holzfeuchtegradienten können zu einer progressiven Rissbildung führen, vor allem wenn das freie Schwinden z.B. durch weit auseinander liegende Verbindungsmittelgruppen behindert ist.

4.3 Material

Materialschwäche, zu der auch Querzugversagen gezählt wurde, bedingte 21% (23%) der Schäden. Auch hierbei sind menschliche Fehler nicht auszuschließen. Beispielsweise zählen Querzugverstärkungen seit 1980 zum Stand der Technik, wurden jedoch auch in den folgenden Jahren nicht immer berücksichtigt. Weitere Beispiele sind die Verwendung von ungeeignetem Klebstoff (z.B. die Verwendung von Harnstoffharz-Klebstoff in feuchten Umgebungsbedingungen) oder die Verwendung von zu kurzen Keilzinken für Lamellenstöße.

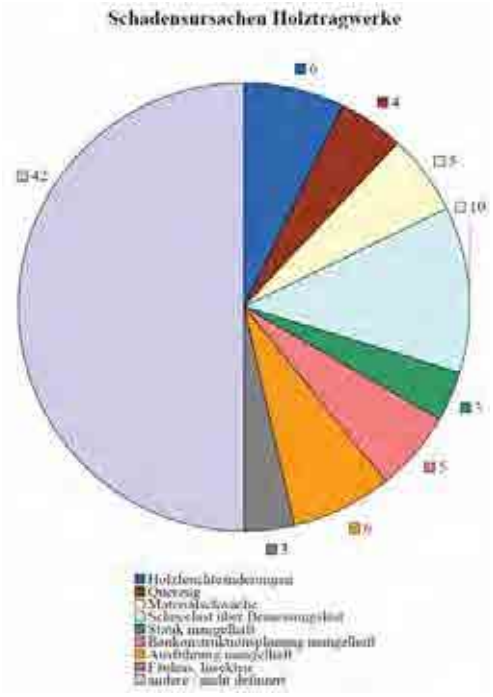


Abb.3: Schadensursachen Holztragwerke

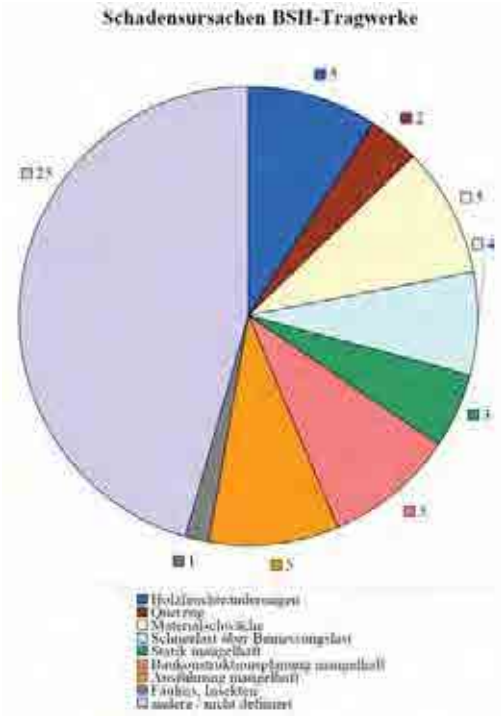


Abb.4: Schadensursachen BSH-Tragwerke

5 Zusammenfassung

Es lässt sich folgern, dass der Großteil der erfassten Schäden auf menschliches Versagen zurückführen ist. Dieses lässt sich assoziieren mit Fachwissen und Qualität der Arbeit. Fachwissen ist eine Qualität. Und Qualität braucht Zeit.

Das Holz selbst, unter Anerkennung des Standes der Technik bearbeitet und eingebaut, war in den seltensten Fällen die Ursache für Schäden. Das gleiche gilt für hohe Schneelasten, die als Auslöser, nicht jedoch als Ursache für erfasste Schäden gelten kann.

Eine weitere große und detaillierte Schadensanalyse bestehender Holzkonstruktionen von Blaß und Frese [1] liefert analoge Ergebnisse. Auch ein skandinavisches Projekt von Frühwald et al. [2] unterstreicht die Verbindung der Schäden mit menschlichem Versagen. Vergleichbare Untersu-

chungen zu anderen Baumaterialien [3] besagen dasselbe.

Der Einsturz der Eishalle Bad Reichenhall verdeutlichte, das der Besitzer / Verfügungsberechtigte für den ordnungsgemäßen Bauunterhalt sowie die Gebäudesicherheit verantwortlich ist. Der fachlich und zeitlich korrekte Bauunterhalt ist eine Grundvoraussetzung für ein gleichbleibendes Tragverhalten über die Lebenszeit des Gebäudes. In vielen der untersuchten Fälle war diese Anforderung nicht erfüllt, was in einer abnehmenden Tragsicherheit und einem erhöhten Schadensrisiko resultierte. Ein weiterer Artikel (1.5 Überprüfung und Unterhalt von Hallentragwerken aus Holz) der Autoren in diesem Kompendium erläutert das Vorgehen bei der Untersuchung von weitgespannten Holztragwerken und gibt Hinweise zu Untersuchungsintervallen, welche es ermöglichen das angestrebte Tragsicherheitsniveau über die gewünschte Lebensdauer aufrechtzuerhalten.

Quellen

[1] Blaß, H.-J., Frese, M., "Bauwerksuntersuchungen – Ergebnisse und Erkenntnisse, in: Tagungsband 13. Internationales Holzbau-Forum, Garmisch, 2007, 12S.

[2] Frühwald, E., Serrano, E., Toratti, T., Emilsson, A., Thelandersson, S., Design of safe timber structures – How can we learn from structural failures in concrete, steel and timber?, Report TVBK-3053., Div. of Struct. Eng., Lund University, 2007, 270S.

[3] Bundesministerium für Verkehr, „Schäden an Brücken und anderen Ingenieurbauwerken", Dokumentation, Verkehrsblatt-Verlag, Dortmund, 1994, 440S.

6.4 Qualitätssicherung
Zerstörungsfreie und –arme Überprüfungsmethoden

Mareike Vogel, Thomas Tannert

Einführung

Alle Arten von Einwirkungen beanspruchen Bauwerke auf verschiedenste Arten und generieren unterschiedliche Probleme. Es besteht daher ein enormer Bedarf an Überprüfungen von bestehenden Bauwerken. Eine Zustandserfassung und –beurteilung von Tragwerken ist unter anderem notwendig: (i) wenn die Ergebnisse einer periodischen Untersuchung dies erfordern, (ii) bei Ablauf der geplanten Nutzungsdauer, (iii) bei Bekanntwerden von Bemessungs- oder Ausführungsmängeln, (iv) anlässlich einer geplanten Nutzungsänderung, (v) bei Zweifeln an der Tragsicherheit, hervorgerufen durch sichtbare Schäden, (vi) bei offensichtlich mangelhafter Gebrauchstauglichkeit, und (vii) wegen ausserordentlicher Vorkommnisse während der Nutzung (z.B. Fahrzeuganprall, Lawinen, Brand, Erdbeben, etc.) [1].

Die Untersuchung von Holzbauteilen im Zuge einer Zustandserfassung hat zum Ziel, die Ursache, den Grad und die Ausbreitung von Schädigungen sowie die verbleibenden Festigkeitseigenschaften zu bestimmen. Die für die Prüfung von geschädigten und gefährdeten Holzkonstruktionen eingesetzten Methoden wurden teilweise für andere Materialen entwickelt und müssen hinsichtlich ihrer Aussagekraft und Präzision für Holz überprüft und gegebenenfalls angepasst werden. Gegenstand eines Projektes der Berner Fachhochschule Architektur, Holz und Bau (BFH) war es, die vorhandenen Methoden der Zustandserfassung von Bauwerken hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit bei Holztragwerken zu bewerten.

Bei den Untersuchungs- und Prüfmethoden unterscheidet man je nach Grad der entstehenden Beeinträchtigung oder Querschnittsschwächung des zu untersuchenden Bauteils zwischen: (i) zerstörungsfreien, (ii) zerstörungsarmen, und (iii) zerstörenden Methoden. Bei bestehenden Tragwerken kommen meist nur zerstörungsfreie bzw. zerstörungsarme Prüfverfahren in Betracht. Für die Entscheidung, welcher (vermutete) Schaden mit welcher Methode am besten festgestellt und untersucht bzw. welche Materialeigenschaft mit welcher Methode geprüft werden kann, gibt es diverse Veröffentlichung, unter anderem von Lissner und Rug [2], Kasal und Anthony [3] und ein Rilem „State of the Art Report“ [4].

Zerstörungsfreie Untersuchungsmethoden

Bei den zerstörungsfreien Prüfverfahren werden die Integrität von Bauteilen und Tragwerken überprüft, ohne dem Prüfobjekt Schäden zuzufügen und dessen Verwendungszweck zu beeinflussen. Die zerstörungsfreien Prüfverfahren kann man allgemein in visuelle, akustische, elektrische, auf Strahlung basierende und mechanische Methoden unterscheiden.

Als visuelle Untersuchungen fasst man Methoden zusammen, die mit den menschlichen Sinnesorganen (z.B. Sehen, Riechen, Schmecken, Tasten, Klopfen) oder unter Einsatz von einfachen Hilfsmitteln durchgeführt werden. Solche Untersuchungen lassen eine Abschätzung über den Zustand des Tragwerkes zu. Bis auf das analoge Messen sind die Ergebnisse lediglich qualitativ, subjektiv und sehr von der Erfahrung und des Anwenders abhängig.

Akustische Untersuchungsmethoden können dazu eingesetzt werden, die elastischen Eigenschaften von Holzbauteilen zu ermitteln. Je nach Frequenz und Bauteilzugänglichkeit unterscheidet man zwischen Resonanz-, Durchschallungs- und Ultraschallechoverfahren. Mittels der Durchschallungs- und der Resonanzmethode kann die Steifigkeit eines Bauteils ermittelt werden. Das Ultraschallechoverfahren wurde erfolgreich zur Ortung von Fehlstellen eingesetzt [5].

Bei der Widerstandstomographie wird der elektrische Widerstand an der Oberfläche des Prüfkörpers gemessen und auf die Leitfähigkeit im Inneren geschlossen. Damit können Stellen mit geringer Leitfähigkeit (z.B. Hohlräume durch fortgeschrittenen Pilzbefall) aufgezeigt werden. Mit dem Impulsradar, einem elektromagnetischen Reflexionsverfahren können Störungen innerhalb massiver Körper durch Reflexion von Strahlungen erfasst werden und Feuchteschäden aller Art, Lage von Bewehrungseisen, Fussbodenaufbauten und Hohlräume erkannt werden [1][7]. Bei der Magnet-Resonanz-Tomografie werden kontrastreiche Schnittbilder des Prüfkörpers unter Einsatz von Magnetfeldern erzeugt. Dieses aus der Medizin kommende Verfahren lässt sich hervorragend zur Prüfung verschiedenster Materialien einsetzen. An Holzkörpern lassen sich Aussagen über den Jahrringaufbau, Druckholz, Äste, Dichte sowie die Verteilung von freien und gebundenen Wasser machen [5].

Die Spektroskopie stellt eine Gruppe experimenteller Verfahren dar, mit denen anhand von Lichtquellen untersucht wird, wie elektromagnetische Strahlung und Materie in Wechselwirkung stehen. Für Untersuchungen an Holz kann man die Mikrowellenspektroskopie, die Infrarotspektroskopie sowie die Spektroskopie mit Röntgen- und Gammastrahlen verwenden. Mit der Mikrowellenspektroskopie können die Dichte, der Feuchtegehalt und der Faserwinkel des Holzes bestimmt sowie Inhomogenitäten und Defekte lokalisiert werden [5]. Das Mikrowellenverfahren wird industriell eingesetzt, um Äste, Faserverlauf und Defekte in Holzkörpern zu erfassen und in Bildern darzustellen [6]. Durch die Bestrahlung im Infrarot (IR)-Bereich werden Molekülbindungen zum Schwingen angeregt und Energie absorbiert. Die Absorptionsbanden werden graphisch dargestellt und zur Ermittlung der Festigkeitseigenschaften, der chemischen Zusammensetzung und des Feuchtegehaltes eingesetzt werden [8].

Gammastrahlen haben die besten Durchdringungseigenschaften, stellen aber auch gleichzeitig die am schwersten abzuschirmende ionisierende Strahlung dar. Aufgrund des hohen Energiebedarfs und der starken Strahlungsbelastung wird diese Methode nur in stationären Scannern in der Holzindustrie und für Forschungszwecke eingesetzt. Mobile Röntgenblitzröhren sind für den Praxiseinsatz besser geeignet; man kann schadhaftes Holz in Balken und Holzstämmen erkennen [9]. Beim herkömmlichen Röntgenverfahren wird das Volumen eines Körpers auf eine Fläche projektiert wobei die 3D Informationen verloren gehen. Mittels der Computertomographie kann man dieses Problem umgehen; es werden Röntgenaufnahmen aus verschiedenen Richtungen gemacht und so die verlorenen Volumeninformationen rekonstruiert. So kann man beispielsweise hochauflösende Abbildungen von ganzen Baumstämmen erstellen. Faulstellen, Risse und Äste lassen sich genau lokalisieren [9].

Unter dem Begriff Thermografie wird eine Vielzahl von Techniken zusammengefasst, welche berührungslos die Temperatur von Oberflächen anhand deren Wärmeabstrahlung messen. Entscheidenden Einfluss haben dabei die Feuchteverteilung und die Wärmeleitfähigkeit. Bei der Aufnahme des Objektes wird die für das menschliche Auge unsichtbare Wärmestrahlung gemessen und auf der Abbildung in so genannte Falschfarben umgesetzt. Die Farben des Thermogramms stehen jeweils für eine bestimmte Strahlungsintensität. Es ist eine schnelle und rationelle Analyse von Wärmeverlusten an Bauwerken wie konstruktiv bedingte Wärmebrücken und Schwachstellen in der Wärmedämmung möglich. Obwohl es prinzipiell schwierig ist, mittels Thermografie Aussagen über die innere Beschaffenheit von Objekten zu machen, so sind doch Verfahren entwickelt worden, die zum Teil dazu geeignet sind, Schädigungen durch holzzerstörende Pilze in Holzkörpern aufzuzeigen [10].

Unter den mechanischen Verfahren zur Messung des Elastizitätsmoduls eignet sich besonders die Biegebeanspruchung für Belastungsversuche vor Ort. Bei relativ geringer Belastung der Bauteile ergeben sich bereits messbare Verformungen, woraus auf den Elastizitätsmodul der Bauteile geschlossen werden kann. Es sind verschiedene Messvorrichtung entwickelt worden, mit denen einzelne Bauteile aber auch ganze Brücken belastet werden können [11].

Zerstörungsarme Untersuchungsmethoden

Bei den zerstörungsarmen Methoden, die dem untersuchten Bauteil kleine bis minimale Schädigungen zufügen, kann man chemische, elektrische, mechanische und optische Verfahren unterscheiden. Chemische Verfahren dienen der Feststellung von Pilzbefall, Holzschutzmitteln oder anderer Stoffe. Elektrische Verfahren werden zur Holzfeuchtemessung eingesetzt und man unterscheidet zwischen direkten und indirekten Messverfahren. Die indirekte Holzfeuchtemessung basiert auf dem Zusammenhang zwischen relativer Luftfeuchte und der relativen Holzfeuchte in Abhängigkeit der Temperatur. Unter den direkten Holzfeuchtemessverfahren ist die elektrische Widerstandmessung weit verbreitet. Der Zusammenhang von Holzfeuchte und elektrischer Leitfähigkeit wird durch die Holzart, Rohdichte, Schnittrichtung, Inhaltstoffe und Temperatur beeinflusst. Bei der elektrischen Holzfeuchtemessung ist für jede Holzart eine speziell experimentell ermittelte Kennlinie zugrunde zu legen.

Bei den mechanischen Verfahren sollen kurz die Eindringwiderstandsmessung, die Ausziehwiderstandsmessung, die Bohrwiderstandsmessung, die Härtemessung, und die Bohrkernuntersuchung angesprochen werden. Bei der Eindringwiderstandsmessung (z.B. Pilodyn) wird ein dünner Metallstift mit konstanter Energie einen Prüfkörper getrieben und anhand des Eindringwiderstandes können Festigkeit und Rohdichte abgeschätzt werden. Bei der Ausziehwiderstandsmessung werden aus der Ausziehkraft einer Schraube Rückschlüsse auf die Holzfestigkeit gezogen. Bei der Bohrwiderstandsmessung wird eine Bohrnadel mit konstanter Vorschubgeschwindigkeit in einen Holzquerschnitt eingetrieben. Die Leistungsaufnahme des Motors schwankt wenn die Festigkeit variiert; in einem Bohrwiderstandsprofil wird der dimensionslose Bohrwiderstand über dem Bohrweg dargestellt. Zum Messen der Härte von Holz wird vor allem die Brinellhärte verwendet wo eine Sinterhartmetallkugel mit einer bestimmten Kraft in den Prüfkörper gedrückt wird. Bei der Bohrkernuntersuchung liefert ein Zuwachsbohrer einen Prüfkörper, der eine visuelle Beurteilung ermöglicht.

Als optisches Untersuchungsgerät ermöglicht es das Endoskop, nicht oder schwer einsehbare Bereiche wie verdeckte Hohlräume zu betrachten. Das Elastoskop kann stark gebogen werden und streckt sich wieder nach dem Biegen. Ein Videoskop ist ein Elastoskop, in das eine Kamera eingebaut ist. Die Mikroskopie schlussendlich ist geeignet zur Untersuchung von Holz- und Schädlingsproben.

Anwendung verschiedener Methoden am Fallbeispiel

2001 wurden bei der Überprüfung einer Geh- und Radwegbrücken in Dietfurt bei einigen hochbeanspruchten Bauteilen erhebliche Schäden festgestellt (Abbildung 1), so dass die Tragfähigkeit in Frage gestellt werden musste. Es wurden folgende Methoden angewendet: (i) visuelle Prüfung, (ii) akustische Prüfung mit Hammer, (iii) eletrische Feuchtemessung, (iv) Risstiefenmessung mit Ventillehre, und (v) Bohrwiderstandsmessung mit Resistograph®. Eine deutlich sichtbare Dunkelverfärbung der Pfosten und Diagonalen in dieser Zone gaben Hinweis auf einen ständig hohen Feuchtegehalt. Messungen ergaben durchweg Holzfeuchten teilweise weit über dem Fasersätti-

gungsgrad. Die Ergebnisse der Bohrwiderstandsmessungen bestätigten eine bereits verminderte Festigkeit der Konstruktionshölzer an den Stabenden.

Drei Balken- und 16 Knotenpunkte wurden im Labor weiteren Tests unterzogen. Sylvatest® Messungen wurden durchgeführt, um den dynamischen Elastizitätsmodul ausgewählter Balken zu bestimmen. An ausgewählten Prüfkörpern wurden CT-Scans an der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg durchgeführt (Abbildung 2), und an allen Prüfkörpern wurden Bohrwiderstandsprüfungen durchgeführt. Abschliessend wurden Biegeprüfungen zur Bestimmung des statischen Elastizitätsmoduls an den Balken und Zugprüfungen zur Bestimmung der Resttragfähigkeit an den Knotenpunkten durchgeführt.

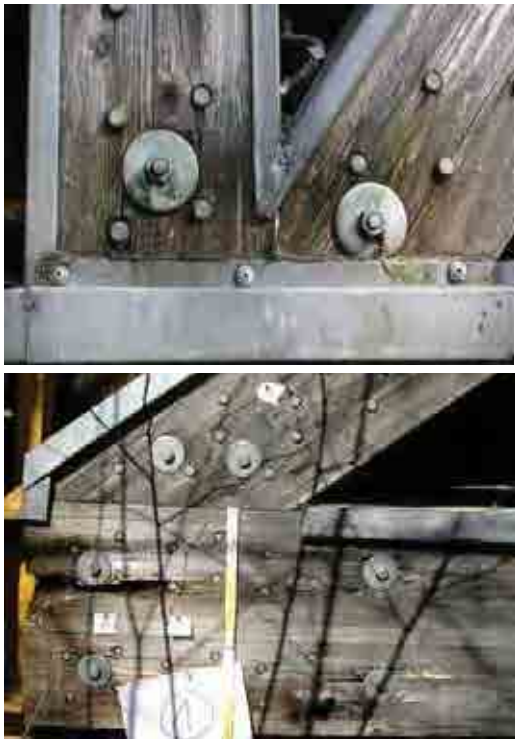


Abb. 1: Geschädigtes Element eines Brückentragwerks

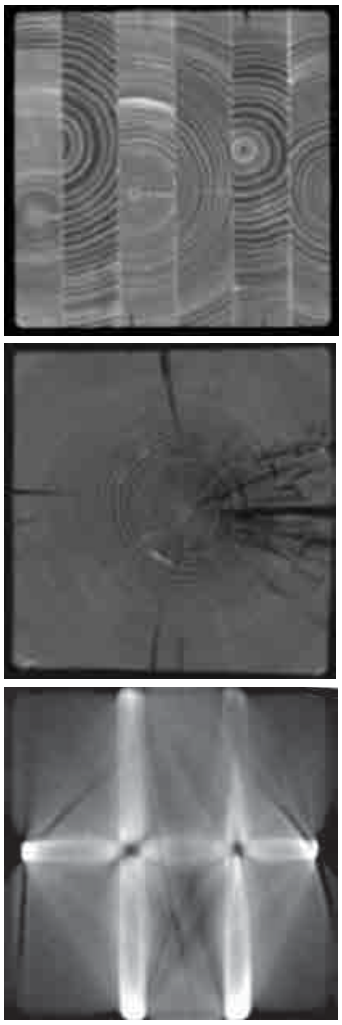


Abb. 2: CT-Scans: fehlerfreie Probe (oben), geschädigte Probe (mitte) und Schnitt nahe einer Stabdübelverbindung (unten)

Die angewandten Methoden ermöglichten es, Problembereiche zu identifizieren, Bilder des inneren Zustandes der untersuchten Bauteile zur Verfügung zu stellen und Vergleiche zwischen den einzelnen Prüfkörpern anzustellen. Aber diese Techniken konnten wegen der schwachen Korrelation zwischen den zerstörenden und zerstörungsfreien Parametern nicht die Materialeigenschaften wie den E-Modul von Biegebalken oder die Tragfähigkeit von Stabdübelverbindungen zuverlässig voraussagen.

Zusammenfassung und Ausblick

Bei den Methoden der Prüfung und Kontrolle von geschädigten und gefährdeten Holzkonstruktionen werden zerstörungsfreie, zerstörungsarme und zerstörende Methoden unterschieden. Im Rahmen eines BFH Projektes wurden die im Holzbau eingesetzten und einsetzbaren zerstörungsfreien und zerstörungsarmen Methoden hinsichtlich ihrer Aussagekraft, Präzision und Anwendbarkeit für die Überprüfung von Holzbauteilen bewertet. Im Rahmen einer Fallstudie wurde gezeigt, dass nur eine Kombination verschiedener Methoden zu zuverlässigen Resultate führen kann.

Die visuelle Überprüfung ist eine unentbehrliche Massnahme, um geschädigte Abschnitte zu erkennen, aber die Korrelation zwischen erkennbaren Schäden und Resttragfähigkeit ist gering. CT-Scans stellten eine ausgezeichnete Möglichkeit dar, einen Einblick in die interne Struktur zu erhalten, aber der verwendete stationäre CT ist nicht für die in- situ Auswertung von Tragwerken geeignet. Durchschallungsuntersuchungen erlaubten es, die Unterschiede bezüglich des E-Moduls zwischen verschiedenen Balken abzuschätzen, aber lieferten keine zuverlässige quantitative Aussage über den E-Modul. Mit Bohrwiderstandsmessungen war es möglich, Bereiche der Schädigung genau zu ermitteln; jedoch konnten weder der E-Modul der Balken noch die Tragfähigkeit der Knotenpunkte quantifiziert werden.

Der Analyse und präzisen Einschätzung der noch vorhandenen Restragfähigkeit geschädigter Holzbauteile kommt eine besondere Bedeutung zu. Verfahren zur Ermittlung des Alterungs- bzw. Schädigungszustandes z.B. von geklebten oder mit mechanischen Verbindungsmitteln zusammengesetzten Bauteilen müssen für eine präzise Aussage entwickelt werden. Transportable Messgeräte (Ultraschall-Echo-, oder Röntgengeräte) stellen bessere Alternativen dar. Unter anderen ist es denkbar, die Ultraschall-Echo-Technologie dahingehend weiterzuentwickeln, dass die Darstellung der Messungen in Form von Tomogrammen, aus denen das Ausmass der Schädigung deutlich zu erkennen ist. Zur Erfassung von Rissen in Brettschichtholz könnten Lasermethoden so weiterentwickelt werden, dass beim Scannen von Balken die Dimension und exakte Lage von Rissen aufgezeichnet werden. Aus diesen Informationen könnte über eine geeignete Software ein 3D Bild des Balkens rekonstruiert werden.

Quellen

[1] Steiger, R. Zustandserfassung und Zustandsbeurteilung, EMPA/HSR-Tagung, 2002.

[2] Lissner, K., Rug, W. Holzbausanierung. Grundlagen und Praxis der sicheren Ausführung, Reihe VDI-Buch, 485 S., 2000.

[3] Kasal, B., Anthony, R.W. (2004) "Advances in in-situ evaluation of timber structures", Progress in Structural Engineering and Materials. Vol. 6, pp.94-103.

[4] RILEM. In situ assessment of timber. State-of-the-art report by RILEM TC 215 AST, B. Kasal, Editor, (2009) in press.

[5] Hasenstab, A. Integritätsprüfung von Holz mit dem zerstörungsfreien Ultraschallechoverfahren, Dissertation Universität Berlin, 2006.

[6] Patitz, G. Bestanderkundungen mit modernen zerstörungsfreien Verfahren, Beitrag zum 6. Leipziger Bauschadenstag 2005, MFPA Leipzig, Eigenverlag, Leipzig, 2005

[7] Buccur, V. Acoustics of wood, 2nd ed. Springer Verlag, 400S., 2006.

[8] Gindl, W., Teischinger, A., Schwanninger, M., Hinterstoisser, B. The relationship between near infrared spectra of radial wood surfaces and wood mechanical properties. Journal of Near Infrared Spectroscopy, 9, 255-261, 2001

[9] Osterloh, K.; Hasenstab, A., Zscherpel, U., Alekseychuk, O., Meinel, D., Goebbels, J. Radiographic and Tomographic Testing of Wood, 9th European Conference on NDT, Berlin Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V., 2006.

[10] Tanaka, T. and Divos, F. Thermographic Inspection of Wood, 12th Int. Symp. on Nondestructive Testing of Wood, Sopron Hungary, 2000.

[11] Gutermann: Ein Beitrag zur experimentell gestützten Tragsicherheitsbewertung von Massivbrücken, Dissertation, Technische Universität Dresden, 2003.

6.4 Qualitätssicherung
Ultraschall-Echo Verfahren zur zerstörungsfreien Fehlstellenlokalisierung in Holz

Andreas Hasenstab

Kurzfassung
Innere, nicht sichtbare Schäden in Holz wie Innenfäule, Astansammlungen, Risse und nicht zugängliche und damit ebenso nicht sichtbare Oberflächenfäule stellen bei Holz ein Problem dar. Diese Schäden zu finden, ist die Aufgabe eines prüfenden Ingenieurs vor Ort, um anhand des Schadensbildes eine Aussage über die Stabilität treffen zu können.

Forschungsarbeiten an der Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung (BAM) mit dem Ultraschallecho-Verfahren ergaben, dass es möglich ist, Fäule in Vollholz von einer ungeschädigten Bauteilseite aus zu orten. Ebenso können Risse an BSH- Probekörpern detektiert werden.

Darauf aufbauende, praktische Versuche an der LGA Bautechnik GmbH zeigen, dass bei einer ungeschädigten, rissarmen Oberfläche mit dem Ultraschallecho-Verfahren innere Fäulnis, Astansammlungen und Risse in BSH- Bindern geortet werden können.

Im folgenden Beitrag wird die Leistungsfähigkeit des Ultraschall- Echo- Verfahrens an Holz in der Praxis vorgestellt, wo die Messergebnisse (im Gegensatz zum Labor) zu direkten Konsequenzen führen. Der Text enthält Teile einer bei der Deutschen Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (DGzfP) erschienen ausführlicheren Version [1].

1 Einleitung und Problemstellung

In der Praxis ist bei Gebäudebegutachtungen wichtig, Fehlstellen und Materialinhomogenitäten im Inneren des Holzes zu finden. In den Fachkreisen ist allgemein bekannt, dass unerkannte Fäulnis (Innenfäule) oder Risse unter ungünstigen Bedingungen zu einem plötzlichem Systemversagen (d.h. Einsturz) führen können. Dies war schon immer so und wird nur durch spektakuläre und tragische Unfälle in das Bewusstsein zurückgerufen, um dann, nach einigem Aktionismus, wieder verdrängt zu werden.

Bei Ultraschall hat man sofort die Assoziation zu Fledermäusen und medizinischen Untersuchungen. In der zerstörungsfreien Prüfung wird mit Ultraschall vor allem die Prüfung von Metall verbunden. Neben diesen bekannten Anwendungen wird Ultraschall auch zur Untersuchung von Beton und Holz angewendet.

Seit 2000 beschäftigt sich der Autor mit zerstörungsfreier Prüfung von Holz – was in einem Promotionsstipendium an der Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung (2002-2005) gipfelte [2]. Die Praxistauglichkeit der Ultraschallechomethode an Holz wurde durch Nachbauten anderer Institute wie z.B. die MPA Stuttgart und eigene Praxisanwendung an der LGA inzwischen bestätigt. Nun wird das Verfahren intensiv zur Brückenprüfung und Bauwerksprüfung bei Remmers verwendet.

2 Stand der Technik der Prüfverfahren für Holz

Innere Schäden wie Innenfäule, Äste, Risse oder nicht zugängliche Oberflächenfäule werden immer schon mit unterschiedlichem Aufwand gesucht. Praktisch wird zerstörungsarm vor allem mit der Kombination aus Bohrkernentnahme und Endoskopie oder etwas technisch aufwändiger mit der Bohrwiderstandsmethode [15], [16] untersucht. Selten wird der Auszieh- oder Eindringwiderstand mit der Ausziehwiderstandsmessung oder Penetrationsanalyse überprüft [17], [19].

Bei den Ergebnissen der genannten Verfahren handelt es sich um Punktmessungen, welche bei der Interpretation sehr viel Erfahrung erfordern. Fast immer sind mehrere Messungen erforderlich. „Eine Hand voll“ Bohrungen kann bei einem gro-

ßen Bauwerk zu wenig sein. Zudem muss immer bedacht werden, dass man nur die Information am Messpunkt hat und so z.B. bei der Suche nach einem Zapfenloch oft mehrere Bohrungen notwendig sind.

Zerstörungsfrei wird praktisch vor allem die visuellen Einschätzung angewandt. Seltener kommt es zu Probebelastungen und Durchstrahlung [18]. Ultraschall wird auch zur Untersuchung verwendet, wobei hier zwischen Durchschallung und Echomethode unterschieden wird.

Abb. 1: Ultraschallmessung an Bauteil im Echoverfahren, nur eine Bauteilseite muss zugänglich sein, keine Koppelmittel erforderlich

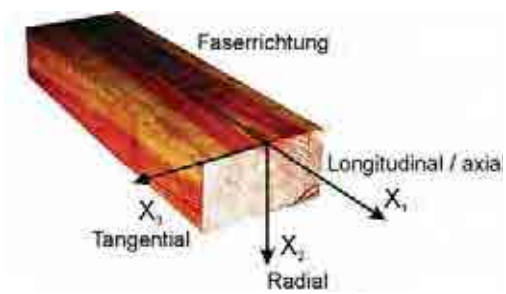


Abb. 2: Anatomische Richtungen von Holz mit Lage der Koordinatenachsen

3 Methodik

Ultraschall-Echo beruht auf der Reflexion der Schallwellen an Werkstoffinhomogenitäten wie der Bauteilrückwand oder an anderen Grenzflächen. Aus den empfangenen Signalen kann indirekt eine Aussage über den Bauteilzustand oder innere Schäden getroffen werden, wobei die relativen Messergebnisse mittels einer Kalibrierung durch bekannte Bauteilabmessung oder eine Bohrwiderstandsmessung in Absolutwerte umgerechnet werden können.

An Beton wird dieses Verfahren bereits seit einigen Jahren eingesetzt [8], [9], an Holz erst seit wenigen Jahren [5], [6].

Die geringe Dichte von Holz ($\rho_{Kiefer} << \rho_{Beton} << \rho_{Stahl}$) wird durch eine hohe Lufteinschlussdichte verursacht, was leistungsstarke, niederfrequente Prüfköpfe (50-200 kHz) erforderlich macht.

4 Anisotropie von Holz

Auch durch seinen anisotropen und inhomogenen Aufbau unterscheidet sich Holz von anderen Baustoffen.

Die Holzstruktur selbst besteht aus Fasern, die größtenteils längs zur Achse des Stammes orientiert sind. Senkrecht zur Faser gesehen sind die Fasern in Jahrringen angeordnet (Abb. 2). Durch den Aufbau sind die Materialeigenschaften in den drei anatomischen Richtungen unterschiedlich.

Besonders auf Longitudinalwellen hat dieser anisotrope Aufbau einen großen Einfluss – was sich in einer Zunahme der Schallgeschwindigkeit von tangentialer über radialer zu axialer Schalllaufrichtung äußert. Für die Anwendung am Bauteil bedeutet dies, dass die Messung immer mit gleicher Position zur Faser durchgeführt werden sollte.

Messungen an der BAM ergaben, dass diese Effekte der Anisotropie bei einer bestimmten Ankopplung bei Kiefernholz für Transversalwellen nicht zutreffen. So zeigte sich, dass bei einer Polarisation der Transversalwellen parallel zur Faser die Unterschiede zwischen tangential und radial sehr gering sind und für eine Messung mit dem beschriebenen Prüfkopf bestehend aus 24 Einzelprüfköpfen vernachlässigbar ist. Holz stellt sich für Transversalwellen mit einer Wellenlänge im Zentimeterbereich als axial isotrop dar, d.h. für die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Transversalwelle ist nur die Polarisation in Bezug auf die Faser ausschlaggebend.

Anschaulich stark überzeichnet wirkt Holz auf die Transversalwelle mit seinen Fasern wie ein Bündel Spagetti, ohne Unterschied von tangential oder radial zum Holzkörper.

5 Ergebnisse mit Ultraschall-Echo

Für die Praxisanwendung ist die Ultraschallechomethode mit einer Ankopplung über Punktkontakt (d.h. ohne Koppelmittel) sehr vorteilhaft. Folgend werden Praxisbeispiele wie Lokalisierung von Fäulnis in BSH bzw. Vollholz, Rissen in BSH bzw. Vollholz und Äste dargestellt.

5.1 Ergebnisse an Bauteil aus Vollholz ohne Schäden

Mit den bereits ausführlich beschriebenen Punktkontaktprüfköpfen und einer koppelmittelfreien Ankoppelung wurde ein ungeschädigtes Bauteil untersucht. In Abb. 3 ist das Ergebnis der Messung zu sehen, wobei sowohl das Rückwandecho in einer Tiefe von 20 cm als auch ein Vielfachecho zu sehen sind. Exemplarisch ist in Abb. 4 ein Laufzeit-Intensitätsbild (A-Bild) dargestellt.

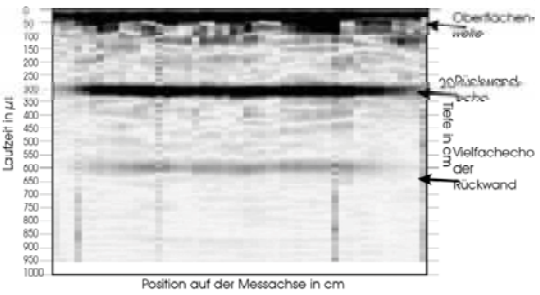


Abb. 3: Ergebnis einer Transversalwellenmessung an einem ungeschädigten Probekörper (Bauteildicke: 20 cm) mit ungestörtem Rückwandecho und einem Vielfachecho.

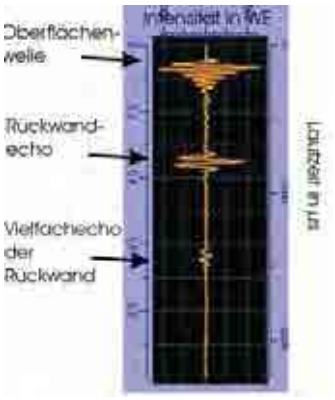


Abb. 4: A-Bild einer Transversalwellenmessung mit Echo und Vielfachecho

5.2 Risse in Bauteil aus BSH und Bauteil aus Vollholz

Die Untersuchungen an der BAM ergaben, dass Ultraschall-Echo sowohl an Vollholz als auch an Brettschichtholz (BSH) möglich ist [10].

Im Rahmen einer Halleninspektion durch die LGA Bautechnik GmbH – Fachzentrum Baubegutachtung - von einer BSH-Halle fielen Risse in einem BSH-Binder auf.

Konstruktionsbedingt kann häufig nur eine Seite der BSH-Binder problemlos direkt untersucht werden, die gegenüberliegende Seite ist nur mit größerem Aufwand zu erreichen. Zusätzlich zur gän-

gigen Prüfung (visuell, Risstiefe, Rissbreite, Risslänge, Feuchte) wurde die Ultraschallecho-Methode eingesetzt.

Dabei wurden Ultraschallecho-Messungen an den BSH-Bindern von oben nach unten senkrecht zu den Lamellen durchgeführt.

Das Ergebnis ist in Abb. 5 rechts dargestellt, wobei neben dem deutlichen Rückwandecho zu Beginn und Ende der Messung auch eine Abschattung der Rückwand auffällt. Aus Vergleichsmessungen im Rahmen der Dissertation [2] ist bekannt, dass es sich hierbei um einen Riss senkrecht zur Oberfläche und parallel zur Faser (Spannrichtung des Trägers) handelt.

Abb. 5: Untersuchung in der Mehrzweckhalle an BSH Trägern (145 cm x 18 cm) mit der Ultraschallecho-Technik; links Messung mit Messlinie am Bauteil; rechts: Ergebnis der Ultraschallecho-Messung mit deutlichem Rückwandecho.

Eine etwaige Fäulnis kann durch eine Signalanalyse ausgeschlossen werden. Eine genaue Untersuchung dieses Bereiches von der gegenüberliegenden Seite mit einem Gerüstwagen ergab, dass sich genau in der Mitte der Abschattung des Rückwandechos ein Riss mit einer Breite von 4 mm befindet.

Somit ist es möglich, Schäden wie Risse im BSH von einer Bauteilseite aus zu detektieren, bzw. nachzuweisen, dass sich keine Riss auf der nicht zugänglichen Bauteilrückseite befindet. Dies bedeutet, dass die zulässige Risstiefe von 1/6 des Querschnitts pro Seite auf 1/3 des Querschnitts angehoben werden darf, wenn sichergestellt ist, dass kein Riss von der Bauteilrückseite vorhanden ist.

5.3 Innenfäule in Bauteil aus BSH und Bauteil aus Vollholz

Im Rahmen einer Bauwerksuntersuchung sollte geklärt werden, warum eine kleine Fußgängerbrücke Risse im Hauptbinder aufweist und welche Folgen dies für das Bauwerk hat. Bei diesem Ortstermin wurden auch zerstörungsfreie Prüfungen mit Ultraschall-Echo durchgeführt.

Die Sichtprüfung ergab Fruchtkörper von Pilzen, die dem Zaunblättling zugeordnet werden können und von außen nicht sichtbare Innenfäule verursachen. Das Ausmaß der inneren Schädigung wurde erst durch die Ultraschallecho-Messungen deutlich.

In Abb. 6 (links) ist eine Messung entlang der Trägerhöhe von oben nach unten zu sehen, deren Ergebnisse in Abb. 6 (rechts) dargestellt sind. Im Gegensatz zu den bisher vorgestellten Ergebnissen fällt auf, dass bis auf dem Bereich der sichtbaren Unterkante effektiv keine Echos von der Bauteilrückwand zu sehen sind.

Da an anderen Bereichen der Brücke deutliche Echos der Bauteilrückseite empfangen werden konnten, muss davon ausgegangen werden, dass bei sonst gleichbleibenden äußeren Bedingungen ein innerer Schaden vorliegen muss. Eine gezielte zerstörende Prüfung ergab ausgeprägte innere Schädigungen.

Die Auflagerbereiche müssen bei einer Brückenprüfung immer besonders beachtet werden. Eine Messung im Auflagerbereich ergab die in Abb. 7 dargestellten Ergebnisse. Dabei zeigten sich zu Beginn der Messung deutliche Reflexionen an der

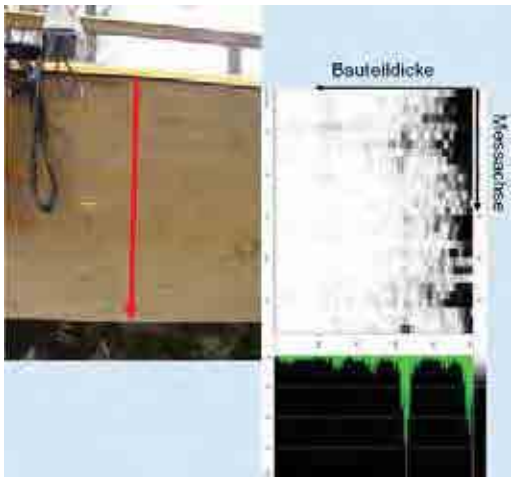


Abb. 6: Ultraschallecho-Messung entlang der Trägerhöhe ergab, dass Echos von der Bauteilrückseite (Lage der erwarteten Echos gestrichelte Linie) fast nicht vorhanden sind und eine innere Schädigung vorliegt.

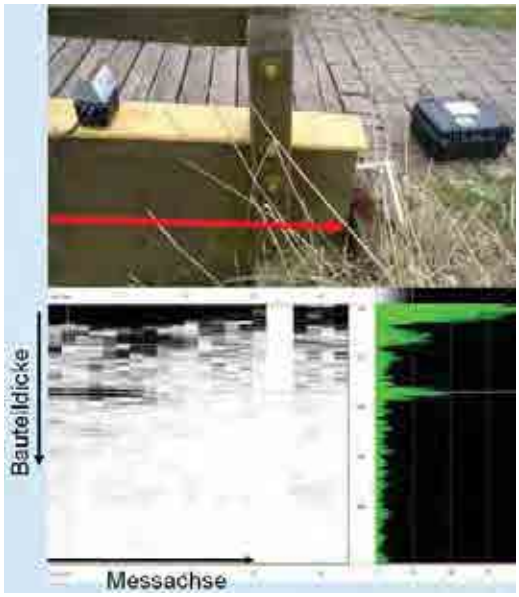


Abb. 7: Ultraschallecho-Messung im Auflagerbereich, zu Beginn deutliche Echos die in Richtung des Auflagers abnehmen (Lage der erwarteten Echos gestrichelte Linie)

Bauteilrückseite, die entlang der Messlinie in Richtung des Auflagers abnehmen. Da ein fehlendes Rückwandecho bei sonst gleichbleibenden Bedingungen auf einen Schaden schließen lässt, muss von einer Schädigung von ca. 0,5 m ab dem Auflager ausgegangen werden. Eine Untersuchung der Stirnseite ergab, dass Innenfäule vorhanden ist.

Mit den Ultraschallmessungen ist es möglich, die innere Ausbreitung der Schäden zu dokumentieren, was für eine etwaige Sanierung sehr wichtig ist.

Abb. 8: Messung an ausgebauten Balken REI02 mit Innenfäule (19,5 x 14 x 100 cm), der äußerlich an vier Oberflächen keine Anzeichen einer Schädigung aufwies, aber von der Stirnseite zur Dachrinne teilweise hohl war. Als Pfeil dargestellt die Messlinien.

Der Sparren REI02 (Abb. 8) wies nur an der Stirnseite zur Dachrinne hin Schäden auf, alle übrigen Oberflächen ließen keine Schäden vermuten. Eine Messung entlang des durchgezogenen Pfeils in Abb. 8 ergab Abb. 9.

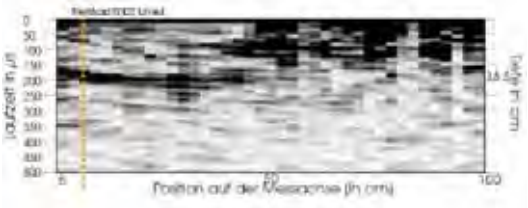


Abb. 9: Ergebnis der Ultraschallmessungen entlang Balken mit Abschattung nach 50 cm die auf Innenfäule hindeutet.

Die Messung ergab im linken Bereich bis etwa 50 cm ein deutliches Rückwandecho, dass dann von einem Bereich mit ausgeprägten Oberflächenwellen und einer abgeschatteten Rückwand abgelöst wird.

5.4 Aussparung senkrecht und quer zur Tragrichtung an Stützen aus Vollholz

In einer Scheune eines historischen Klosters wurden Messungen an Stützen mit Aussparungen senkrecht zur Tragrichtung (Abb. 10) durchgeführt. Die Ergebnisse an einer Stütze sind als B-Bild in Abb. 11 dargestellt.

Der dunkle Bereich im oberen Teil des Bildes entsteht durch Oberflächenwellen, die bei einer Ankopplung von Sender und Empfänger auf einer Bauteilseite immer vorhanden sind.

Besonders deutlich ist das Echo an der Rückseite der Stütze, das hier als dunkle Linie bei 345 µs zu erkennen ist. Zudem ist im linken Teil schwach ein Vielfachecho zu erkennen. Echos mit einer Laufzeit von 180 µs können einem Schwindriss im Holz zugeordnet werden. Ab etwa der Hälfte der Messlinie fallen mehrere Echos mit gleicher, kürzerer Laufzeit auf. Wenn die Bauteilabmessungen an einer Stelle der Messung bekannt sind, kann über die Laufzeit die Schallgeschwindigkeit bestimmt werden, dieser wiederum die Echos einer Bauteildicke zugeordnet werden können.

Die genaue Lage der Aussparung ist mit schwarzen Linien im Ergebnis eingezeichnet, durch eine sehr raue Oberfläche ist neben der Aussparung keine Rückwand detektierbar, im weiteren Verlauf aber schon.

Mit den Messungen konnte gezeigt werden, dass Aussparungen senkrecht zur Tragrichtung von der Bauteilrückseite eindeutig geortet werden können.

Abb. 10: Schrägansicht Stütze 1 (21,5 cm x 29,5 cm) mit Aussparung senkrecht zur Tragrichtung und Messlinie

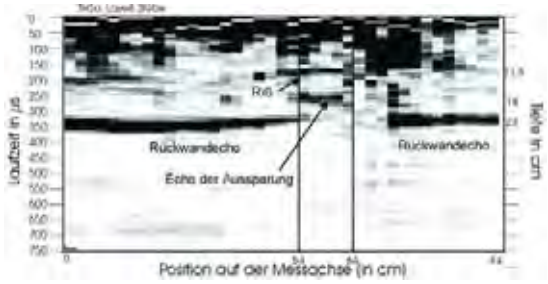


Abb. 11: B-Bild der Messung entlang Stütze 2 (Fichte, 23,5 cm x 29,5 cm) mit Echos an Bauteilrückwand, Schwindriss und Aussparung

5 Zusammenfassung und Ausblick

Nach mehreren Jahren Forschung und Entwicklung an der BAM ist es nun möglich, Niederfrequenz-Ultraschall in Echotechnik an Vollholz und BSH mit Abmessungen über 30 cm erfolgreich anzuwenden. Damit ist es möglich, unter bestimmten Bedingungen wie Zugänglichkeit, Rissarmut und ungeschädigte Oberfläche, Störstellen wie Fäulnis, Äste und Risse und Minderdicken auch dann zu lokalisieren, wenn nur eine Bauteilseite zugänglich ist. Trotz der Vielfalt der Holzbauteile wie z.B. Holzart, individuell unterschiedliches Wachstum, Anteil Kernholz und Splint, Art

des Sägens aus dem Stamm, kann das Verfahren sehr gut zur vergleichenden Messung an einem Bauteil angewendet werden.

So können große Bereiche schnell zerstörungsfrei untersucht werden und eine mögliche Schädigung eingegrenzt und markiert werden.

Mit detaillierten Untersuchungen mittels Bohrwiderstandsmethode oder Bohrkernentnahme können dann die Tiefenlage und die Art des Defekts genauer bestimmt werden. Sehr detaillierte Aussagen können zusätzlich mit Radiografie erzielt werden [18].

Messungen an den hier vorgestellten Stützen und Holzbalken mit Transversalwellen ergeben, dass von ungeschädigten Bauteilen mit einer Dicke von 22,5 cm ein Rückwandecho und ein Vielfachecho empfangen werden kann. Sind bei sonst gleichen Bedingungen Echos mit kürzerer Laufzeit zu empfangen, kann auf eine Minderdicke geschlossen werden. Sind keine Echos zu empfangen, kann es sich um eine Schädigung handeln und genauere Untersuchungen sind erforderlich (z.B. mit der Bohrwiderstandsmethode).

Praktisch wird das Verfahren inzwischen als Ingenieurleistung bei Remmers angewendet, und gemeinsam mit der BAM (Abteilung VIII im Rahmen des Forschungsvorhabens „Analyse von Holzkonstruktionen mit mobiler Röntgentechnik“ des Bundesamtes für Bau und Raumordnung) weiterentwickelt.

Somit steht dem Prüfer bei Bedarf ein neues zerstörungsfreies Prüfverfahren zur Untersuchung von Holz zur Verfügung. Bauteile, die bisher als „nicht prüfbar“ galten, können nun mit ausreichender Sicherheit untersucht werden.

Zu beachten ist, dass die Anwendung der zerstörungsfreien Prüfung von Holz ein enormes fachliches Wissen sowohl von den Prüfmethoden als auch von Holz erfordert und nicht jeder Anbieter auch belastbare Ergebnisse erzielt.

Anwendungsmöglichkeiten des Verfahrens:

- zerstörungsfreie Untersuchung von Holzkonstruktionen (Fachwerke, Holzbalkendecken, Dachstühle) bei einseitiger Zugänglichkeit
- Früherkennung und Eingrenzung von Schäden (Fäulnis, Risse, Äste)
- Ortung von Minderdicken (Aussparungen, Zapfenlöcher)
- Kostenschätzung bei Instandsetzung
- zerstörungsfreie Dokumentation und Integritätsprüfung des Bauteilzustandes (auch für wiederkehrende Prüfungen des Bauteilzustandes)

Quellen

[1] Hasenstab, A.: Ultraschall- Echo – ein ZfP-Verfahren zum Lokalisieren von Fehlstellen in Brettschichtholz (BSH) und Vollholz – Praxisbeispiele. Bauwerksdiagnose Berlin, 21.-22.02.2008, Poster 14 2006, Berlin

[2] Hasenstab A.: Integritätsprüfung von Holz mit dem zerstörungsfreien Ultraschallechoverfahren. Dissertation TU Berlin (2005), www.hasenstab.info

[3] Krautkrämer, J. und H. Krautkrämer: Werkstoffprüfung mit Ultraschall. Berlin: Springer Verlag (1986) 5. Auflage.

[4] Schickert M., Ein empirisches Modell der Dispersion von Ultraschall in Beton Berichtsband DGZfP- Jahrestagung Celle, Mai 10-12, (1999).

[5] Krause, M., Mielentz, M., Milmann, B., Wiggenhauser, H., Müller, W., Schmitz, V.: Ultrasonic image of concrete members using an array system. NDT & E International 34 (6) (2001) pp. 403-408

[6] Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung (BAM): ZfPBau-Kompendium. http://www.bam.de/zfpbau-kompendium.htm (2004)

[7] Hasenstab, A., Rieck, C., Hillemeier, B., Krause, M.: Hohlstellenortung in Holzbalken mit dem Ultraschallverfahren. DGZfP-Jahrestagung 06.-08. Mai 2002 in Weimar, DGZfP-Berichtsband auf CD: Plakat 32, Berlin (2002)

[8] Hasenstab, A., Rieck, C., Hillemeier, B., Krause, M.: Use of low frequency Ultrasound Echo Technique to Determine Cavities in Wooden Constructions. DGZfP (Ed.); International Symposium Non-Destructive Testing in Civil Engineering (NDT-CE) in Berlin, Germany, September 16-19, 2003, Proceedings on BB 85-CD, P51, Berlin (2003)

[9] Hasenstab, A., Krause, M.: Ultraschall-Echotechnik zur Ortung von Minderdicken und Schäden in Holzbauteilen. Bauwerksdiagnose 23.-24. Februar 2006, Berlin (2006)

[10] Lutz J., Kroggel O.:Ultrasonic Inspection Of Wooden Constructional Elements Darmstadt Concrete, Annual Journal on Concrete and Concrete Structures. Darmstadt: Institut für Massivbau, TU Darmstadt, 2001. Vol. 19, (2004)

[11] Dill-Langer Gerhard, Aicher Simon, Bernauer Wolfgang, Reflexionsmessungen an Holzverklebungen mittels Ultraschall-Schwerwellen Otto Graf Journal (2005).

[12] Hasenstab, A., Krause, M.: Ultraschallechoverfahren an Holz. Cziesielski, E. (Hrsg.); Bauphysik-Kalender 2004, Berlin: Ernst und Sohn (2004) Kap. C1, 2 Strukturaufklärung, Abschn. 2.5, S. 352-358

[13] Hasenstab, A., Hillemeier, B. und M. Krause: Defect Localisation in Wood with Low Frequency Ultrasonic Echo Technique. In: Proceedings of 14th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood, 02.-04.05.05, Hannover.

[14] Hasenstab, A.: Die Hohlstellenortung bei Holzbauteilen mit dem Ultraschallverfahren, Diplomarbeit an der Technischen Universität Berlin, unveröffentlicht (2002)

[15] Görlacher, R., Hättrich, R.: Die Bohrwiderstandsmessung. Bauen mit Holz (1990), H. 6, S. 455-459]

[16] Thümmler, U.: Holzuntersuchung mit der Bohrwiderstandsmethode. Bauen mit Holz 12 (1991) S. 942-945.

[17] Wenzel, F., Kleinmanns, J.: Sonderforschungsbereich 315, Historische Holztragwerke, Untersuchungen, Berechnungen und Instandsetzen. Universität Karlsruhe (1999)

[18] Hasenstab, A., Osterloh, K., Robbel, J., Krause, M., Ewert, U., Hillemeier, B.:Mobile Röntgenblitzröhre zum Auffinden von Holzschäden, DGZfP-Jahrestagung 17.-19. Mai 2004 in Salzburg, DGZfP-Berichtsband auf CD: Plakat 15, Berlin (2004)

[19] Erler, K.: Alte Holzbauwerke beurteilen und Sanieren. Berlin: Verlag für Bauwesen Berlin, München (1993)

[20] Hasenstab, A.: Ultraschallecho mit Longitudinal- und Transversalwellen zur zerstörungsfreien Prüfung von Holz Holztechnologie, Jg.: 48, Nr. 2, S.39-44, Institut für Holztechnologie Dresden, Deutschland (2007)

[21] Hasenstab, A., Homburg S., Maierhofer C., Arndt R. : Holzkonstruktionen mit Radar und Thermografie zerstörungsfrei untersuchen Tagungsband der DGZfP-Jahrestagung 2007, Poster 14, 14.-16.05.07 Fürth.

[22] Hasenstab, A., Osterloh, K., Krause, M.: Testing Of Wooden Construction Elements with Ultrasonic Echo Technique and X-Ray Beitrag zu einem Tagungsband: 9th European Conference on NDT, September 25-29, 2006, Berlin (Proceedings) Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. BB 103-CD Th.2.4.1 (2006)

6.4 Qualitätssicherung
Radio Frequency Identification - RFID

Thomas Stautmeister

1 Einführung

Der Werkstoff Holz gewinnt als nachwachsende Ressource stetig an Bedeutung. Neue Anwendungen und die zunehmend effektive Nutzbarkeit als Energieträger lassen die Beschaffungskonkurrenz kontinuierlich anwachsen. Umso mehr gewinnt damit eine optimale und wirtschaftlichere Gestaltung der holzverarbeitenden Prozesse in den Unternehmen und entlang der Wertschöpfungskette an Bedeutung. In den letzten Jahren ist ein erheblicher Produktivitätszuwachs in der physischen Verarbeitung zu verzeichnen. Vergleichbare Zuwächse sind zukünftig – zumindest im Bereich der Holzverarbeitung - wohl nicht mehr zu erwarten. Dem gegenüber liegen jedoch noch viele ungenutzte Potenziale in der Organisation der arbeitsteiligen Prozesse im Unternehmen. Will man diese Prozesse optimieren, muss man sie kennen und präzise analysieren können.

Die Komplexität und Variantenvielfalt heutiger Produkte hat dazu geführt, dass an statt von Einzelunternehmen zunehmend Liefer- und Wertschöpfungsketten im Wettbewerb stehen. Wobei deren Reaktionsschnelligkeit gegenüber Marktveränderungen immer mehr zum dominierenden Kriterium für die Wettbewerbsfähigkeit wird und an Stelle der bisherigen Auslastungsbetrachtungen tritt. Die Reaktionsschnelligkeit wird dabei sowohl durch die Durchlaufzeit der Produzenten, als auch durch die Schnelligkeit des Warenflussmanagements zwischen den Unternehmen beeinflusst. Schwachpunkte und Quellen für Unwirtschaftlichkeit sind dabei in der Regel die Schnittstellen zwischen den beteiligten Unternehmen. Hier findet man oftmals funktionsgleiche Prozesse, die ihre Ursache einzig und allein in der überlieferten historischen Arbeitsteilung haben.

Neben der Konzentration auf den Preis als Produktwert gewinnt in Zeiten der Globalisierung, in denen man im Prinzip weltweit jedes Produkt zu konkurrenzfähigen Preisen erzeugen kann, die Frage der produktnahen Services vor allem während der Nutzungsphase und späteren Entsorgungsphase immer mehr an Bedeutung. Das Problem besteht natürlich darin, wie man einem anonym hergestellten Produkt bedarfs- und kundenindividuelle Services zuordnen kann. Abbildung 1 illustriert, die genannten Optimierungspotenziale im Zusammenhang.

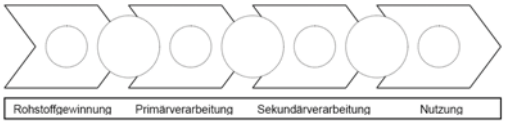


Abb. 1: Wertschöpfungskette und Optimierungspotenziale

Seit längerer Zeit hat sich die Erkenntnis durchgesetzt, dass die Gestaltung der unternehmensinternen Prozesse (auch als geschlossene Systeme bezeichnet) von der Gestaltung der Prozesse der Zusammenarbeit zwischen Unternehmen (auch als offene Systeme bezeichnet) abweicht und unterschiedliche Wirkungsfaktoren beinhaltet.

Durch die Protagonisten der so genannten RFID–Technologie wird hierzu ein Werkzeug versprochen, das erstmalig allen oben genannten Anforderungen gerecht werden kann und damit die Grundlage für einen universellen, durchgängigen Optimierungsansatz bieten soll.

Vorliegender Beitrag versucht vor diesem Hintergrund, die genannten Problemstellungen aufzugreifen, Ansätze zur Gestaltung optimierter Prozesse in den verschiedensten Ausprägungen entlang der Holzkette zu liefern und dabei die Möglichkeiten des aktuell teilweise sehr kontrovers diskutierten Themas RFID aus der Sicht konkreter Anwendungen darzustellen.

2 Was ist RFID?

Große Handelsunternehmen, wie Metro, Wal-Mart und Tesco verlangen von ihren Lieferanten, angelieferte Paletten mit RFID-Tags auszurüsten, um den eigenen Warenwirtschaftsprozess zu verbessern [1]. Die weltweit mit RFID - Chips erreichten Umsätze waren: 2006 – 997 Mio. Dollar, 2007 – 1`235 Mio. Dollar, 2008 – 1`535 Mio. Dollar (Prognose) [17].

Was ist das also für ein System, von dem sich die führenden Handelsunternehmen erhebliche Wirtschaftlichkeits- und Effizienzverbesserungen versprechen und das offensichtlich einen Einsatzboom erlebt? Und kann an diesen Erfahrungen die Holzwirtschaft partizipieren und wenn – wie? Versucht man in der Literatur, entsprechende Aussagen zu finden, stellt sich schnell heraus, dass dieses Gebiet bisher nur wenig untersucht und bearbeitet wurde.

RFID ist eine automatische Identifikationstechnologie, bei der Informationen auf einem Datenträger (Mikrochip, auch Transponder oder Tag) gehalten werden und wo dieser Datenträger kontaktlos beschrieben oder ausgelesen werden kann, wenn er sich in einem elektro-magnetischen Hochfrequenzfeld befindet. Das Hochfrequenzfeld kann mit geeigneten Schreib- und Lesegeräten (inklusive entsprechender Antennen) erzeugt werden (Abb. 2).

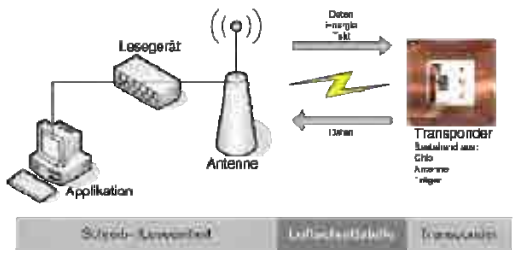


Abb. 2: Struktur eines RFID – Systems

Für Anwendungen im Bereich Holz sind dabei vor allem drei Eigenschaften der RFID–Technologie von besonderem Interesse: (i) die Information kann auf Entfernung geschrieben oder gelesen werden, (ii) zwischen Datenträger und Schreib- / Lesegerät muss kein visueller Kontakt bestehen und (iii) die Information kann automatisch verändert und aktualisiert werden.

Damit bietet diese Technologie ideale Voraussetzungen für den Einsatz in einer Branche, in der Klimaschwankungen, hohe Bearbeitungstemperaturen, Feuchtigkeit, Staub und Schmutz und Veredelungsverfahren mittels Farbauftrag typisch sind. Untersuchungen in verschiedenen Institutionen und eigene Untersuchungen des Autors mit RFID – Komponenten im Frequenzbereich 13,56 MHz in den letzten Jahren zeigten, dass

- Leseweiten in Holz von 120 – 220 cm sicher erreicht werden [8]
- Beschichtungstemperaturen von 180°C ohne Datenverlust vertragen werden,
- keine Störanfälligkeit durch elektrische Felder oder Metalle nachgewiesen wurden [24],
- auch bei mehrjährigem Ausseneinsatz, eingeleimt in BSH – Trägern, Leseabstand und Informationsgehalt keiner Veränderung unterlagen [22].

Oftmals wird die RFID–Technologie mit dem Einsatz des Barcodes verglichen. Auf Grund der höheren Anfangsinvestitionskosten für ein RFID–System lässt sich daraus nur selten ein wirtschaftlicher Einsatz ableiten. Will man eine positive Wirtschaftlichkeitsbetrachtung erreichen, muss man neben den direkten, lokalen Effekten aus einem RFID-Einsatz auch darüber hinaus gehende Effekte durch die Verbesserung der Prozesssteuerungsqualität intern oder bei der Kooperation mit anderen Partnern am Markt mobilisieren und bewerten können.

3 RFID-Einsatz bei der Prozessuntersuchung im Unternehmen

Swiss Post International zählt zu den schnellsten Postunternehmen Europas. Eine Grundlage dafür bilden systematische Messungen der Prozesskette sowie Laufzeitmessungen mit Hilfe von RFID [18]. Vergleichbar kann man natürlich auch bei der Prozessanalyse in Holzbearbeitungsunternehmen vorgehen. Versieht man die Produkte für Analysezwecke mit Tags und baut ein temporäres System von Antennen und Schreib-/Lesegräten auf, so kann man im realen Prozess den Produktdurchlauf (in der RFID–Literatur auch als Lokalisierung bezeichnet) erfassen, Schwachstellen erkennen und mit den Zielvorstellungen vergleichen.

Umgesetzt wurde auch die Kennzeichnung von Lamellen in Brettschichtholzbindern. Im Rahmen von Festigkeitsuntersuchungen kann genau nachvollzogen werden, welches Holz aus welcher Stammposition und welchem Erntegebiet zu welchen Eigenschaften führt [22]. Damit können Qualitätsklassen und ein optimierter Materialeinsatz zukünftig direkt gesteuert und verarbeitet werden. Der besondere Charme dieses Ansatzes besteht darin, dass die Untersuchung im realen Prozess möglich wird, ohne diesen zu stören und dabei gleichzeitig alle existierenden „weichen" Faktoren berücksichtigt. Die Güte der erhaltenen Daten ist um vieles höher, als im Labor vorgenommene Stichprobenuntersuchungen.

4 RFID–Einsatz für die Prozesssteuerung

Die Wirtschaftlichkeit ist in unternehmensübergreifenden (offenen) Kreisläufen oftmals schwer zu errechnen und zu bewerten. Daher konzentriert sich merkbar der Anwendungstrend, durch RFID die internen Prozesse in den Unternehmen zu verbessern. Hier stehen verschiedene Aufgaben im Fokus und es wird deutlich, dass sich immer wieder neue Einsatzfälle finden lassen. Beispielhaft seien hier erwähnt:

- Die Kennzeichnung von Werkzeugen zur automatischen Identifikation oder zur Vermeidung von Schwund;
- Die Kennzeichnung von Baugruppen zur Nachverfolgung der Wartungszyklen;
- Die Glaspaketkennzeichnung in Fenstern;
- Die Ladungsträgerkennzeichnung zur automatischen Auffindung in chaotisch organisierten Lagern;
- Die Kennzeichnung von Behältern zur automatischen Steuerung von Kommissionierungsvorgängen, z.B. für Beschläge;
- Die Kennzeichnung von Bauteilen für eine automatische Kontrolle der Vollständigkeit und Generierung der Ladepapiere.

All diesen genannten und in der betrieblichen Praxis umgesetzten Anwendungen ist gemein, dass es darum geht Hilfs- und Sortierzeiten in den Abläufen zu reduzieren oder zu eliminieren, die Prozesstransparenz und die Datenaktualität zu verbessern, um im Endeffekt eine Verkürzung der Durchlaufzeiten zu erreichen.

Trotz beachtlicher Effekte wird mit diesen Anwendungen noch nicht das volle Potenzial der RFID–Technologie für die Prozesssteuerung ausgespielt. Setzt man konsequent auf die RFID–Technologie, so wird es möglich, flexible und automatische Fertigungszellen bis hin zur Losgröße 1 adaptiv und automatisch rüsten und steuern zu lassen [25].

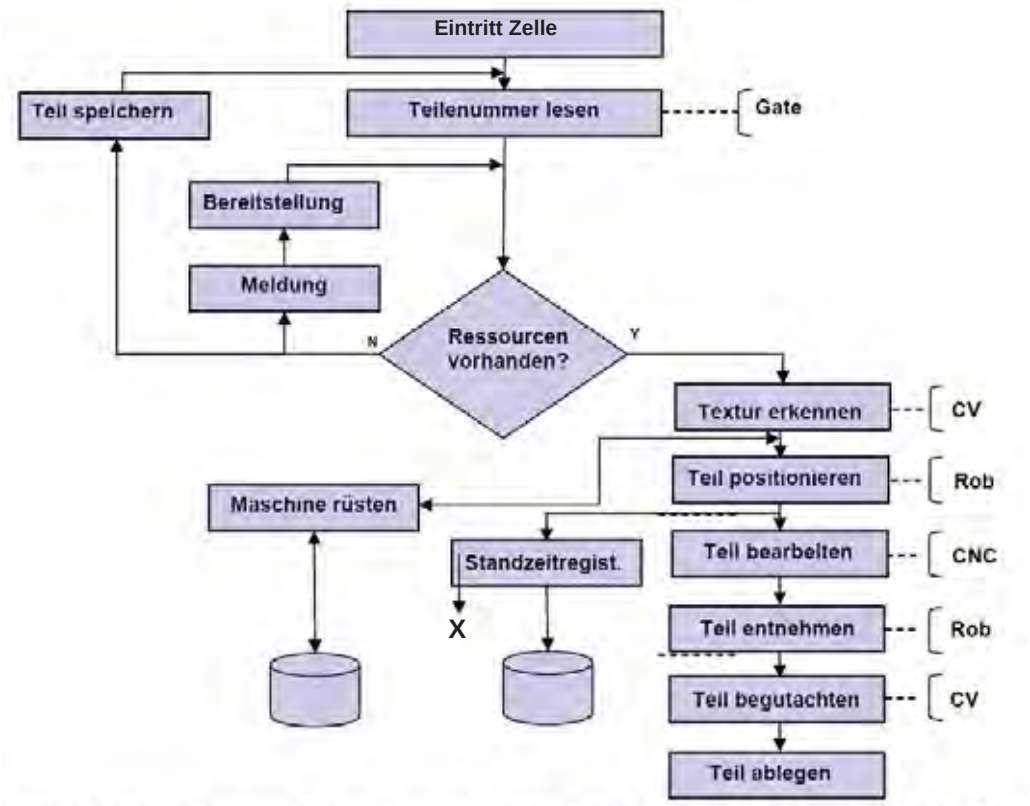
Vorstellbar und bereits im industriellen Einsatz ist zum Beispiel folgendes Szenario: Fensterkanteln werden auf Länge gekappt und mit einem Identifikationsträger versehen. Die nachfolgenden Maschinen erkennen den Kode und stellen ihre Bearbeitungsparameter entsprechend ein. CNC–Maschinen prüfen die Verfügbarkeit der nötigen Werkzeuge und CNC–Bearbeitungsprogramme. Danach werden die Teile bearbeitet und durch die Oberflächenveredelung geschickt, deren An-

lagen sich wieder automatisch für die nötigen Geometrien und Lacksysteme rüsten.

Fallstudien, an denen der Autor beteiligt war, ergaben einen wirtschaftlichen Einsatz bereits bei 20.000 Stück Fenster p. a. und Transponderpreisen von 37 Euro-Cent. Ein vergleichbarer Einsatz ist natürlich auch für die Losgrösse – 1 Fertigung von anderen Teilen vorstellbar. Abb. 3 zeigt den Funktionsablauf einer entsprechenden, in Erprobung befindlichen, adaptiv gesteuerten, flexiblen und automatisierten Fertigungszelle. Die Besonderheit dieser Fertigungszelle besteht darin, dass das Rüsten erst unmittelbar mit Eintreten des zu bearbeitenden Bauteils, welches mit einem Transponder gekennzeichnet ist, erfolgt.

Die Durchlaufzeit reduziert sich im besten Fall bis auf die direkte Bearbeitungszeit.

Natürlich ist es erforderlich im Umfeld dafür zu sorgen, dass die nötigen Ressourcen verfügbar sind. Die Bedeutung einer perfekten Produktionslogistik wächst. Die Fertigungsplanung lässt sich durch die Bereitstellung der zu bearbeitenden Bauteile in der richtigen, den Montage- oder Verpackungsbedürfnissen entsprechenden Reihenfolge, materialisieren und bei Bedarf kurzfristig verändern. Die beschriebene Fertigungszelle ist zum Beispiel bei Möbelteilen ab einer Kapazität von etwa 140 individuellen Teilen pro Schicht im Einschichtbetrieb wirtschaftlich zu betreiben [25].



Legende: Gate - Transponderlesestation, CV - automatisches Bildverarbeitungssystem, Rob - Roboter, CNC - CNC gesteuertes Bearbeitungszentrum

Abb. 3: Funktionsablauf einer adaptiv gesteuerten, automatisierten Fertigungszelle für Möbelbauteile [Quelle: Berner Fachhochschule, 2008]

5 RFID–Einsatzpotenzial bei der Prozessgestaltung in der Holzkette

Der gegenwärtige Zustand der Lieferprozesse in der Holzkette ist durch verschiedene Interessen gekennzeichnet. Die konkrete Ausgestaltung verfolgt in erster Linie folgende Ziele:

- Verluste innerhalb der Logistikkette minimieren;
- Gefahrenübergang klar dokumentieren;
- Eindeutige Abrechnung der Liefermengen.

So kommt es dazu, dass Mengenermittlungen mehrfach erfolgen und Lieferscheine ausschliesslich als Papierdokumente erzeugt werden.

Dieser historisch entstandene und in seiner Zielrichtung nachvollziehbare Prozess lässt sich durch einen konsequenten RFID – Einsatz nicht nur vereinfachen und kostengünstiger gestalten, es wird auch möglich, zusätzliche Nutzenspotenziale für die vorausschauende Planung, Anlagengestaltung und eine lückenlose Qualitätsdokumentation zu generieren.

Nachfolgend sollen kurz verschiedene Elemente der Holzkette dargestellt und RFID – Einsatzpotenziale entlang dieser Kette vorgestellt werden.

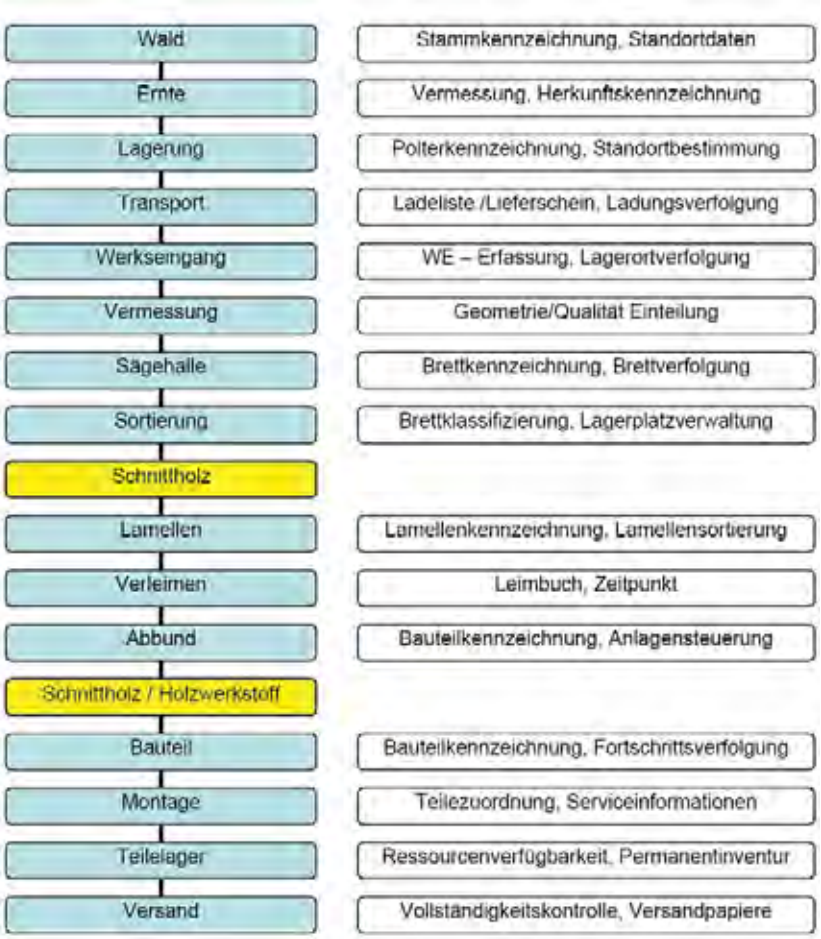


Abb. 4: RFID in der Holzkette

5.1 Rohstoffgewinnung und Schnittholzerzeugung

In Abb. 4 wird im oberen Teil das Zusammenwirken von Holzgewinnung und Holzverarbeitung zu Schnittholz schematisch dargestellt. Neben den jeweiligen logistischen Abschnitten werden mögliche RFID–Einsatzpotenziale benannt. Aus dieser Darstellung wird deutlich, dass die RFID–Technologie sowohl die heute üblichen Anwendungen abbilden kann, als auch zusätzliche Möglichkeiten und Funktionalitäten – und dies ohne wesentlich zusätzliche Investitionskosten - bietet.

5.2 Schnittholzverarbeitung

Verfolgt man die Einsatzpotenziale der RFID–Technologie entlang der Holzkette weiter, muss man sich vorher vor Augen führen, dass die RFID–Tags (oder Transponder) permanent weiter beschrieben werden können, solange die enthaltene Speicherkapazität nicht erschöpft ist. Daraus ergibt sich eine Reserve von 1`024 und mehr Stellen. Das bedeutet, dass der RFID–Tag eine Anpassung an ständig neue Anforderungen und Kodierungen ermöglicht, ohne dass er – wie z.B. beim Barkode – erneuert oder ausgewechselt werden muss.

Wendet man dies zum Beispiel auf die Brettschichtholzherstellung an, so kann ein RFID-Tag sowohl die Informationen darüber enthalten, an welcher Lamelle er angebracht ist (und damit Informationen zur Herstellungshistorie bieten), als auch in welches Bauteil er eingebaut ist und wie bzw. wo dieses Bauteil zu verwenden ist. Somit wird es möglich, in den Prozess integrierte, sich automatisch fortschreibende Qualitätsdokumentationssysteme aufzubauen. Abb. 4 im mittleren Teil stellt diesen Zusammenhang schematisch dar.

5.3 Sekundärverarbeitung

Betrachtet man die weitere Verarbeitung von Holz, so nähert man sich immer mehr den weiter oben beschriebenen Einsatzmöglichkeiten bei der Prozesssteuerung. Die Darstellung im unteren Bereich von Abb. 4 stellt einen Versuch dar, einige mögliche Anwendungen zu illustrieren. Noch anschaulicher kann man diese Anwendungsmöglichkeiten am Beispiel eines konkreten Pilotprojektes aufzeigen. Hier werden im Rahmen einer Fensterfertigung den fertigen Fenstern per RFID–Tag folgende Daten „mitgegeben“:

- Daten des Beschichtungssystems
- Auftrags- bzw. Artikelnummer
- Fertigungsdaten
- Pflegechronik
- Daten des Isolierglases
- Daten der eingesetzten Abstandshalter
- Daten der eingesetzten Versiegelungsmasse
- Rahmen- und Beschlagsdaten
- Einbauort
- Einbauender Mitarbeiter
- Eingebautes Dichtungsmaterial

Berücksichtigt man bei der Bewertung dieser Daten, dass diese sich im Fenster befinden und jederzeit per mobilen Lese- und Schreibgeräten bei Reparaturen oder Serviceprozeduren vor Ort zur Verfügung stehen und aktualisiert werden können, wird schnell deutlich, welches zusätzliche Wertschöpfungspotenzial hieraus für den After-sales - Bereich erwachsen kann.

5.4 Holzbauanwendungen

Abschließend seien noch weitere Wertschöpfungspotenziale genannt, welche in erster Linie für den Holzbau von Interesse sein dürften. RFID – Tags können bei entsprechender Ausführung Messinformationen zu Temperatur, Feuchte, Dehnung, Spannungen, Verschiebungen u.a. ereignis- oder zeitorientiert erfassen und speichern. Damit wird es möglich, in das Bauteil integriert, den Gebäudezustand zu überwachen und bei Bedarf rechtzeitige Interventionsmassnahmen einzuleiten. [7,8]

Diese RFID – Tags sind darüber hinaus in der Lage, diese Bauteile bereits während des Fertigungsprozesses in den unterschiedlichen Fertigungsphasen zu kennzeichnen und gestatten die Mitgabe von Qualitätsmerkmalen. Es versteht sich fast von selbst, dass auch eine intelligente Begleitung des Montageprozesses unterstützt werden kann.

6 Fazit

Die bisherigen Ausführungen sollten dazu dienen, das durch den Einsatz der RFID–Technologie in der Holzbearbeitung bereits heute aktuell erschließbare Potenzial für Effizienzsteigerungen zu verdeutlichen und Interesse an einem Einsatz zu wecken. Dabei sollte keinerlei Anspruch auf Vollständigkeit erhoben, sondern der praktische Einsatzaspekt in den Vordergrund gerückt werden.

Die RFID–Technologie zeichnet sich dadurch aus, dass sie vielfältig und durchgängig, über verschiedene Wertschöpfungsetappen hinweg ohne zusätzlichen Handlingaufwand eingesetzt werden kann. Gleichzeitig unterstützt sie eine Prozessgestaltung, in der das Produkt die erforderlichen Abläufe selbst und automatisch steuern kann und in der die erforderliche Dokumentation jederzeit und virtuell am Produkt mitgeführt werden kann – dort wo diese Prozesse eigentlich auch hingehören.

Die mit dem RFID–Einsatz verbundenen Kosten bedingen eine gründliche Projektvorbereitung. Die Wirtschaftlichkeit wächst in dem Zuge wie es gelingt, die in und zwischen Unternehmen stattfindenden Interaktionsprozesse zu begreifen, zu gestalten und zu automatisieren. Hierfür ist die RFID–Technologie ein bestens geeignetes Hilfsmittel.

Quellen

[1] F.G./A.S.: Erfahrungen und Erfolge mit RFID. Logistik für Unternehmen 7/8-2008, S. 19/20
[2] Hemd und Hose verwalten sich selbst. Logistik für Unternehmen 7/8-2008, S. 71/72
[4] RFID Assessment. Firmenschrift U29131-J-Z401-1 der Siemens Business Services GmbH & Co. OHG, 2004.
[5] RFID in der Logistik bei OTTO. Firmenschrift U29132-J-Z401-1 der Siemens Business Services GmbH & Co. OHG, 2004.
[7] Markus Krüger, Christian U. Grosse: Preiswerte Dauerüberwachung von Bauwerken mittels drahtloser Sensorik. DGZfP-Berichtsband 100, vorgetragen am 23./24.02.2006 in Berlin, Fachtagung Bauwerksdiagnose.
[8] Tagungsband „RFID im Bau". 22./23.02.2008 Berlin; bautec/Build IT. ARGE RFID, Prof. Dr.-Ing. Peter Jehle, Technische Universität Dresden.
[9] Umstellung auf papierlosen Ablauf rechnet sich. F + H 3/2008. S.120/121.
[10] B. Lenk: Zwei Philosophien – ein Ziel. F + H 3/2008. S. 106/107.
[11] P. Loser: Transponder für den Fensterbau. Glaswelt. 04.2008. S. 66/67.
[12] Weinig-Technologie kennt keine Grenzen. Weinig Firmeninformation zur fensterbau Frontale 2008. GFF 2-2008 S.34/35.
[13] Johannes Maruschzik: Der Markt für Auto - ID ist vielseitiger denn je. Logistik für Unternehmen. 6/2007. S. 70 – 73.
[14] Uwe Meinberg: Ein ganz persönlicher Reiseleiter (Interview). RFID im Blick. 06/2007. S.27.
[15] Synchronize Your Business. RFID. Firmenschrift U29210-J-Z401-1 der Siemens AG. 11/2005.
[16] ident. Jahrbuch 2007. ident Verlag & Service GmbH. Rödermark. 2007. S. 23.
[17] RFID-ICs: Die 1-Mrd.-Dollar-Grenze ist gefallen. Markt&Technik. Nr.7 / 15.02.2008. S.32.

[18] Qualität made in Switzerland. In: Die Zukunft spricht EPC. Sonderausgabe in Kooperation mit RFID im Blick. Verlag & Freie Medien. Amelinghausen. S.26.

[19] Ch. Kern: Anwendung von RFID - Systemen. Springer Berlin Heidelberg New York. 2006.

[20] K. Finkenzeller: RFID – Handbuch – Grundlagen und praktische Anwendungen induktiver Funkanlagen, Transponder und kontaktloser Chipkarten. Carl Hanser Verlag München Wien. 3. aktualisierte und erweiterte Auflage, 2002.

[21] F. Gillert, W. Hansen: RFID für die Optimierung von Geschäftsprozessen. Carl Hanser Verlag München Wien. 2007.

[22] Th. Stautmeister, P. Loser: Forschungsberichte Untersuchung des Einsatzes der Transpondertechnologie in der Möbelfertigung und Ermittlung des Entwicklungsbedarfs

[23] P. Aeschlimann, W. Buri: Projektarbeit „Transponder in Tragstrukturen". Berner Fachhochschule. 2006.

[24] M. Fuchs, P. Ruedin: Semesterarbeit „RFID und Metall". Berner Fachhochschule. 2006.

[25] F. Hollenbach, S. Rutz: Projektarbeit „Datendurchgängigkeit in der Musterzelle unter Nutzung der RFID – Technologie". Berner Fachhochschule. 2007.

[26] M. Fuchs, P. Signer: Projektarbeit „RFID als Dokumentationsträger im Leimholzbau. Berner Fachhochschule. 2007.

[27] R. Ambühl,T. Osterwalder, T. Rohrer: Projektarbeit „RFID als Element für die Fensterkennzeichnung"

7 Baustoffe, Bauteile
Inhaltsverzeichnis

7.1 Bauteile, Bauteilverfahren

Energetische Sanierung von Gebäuden mit Fassadenelementen in Holzbauweise S. 465
Fenstertechnologie S. 469
Holz-Glas-Verbundkonstruktionen S. 479
uni*versa Trennwandsystem aus natürlichem Holz S. 487
Leichte Trennwände – System Finnwall S. 495
Kielstegelemente S. 501

7.2 Sonstige Baustoffe, Produkte

Latentspeichermaterialien (PCM) S. 509
Vakuumdämmung im Holzbau S. 517
Wärmedämmverbundsysteme mit Holzfaserplatten im Holzbau S. 521

7 Baustoffe und Bauteile
Einleitung

Holz besitzt aufgrund seiner komplexen Mikrostruktur sehr gute strukturelle Eigenschaften. Im Prinzip besteht es aus Zellulosefasern, die in einer polymeren Matrix aus Lignin eingebettet sind. Zudem weist jeder Stammquerschnitt unterschiedliche Dichten von Früh- und Spätholz auf. Obwohl die Materialeigenschaften des Werkstoffes Vollholz inhomogen und anisotrop sind, zeichnet die einzelnen Holzfasern eine außerordentlich gute mechanische Festigkeit aus. Dazu gehören das günstige Verhältnis von E-Modul zu Dichte, ein hohe Zähigkeit und Duktilität sowie eine hohe Bruchenergie (Energie, die beim Entstehen eines Risses aufgewendet wird).

Aufgrund der starken Richtungsabhängigkeit der mechanischen Eigenschaften und der Unregelmäßigkeiten im Holz ist eine Vielzahl an Holzprodukten entstanden, die aus Holzkomponenten mit unterschiedlichen Abmessungen und entsprechenden Bindemitteln hergestellt werden. Ziel ist es, die „naturbedingten Einschränkungen“ des Materials auszuschalten, um berechenbare Werkstoffqualitäten zu erhalten. Die Palette dieser Produkte erstreckt sich vom Brettschichtholz über Holzspan- und -faserplatten bis zu Wood Plastic Composites. Die Verwendung von Stahl-Holzverbindungen ermöglicht zudem fast alle geometrischen Kombinationen der Tragelemente.

Bauteile

Holzbauteile haben im Gegensatz zu vielen anderen Bauweisen den Vorteil, dass sie von Seiten des handwerklichen oder industriellen Herstellers im Werk vorgefertigt werden können. Was für das Bauteil „Fenster“ eine Selbstverständlichkeit ist, erweist sich für die Vorfertigung von Wand-, Dach- und Deckenelementen als großer Vorteil, da die Fehlerquote – verglichen mit der Baustellenfertigung – signifikant gesenkt werden kann bei gleichzeitiger Erhöhung der Präzision hinsichtlich der Baudetails.

Innovative Entwicklungen im Bereich der Holzbaustoffe und Holzbauteile gründen immer wieder auf dieser Möglichkeit der präzisen Vorfertigung, seien es Dämmelemente für die energetische Gebäudesanierung oder teilweise vorgefertigte Wärmedämmverbundsysteme. In allen diesen Fällen gehen Präzision und Innovation Hand in Hand mit einer deutlich höheren Wirtschaftlichkeit.

Die Beiträge dieses Kapitels zeigen, dass im Bereich der Wände, Fenster und Fassaden eine hohe Dynamik in der Entwicklung und Realisation neuer Bauteile beobachtet werden kann. Die Weiterentwicklung der Bauteile wird auch vorangetrieben durch die hohe Anzahl bestehender Gebäude, die in den kommenden Jahren dringend einer energetischen Sanierung bedürfen.

Wände, Dämmsysteme

Eine energetische Ertüchtigung von Bestandsgebäuden bis hin zum Passivhausstandard ist bisher eher selten anzutreffen. Um diese Anforderungen zu erfüllen, werden Dämmstoffdicken von etwa 30 cm erforderlich. Die Wohnungswirtschaft sucht schon seit langem nach Möglichkeiten einer energetischen Gebäudesanierung, die schnell und ohne wesentliche Beeinträchtigungen der Mieter realisiert werden kann. Im Wesentlichen werden kurze Einrüstzeiten und ein optimierter Fensterwechsel gefordert.

Aufgrund der Möglichkeiten einer Vorelementierung ist der Holzbau in der Lage, diese Anforderungen sehr gut zu erfüllen. Darüber hinaus kann vollständig auf synthetische Dämmstoffe verzichtet werden und es kommen überwiegend nachwachsende Rohstoffe zum Einsatz. Der Beitrag „Energetische Sanierung von Gebäuden mit Fassadenelementen in Holzbauweise“ (Heinz Pape) weist auf die baulichen Details einer solchen Baumaßnahme hin. Bei dem hohen Sanierungsbedarf in Deutschland bietet sich dem Holzbau eine be-

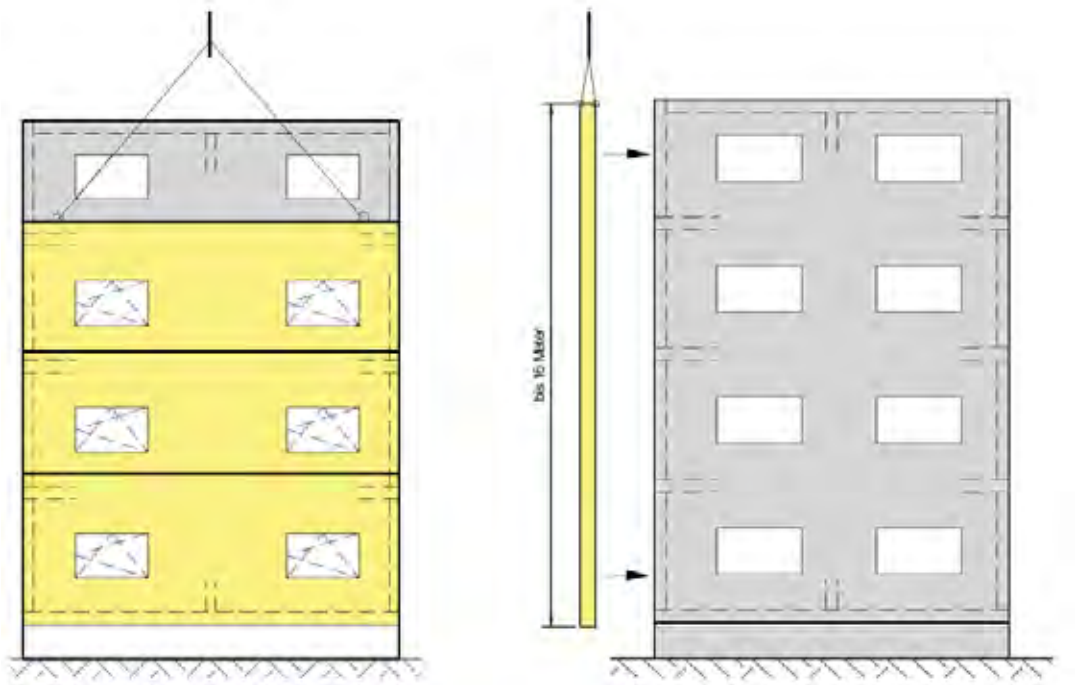


Abb. 1 Energetische Sanierung von Gebäuden mit Fassadenelementen kann geschossweise oder in voller Gebäudehöhe erfolgen (Zeichnung: bauart Konstruktions GmbH & Co. KG)

sondere Chance, durch vorelementierte Bauweisen die Anforderungen der Wohnungswirtschaft zu erfüllen.

Wärmedämmverbundsysteme

Das Thema der Wärmedämmung greift der Beitrag „Wärmedämmverbundsysteme mit Holzfaserplatten im Holzbau“ (Borimir Radovic) auf. Wärmedämmverbundsysteme (WDVS) gehören zu den Fassadensystemen, so dass sie alle Anforderungen an diese Systeme wie zum Beispiel dauerhafter Wetterschutz, klimabedingter Feuchtechutz, baulicher Holzschutz, Brandschutz und Gebrauchstauglichkeit erfüllen müssen. WDVS mit Holzfaserplatten besitzen entweder einen mineralischen Putz oder einen Kunstharzputz.

Die Wärmeleitfähigkeit der Holzfaserdämmplatten mit λ = 0,04 bis 0,05 W/mK entspricht in etwa der Wärmeleitfähigkeit von Polystyrol- und Mineralfaserplatten. Die deutlich höhere Rohdichte mit 150 bis 250 kg / m³ und eine deutlich höhere spezifischen Wärmekapazität mit ca. 2100 J / kgK gegenüber Polystyrol- und Mineralfaserplatten wirken sich sehr positiv auf den sommerlichen. Für dieses WDVS gibt es jedoch zurzeit weder eine europäische Norm noch eine DIN-Norm, so dass die Verwendung von WDVS in Deutschland entweder in einer europäischen Zulassung oder einer allgemeiner bauaufsichtlichen Zulassung des Deutschen Institutes für Bautechnik (DIBt) geregelt werden muss.

WDVS mit Holzfaserdämmplatten erfreuen sich steigender Beliebtheit, auch und gerade innerhalb der Fertighausindustrie. Ihre problemlose Anbringung an Holzrahmen, Massivholzelementen und mineralischen Untergründen, der gute Wetter- und Wärmeschutz sowie die Robustheit gegenüber mechanischen Einflüssen sind einige

Gründe, die für einen deutlich stärkeren Einsatz im Bauwesen sprechen.

Eine weitere Dämmtechnik für sehr hoch gedämmte Gebäude wird im Beitrag „Vakuumdämmung im Holzbau“ (Martin Forstner) beschrieben. Die dämmenden Elemente bestehen aus einer mehrlagigen, metallisierten Hochbarrierefolie, die den unter Vakuum stehenden Stützkern aus pyrogener Kieselsäure diffusions- und luftdicht abschließt. Diese Elemente werden bereits im Werk in die Wandkonstruktion eingebaut. Aufgrund ihrer hohen Dämmwerte von 0,055 W/mK benötigt man eine Elementstärke von etwa 6 cm, um den Passivhausstandard zu erreichen.

Ein Wandsystem, bei dem weniger die Dämmung, sondern der Baustoff Holz ganz im Vordergrund steht, beschreibt der Beitrag „TWOODS Bauelemente“ (Urs Steinmann). Bei diesen Wandbauteilen werden mehrere gekreuzte Brettlagen mit Hartholzdübeln verbunden, so dass ganz auf Leim und Metall als Verbindungsmittel verzichtet werden kann. Das ganze System besteht aus Holz, mit Ausnahme einer zwischen die Brettlagen eingelegten Winddichtungsebene aus textilen Fasern. Ein gutes Raumklima steht bei diesem Bauteil im Vordergrund, aber auch die umweltfreundliche Nachnutzung (z.B. in Form einer energetischen Nutzung).

Fensterelemente

Fenster- und Fassadenelemente gewinnen in Bezug auf energieeffiziente Gebäude ebenfalls immer mehr an Bedeutung. Für das Fensterbauteil besitzt Holz als Rahmenwerkstoff die längste Tradition. Durch verschiedene Umstände sind jedoch in den vergangenen Jahren reine Holzfenster zunehmend vom Markt verdrängt worden. Insbesondere der Pflegeaufwand, verbunden mit hohen Preisen, aber auch Schwächen wie zum Beispiel Tauwasserbildung, daraus resultierende Schäden und optische Mängel, sind Faktoren für den schwindenden Marktanteil.

Der Beitrag zur „Fenstertechnologie“ (Institut für Holzbau) beschreibt umfassend die Entwicklung des Holzfensters zum einen in der Vergangenheit, zum anderen beschreibt er aktuelle Entwicklungen, die das technische Potenzial dieses Bauteils aufzeichnen. Generell legen Studienergebnisse für eine künftig Erfolg versprechende Marktbearbeitungsstrategie der Holzfensterbranche nahe, sich stärker auf den gehobenen Bedarf zu fokussieren, wo eine Mehrpreisbereitschaft gegeben ist. Nach wie vor kann das Holzfenster mit seinen vielfältigen Gestaltungsmöglichkeiten und andererseits durch persönlich erlebbare Aspekte des Wohnklimas und Wohlbefindens überzeugen.

Glas als aussteifendes Element

Diese positiven Eigenschaften des Holzfensters bezieht eine technische Innovation im Bereich des Fenster- und Fassadenbereichs mit ein. Der Artikel „Holz-Glas-Verbundkonstruktionen“ (Institut für Holzbau) erläutert die kraftschlüssige Verklebung von Glas und Holz, wobei die Vorzüge beider Werkstoffe optimal genutzt werden: Die hohe Druck- und Zugfestigkeit von Holz in Faserrichtung trägt das Eigengewicht des Elements sowie die darauf wirkenden senkrechten Lasten. Die Glasscheibe ihrerseits steift die Konstruktion aus und trägt die Horizontallasten wie Wind ab.

Die drei großen Vorteile einer Holz-Glas-Verbundkonstruktion sind folgende: Zum einen schützt die außen vorgeklebte Scheibe die dahinter liegende Holzkonstruktion vor Witterungseinflüssen, so dass die Wartungskosten des Elements deutlich gesenkt werden können im Vergleich zu herkömmlichen Fenstern. Desweiteren lassen sich durch den Klebeverbund „Holz-Glas“ wesentlich höhere Lasten eintragen als in eine herkömmlich verklotzte Scheibe. Damit wird das statische Potenzial von Glas besser genutzt und der Holzrah-

men kann gleichzeitig schmaler ausfallen (zugunsten höherer gestalterischer Freiheiten). Und schließlich ergibt sich bei materialgerechter Konstruktion und Umsetzung der fertigungstechnischen Möglichkeiten eine äußerst wirtschaftliche Fenstergeneration.

Tragelemente

Primär tragende Funktion erfüllen die beiden folgenden innovativen Bauteile, die im Bereich von Decken und Brücken eingesetzt werden. Ein leichtes, den Rohstoff Holz sparsam verwendendes Tragelement wird im Beitrag „Kielstegelemente" (Stefan Krestel) aufgeführt (Abb. 2). Dieses ist ein hoch tragfähiges Element, dessen Ober- und Untergurte aus Schnittholz besteht; die dazwischen liegenden Stege, die herstellungsbedingt wie der Kiel eines Schiffes gebogen sind, bestehen aus Sperrholz oder OSB. Die Elemente werden als großformatige Elemente für Hallen und Gewerbebauten eingesetzt, wobei sie sich als leistungsfähig und wirtschaftlich erwiesen haben und in die Nähe konkurrierender Bauelemente wie dem Trapezblech rücken können.

Abb. 2: Die Darstellung zeigt vorgefertigte Kielstegelemente in der Produktionshalle

Einen Gegensatz zu dieser leichten Bauweise bilden Brettschichthölzer, die über 2,00 m hoch, 4,00 m breit und bis zu 45,00 m lang sein können. Ihre Einsatzbereiche, beschrieben im Beitrag „Blockverleimung" (Frank Miebach), finden sich vor allem im Brückenbau. Die Blockverleimung von Brettschichtholz weist auf die hohe Leistungsfähigkeit heutiger Verbindungsmittel im Holzbau. Diese werden im Kapitel 10 näher beschrieben.

7.1 Bauteile, Bauteilverfahren
Energetische Sanierung von Gebäuden mit Fassadenelementen in Holzbauweise

Heinz Pape

1 Einleitung

Energie durch effiziente Nutzungen einzusparen und fossile Energie durch erneuerbare zu substituieren, sind die beiden Kernelemente der EU-Doppelstrategie, mit der die Bundesregierung die Ziele ihres am 23.8.2007 auf Schloss Meseberg beschlossenen „Integrierten Energie- und Klimaschutzprogramms“ erreichen will.

Die Ziele bis 2020 lauten:

- Verbrauch von fossiler Energie um 20 % senken,
- Anteil erneuerbarer Energien auf 20 % steigern

und

- CO_2-Emissionen um 40 % mindern.

Die politischen Ziele Versorgungssicherheit, Wirtschaftlichkeit und Umweltverträglichkeit standen als Fixpunkte für die Ausrichtung der energiepolitischen Leitlinien fest. Die Substitution fossiler Energieträger durch erneuerbare ist jedoch nur begrenzt möglich. Deshalb muss, wenn nachhaltig Energie eingespart werden soll, der Verbrauch in erster Linie im Wege von Effizienzsteigerungen reduziert werden.

Insbesondere einer Steigerung der Energieeffizienz der Bestandsgebäude kommt eine besondere Bedeutung zu. In der Bundesrepublik entfallen ca. 40 % des gesamten Energieverbrauches auf den Gebäudesektor. Davon wiederum ca. 60 % auf den Gebäudebestand, der zwischen 1950 und 1978 errichtet wurde.

Gerade bei diesen Gebäuden ist es nachweislich technisch möglich und auch wirtschaftlich sinnvoll, durch eine energetische Sanierung den bestehenden Heizwärmebedarf von 200 - 250 KWh/m²a um den Faktor 10 auf 20 - 25 kWh/m²a zu reduzieren.

Die nachfolgenden Ausführungen beziehen sich vorrangig auf mehrgeschossige Wohngebäude der Gebäudeklassen 3 bis 5, d.h. für drei bis siebengeschossige Gebäude.

2 Energetische Sanierung– üblicher Standard

Die zurzeit häufigste Form der energetischen Sanierung von Bestandsgebäuden erfolgt durch das Aufbringen eines Wärmedämmverbundsystems (WDVS) auf der Fassade. In der Regel werden synthetische oder auch mineralische WDVS mit einer Dämmstoffdicke von bis zu 16 cm eingesetzt. Die Systeme werden gemäß den bauaufsichtlichen Regeln geklebt oder gedübelt. Das abschließende Putzsystem wird häufig für gestalterische Verbesserungen genutzt.

Im Zuge der Fassadenerneuerung werden auch die bestehenden Fenster ausgetauscht, wenn diese im Bereich der geplanten Nutzungsdauer von ca. 20 – 25 Jahre sind.

Die Verwendung von größeren Dämmstoffdicken bis zu 30 cm ist eher selten.

Eine energetische Ertüchtigung von Bestandsgebäuden bis hin zum Passivhaus oder auch eines KfW Energiesparhauses 40 ist eher selten. Um diese Anforderungen zu erfüllen, werden Dämmstoffdicken von ca. 30 cm erforderlich. Bereits realisierte Vorhaben zeigen jedoch, dass durch die hohe Energieeffizienz dieser Gebäude auch die durchgeführten Maßnahmen langfristig wirtschaftlich sind. Es zeigt sich aber auch, dass mit zunehmender Dämmstoffdicke die Anforderungen an die Bauausführung des Wärmedämmverbundsystems steigen, diese aber nicht in allen Fällen realisiert werden.

3 Vorelementierte Elemente in Holzbauweise

3.1 Grundlagen

Die Wohnungswirtschaft sucht schon seit langem nach Möglichkeiten einer energetischen Gebäudesanierung, die schnell und ohne wesentliche Beeinträchtigungen der Mieter realisiert werden kann. Im Wesentlichen werden kurze Einrüstzeiten und ein optimierter Fensterwechsel gefordert.

Der Holzbau kann aufgrund der Möglichkeiten einer Vorelementierung diese Anforderungen sehr gut erfüllen. Darüber hinaus kann vollständig auf synthetische Dämmstoffe verzichtet werden und es kommen überwiegend nachwachsende Rohstoffe zum Einsatz.

3.2 Systemvarianten und Vorelementierung

Grundsätzlich sind zwei verschiedene Varianten einer Fassadenausbildung möglich. Zum einen können zum Bestand hin „offene“ Elemente gebaut werden (s. Abb. 1). Die Dämmung aus Zellulose wird dann vollständig auf der Baustelle eingebracht. Durch dieses Vorgehen ist gewährleistet, dass kein unkontrollierter Hohlraum zwischen der Bestandswand und dem neuen Fassadenelement entsteht (s. Abb. 2). Bei der geschlossenen Variante wird die Dämmung bereits werkseitig eingebracht. Auf der Seite zum Bestand hin wird eine weiche Mineralfaserdämmung angeordnet, die sich im Zuge der Montage gegen den Bestand anschmiegt, sodass auch hier Hohlräume nicht entstehen können. Es sind aber auch weitere Alternativen wie z.B. das Einbringen eines Dämmgranulats in den Hohlraum möglich.

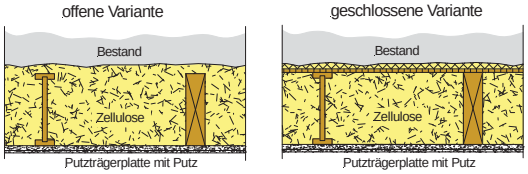


Abb. 1: Systemvarianten – offen und geschlossen

©bauart Konstruktions GmbH & Co. KG

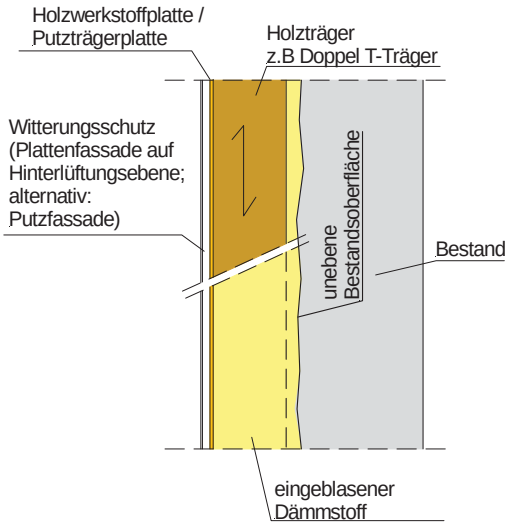


Abb. 2: Dämmen der Elemente durch Einblasen von Zellulose

©bauart Konstruktions GmbH & Co. KG

In Abhängigkeit der verschiedenen Entwurfsüberlegungen kann eine Elementierung sowohl vertikal als auch horizontal erfolgen (s. Abb. 3). Die Wahl der Variante ist sowohl von den örtlichen Gegebenheiten als auch von den Randbedingungen im Herstellwerk abhängig.

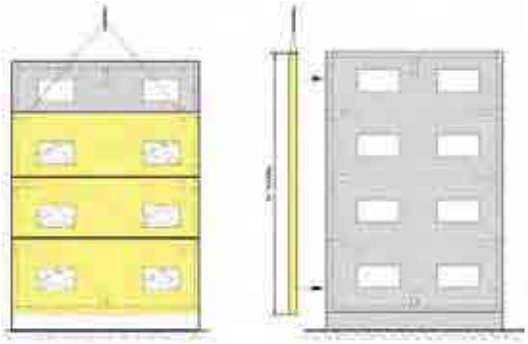


Abb. 3: Varianten der Elementierung – horizontal, vertikal

©bauart Konstruktions GmbH & Co. KG

3.3 Vermessung

Der hohe Grad der Vorelementierung erfordert ein genaues Aufmaß der Bestandsfassade. Neben

einem verlässlichen Aufmaß der Bauteilkanten und Öffnungen sind auch die Unebenheiten der Bestandsflächen von Interesse. Nur bei einer genauen Kenntnis ist es möglich, eine „zweite Haut“ mit vorelementierten Elementen um den Bestand zu bauen, ohne dass im Bereich der Elementstöße und Eckausbildungen Versätze und Knicke auftreten.

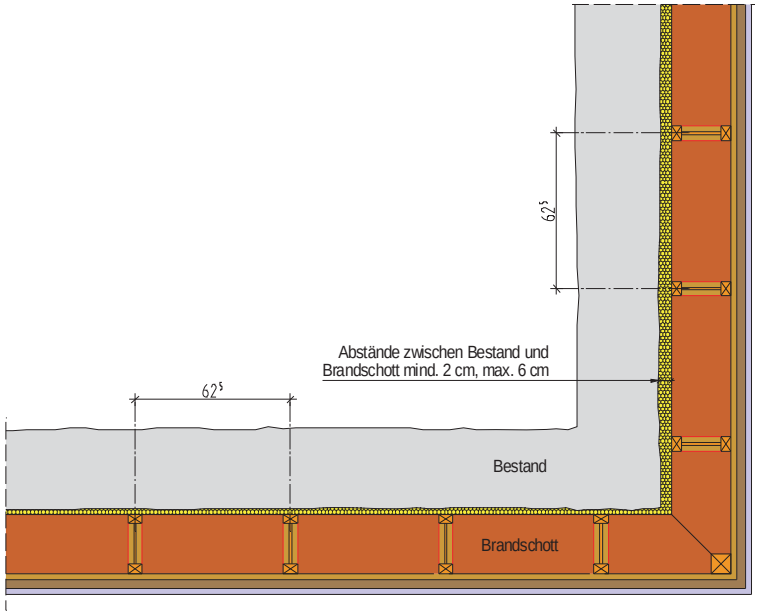


Abb. 4: Horizontalschnitt über Gebäudeecke ©bauart Konstruktions GmbH & Co. KG

Bisher durchgeführte Untersuchungen belegen, dass bei einer Kombination aus den Vermessungsverfahren der Tachymetrie, des Laserscanning und ein auf die Fenster- und Türleibungen begrenztes händisches Aufmaß eine ausreichende Genauigkeit für die Elementierung erreicht wird.

3.4 Statik

Neben der Elementierung ist auch der vertikale Lastabtrag (Eigengewicht) und der horizontale Lastabtrag (Windsog) sorgfältig zu planen. Insbesondere die Wahl der Lastabtragung ist abhängig von der Qualität aber auch von der Konstruktion der vorhandenen Bausubstanz. Es ist sowohl ein Lastabtrag am Wandfuß oder am Wandkopf möglich. Aber auch ein kontinuierlicher Lastabtrag ist zu untersuchen.

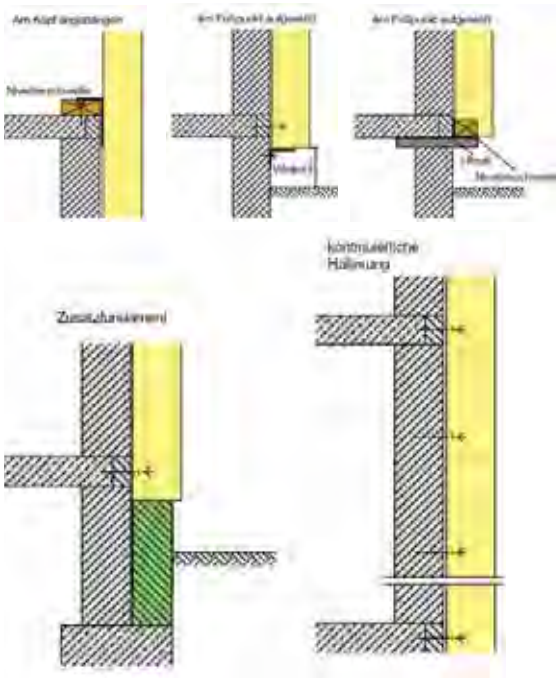


Abb. 5: Varianten des vertikalen Lastabtrags
©bauart Konstruktions GmbH & Co. KG

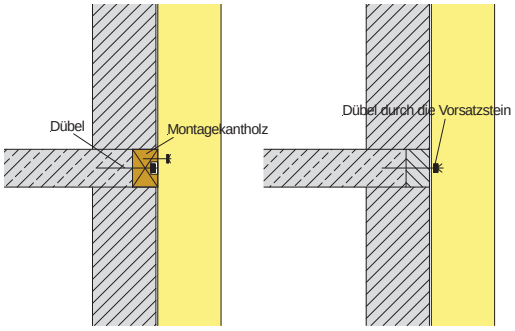


Abb. 6: Varianten des horizontalen Lastabtrags (Windsog, Winddruck)
©bauart Konstruktions GmbH & Co. KG

3.5 Brandschutz

Die Fassade ist so auszubilden, dass sich ein Brand nicht über die Fassade ausbreiten kann. Die Oberfläche der Fassade muss in den Gebäudeklassen 4 und 5 schwerentflammbar (B1) klassifiziert sein.

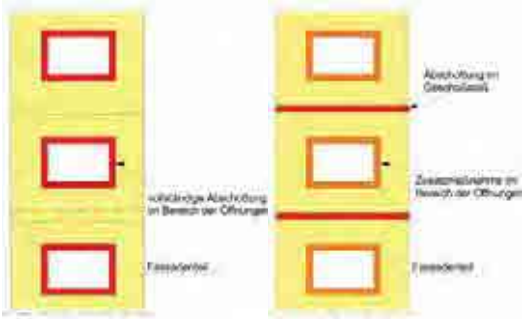


Abb. 7: Entwurfsüberlegungen Brandschutz
©bauart Konstruktions GmbH & Co. KG

3.6 Fenstereinbau – Zargenkasten

Dem Fenstereinbau und der Ausbildung der Fensterleibung kommt eine besondere Bedeutung zu. Zur Minimierung der Wärmebrücken wird es erforderlich, die Fenster in der Dämmebene einzubauen. Aufgrund der früheren Einbausituationen mit massiven Innenanschlägen ist es daher zielführend, die Innenanschläge zurückzubauen, um die Glasflächen und damit verbunden die natürliche Raumbelichtung nicht zu reduzieren. Mit diesem Rückbau der Anschläge und der anschließenden umfassenden Neuausbildung der Fensterleibung ist eine wesentliche Beeinträchtigung der Mieter verbunden. Durch die Ausbildung eines speziellen Zargenkastens, der einen wärmebrückenfreien Fenstereinbau ermöglicht und auch gleichzeitig die innere Fensterleibung bildet, kann eine wesentliche Vereinfachung des Fenstereinbaus herbeigeführt werden.

Darüber hinaus können durch den Zargenkasten Maßtoleranzen zwischen den werkseitig vorgefertigten Elementen und dem Bestand ausgeglichen werden.

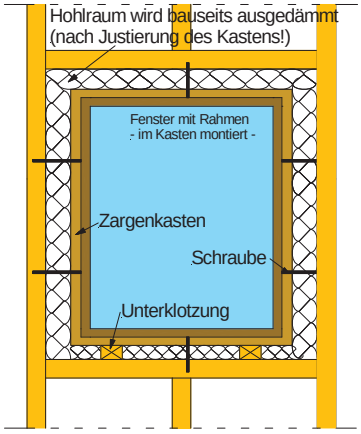


Abb. 8: Anordnung Zargenkasten mit Fenster im Fassadenelement ©bauart Konstruktions GmbH & Co. KG

4 Ausblick

In Zeiten von steigenden Energiepreisen und des Klimaschutzes ist die Energieeffizienz zu einem zentralen Qualitätsmerkmal von mehrgeschossigen Wohngebäuden geworden.

Dem Holzbau bietet sich auch bei der energetischen Sanierung von Bestandsgebäuden eine besondere Chance, durch vorelementierte Bauweisen die Anforderungen der Wohnungswirtschaft zu erfüllen.

Im Rahmen von „Pilotprojekten“ wurden bereits unterschiedliche Varianten von vorgestellten, vorelementierten Fassadensystemen in Holzbauweise entwickelt, geplant und auch realisiert.

Um diese Bauweise flächendeckend marktfähig zu machen, ist die weitere Entwicklung von umfassenden standardisierten Detaillösungen notwendig, um den objektspezifischen Planungsaufwand zu minimieren. Dass dieses Vorgehensprinzip zielführend sein kann, beweist der Erfolg der Holzrahmenbauweise in Deutschland, der auch über standardisierte Ausführungen im Rahmen des Holzrahmenbaukataloges kontinuierlich an Marktanteilen gewonnen hat.

7.1 Bauteile, Bauteilverfahren
Fenstertechnologie

1 Status Quo

Seit Mitte der 90er Jahren ist der Absatz, gemäß Angaben des Verbandes der Fenster- und Fassadenhersteller, stark rückläufig. Wurden 1995 noch ca. 25 Mio. Fenstereinheiten (1 FE = 1,69 m²) produziert, sank die Anzahl auf knapp 12 Mio. Einheiten in 2008 und befindet sich damit ungefähr auf dem Stand von 1985.

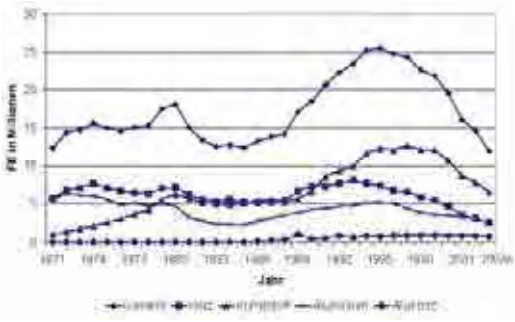


Abb. 1: Fensterabsatz [1]

Knapp 60 % der produzierten Fenster gehen in die Renovierung des Gebäudebestandes, etwas mehr als 40 % in den Neubau.

2008 ergaben sich für die Gesamtproduktion folgende Marktanteile:
- ca. 55% Kunststofffenster
- ca. 21% Aluminiumfenster
- ca. 18% Holzfenster
- ca. 6% Holz-Aluminiumfenster

Lagen zwischen 1980 und 1990 die Marktanteile von Kunststoff- und Holzfenstern noch mit jeweils knapp 40 % gleich auf, hat sich der Anteil von Holzfenstern seitdem halbiert.

2 Marktanalyse

In einer Ende 2001 durch die GfK Panel Services im Auftrag vom ift in Rosenheim durchgeführten Untersuchung, wurden bundesweit private Haushalte zu Image, Bedürfnissen und Kaufentscheidungen bzgl. Fenster befragt.

Handelt es sich nicht gerade um die Komplettsanierung eines Hauses, werden Fensterrenovierungen meist vorgenommen, wenn die Fenster ent

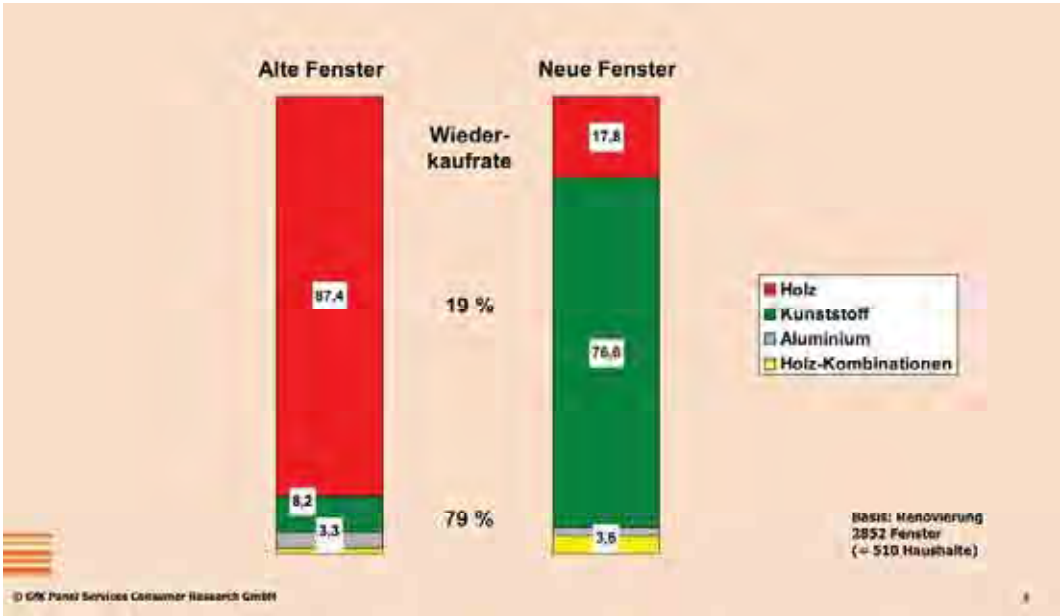


Abb. 2: Materialtreue [2]

weder defekt oder in ihrer Funktionsfähigkeit stark eingeschränkt sind. Aufgrund der Bestandssituation, mit einem noch sehr hohen Holzanteil, ist dies ein psychologischer Nachteil für Holzfenster, da Wiederkaufüberlegungen für Holzfenster mit dem gerade erlebten Produktmangel belastet sind. Dementsprechend ist die Wiederkaufrate hier auch sehr gering.

Generell kommt dem Qualitätsthema erwartungsgemäß ein sehr hoher Stellenwert zu. Die Hauptgründe für eine Entscheidung gegen Holzfenster sind mit dem Material assoziierte Qualitätsprobleme, die – wie im Renovierungsfall – häufig auch persönlich erlebte Mängel als Hintergrund haben. Witterungseinflüsse auf das Holzfenster stellen aus Sicht des Endkunden das schwerwiegendste Problem dar. Einerseits wird dadurch generell die Solidität, die Haltbarkeit von Holzfenstern in Zweifel gezogen, andererseits – und das ist es, was der Konsument am meisten scheut - lassen sie einen hohen Pflege- und Wartungsaufwand erforderlich erscheinen.

Genau hier haben die Konkurrenzangebote, insbesondere das Kunststofffenster ihren entscheidenden Imagevorteil. Als witterungsbeständig, pflegeleicht und wartungsfrei erlebt, bieten sie die vom Endkunden gewünschte Convenience und Problemlosigkeit.

Das Bild vom pflege- und wartungsintensiven, in seiner Haltbarkeit zu verbessernden Werkstoff Holz herrscht im Übrigen auch bei den Architekten / Bauplanern vor, die damit durchaus auch eine meinungsbildende Funktion beim Endkonsumenten haben dürften.

Der Fensterkäufer hat gemäß der Studie sehr traditionelle Vorstellungen bei den Öffnungsarten (überwiegend Dreh-Kippflügel bevorzugt) und auch Zusatzfunktionen genießen nur ein eingeschränktes Interesse.

Der Anschaffungspreis selbst ist nicht der zentrale Grund sich gegen Holzfenster zu entscheiden. Grundsätzlich erscheint es deshalb nicht als die

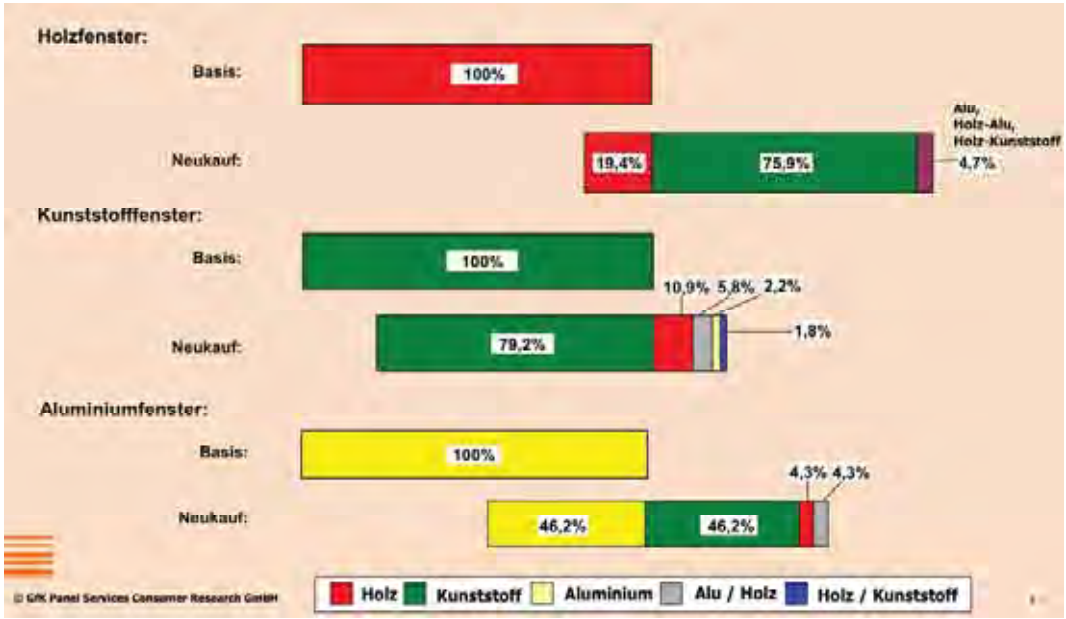


Abb. 3: Wiederkaufrate Rahmenarten [2]

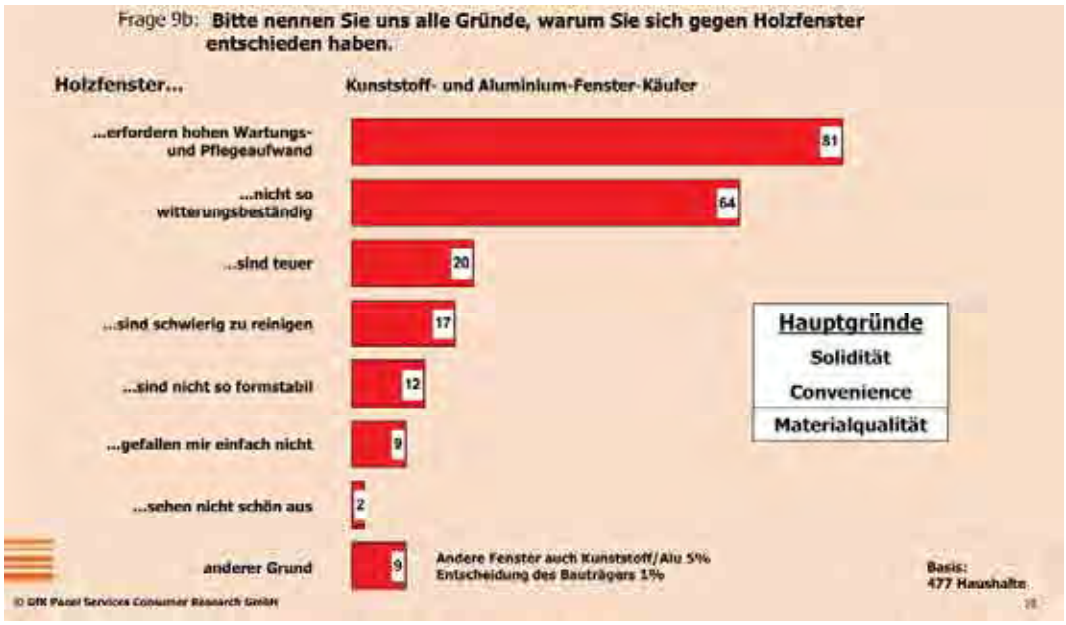


Abb. 4: Nichtkauffgründe [2]

Abb. 5: Verbesserungswünsche [2]

richtige Strategie, sich zu sehr am Preisniveau der Kunststofffenster zu orientieren. Aufgrund der Kostenstrukturen muss dies nämlich zur Folge haben, dass dann beim Holzfenster an den Basisqualitäten gespart wird, mit der Folge einer weiteren Verfestigung des problematischen Qualitätsimages.

Generell legen die Studienergebnisse für eine künftig erfolgversprechende Marktbearbeitungsstrategie der Holzfensterbranche nahe, sich stärker auf den gehobenen Bedarf zu fokussieren, wo eine Mehrpreisbereitschaft gegeben ist.

Das Holzfenster überzeugt seine Befürworter einerseits durch die vielfältigen Gestaltungsmöglichkeiten, durch Optik, Design und Ästhetik, andererseits auch durch persönlich erlebbare Aspekte des Wohnklimas, nämlich Wellness und Wohlbefinden. Beide Aspekte werden verbunden mit der Natürlichkeit und Umweltfreundlichkeit des Werkstoffs, Eigenschaften, die Holz als generische Qualitäten zugeschrieben werden, die aber zudem weiteres Potential für Verbrauchernutzen (etwa demonstrative Vernunft etc.) beinhalten. [2]

3 Imageverbesserung

Immer weiter sinkende Marktanteile beim Holzfenster sind kein unabwendbares Schicksal. Jedoch muss hierzu ein positives Produktselbstverständnis in der Öffentlichkeit erzeugt werden, welches nicht nur die ökologischen und haptischen Vorzüge in den Vordergrund stellt, sondern auch die zwischenzeitlichen Qualitätsverbesserungen bei Holzfenstern, neue Fenstersysteme durch neueste Produktionsverfahren, Einsatz moderner Verarbeitungstechnologien, innovativen Oberflächenbehandlungen etc. mit einbezieht.

Das Fenster ist für den Verbraucher nur ein weiteres Bauprodukt. Eine emotionale Identifikation fehlt. Hier liegt eine Chance den Werkstoff Holz positiv zu besetzen.

Grundsätzlich sollte die Förderung von Holz- und Holzprodukten aber schon im Kindesalter einsetzen. Wer mit einer positiven Einstellung zu Holz heranwächst, wird diesen Baustoff auch in Betracht ziehen. (s. auch Kapitel 3.1)

Beispiel für eine gelungene Imageverbesserung durch eine breit angelegte Medienkampagne, ist die in 2000 lancierte Initiative „wood for good“ in England. Vom Nordic Timber Council, zusammen mit englischen Holz- und Forstverbänden initiiert, konnte der Holzfensterabsatz innerhalb von 2 Jahren um fast 20 Prozent gesteigert werden.

2007 folgte das Bündnis „Wood Window Alliance“, ein Zusammenschluss der 40 größten Holzfensterproduzenten und Zulieferbetrieben. Ziel ist die Image-Förderung von Holzfenstern bzgl. Nachhaltigkeit und dem Entgegenwirken des problematischen Rufs bei Haltbarkeit und Wartung. Es wurden Standards für Fenster definiert, welche alle Mitglieder erfüllen müssen. Die Weiterentwicklung des Holzfensters wird gefördert. Daraus resultieren für den Kunden Produktgarantien für die mit dem Verbandsemblem zertifizierten Fenster (30 Jahre Holz, 10 Jahre Verglasung und Beschläge, 8 Jahre für eine werksseitige Oberflächenbeschichtung).

Abb. 6+7: Auszüge Werbung, Wood Window Alliance, England [3]

4 Holzrahmenkonstruktionen

Holz als Rahmenwerkstoff für Fenster hat die längste Tradition. Durch verschiedene Umstände sind in den vergangenen Jahren reine Holzfenster zunehmend verdrängt worden. Insbesondere der Pflegeaufwand, verbunden mit hohen Preisen, aber auch Schwächen wie z. B. Tauwasserbildung und daraus resultierende Schäden und optische Mängel, sind Faktoren für den schwindenden Marktanteil.

Der Versuch, ab 1973 den Kenntnisstand zur Konstruktion von Holzfenstern in DIN 68121 zu dokumentieren und fortzuschreiben, war nur bis in die 80er Jahre erfolgreich, weil in der Folgezeit grundsätzliche Fragen zur Konstruktion nicht geklärt werden konnten. Auch im Rahmen der RAL Gütesicherung Holzfenster [RAL 1989] konnte das vorliegende Wissen zur Herstellung von Holzfenstern nicht immer vermittelt und umgesetzt werden. Die Forschung reagierte letztlich nur auf die Entwicklung der Fertigungstechnik und die Entwicklungen der Zulieferindustrie. Auch konnte die Übernahme des in DIN 68121 beschriebenen Fensters zum Standardfenster und damit zum Maßstab der Bewertung aller Holzfenster des deutschen Marktes nicht verhindert werden. Dies ist noch heute ein wesentlicher Hemmschuh für die Weiterentwicklung und für Innovationen bei Holzfenstern.

Darüber hinaus gab es Umsetzungsprobleme bei den vorliegenden Erkenntnissen, so zum Beispiel bei der Verleimung der Rahmenverbindungen und der Abdichtung von Fugen, mit weitreichenden Folgen für die Nutzungsdauer und die Gebrauchstauglichkeit von Holzfenstern.

Werkzeughersteller und Maschinenhersteller favorisieren die Herstellung von Holzfenstern mit der Profilausbildung IV 68, obwohl eine kritische Hinterfragung zur Gebrauchstauglichkeit und Nutzungsdauer des Fensters notwendig wäre. Das Holzfenster mit der Profilausbildung IV 68 nach DIN 68121-1 gilt auch noch heute über die Grenzen Deutschland hinaus als ein technisch hoch entwickeltes Bauteil.

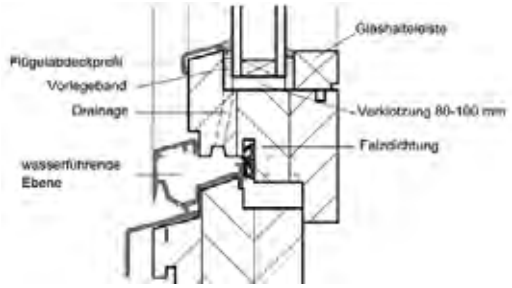


Abb. 8: Holzfensterprofil IV 68 [4]

Die DIN 68121 orientiert sich mit den Anforderungen am baulichen Umfeld sowie an den Wohnbedürfnissen zwischen 1970 und 1990 und wird deshalb insbesondere den geänderten Nutzerbedürfnissen und der erhöhten Anforderung an die Dichtheit der Gebäudehülle bei Wohn- und Wirtschaftsgebäuden nicht gerecht. Die damit verbundenen Auswirkungen auf das Fenster verlangen einen neuen Ansatz, der diesen geänderten Anforderungen gerecht wird und vorausschauend die Bedürfnisse der Nutzer und die technische und architektonische Entwicklung berücksichtigt. Ein Ansatz mit hohen Erfolgsaussich-

ten ist dabei die Kombination von Holz mit innovativen Materialien und Technologien.

Typische Holzfenster gemäß DIN 68121 bestehen aus einer Holzart; die Kantel wird in der Praxis meist aus drei Einzellagen mit ggf. unterschiedlichen Holzqualitäten gebildet. Die Einbindung von weiteren Materialien kann mittels einer Vielzahl von Konzepten erfolgen. Wesentliche Ansätze sind in der Folge beschrieben.

4.1 Schichtverbundwerkstoffe

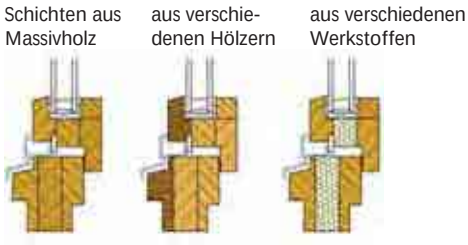


Abb. 9: Rahmen aus mehreren Schichten [6]

Es werden Einzellamellen durch eine Klebverbindung fest miteinander verbunden, dabei können auch unterschiedliche Materialien zum Einsatz kommen. Eine Vielzahl von „neuen" Holzwerkstoffen und Vergütungsprozessen zielen darauf ab, die unerwünschten Quell- und Schwindverformungen zu minimieren und eine gleichmäßige Qualität der Produkte sicherzustellen. Damit verbunden ist auch eine geringere Wasseraufnahme. Das Material wird meist als Ersatz für Außenlamellen verwendet; wesentliche Änderungen am Profilsystem werden nicht vorgenommen. Zusätzlich werden für die Raumseite auch Lamellen bis hin zu Furnierauflagen aus dekorativen Hölzern vorgesehen. Typisch ist auch die Einbringung von Konstruktionsdämmstoffen in der Mittellamelle zur wärmetechnischen Optimierung des Profils.

Beim Einsatz modifizierter Hölzer (s. auch Kapitel 8.2) ist darauf zu achten, dass eine gleichmäßige Holz- und Modifizierungsqualität gegeben ist. Die Abstimmung des Klebstoffs und der Klebstoffverarbeitung auf die Gegebenheiten und Werkstoffe erweist sich als sehr komplex. Die Qualität der Klebung hängt dabei vom einzelnen Klebstoffprodukt ab, eine pauschale Aussage zur Eignung einer Klebstoffbasis ist nicht möglich. Vom Verband der Fenster- und Fassadenhersteller e.V. (VFF) wurde ein Merkblatt zu modifizierten Hölzern herausgegeben.

4.2 Vorsatzschalen

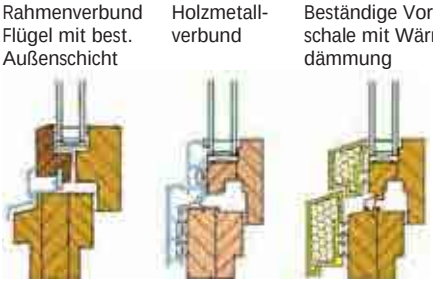


Abb. 10: Vorsatzschalen [6]

Durch eine meist mechanische Verbindung werden voneinander prinzipiell gelöste Rahmen oder Einzelteile zusammengesetzt. Bei Holz-Metallfenstern wird seit längerer Zeit erfolgreich eine dem Holzrahmen vorgesetzte und gleitfähig gelagerte Wetterschutzschicht eingesetzt. Grundsätzlich wäre der Einsatz von Schalen auch auf der Raumseite für Dekorrahmen denkbar. Mit dieser Technik können in der Hauptsache stark unterschiedliche Werkstoffe miteinander verbunden werden. Auch eine gewisse mechanische Belastbarkeit der Verbindung ist gegeben. [5] [6]

Das Fiberwood Fenster der Fenster Betz GmbH besteht aus einer außen liegenden glasfaserverstärkten Kunststoffblende und dem innen liegenden Holzrahmen. Der Witterungsschutz wird durch den GFK-Rahmen gewährleistet.

Die GFK-Blende enthält eine ausgeschäumte Hohlkammer zur Verbesserung des U_f- Wertes und wird passgenau auf den zuvor montierten Holzrahmen aufgesetzt und verschraubt. Das

GFK-Profil nimmt die Schlagregendichtung auf, bildet die Entwässerungskammer des Fensters und dient als Anschlag für die mittig liegende Falzdichtung.

Das GFK-Flügelrahmenprofil wird rundum mit der Verglasungseinheit verklebt und dann mit dem Holz-Flügelrahmen verschraubt. Die Aussteifung des Fensters erfolgt durch die Verbundwirkung infolge der Verklebung von Glas und GFK-Rahmen.

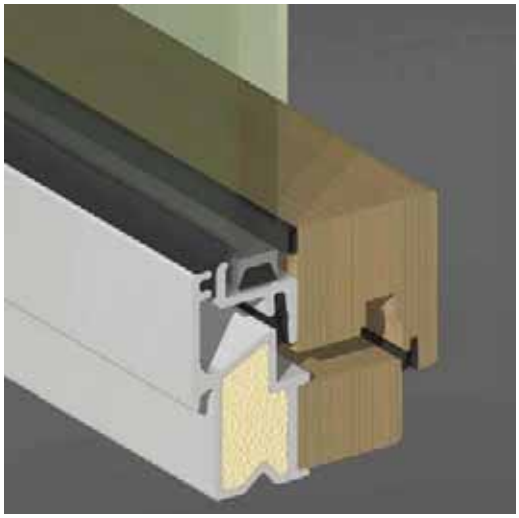


Abb. 11: Systemschnitt Fiberwood [7]

4.3 Holz-Glasverbund Fenster

Hohes Potential zur Weiterentwicklung, wird dem Holzglasverbund attestiert (s.a. Artikel 8.5). Wie schon bei dem Fiberwood Fenster erläutert, wird hierbei die Glasscheibe direkt mit dem Rahmen verklebt und übernimmt so mit die Tragfunktion. Bewährte Silikon- und PU-Klebstoffe eignen sich hervorragend zur Herstellung eines dauerhaften Verbundes zwischen Glas und Holz. Moderne Acrylat-Klebstoffe eröffnen mit ihrer Klebekraft und Steifigkeit neue Einsatzbereiche im Bauwesen. Glas als tragendes Konstruktionselement im statisch wirksamen Verbund mit Holz eröffnet neue Möglichkeiten.

Ein wesentlicher Vorteil liegt in der Art der Aktivierung des statischen Potenzials von Glas. Bei Lasteinleitungen durch Klotzungen oder Punkthalterungen ist durch die örtliche Spannungskonzentration an der Einspannstelle die mechanische Festigkeit von Glas schnell erreicht. Wird eine Glastafel entlang ihrer Kanten auf eine Tragstruktur geklebt, kann sie als rundum eingespanntes Scheiben- oder Schalenelement wirken, die Krafteinleitung erfolgt umlaufend linienförmig und deshalb schonend. [8]

Abb. 12: Systemschnitt, Walch Fenster [9]

Beispiel eines seit 2008 in Serie hergestellten, geklebten Fenstersystems ist das abgebildete Produkt der Walch GmbH. Die Stufenfalzisolierverglasung des nach außen öffnenden Fensters überdeckt gleichzeitig komplett Flügel und den flächenbündigen Rahmen.

5 Oberflächenbeschichtung

Die Funktionsfähigkeit einer Beschichtung ist von vielen Faktoren abhängig. Es ist unbedingt notwendig, dass das Zusammenwirken der Holzart, der Verarbeitung, des konstruktiven Holzschutzes, der Beschichtungsmaterialien, des Einbaus

und der Instandhaltung aufeinander abgestimmt sind.

Über die Hälfte aller Holzfenster werden aus Nadelhölzern wie Fichte und Kiefer gefertigt. Bei diesen Holzarten besteht bei erhöhter Feuchtigkeitsbelastung (z.B. bei Wassereintritt durch Haarrisse oder Fugen) die Gefahr der Bildung von Bläue- und Fäulnispilzen. Eine Imprägnierung ist bei dieser Holzart aus technischer Sicht erforderlich.

Dunkle Anstriche verursachen durch Sonneneinstrahlung in unserem Klimabereich Oberflächentemperaturen bis ca. 80 °C. Bei harzreichen Holzarten wie z.B. Kiefer ist dann bei dunklem Anstrich der Austritt von Harz unvermeidbar. Zudem folgen aus dieser Erwärmung starke Beanspruchungen der Konstruktion. Die Erwärmung der Oberflächen hat eine Erwärmung des gesamten Bauteils zur Folge. Aufgrund hoher Oberflächentemperaturen trocknen die äußeren Zonen des Holzes schneller aus als die innen liegenden Holzschichten. Durch einen ungenügenden Oberflächenschutz, der nicht in der Lage ist, Feuchteschwankungen im Holz zu verhindern, entstehen Spannungen, die an der Oberfläche zu Rißbildungen führen. Durch diese Rißbildungen besteht die Möglichkeit eines vermehrten Eintretens von Feuchtigkeit und einer Schädigung des Anstrichsystems.

Farblose oder sehr helle Lasuren bringen ebenfalls Probleme mit sich, da sie durch ihren zu geringen Pigmentanteil nicht in der Lage sind, die auf die Oberflächen auftreffenden UV-Strahlen von der Holzoberfläche fernzuhalten. Es tritt ein Ligninabbau auf und die Verbindung vom Holz zur Lasuroberfläche ist unterbrochen. Es kommt zur Abblätterung des Anstrichs.

Gerade beim Holzfenster als maßhaltigem Bauteil ist eine regelmäßige Überprüfung und Ausbesserung einzelner, auch kleiner Schadstellen in der Beschichtung Bedingung für eine lange Haltbarkeit.

Das Institut für Fenstertechnik (ift) in Rosenheim hat eine Beschichtungsgruppen-Tabelle zusammengestellt, welche gegliedert nach Holzartengruppe, Farbton und Bewitterung entsprechende Empfehlungen für Beschichtungen ausspricht.

Sikkens als Farbenhersteller bietet mit der Longlife Initiative bis zu 10 Jahre Garantie auf die Oberflächenbeschichtung von Holzfenstern. Diese Gariantie ist objektbezogen und wird anhand einer Bewertungsliste, bei der konstruktive und klimatische Faktoren, Holzart und Farbton bewertet werden, ermittelt. Die Reinigungs-, Pflegeintervalle und Oberflächenüberarbeitungszeiträume werden gemäß der Einstufung vorgegeben. [10]

6 Innovationen

6.1 Vakuum-Isolierglas (VIG)

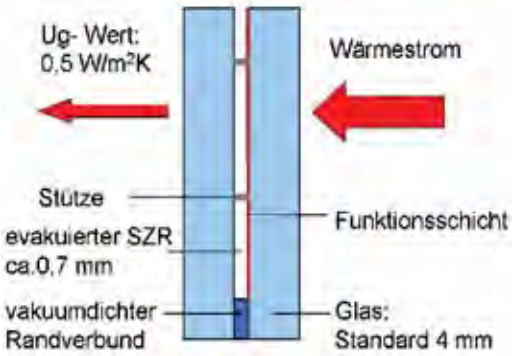


Abb. 13: Prinzipaufbau VIG, [11]

Bei konventionellen Wärmeschutzverglasungen mit IR- reflektierenden Beschichtungen verursacht die Wärmeleitung des Füllgases im Scheibenzwischenraum einen Großteil des Wärmedurchganges.

Dies kann durch Evakuieren des Scheibenzwischenraumes deutlich reduziert werden. Die Dämmwirkung des evakuierten Zwischenraumes

ist kaum noch vom Scheibenabstand abhängig, so dass dieser auf Werte < 1 mm reduziert werden kann. Dies ermöglicht sehr schlanke VIG-Aufbauten. Um den auf den Scheiben lastenden Atmosphärendruck von 10 Tonnen pro m² aufzunehmen, müssen im Scheibenzwischenraum in regelmäßigen Abständen kleine Stützen angebracht werden. Diese sind nur aus nächster Nähe wahrnehmbar und behindern die Durchsicht nicht. Um den benötigten Unterdruck von 10^{-4} hPa aufrechtzuerhalten muss der Randverbund gasdicht sein. Als aussichtsreichstes Randverbundkonzept gilt die Metallummantelung. Zuerst werden die Metallbänder mit dem Glas ultraschallverschweißt. Die dabei entstehende chemische Verbindung zwischen Metall und Glas ist dauerhaft vakuumdicht. Unter Vakuum werden in einem zweiten Schritt die überstehenden Metallbänder laserverschweißt.

Vakuumisolierglas bietet eine interessante Alternative zu den heute handelsüblichen schweren Dreifachverglasungen. Vor allem dort, wo es um die Nutzung solarer Wärmegewinne geht, besitzt VIG deutliche Vorteile in der Energiebilanz. [11]

6.2 Schaltbarer Sonnenschutz

Die Entwicklung des variablen Sonnenschutzglases EControl wurde durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie im Rahmen des Programms „Energieoptimiertes Bauen“ unterstützt. Durch einen elektrischen Schaltimpuls, lässt sich das Isolierglas in fünf Stufen abdunkeln. Die Lichttransmission liegt zwischen 50 % und 15 % (Bei Standardisolierverglasung > 70 %). Die Gesamtenergietransmission zwischen 38 % und 12 % bei einer 2-fach Isolierverglasung mit einem U_g-Wert von 1,1W / (m²K)).

6.3 Mechatronik im Fenster

Die Entwicklungen der vergangenen Jahre haben dazu geführt, dass verstärkt elektromechanische

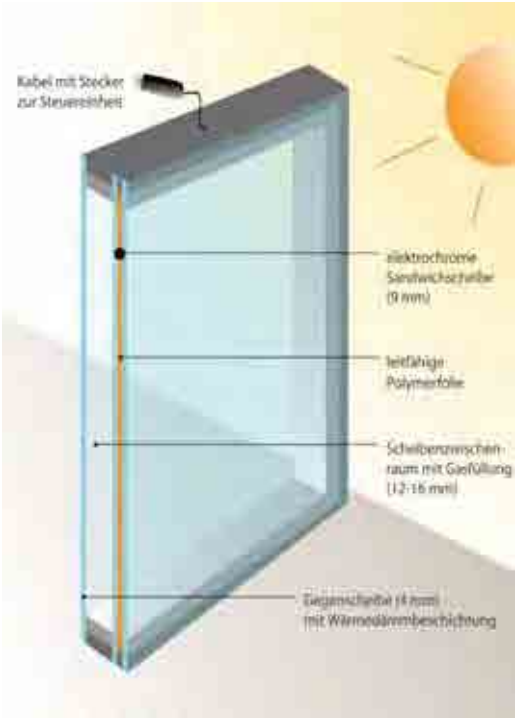


Abb. 14: Systemaufbau, Econtrol® [12]

und elektronische Komponenten eingebaut werden. Wie heute schon in der Gebäudetechnik üblich werden auch in der Fenster- und Fassadentechnik zunehmend elektronische Komponenten eingesetzt und über Bussysteme miteinander vernetzt. Damit lassen sich Informationen austauschen und letztlich neue Funktionalitäten realisieren, wie beispielsweise energieeffizientes und nutzergerechtes Zusammenspiel von Tageslichtlenkung, Sonnen- / Blendschutz und elektrischer Beleuchtung.

Durch diese Entwicklungen erhält das bisher passive Bauelement Fenster bzw. Fassade als steuerbares Element in der Gebäudehülle einen wesentlich höheren Stellenwert. Als aktives Element ist es nunmehr in der Lage, mit Hilfe von Sensorik und Antriebstechnik auf Veränderungen der Umgebung, des Nutzereingriffes und weiterer Randbedingungen zu reagieren.

Quellen

[1] Verband der Fenster- und Fassadenhersteller e.V, 60594 Frankfurt/Main, Tel. 069 955054-0, www.window.de

[2] Holzfenster der Zukunft, Herausgeber: ift Rosenheim, www.ift-rosenheim.de

[3] wood for good, Kampagne des Nordic Timber Council zusammen mit englischen und nordirischen Holz- und Forstverbänden, www.woodforgood.com www.woodwindowalliance.com

[4] TU München, Institut für Entwerfen und Bautechnik, www.tumuenchen.de

[5] Holzbau der Zukunft, Teilprojekt 19, Konstruktionsgrundlagen für Fenster, Türen und Fassadenelemente aus Verbundwerkstoffen und Holz, Fachhochschule Rosenheim, Prof. Josef Schmid, isp Rosenheim

[6] Holzbau der Zukunft, Teilprojekt 20, Konstruktionsgrundlagen für Fenster, Türen und Fassadenelemente aus Verbundwerkstoffen und Holz, Fachhochschule Rosenheim, Prof. Ingo Leuschner, ift Rosenheim, 2008

[7] Fenster Betz GmbH & Co. KG, 72459 Albstadt-Lautlingen, Tel. 07431 9579-14, www.fiberwood.de

[8] pro:holz austria, Holzforschung Austria Franz Grill-Straße 7, 1030 Wien, Österreich; Autor: Bmst. DI Thomas Edl; www.proholz.at

[9] Walch GmbH, 6713 Ludesch, Österreich, www.walchfenster.com

[10] Beschichtungen für Holzfenster, Herausgeber: ift Rosenheim, Hermann Laurich, www.ift-rosenheim.de

[11] Manuskript VIG, Siegfried Glaser, 7. OTTI Symposium 2008 in Zwiesel

[12] Econtrol-Glas GmbH & Co KG, 93437 Furth im Wald, Tel. 09973 858 330, www.econtrol-glas.de

7.1 Bauteile, Bauteilverfahren
Holz-Glas-Verbundkonstruktionen

1 Allgemeines

Das Aufkommen der Skelettbauweise am Ende des 19. Jahrhunderts machte den Einsatz von unterschiedlichen Baustoffen für Lastabtragung und Umhüllung möglich. So konnte Glas zum ersten Mal großflächig verwendet werden. Seither haben Wissenschaftler und Techniker die Einsatzmöglichkeiten des Baustoffes Glas weiter erforscht und eine Vielfalt von Bauweisen entwickelt, bei denen seine Materialeigenschaften optimal genutzt werden können.

Die Transparenz des Werkstoffes Glas in Kombination mit dem natürlichen Baustoff Holz inspiriert immer mehr Architekten zum Einsatz von Holz-Glas-Fassaden sowohl im Wohnungs- als auch im Verwaltungsbau. Die Leistungsfähigkeit von Brettschichtholz und modernen Holzwerkstoffen wie Furnierschichtholz ermöglicht große Spannweiten, welche die Transparenz dieses Konstruktionsprinzips wesentlich unterstützen.

Im Holzbau wurde die Klebetechnik bisher auf starre Klebeverbindungen, wie zum Beispiel Brettschichtholz, beschränkt, während sich in vielen Industriebereichen die Klebeverbindung als kraftschlüssige Fügetechnik bereits etabliert hat. Nicht zuletzt im Fahrzeugbau kann auf die aussteifende Wirkung der Windschutzscheibe für die komplette Karosserie nicht verzichtet werden. Eine Anwendung – analog zum Fahrzeugbau – die eine elastische Verklebung von Holz und Glas ermöglicht, ist aber ebenso denkbar (s. auch Abb. 1).

Seit den frühen 90er Jahren wird auf dem Gebiet des Holz-Glasverbundes Forschung betrieben. Die Idee dahinter war primär das Glas im konstruktiven Holzbau als mittragendes, aussteifendes Element einzusetzen, was z.Z. noch durch Windverbände, mineralische Wände oder Wandscheiben aus Holzwerkstoffplatten erfolgt. Bei diesen Forschungsvorhaben wurden in erster Linie bestehende Klebstoffsysteme aus anderen, verwandten Bereichen eingesetzt. Probleme bei der Evaluation der Klebstoffe für die Verklebung des Glases mit dem Holz bereiteten vor allem die ungenügende Kenntnis der Anforderungen an die Klebstoffe. In der Zwischenzeit sind durch verschiedene Forschungsvorhaben und Umsetzungen diese Anforderungen besser bekannt. Auf dieser Basis wurden in den letzten Jahren Klebstoffe modifiziert oder neu entwickelt.

Durch eine kraftschlüssige Verbindung von Glas und Holz können die Vorzüge beider Werkstoffe – ähnlich wie bei Stahlbeton – optimal genutzt werden: Die hohe Druck- und Zugfestigkeit von Holz in Faserrichtung trägt das Eigengewicht und die senkrechten Lasten, die Glasscheibe steift die Konstruktion so aus, dass auch die Horizontallasten (beispielsweise aus Wind) vom Holz-Glas-Verbundelement abgetragen werden können. Die entstehenden Elemente weisen ein duktiles Bruchversagen und somit durch sichtbare Verformungen ein vorangekündigtes Bauteilversagen auf.

Erste Versuche mit elastisch bzw. semi-elastisch verklebten Holz-Glas-Verbundelementen der Holzforschung Austria (HFA) zeigen gute Ergebnisse. Die Bemessungslast bei semi-elastischer Verklebung ist vergleichbar mit einer zweiseitigen OSB-Beplankung, zeigt also ein großes statisches Potential.

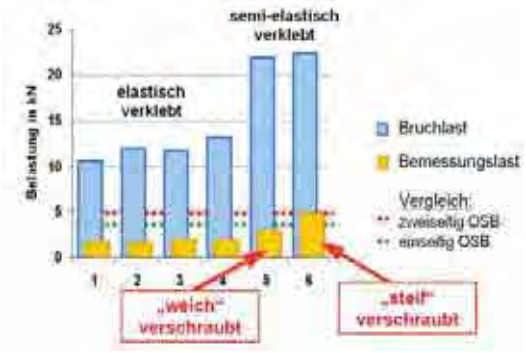


Abb. 1: Ergebnisse der Bruchversuche durch die HFA (Holz Forschung Austria) [1]

2 Materialien

2.1 Glas

Die erstarrte Flüssigkeit Glas besitzt höhere Druckfestigkeiten als Beton oder Stahl. Die theoretische Zugfestigkeit des Glases liegt bei Werten zwischen 6500 bis 8000 N/mm^2, die effektive Zugfestigkeit jedoch zwischen 30 - 80 N/mm^2, also bei knapp 1 % der theoretischen. Diese große Abweichung zwischen theoretischer und praktischer Festigkeit ist damit zu erklären, dass Glas in Wirklichkeit Diskontinuitäten, Mikrorisse, Kerbstellen und Oberflächenfehler aufweist, die zu Spannungsspitzen führen. Wegen der Unfähigkeit des Werkstoffes Spannungsspitzen durch plastische Verformung abzuleiten, konnte die Tragfähigkeit von Glas bisher nicht ausgenutzt werden.

Tab. 1: Materialeigenschaften der verschiedenen Glaserzeugnisse [2]

	Floatglas	ESG		TVG
		thermisch	chemisch	
Elastizitätsmodul E [N/mm^2]	70000 - 75000			
Gleitmodul G [N/mm^2]	29000 - 30000			
Poisson-Zahl μ [-]	0,23 - 0,25			
Zugsfestigkeit σ_z [N/mm^2]	25 - 80	> 120	> 200	75 - 150
Druckfestigkeit σ_d [N/mm^2]	700 - 900			
Biegebruchfestigkeit σ_b [N/mm^2]	30 - 100	> 250	> 350	> 150
Bruchdehnung ε_r [%]	0,06	0,17		0,12
Dichte ρ [kg/m^3]	2500			
Mittlerer thermischer Längenausdehnungskoeffizient α_T [1/K]	$8 - 9 * 10^{-6}$			
Wärmeleitfähigkeit λ_R [W/m*K]	0,8			
Temperaturwechselbeständigkeit Δt [K]	40	200		100

Floatglas ist heute die am meisten verwendete Glasart. Die Herstellung erfolgt durch Aufgießen und Fließenlassen der flüssigen Glasmasse auf ein Bad aus flüssigem Zinn. Dadurch wird ein durchsichtiges Flachglas mit ebenen und planparallelen Oberflächen erzeugt.

2.2 Kleber

Um Glas in einem Holzrahmen zu verkleben, können elastische und semielastische Ein- und Zweikomponentenklebstoffe etwa auf der Basis von Silikonen, Polyurethanen und Acrylaten verwendet werden. Die Wahl des Klebesystems muss der jeweiligen Anwendung entsprechen. Dabei spielen u.a. die Lage der Klebstofffuge innerhalb der Fenster-/ Fassadenkonstruktion, die statische Beanspruchung, die Verträglichkeit mit den umgebenden Materialien und die Fertigungsbedingungen, v.a. die Aushärtungscharakteristik, eine große Rolle. Die Anforderungen an den Klebstoff beinhalten außerdem die Aufnahme von Winddruck- und -sogkräften, Haftfestigkeit auf verschiedenen Untergründen (unterschiedliche, behandelte oder unbehandelte Holzarten), Beständigkeit in Bezug auf mechanische, chemische und klimatische Bedingungen (Luftfeuchtigkeit, Temperatur, UV-Strahlung) sowie – falls erforderlich – die Abtragung des Eigengewichts der Scheibe bzw. der Bauteilaussteifung.

In [2] wurden verschiedene Klebstoffe auf ihre Eignung für den Holz-Glas-Klebeverbund untersucht. Es wurde nach einem Klebstoff gesucht, der, im Gegensatz zu anderen bisher verwendeten Klebstoffen, nicht als „schwächstes Glied“ fungiert, sondern – ähnlich der Verwendung bei Brettschichtholz – immer erst bei Überschreitung der Scherfestigkeit des Holzes versagt. Ein Klebstoff auf Polyurethanbasis erfüllt diese Anforderungen und zeigt im Vergleich zu den anderen untersuchten Klebstoffen ein plastischeres Verhalten sowie die Ausbildung einer Bruchfläche.

Tab. 2: Parameter zur Beurteilung einer Klebung [5]

Parameter	Einflusskriterien
Dauerhaftigkeit	▪ Temperaturbeständigkeit ▪ Feuchte- und Wasserbeständigkeit ▪ UV-Beständigkeit ▪ Beständigkeit gegen Reinigungsmittel ▪ Elastizität und Kriechverhalten ▪ Haftverhalten auf verschiedenen Werkstoffen ▪ Verträglichkeit mit umgebenden Materialien im direkten und indirekter Kontakt
Konstruktion	▪ statische Festigkeits- und Bemessungswerte ▪ Elastizität (elastisch, semi-lastisch, ▪ Kriechverhalten
Fertigung	▪ offene Zeit, Reaktionszeit ▪ Zeit bis zur Weiterverarbeitung ▪ Umgebungsklima ▪ Auftrags- und Mischanlagen ▪ Qualität der Fügeflächen (Bearbeitungsqualität, Beschichtungen, Reinigung etc.) ▪ Fügeverfahren (Pressen, Andrücken etc.)

Wichtig ist die Lage der Klebefuge innerhalb der Fensterkonstruktion. So ist z.B. bei einer Klebung auf der Glasposition 4 (Abb. 2) in der Regel nicht mit stehendem Wasser zu rechnen. Auch sind die auftretenden Temperaturspitzen wesentlich geringer als bei einer Klebung auf Position 1 oder 2. Ähnlich verhält es sich mit der UV-Beständigkeit. Auch eine Klebung im Falzgrund benötigt eine gewisse UV–Beständigkeit aufgrund der Reflexion über die Oberflächen des Glases. Bei Holz sollte die Klebung auf unbehandeltem Holz erfolgen und die Holzart, die mechanische Bearbeitung der Holzoberfläche (feinhobeln, schleifen, finieren) vor dem Klebeprozess definiert werden. Bei Klebungen auf behandelten Hölzern muss die Prüfung mit dem verwendeten Holzschutz- und dem Oberflächenbehandlungssystem erfolgen.

Die Verklebung sollte wenn möglich maschinell erfolgen, da auf Dauer die notwendige Qualität mit Handarbeit kaum zu garantieren wäre.

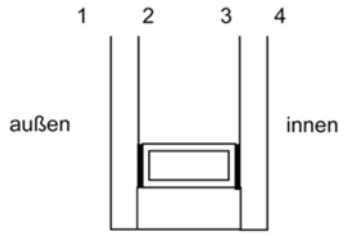


Abb. 2: Darstellung der Glaspositionen

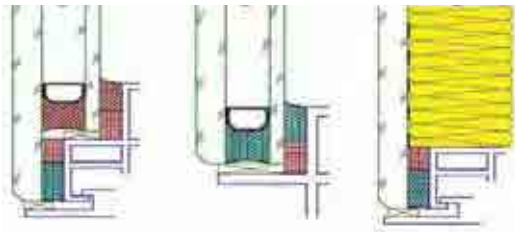


Abb. 3: Typen der Klebung, ohne Darstellung der mechanischen Sicherungen gegen Herabfallen; die lastabtragenden Maßnahmen sind schematisch dargestellt (grün dargestellt sind jeweils die tragenden Klebungen, rot dargestellt sind die abdichtenden Maßnahmen) [6]

3 Das Verfahren

Die Glastafel wird entlang ihrer Kanten auf eine Tragstruktur geklebt und kann so als rundum eingespanntes Scheiben- oder Schalenelement wirken. Die Krafteinleitung erfolgt umlaufend linienförmig und somit schonend – Spannungsspitzen, wie sie bei einer punktförmigen Lagerung auftreten, entstehen nicht.

Je steifer das System aus Klebstofffuge, Holzrahmen und Verschraubung mit der Pfosten-Riegel-Konstruktion ist, desto mehr Lasten können aufgenommen werden. Die Klebstofffuge fungiert i.d.R. als schwächstes Element, um bei Überbelastung einen Bruch der Glasscheibe zu vermeiden.

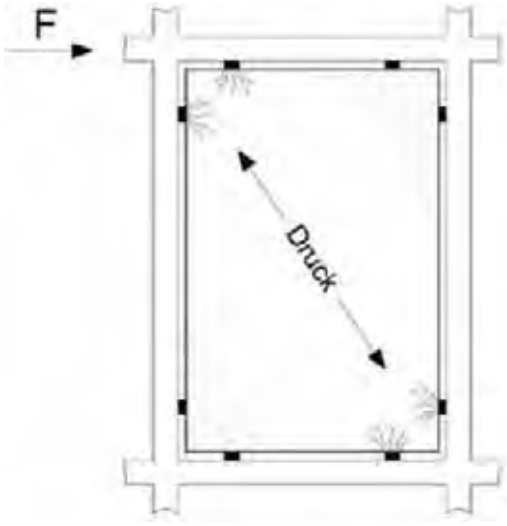


Abb. 4: Punktueller Lasteintrag durch Klotzung → Spannungsspitzen im Glas, konzentrierter Kraftfluss durch die Scheibe [1]

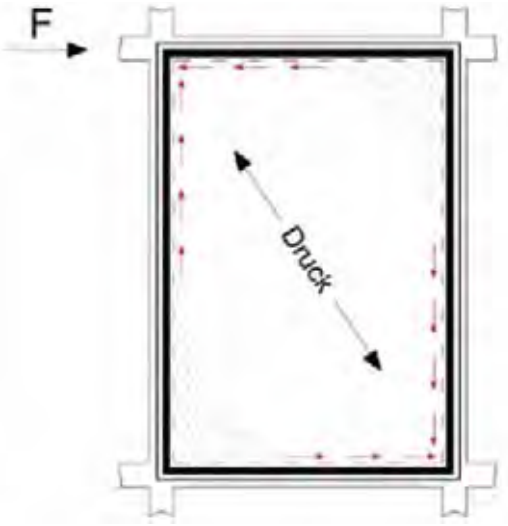


Abb. 5: Linienförmiger Lasteintrag durch Klebung → Glättung der Spannungsspitzen, verteilen der Last, schonender Kraftfluss [1]

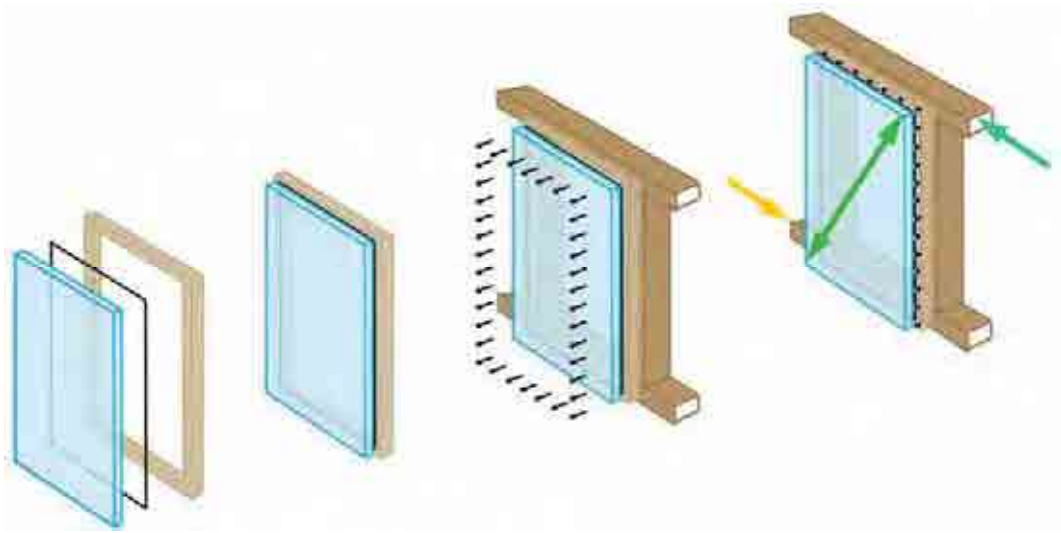


Abb. 6: Das Holz-Glas-Verbundelement [1]

4 Vorteile der Holz-Glas-Verbundelemente

Die Fragestellung, warum verklebte Verglasungssysteme und nicht bei der bewährten Klotzung bleiben, hat verschiedene Gründe. Zum einen bietet eine Holz-Glas-Fensterkonstruktion dem Hersteller die Möglichkeit eines völlig neuen Fensterdesigns bei gleichzeitiger Wartungsfreiheit, da durch das Aufkleben der Glasscheibe auf der Außenseite des Rahmens dieser vor allen Witterungseinflüssen geschützt ist. Durch dieses neue Design besteht für die Branche die Möglichkeit, einen Imagewandel des Holzfensters durchzuführen.

Des Weiteren können durch den Klebeverbund wesentlich höhere Lasten in das Glas eingeleitet und die Glasscheibe zur Aussteifung der Gesamtkonstruktion herangezogen werden. Die Bauteilquerschnitte werden beim Verkleben nicht durch Bohrungen etc. geschwächt und die kostenintensiven Bohrungen, z.B. für Punkthalter, entfallen. Die Kraftübertragung erfolgt gleichmäßig über die gesamte Klebefläche, so dass örtliche Spannungsspitzen nicht mehr entstehen können. Das statische Potential von Glas kann so besser genutzt werden. Insbesondere in Hinblick auf die immer größer werdenden Fensterelemente ist dies ein entscheidender Vorteil, gepaart mit der Möglichkeit der Reduktion des Holzquerschnittes. Eine schlankere Profilgestaltung bringt einen größeren Lichteinfall und erhöht die gestalterische Freiheit, was für viele Architekten ein wichtiges Argument ist. Die thermischen Eigenschaften verbessern sich dabei ebenfalls, weil der Anteil des gut dämmenden Isolierglases an der gesamten Fensterfläche größer wird.

Und nicht zuletzt ergibt sich bei materialgerechten Konstruktionen und Umsetzung der fertigungstechnischen Möglichkeiten eine äußerst wirtschaftliche Fenstergeneration.

Holz-Glas-Verbundsysteme sind sicherer als die herkömmlichen Verbünde, da bei einer optimalen Dimensionierung der (semi-) elastischen Klebefuge spröder Glasbruch bei Überlastung verhindert wird. Die verklebten Holz-Glas-Elemente weisen ein duktiles Bruchverhalten auf. Bei Überlastung macht die Verformung frühzeitig auf ein mögliches Bauteilversagen aufmerksam, die Konstruktion bricht nicht plötzlich unkontrolliert zusammen, was einen wesentlichen Sicherheitsaspekt darstellt.

5 Anwendungsmöglichkeiten und Bemessung

Glas kann als tragendes Konstruktionselement im statisch wirksamen Verbund mit Holz neue Möglichkeiten der Gestaltung bieten. Die Verwendung in Wintergärten ist ebenso denkbar wie zur Gebäudeaussteifung / Structural Glazing, als herkömmliches Holzfenster oder auch als Glassteg-träger, eingesetzt im klassischen Holzbau.

5.1 Structural Sealent Glazing

Die Ästhetik der glatten, kristallinen Außenhaut war der Ausgangspunkt für die Entwicklung des Structural Glazing, die vor über 20 Jahren in den USA ihren Anfang nahm. Hierbei handelt es sich im Grunde um eine Variation der Pfosten-Riegel-Fassade, bei der die Glasbefestigung und -abdichtung von der Außenfläche in den Raum dahinter verlagert werden. Technisch gesehen lagern die Glasscheiben ohne mechanische Befestigung, sondern mit hochbelastbaren Silikonen (structural silicon) geklebt, linear auf der Unterkonstruktion auf. Eigengewicht und Windlasten werden allein über die Klebeverbindung aufgenommen. Die Verklebung erlaubt eine zwängungsfreie Lagerung der Scheibe und hat außerdem schalldämpfende und thermisch trennende Wirkung.

Bei Großversuchen der Holzforschung Austria (HFA) [8] konnten mit elastischen Klebstofffugen auf Silikonbasis Horizontallasten von über 2 kN

bei einer Verformung von h/500, die als Gebrauchstauglichkeitskriterium definiert wurde, schadensfrei aufgenommen werden. So versagten die Elemente erst bei über 13 kN. In keinem der Versuche wurde die Glasscheibe beschädigt. Die Klebstofffuge fungierte jeweils als beherrschbare und in engen Grenzen abschätzbare „Sollbruchstelle". Diese Eigenschaften haben sowohl elastische Klebstofffugen als auch „semi-elastische Klebstoffe" auf Acrylatbasis. Mit diesen konnten bei h/500-Verformung sogar Belastungen von etwa 5 kN aufgenommen werden. Ein Bruch trat erst bei über 20 kN auf.

5.2 I-Träger

Die Holz-Glas-Stegträger sind schon länger Gegenstand verschiedener Forschungsprojekte. Bis 2011 wird noch ein Forschungsprojekt zum Thema "Entwicklung duktiler Glas-Verbundkonstruktionen" an der FH Potsdam durchgeführt, dessen Ziel es ist, Biegeträger in Holz-Glas-Verbundbauweise zu entwickeln und experimentell sowie numerisch zu untersuchen. Die Ergebnisse sollen dann die theoretischen und technologischen Grundlagen für den Einsatz in der Praxis schaffen.

Abb. 7: I-Träger aus Holz-Glas-Verbund [3]

Auch in [2] wurden verschiedene Tragsysteme untersucht und Nachweismodelle für die einzelnen Systeme entwickelt. Bei dem Holz-Glas-Stegträger fällt auf, dass die charakteristische Reihenfolge der Rissbildungen dem Tragverhalten eines Stahlbetonbalkens, der in [7] beschrieben wird, ähnelt. Lange vor dem Versagen des Trägers bildeten sich Risse im Glas, die jeweils in Büscheln auftraten. Das endgültige Versagen trat jeweils im Zuggurt des Holz-Glas-Verbundträgers auf, was auf die Überschreitung der Zugspannungen zurückzuführen ist. Der Bruch entstand hierbei im Holz und nicht in der Klebefuge.

Abb. 8: Träger nach Belastungsversuch [4]

5.3 Fensterrahmen

Auch für herkömmliche Fenster ist die Anwendung der Holz-Glas-Verbundtechnik denkbar. Eine strukturelle Verklebung zwischen Flügelrahmen und Isolierglas ermöglicht das Übertragen der Lasten. Das Glas übernimmt dadurch einen großen Teil der statischen Anforderungen an den Flügel. Dies ergibt gegenüber den herkömmlichen Fensterkonstruktionen die bereits in Abschnitt 4 erläuterten Vorteile.

Neben vielen Laborversuchen (durchgeführt durch die Berner Fachhochschule, dokumentiert in [9]) konnte auch nach drei Jahren der Freibewitterung keine Festigkeitsabminderung festgestellt werden. Weil die ganze Technologie jedoch noch sehr jung ist, mangelt es gegenwärtig noch an Langzeiterfahrungen.

Ein Problem beim Einsatz im Fensterbau ist der große Aufwand zum Auswechseln eines Glases. Grundsätzlich lässt sich – wenn auch mühsam – die Verklebung mit einem Messer auftrennen. Je nach Oberflächenbehandlung und Fenstersystem kann es jedoch rationeller sein, einen neuen Flügelrahmen herzustellen.

6 Stand der Technik

Im deutschen Baurecht ist Structural Glazing als Bauprodukt in der Bauregelliste B, Teil 1, Zeile 3.2 verzeichnet. Nach den Landesbauordnungen müssen SG-Elemente mit einem Ü-Zeichen versehen werden. Mit der Anbringung des Ü-Zeichens bestätigt der Betrieb, der die Klebung herstellt, dass alle eingesetzten Materialien einer Allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung (AbZ) entsprechen und dass die Fertigungsstätte (= klebender Betrieb) eine mit einer akkreditierten Prüfstelle vertraglich geregelte Eigen- und Fremdüberwachung durchführt.

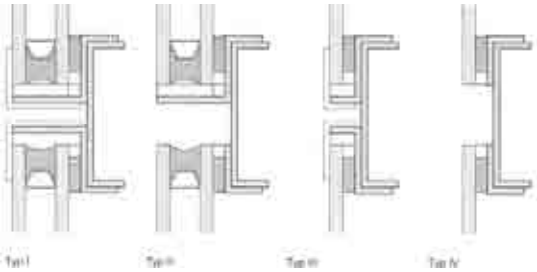


Abb. 9: Kategorien bei Fassaden mit Structural Sealent Glazing (SSG) nach ETAG [10]
Typ I: Abtragung des Eigengewichts über Klotzung und Auflager mit mechanischer Sicherung
Typ II: wie Typ I ohne mechanische Sicherung
Typ III: Abtragung des Eigengewichts über lineare Klebung mit mechanischer Sicherung
Typ IV: wie Typ III ohne mechanische Sicherung

Die europäische Leitlinie ETAG 002-1 „Gestützte und ungestützte Systeme“ (Leitlinie für die Europäische Technische Zulassung für Geklebte Glaskonstruktionen) (Structural Sealant Glazing Systems - SSGS)“ definiert „...geklebte Glaskonstruktionen zur Verwendung in Fassaden und Dächern oder Teile davon mit einer Verglasung in einem beliebigen Winkel zwischen der Vertikalen und 7° Neigung zur Horizontalen ...“. Im Geltungsbereich des deutschen Baurechts (Bauregelliste B, Teil 1, Anlage 2) sind nur Konstruktionen zulässig, die Typ I und Typ II der ETAG entsprechen, d.h. bei denen das Eigengewicht der Verglasung nicht über die Klebung abgetragen wird. Dies bedeutet, die geklebten Konstruktionen müssen bei Einbauhöhen bis 8 m mindestens eine „mechanische Übertragung des Eigengewichts“ gewährleisten. Über 8 m Einbauhöhe müssen sie eine zusätzliche Haltevorrichtung aufweisen, die im Fall des Versagens der Klebung das Herabfallen des Füllelements verhindert. Die Typen III und IV sind dadurch gekennzeichnet, dass sowohl die Windlasten als auch das Eigengewicht über die tragende Klebung abgetragen werden (Abb. 9). Hier darf nur Einfachglas verwendet werden. Zusätzlich kann eine mechanische Sicherung der Glasscheiben erforderlich sein (Typ III).

Die DIN EN 13022-1 „Glas im Bauwesen – Geklebte Verglasungen“ regelt die Anforderungen an Glasprodukten mit für den Einsatz in SSG- Systemen (geklebte Verglasungen). Dazu gehören z.B. Festlegungen zu Abmessungen, Bohrungen und Ausschnitten, zur Glasdicke sowie zu Dichtstoffen und gibt darüber hinaus Hilfestellung in Form von Checklisten, gegliedert in Wareneingangskontrolle, Montage und Fertigprodukt. In der Norm werden nur Verglasungen aus Kalk-Natronsilicatglas behandelt, sie gilt nicht für Kunststoff-Verglasungen.

Eine weitere nationale Norm ist die DIN 18008: 2006-03 „Glas im Bauwesen - Bemessungs- und Konstruktionsregeln“, die bisher jedoch lediglich als Norm-Entwurf vorliegt. Da sie bis zum heutigen Tag noch nicht bauaufsichtlich eingeführt ist, sollte bei Verwendung genau geprüft werden, ob sie dem Stand der Technik entspricht.

Tab. 3: Gegenüberstellung der baurechtlichen Vorgaben Deutschland-Österreich-Schweiz [5]

Produkt/Eigenschaft	Deutschland	Österreich	Schweiz
klassisches Structural-Glazing (Fassaden, Klebung nicht gehalten)	Bauregelliste B Teil 1, lfd. Nr. 3.1, Vorgaben ETAG 002, Systeme I und II	Baustoffliste OE, lfd. Nr. 3.1.1, Vorgaben ETAG 002, Systeme I und III	Produkthaftung der Firmen, Vorgaben ETAG 002
Verglasung von Fenstern	DIN 18545, Technische Richtlinie für linienförmig gelagerte Verglasungen TRLV bzw. für absturzsichernde Verglasungen TRAV	Bundes- und Landesrecht ist zu beachten	SIGaB Glasnormen, SIA 331
Nationale Kennzeichnung	Ü-Kennzeichnung nach Bauregelliste A, Teil 1, Zeile 8.5	keine	keine
Fenster mit abweichenden Eigenschaften	Bauregelliste A, Teil 1, Zeile 8.5, Allgemeines Bauaufsichtliches Prüfzeugnis ABP	Eignungsnachweis	keine
CE Kennzeichnung	Produktnorm DIN EN 14351-1, Übergangszeit bis zur CE-Kennzeichnung ab Harmonisierung 2 Jahre	Produktnorm ÖNORM EN 14351-1, Übergangszeit bis zur CE Kennzeichnung ab Harmonisierung 2 Jahre	wird nicht verpflichtend vorgeschrieben bei in Verkehr bringen innerhalb des Landes
Fenster mit geklebter Verglasung	Bei Anwendungsbereich und Nachweis gemäß **ift**-Richtlinie: CE- bzw. Ü-Kennzeichnung möglich	Anwendungsbereich und Nachweis gemäß Richtlinie	Nachweis nach Richtlinie empfohlen

Quellen

[1] Schober, K.P.: Vortrag auf der „windays 2007“

[2] Hamm, J.: Tragverhalten von Holz und Holzwerkstoffen im statischen Verbund mit Glas; École Polytechnique Fédérale de Lausanne, 2000

[3] http://bau.fh-potsdam.de/fb3_mabe_08wagner.html (Stand: März 2009)

[4] http://bau.fh-potsdam.de/fb3_lab_bki_prj_glas.html (Stand: März 2009)

[5] Lieb, K.: Geklebte Fenster – Hinweise zu Verarbeitung und Qualitätssicherung; Publikation – ift Rosenheim, 2008

[6] Lieb, K.: Kleben und kleben lassen – Baurechtliche Vorgaben und Anwendungen von Structural Glazing in Fenster und Fassade, Publikation – ift Rosenheim, 2005

[7] Leonhardt, F.: Vorlesungen über Massivbau, Teil 1. Springer-Verlag, 1984

[8] Schober, K.P.; Leitl, D.: Stabilität durch Glas. 2005 http://www.acr.at/129.0.html?&tx_rgacr2_pi1[detail]=35&cHash=70953319fa

[9] „Kleben statt klotzen und klemmen“ Schweizerische SchreinerZeitung, Heft Nr. 39, 25.9.03

[10] Weller, B.; Pottgiesser, U.; Tasche, S.: „Kleben im Bauwesen – Glasbau, Teil 1; aus Detail 2004/10

7.1 Bauteile, Bauteilverfahren
uni*versa Trennwandsystem aus natürlichem Holz

Ralf Bräuchle, Werner Eckert

1 Einsatzgebiete

Mit dem uni*versa Trennwandsystem werden Trockenbauwände aller Art als ein- und zweischalige Konstruktionen erstellt.

Aus einem einzigen Profiltyp und den zugehörigen uni*versa Holzfaser-Dämmplatten entstehen Trennwände mit bester Schalldämmung wie auch Vorsatzschalen zur Verbesserung bestehender Wandbauteile.

2 Verarbeitung

Die Komponenten des Trennwandsystems können mit gebräuchlichen Holzbearbeitungswerkzeugen bearbeitet werden.

Die Stiele sind zwängungsfrei zwischen Kopf- und Fußleiste gehalten und nehmen durch passende Konsolbretter auch Konsollasten, z.B. von Hängeschränken auf.

Die Beplankung, z.B. aus Fermacell-Gipsfaserplatten, braucht nicht geschraubt werden, sondern kann rationell geklammert werden. Diese Zeitersparnis stellt einen kalkulatorischen Vorteil dar.

3 Aufbau / Technische Daten

Das formstabile Profil ist in Art des Lignotrend-Dämmständers U*psi leiterartig aufgebaut und ermöglicht Installation auch quer zur Wand. Der Aufbau aus Längsgurten und Querspossen sorgt für Verwindungsfreiheit und höchste Präzision.

- Holzart: Fichte / Tanne (Holzfeuchte: 9 ± 2 %)
- Konform zum natureplus-Zertifikat 0211-0606-014-1

Abb. 1: natureplus-Zertifikat

- Dämmplatten: Holzweichfaser, natureplus-zertifiziert
- Verklebung: Pur-Kleber (formaldehydfrei gemäß JAIA),
- Emissionsklasse E0 – emissionsfrei, ca. 1,1 % Massenanteil Kleber
- Baustoffklasse (DIN 4102): B2 / Brandklasse (EN): D – s2, d0

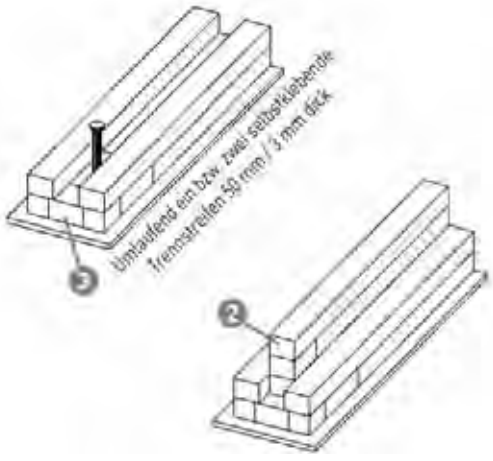
Einschaliges Ständerwerk mit uni*versa-Trennwandständer St-74, e= 625 mm			Wanddicke	Schalldämm-Mass $R_{w,R}$
1	1 x 12,5 mm Gipsfaserplatte (Fermacell) je Seite	Dämmung Holzweichfaser (2 x 20 mm uni*versa-Dämmplatte Dp-20)	99 mm	47 dB
		Dämmung Glaswolle (1 x 60 mm Ursa TWP1 o. glw.)	99 mm	45 dB
2	2 x 12,5 mm Gipsfaserplatte (Fermacell) je Seite	Dämmung Holzweichfaser (2 x 20 mm uni*versa-Dämmplatte Dp-20)	124 mm	54 dB

Abb. 2: Einschaliger Wandaufbau

4 Montage

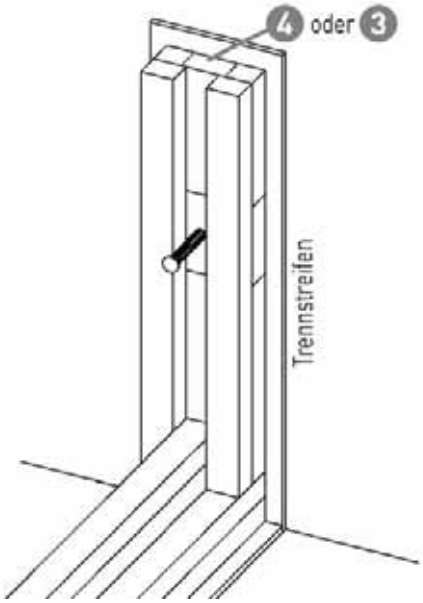
4.1 Einschaliger Wandaufbau

4.1.1 Vorbereitungen, Fußbodenanschluss



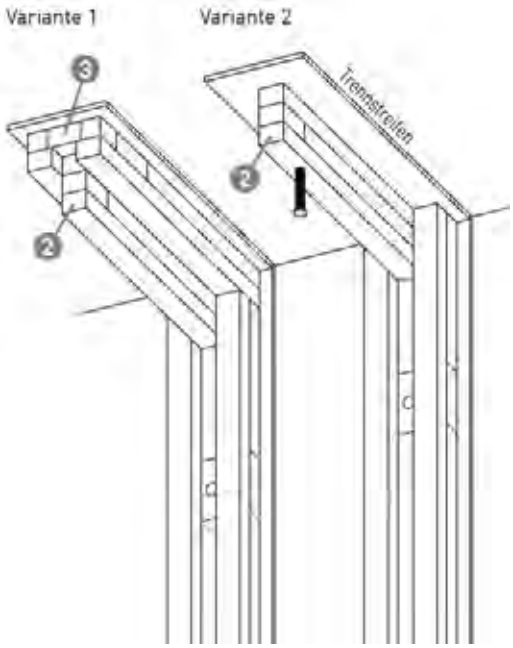
- Verschraubung durch Sprosse
- Gabelleiste (2) lose eingesteckt

4.1.2 Wandanschluss



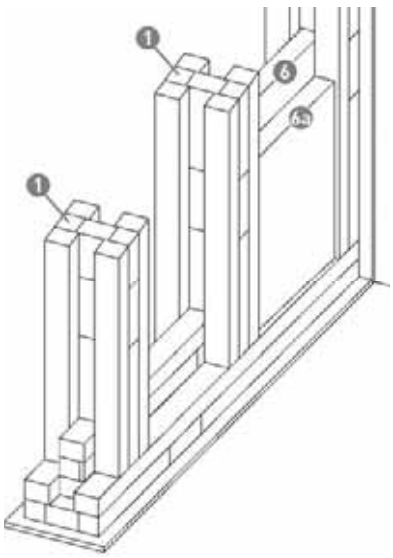
- Verschraubung durch Sprosse

4.1.3 Deckenanschluss



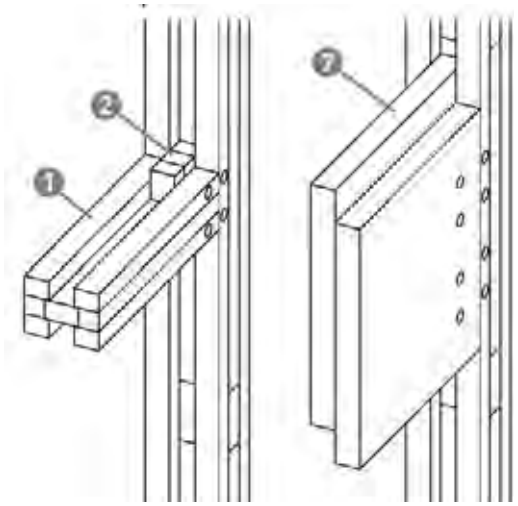
- Variante 1: Analog zum Fußbodenanschluss mit eingesteckter Gabelleiste (2)
- Variante 2: Nur 1/3-Profil direkt montiert
- Ständer (1) lose, leicht schräg auf Fußprofil stecken

4.1.4 Wandständer, Dämmung



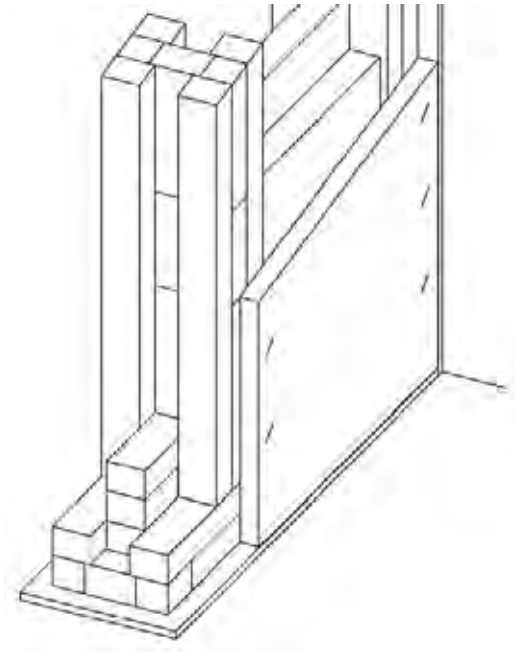
- Innere Dämmplatten (6) lose einbauen, ggf. Installation verlegen
- Ständer gerade stellen
- Äußere Dämmplatten (6a) einbauen (Stöße zur inneren Platte (6) mit Höhenversatz
- Fortsetzung mit nächstem Wandstiel

4.1.5 Konsole, Türsturz



- Sturz mit Abschnitt von (2) befestigen
- Konsole (7) aus zwei Brettern d= 24 mm

4.1.6 Beplankung



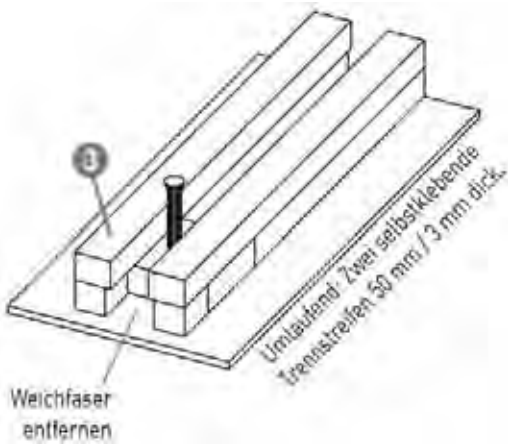
- Platten nur an den Stielen befestigen, nicht an Kopf-/Fußleiste

4.2 Zweischaliger Wandaufbau

Zweischaliges Ständerwerk mit versetztem uni*versa-Trennwandständer St-74, e= 312,5 mm			Wanddicke	Schalldämm-Mass $R_{w,R}$
1	1 x 12,5 mm Gipsfaserplatte (Fermacell) je Seite	Dämmung Holzweichfaser (2 x 20 mm uni*versa-Dämmplatte Dp-20)	148 mm	52 dB
2	1 x 12,5 mm, Rückseite 1 x 18 mm Gipsfaserplatte	Dämmung Holzweichfaser (2 x 20 mm uni*versa-Dämmplatte Dp-20)	153,5 mm	55 dB
3	1 x 18 mm Gipsfaserplatte (Fermacell) je Seite	Dämmung Holzweichfaser (2 x 20 mm uni*versa-Dämmplatte Dp-20)	159 mm	56 dB
4	Doppelt beplankt	Es wurden Prüfwerte $R_{w,P}$ von bis zu 62 dB erreicht.		

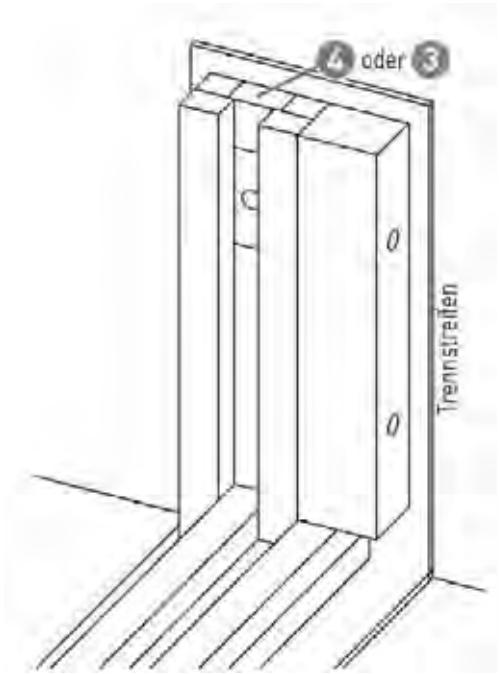
Abb. 3: Zweischaliger Wandaufbau

4.2.1 Vorbereitungen Fußbodenanschluss



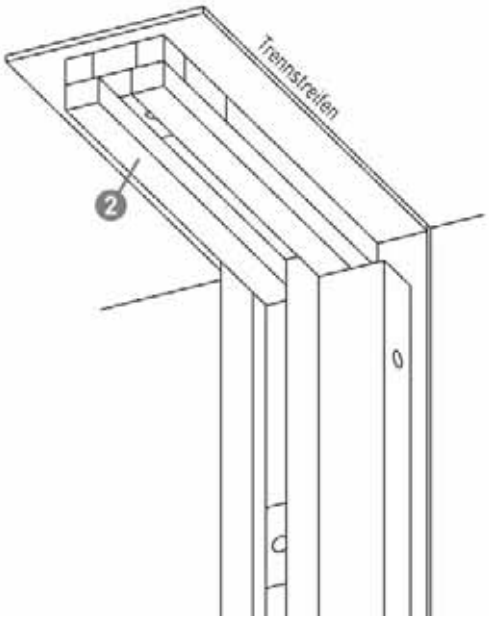
- Verschraubung durch Sprosse
- Holzweichfaser aus Profil entfernen

4.2.2 Wandanschluss



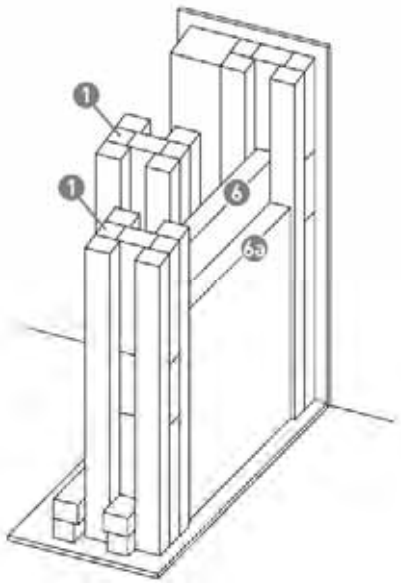
- Wandanschlussprofil seitlich aufdoppeln mit Kantholz (40 mm x 50 mm)

4.2.3 Deckenanschluss



- Siehe Fußbodenanschluss
- Holzweichfaser aus Profil entfernen

4.2.4 Wandständer, Dämmung



- Siehe einschaliger Aufbau
- Ständer müssen mit beiden Gurten auf Fußboden aufstehen
- Auch hier sind nur zwei Lagen Dämmplatten erforderlich
- Dämmplatten an den Stößen mit Höhenversatz einbauen – ggf. nachschneiden!

Abb. 4a: Detail: Einbindung Konsole; 4b: Detail: Versetzter Stoß Dämmplatten

4.2.5 Konsole, Türsturz

- Siehe einschaliger Aufbau
- Ständer / Türsturz an Öffnungen aufdoppeln (ca. 50 mm)

4.2.6 Beplankung

- Siehe einschaliger Aufbau

7.1 Bauteile, Bauteilverfahren
Leichte Trennwände – System Finnwall

1 Holzwerkstoff Furnierschichtholz

Kerto-Furnierschichtholz ist ein außergewöhnlich fester Holzwerkstoff aus Fichte. Durch die Verarbeitung zu Furnierschichtholz wird das Holz vergütet, indem die natürlichen Fehlstellen reduziert und verteilt werden. Die Festigkeiten werden erhöht, Schwind und Quellformung vermindert und es können andere Querschnittsformen als mit Schnittholz hergestellt werden.

2 Herstellung von Furnierschichtholz

Bei der Herstellung werden Nadelholzstämme gewässert, abgelängt und zu einem 3,2 mm dicken Furnierband geschält. Daraus werden Furnierblätter gleicher Breite geschnitten, anschließend getrocknet. Nach einer speziellen Festigkeitssortierung werden sie beleimt und im Durchlaufverfahren mit versetzten Stößen aufeinander geschichtet.

Kerto ist ein hochfester, großformatiger, formstabiler und trockener Holzwerkstoff. Kerto findet aufgrund seiner vielseitigen Produkt- und Materialeigenschaften Verwendung in unterschiedlichsten Handwerks- und Industriebereichen. Kerto-Furnierschichtholz, in den Varianten Q, S und T, wird vielseitig als Balken, Stütze, Platte oder Scheibe für Tragwerke oder aussteifende Dach- und Deckenscheiben im konstruktiven Holzbau eingesetzt. Durch die Weiterentwicklung des Holz-Rahmensystems Finnwall aus Kerto-T, findet dieses Produkt seinen Einsatz auch im Innenausbau im Renovierungsbereich. Kerto-T ist allgemein bauaufsichtlich zugelassen (Z-9.1-291).

3 Umweltfreundlich und schadstoffarm

Bei der Herstellung von Kerto wird auf umweltfreundliche Rohstoffe und Herstellungsverfahren geachtet. Durch die Verwendung schadstoffarmer Leime kann Kerto problemlos im Innenbereich eingesetzt werden. Die Verleimung ist wasserbeständig.

Durch die Weiterentwicklung des Holz-Rahmensystems Finnwall aus Kerto-T, findet dieses Produkt seinen Einsatz auch im Innenausbau und Renovierungsbereich.

4 Produktvorteile der Finnwall

- Nur ein Profil für Wand, Boden und Decke
- Entspricht den Anforderungen des BDF (Formaldehydemission < 0,03 ppm)
- Patentierte Systemverbindung Höchste Dimensionsstabilität (formstabil und verzugsfrei)
- Tragfähigkeit (Konsol-/Anpralllasten)
- Metallfreie Wand
- PEFC zertifiziert
- Ideale ökologische Alternative zu Metallprofilen
- Verzugsfreie Alternative zur KVH- Konstruktion (Verzug durch Restfeuchte bei KVH 15 % ± 3 %)

5 Anwendungsvorteile

- Schnelle und leichte Montage
- Mit einfachen Werkzeugen zu bearbeiten
- Keine zusätzliche Verstärkung notwendig
- Flächenbündige Verbindung von Ständer und Rahmen
- Keine Einschränkung bei der Beplankung z.B. mit Dekorpaneele, Gipskarton, OSB
- Gipsfaserplatten können mit Klammern befestigt werden
- Leichte Demontage bei Holzbeplankung (temporäre Wände)

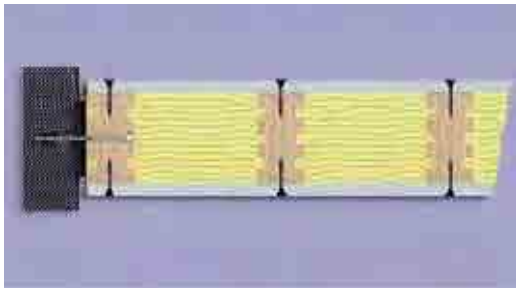


Abb. 1: Wandaufbau am Beispiel 100 mm Profil

System

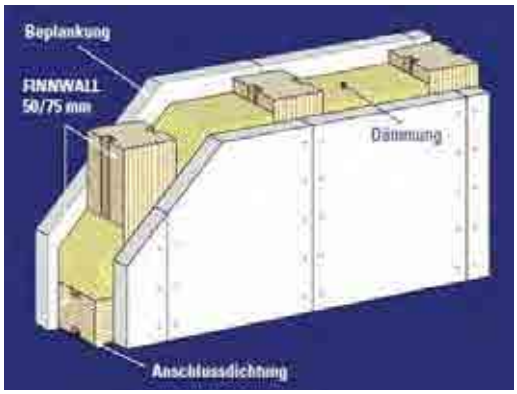


Abb. 2: Standardaufbau 50 / 75 mm

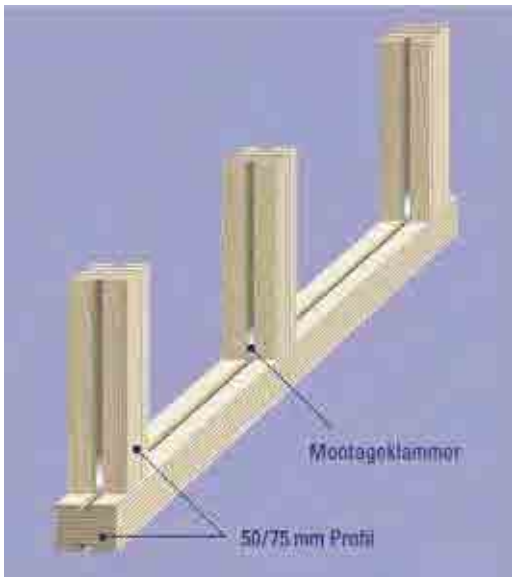


Abb. 3: Standardaufbau 50 / 75 mm

Gipskartonplatte	Wandtiefe	FINNWALL-Profil	Mineralwolle	Rw
1 x 12,5 mm	75 mm	50 mm	50 mm	43 dB
2 x 12,5 mm	100 mm	50 mm	50 mm	46 dB
1 x 12,5 mm	125 mm	100 mm	50 mm	47 dB
2 x 12,5 mm	150 mm	100 mm	50 mm	52 dB

Nachweis: Orientierende Messung v. 04.07.2002 EH Rosenheim

Abb. 4: Schalldämmwerte

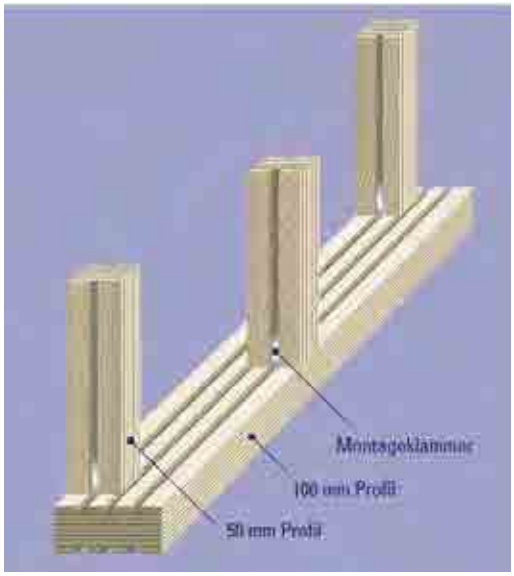


Abb. 5: Optimierte Schalldämmung: Entkoppelter Aufbau mit 50 mm Profilen

Finnwall, das Holz-Rahmensystem, ermöglicht auf die einfachste und wahrscheinlich schnellste Art Trockenbauwände (nicht tragend) zu erstellen. Für den Aufbau von Trennwänden, Raumteilern, begehbaren Schränken, Abseiten, Nischenabdeckungen u.v.m. benötigt man lediglich das Holz-Rahmenprofil, produziert aus maßhaltigem Kerto-Furnierschichtholz und die dazu gehörige patentierte Montageklammer aus Edelstahl.

7 Holz-Rahmensystem

Die Verarbeitung mit diesem Holz- Rahmensystem ist für den Heimwerker genauso einfach und leicht umsetzbar, wie für den professionellen Verarbeiter. Es ist keine Einarbeitung oder Schulung notwendig und die Bearbeitung kann mit herkömmlichen Werkzeugen erfolgen.

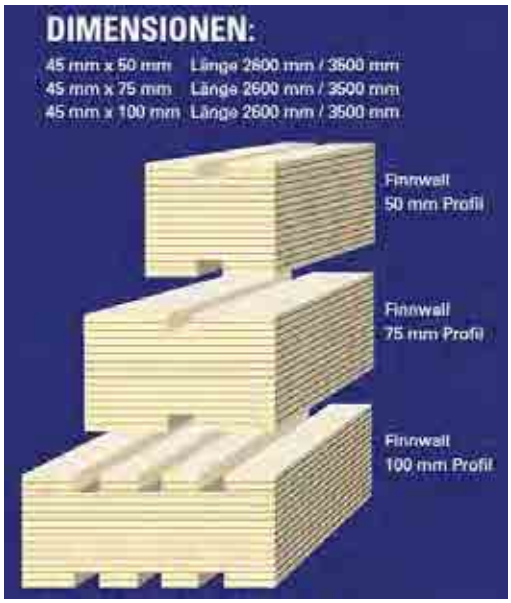


Abb. 6: Standardaufbau 50 / 75 mm

8 Montageklammer

Die patentierten Montageklammern, die bei jeder Verbindung in die Nuten der Holzprofile eingreifen, sorgen zusammen mit der aufgeschraubten individuellen Beplankung für die hohe Stabilität der Trennwand. Darüber hinaus ist das Finnwall-System auch einfach demontierbar. So können flexible Grundrisse verwirklicht werden, die ein Haus oder eine Wohnung den wechselnden Bedürfnissen der Bewohner anpassen.

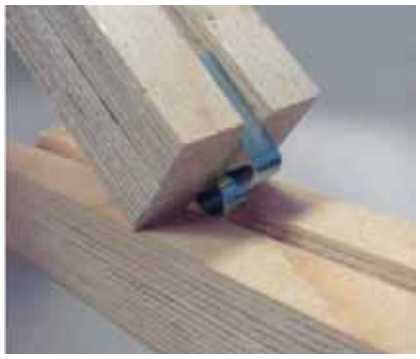


Abb. 7

Abb. 8

9 Montage, Aufbauanleitung

Der Finnwall-Rahmen wird als Unterkonstruktion frei in den Raum hineingebaut (schrauben oder kleben).

Markieren Sie den Wandverlauf auf beiden Seiten des Raumes und verbinden Sie diese Markierungen mit einer Richtschnur.

Profile an der Richtschnur anlegen, Türausschnitt bestimmen und aussparen, Profil entsprechend der benötigten Länge absägen oder durch stumpfes Stoßen verlängern.

Profil(e) mit selbstklebendem Dichtungsband auf einer Nutseite bekleben und, je nach Bodenbeschaffenheit, mit (Spax-)Schrauben (Holzböden) oder Schrauben und Dübeln (Estrich, Fliesen etc.) auf dem Boden befestigen (max. Schraubenabstand 100 cm).

Raumhöhe zwischen dem Profil am Boden und der Decke ermitteln, 45 mm für die Stärke des Deckenprofils sowie zusätzliche 6 mm für das Untermaß von der gemessenen Länge abziehen (gesamt 51 mm) und das Profil für die Wand zuschneiden. Das Untermaß wird benötigt, damit die Profile mit den Montageklammern eingestellt werden können.

Die Profile für die Wände ebenfalls auf einer Nutseite mit Dichtungsband bekleben und lotrecht mit Hilfe einer Wasserwaage an der Wand montieren.

Nachdem die Profile an den Wänden montiert sind, wird das Deckenprofil befestigt. Wer kein Lasergerät hat, kann sich mit einem Senklot oder einer Richtschnur plus Gewicht behelfen, um das Deckenprofil exakt über dem Bodenprofil auszurichten. Dann werden die senkrechten Profile eingestellt. Diese halten allein durch die Klammern und können seitlich noch verschoben werden.

Dann Profil(e) wie anfangs beschrieben montieren (max. Schraubenabstand 100 cm).

Die ermittelte Länge der Wandprofile ist das Maß für die Stiele. Je nach Raumsituation kann dieses Maß durch Boden- oder Deckenunebenheiten abweichen. Sind Decke oder der Boden stark uneben, jeden einzelnen Stiel messen (Abstand zwischen Boden- und Deckenprofil) und jeweils die 6 mm Untermaß berücksichtigen, damit die Stiele mit den Klammern eingestellt werden können. Stielabstand (max. 85 cm) ergibt sich aus der Art und dem Maß der Wandbeplankung und rechnet von Wand bis Mitte erstem Stiel, bzw. von Mitte zu Mitte Stiel.

Stiel auf beiden Seiten mit einer Klammer ausrüsten.

Stiel leicht schräg in die Nut des Bodenriegels einstellen, in die Senkrechte aufrichten (das Untermaß macht das Kippen über die Ecken möglich), Abstand zum nächsten Stiel prüfen und justieren, Stiel mit Wasserwaage ausrichten. Kein zusätzliches Befestigen der Stiele nötig. Die Stiele stehen nun mit einem Abstand von 2 – 3 mm zum Decken- bzw. Bodenprofil. Das ist wichtig, um eine ungewollte Lastaufnahme der Wand zu vermeiden. Die Aussteifung der Rahmenkonstruktion erfolgt dann über die Beplankung.

Nach dem Einstellen aller Stiele, Türhöhe anreißen, dabei eventuelle Veränderungen im späteren Bodenaufbau (Parkett, Laminat, Fliesen etc.) berücksichtigen, Querriegel passgenau zuschneiden und mit Schrauben fixieren.

Ist eine Seite fertig beplankt, nach Bedarf Dämmmaterial sowie gewünschte Installationen einbringen. Für das Durchführen von Kabeln oder Leitungen werden die Stiele von Nutseite zu Nutsei-

te mit entsprechenden Durchmessern durchbohrt.

Anschließend Beplankung fortsetzen.

Beim Arbeiten unter Dach- oder Treppenschrägen, die nötigen Winkel zum Zuschneiden der Stiele mit einer Schmiege abnehmen und übertragen. Die Stiele werden in diesem Fall nicht mit Montageklammer, sondern mit Schrauben in der Schräge fixiert.

7.1 Leichte Plattenelemente
Kielstegelemente

Stefan Krestel

1 Projektentstehung

Die Idee zum Kielstegelement entstand 2004 im Rahmen einer Architekturdiplomarbeit von Stefan Krestel. Im Jahr 2005 wurde die Technologie in Form zweier Patente in 28 Ländern geschützt. In einer Initiative mit der Fa. Kulmer-Holzleimbau GmbH und in Zusammenarbeit der TU-Graz, wurde die Kielstegtechnologie im Rahmen eines breit angelegten Forschungsprojektes zu den Themen Bauphysik, Statik, Fertigungstechnik und Maschinenbau weiter entwickelt.

2 Kurzdarstellung

Kielstegelemente sind leichte großformatige Dach und Deckenelemente. Die vorwiegend in Hallen und Gewerbebauten als ökologisch wertvolle, wirtschaftliche und sehr leistungsfähige Dachelemente eingesetzt werden.

Das Kielstegelement ist ein ungesperrtes, einachsig gerichtetes, hochtragfähiges Bauelement, das aus einem Ober- und Untergurt aus Schnittholz und Stegen aus Sperrholz bzw. OSB besteht. Die charakteristische Krümmung der Stege - wie beim Kiel eines Bootes - gibt dem Bauteil nicht nur seinen Namen, sondern spielt auch eine wichtige Rolle beim Herstellungsprozess. Durch die Leichtbauweise wird die natürliche Ressource Holz sehr sparsam und damit effizient eingesetzt.

Durch das Krümmen der Stege und eine ausgeklügelte Legetechnik wird ein Fachwerksverband erzeugt, welcher dem Element hohe Stabilität quer zur Hauptspannrichtung verleiht. Dies ermöglicht die Realisierung eines völlig neuartigen Baustoffes im Holz-Leimbau.

Kielstegelemente sind industriell herstellbar, bei der Herstellung werden in einem einseitigen Beleimvorgang Gurt und Plattenstege geleimt und temporär in Form eines „L“ miteinander fixiert. Die L-förmigen Einzelteile werden in einer stehenden Presse wechselseitig aufeinander geschlichtet und unter Druck von zwei Seiten zu einem Wabenblock verpresst, wobei die Eigenspannung der Plattenstege unter dem Pressdruck selbstständig die bündige Ausrichtung der Gurt und Stegteile bewirkt, und die S-förmige Krümmung der Stege schafft.

Abb. 1: Die Darstellung zeigt vorgefertigte Kielstegelemente in der Produktionshalle

Abb. 2: Die Darstellung zeigt das Verlegen eines Kielstegelements mit einer Spannweite von 18,4 m

Das wirtschaftliche Potenzial liegt in der Materialsparsamkeit des Systems - Material wird gezielt nur dort eingesetzt, wo es statisch erforderlich ist.

Das System ist beinahe beliebig skalierbar damit wird eine Strategie verfolgt, welche es erlaubt die Tragfähigkeit durch die Höhe der Stege anzupas-

sen. So ergibt sich ein sehr gutes Verhältnis von Tragfähigkeit zu Eigengewicht und schafft eine enorme Materialeffizienz.

Hallen und Gewerbebauten sind meist flexiblen Anforderungen ausgesetzt, daher wird auf Leistungsfähigkeit und große Spannweiten der Dachkonstruktionen gesetzt, um möglichst frei bespielbare Nutzflächen zu erzielen. Der Hallenbau wird von Bausystemen aus Stahl und Beton dominiert, mit der Kielstegtechnik besteht gerade für den Holzbau die Möglichkeit sich relevante Anteile dieses Marktes zu sichern.

Als Einfeldsysteme können derzeit Kielstegelemente mit Spannweiten von 10 – 24 m bei Auflasten von 4 kN/m² eingesetzt werden. Dadurch ergibt sich gerade für diese Technologie ein ideales Anwendungsgebiet, wo hohe Spannweiten erforderlich werden. An der Umsetzung von Kielstegelementen mit 30 m Spannweiten wird gearbeitet, numerisch ist sie bereits bewiesen.

Mit Großbauteilen wie dem Kielstegelement soll es künftig möglich sein, übliche Stützenraster im Hallenbau aufzuweiten, und bei weit gespannten Dachkonstruktionen größtenteils oder überhaupt auf die Primärkonstruktion samt Windaussteifung zu verzichten, um mit den Eigenschaften als wärmedämmender, tragender, flächenbildender und aussteifender Bauteil klare Vorteile zu erzielen.

Das Bauteil fordert keine weiteren formalen und brandtechnischen Ausbaumaßnahmen.

Die gehobelte Oberfläche der Kielstegelemente weist ein sehr markantes und ästhetisch hochwertiges Aussehen auf, welche hohe architektonische Ansprüche erfüllt und Leitungsführungen im Innern der Hohlkammern erlaubt.

Kielstegelemente sind nicht nur ein Produkt, sondern ein umfassendes Konzept, das eine Vielzahl von Anwendungsgebieten am Bau erschließen soll.

Die Potenziale des Leichtbaus und somit auch die des Kielstegelementes verfolgen stark die sich abzeichnenden Tendenzen des künftigen Bauens.

Abb. 3: Die Darstellung zeigt die Untersicht bzw. Oberfläche der Kielstegelemente

3 Innovationsgrad – Zusammenfassung

- Kielsteg ist ein industriell herstellbares Bauelement
- gekrümmte Stege und eine ausgeklügelte Legetechnik ermöglichen einen völlig neuartigen Baustoff im Holz-Leimbausektor
- durch die gekrümmten Stege wird ein Fachwerksverband erzeugt, welcher hohe Steifigkeit und Robustheit erzielt
- Kielstegelemente sind Leichtbauelemente – die Ressource Holz wird sparsam und effizient eingesetzt
- Es besteht ein gutes Verhältnis von Tragfähigkeit zu Eigengewicht
- Die Tragfähigkeit ist durch Erhöhen der Stege anpassbar
- Wirtschaftliches Potenzial - Material wird gezielt dort eingesetzt wo es statisch notwendig ist
- Kielsteg-Einfeldsysteme ermöglichen derzeit Spannweiten bis zu 20 m bei Gleichlasten von 4 kN/m²

- Kielsteg ist ein tragendes, flächenbildendes, aussteifendes und wärmedämmendes Bauteil
- formal hoch zu bewertende markante Oberflächen
- die Luftkammern im Fachwerksverband bilden eine Installations- und Wärmedämmebene
- hoher Vorfertigungsgrad und hohe Verlegeleistung

4 Technik

Einfeld-Kielstegelemente werden in entsprechender Länge von 10 – 20 m und einer Standartbreite von 120 cm hergestellt. Mehrfeldsysteme können momentan mit einer Maximallänge von 24 m produziert werden. Die Verbindung der Elemente zueinander erfolgt über einen Stufenfalz auf der Unterseite und ein eingefälztes Laschenbrett auf der Oberseite, welches Verschraubt wird. Für die Gewährleistung der Brandsicherheit bis REI 60 wird in den unteren Stufenfalz verdeckt ein Brandfugenband eingelegt.

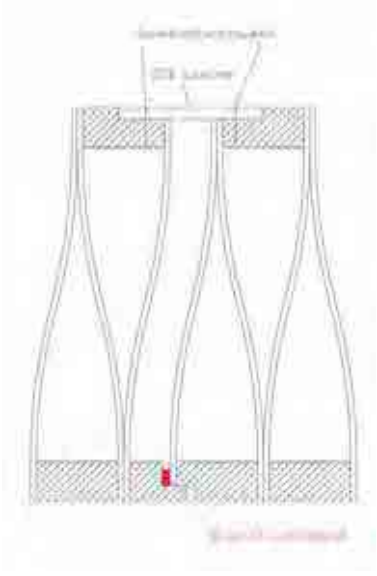


Abb. 4: Schnitt Kielstegelementstoß

Dachelemente: Auch bei Industriebauten werden zunehmend Schallemissionen kritisch bewertet. Mit üblichen Warmdachaufbauten und Foliendeckung werden Luftschallwerte ab einer Dämmstärke von 70 mm bereits von 50 dB erreicht. Die Hohlkammern der Kielstegelemente bilden bei entsprechender Abdichtung bereits eine Dämmebene die Einsparungen in der Aufdachdämmung je nach gefordertem U-Wert erlaubt. Lichtkuppeln und Rauchabzüge werden unter individueller statischer Betrachtung über hölzerne Auswechslungen hergestellt

Deckenelemente: Nach ÖN B8115-2 erfüllen Kielstegdecken mit klassischem Bodenaufbau die Anforderung an das Trittschalldämmmaß für Wohn- und wohnähnlicher Nutzung bei geeigneten Flächenverhältnissen und Vermeidung von Flankenübertragungen. Ein Standartbodenaufbau mit 6 cm loser Schüttung, dynamisch weicher Trittschalldämmung und 6 cm Estrich erreicht ein Trittschalldämmmaß von $L'_{nT,w}$ 47 dB. Die Luftkammern in den Kielstegelementen bilden eine Installationsebene in der Elektroleitungen geführt werden können.

5 Status

Seit 2006 wird in einer Projektpartnerschaft mit der Fa. Kulmer- Holzleimbau GmbH, der TU- Graz und der Fa. Kielsteg GmbH i.G. an der technischen Entwicklung und wirtschaftlichen Umsetzung gearbeitet.

Derzeit erreichte Ziele:

- Fertigungstechnisches Know-how zur Herstellung von Tragelementen mit 24 m Spannweite
- Statische Dimensionierung und Nachweisführung der Elemente
- Bauphysikalische Potenziale sind abgeklärt
- Brandsicherheit ist gewährleistet
- Aktuell sind ca. 15 Pilotprojekte umgesetzt worden

6 Ausgewählte Referenzbauten

Von der Fa. Kulmer-Holzleimbau GmbH wurden folgende Bauprojekte mit der Kielstegtechnik umgesetzt.

Einfamilienhaus Trummer – Graz, 2006

Abb. 5: Das Haus Trummer markiert den ersten Prototypen der in Eigenregie und Handarbeit hergestellten 7,3 m Dach- und Deckenelementen

Redbloc Ziegelwerk – Wels, 2006

Abb. 6: Beim Bauprojekt Ziegelwerk Redbloc in Oberösterreich wurden Dachelemente erstmals mit einer Spannweite von 15 m von der Fa. Kulmer gefertigt und verbaut

Musterhaus Griffner – Mannheim, 2006

Abb. 7: In einem ersten Pilotprojekt der Fa. Kulmer und Griffner wurden Dach- und Deckenelemente für ein Musterhaus hergestellt

Soritz Gemüsegroßhandel – Graz, 2007

Abb. 8: Bei diesem Bauprojekt wurde die Dachkonstruktion des Kühlhauses der Fa. Soritz verwirklicht. Dabei wurden Elemente mit 12 m Spannweite verbaut

Steyr Center – Gleisdorf, 2008

Abb. 9: Erstmaliger Einbau von Kielstegelementen mit einer Spannweite von 20 m

UKZ Umwelt Kompetenz Zentrum – Schäffern, 2008

Abb. 10: Bei diesem dreigeschossigen Bauprojekt wurden Wandscheiben aus Brettsperrholz gefertigt und Dach- und Deckenelemente aus Kielstegelementen eingesetzt

SFG Halle – Lebring, 2008

Abb. 11: Für diese Halle wurden Kielsteg- Elemente mit einer freien Spannweite von 20 m bei einer Elementhöhe von 48 cm verlegt

Drehbarer Bühnenboden- Theater an der Wien, 2009

Abb. 12: Der drehbare Bühnenboden für das Theater an der Wien stellt besondere Anforderung an Funktionalität, Tragfähigkeit und geringes Eigengewicht. Eine Spannweite von 12,5 m bei einer Bauhöhe von 36 cm, sowie eine Vorspannung der Elemente sind aufgrund der besonderen Erfordernisse notwendig

7 Übersicht der KSE Produkttypen

Die Angaben der Spannweiten untenstehender Tabellen beziehen sich auf Einfeldträgersysteme der Nutzungsklasse 1und 2. Die Nutzungsklasse 1 bezeichnet allseitig geschlossene und beheizte Bauwerke. Die Nutzungsklasse 2 sind überdachte, offene Bauwerke. Der Nachweis erfolgt nach der DIN 1052: 2004, unter Berücksichtigung einer Gebrauchstauglichkeit von L / 300.

Folgende Tabellen dienen zur Vorbemessung von Kielstegelementen und ersetzen keine statischen Berechnungen. Die Belastung ist als gleichmäßig verteilte Flächenlast anzusehen. Das Eigengewicht der Kielstegelemente ist mit eingerechnet und muss daher bei einer Lastaufstellung nicht mehr berücksichtigt werden.

KSE 228 Kielstegelement - ply wood

Flächenlast excl. Eigengewicht	Spannweite bis maximal
3,0 kN/m²	8,60 m
3,5 kN/m²	8,45 m
4,0 kN/m²	8,30 m
4,5 kN/m²	8,15 m
5,0 kN/m²	8,05 m
5,5 kN/m²	7,90 m
6,0 kN/m²	7,80 m
6,5 kN/m²	7,55 m
7,0 kN/m²	7,30 m
7,5 kN/m²	7,10 m
8,0 kN/m²	6,85 m

* Angaben lt. ÖN B3800-4 mit einer derzeit gültigen Abbrandgeschwindigkeit von 0,65mm/min.

KSE 280 Kielstegelement - ply wood

Flächenlast excl. Eigengewicht	Spannweite bis maximal
3,0 kN/m²	10,05 m
3,5 kN/m²	9,85 m
4,0 kN/m²	9,70 m
4,5 kN/m²	9,55 m
5,0 kN/m²	9,35 m
5,5 kN/m²	9,25 m
6,0 kN/m²	9,05 m
6,5 kN/m²	8,75 m
7,0 kN/m²	8,50 m
7,5 kN/m²	8,20 m
8,0 kN/m²	7,90 m

* Angaben lt. ÖN B3800-4 mit einer derzeit gültigen Abbrandgeschwindigkeit von 0,65mm/min.

KSE 380 Kielstegelement - ply wood

Flächenlast excl. Eigengewicht	Spannweite bis maximal NKL 1	NKL 2
1,0 kN/m²	17,55 m	16,80 m
1,5 kN/m²	16,85 m	16,15 m
2,0 kN/m²	16,25 m	15,60 m
2,5 kN/m²	15,45 m	14,85 m
3,0 kN/m²	14,35 m	13,90 m
3,5 kN/m²	13,40 m	13,20 m
4,0 kN/m²	12,60 m	12,55 m
4,5 kN/m²	12,00 m	12,00 m

* Angaben lt. ÖN B3800-4 mit einer derzeit gültigen Abbrandgeschwindigkeit von 0,65mm/min.

KSE 405 Kielstegelement - OSB

Flächenlast excl. Eigengewicht	Spannweite bis maximal NKL 1	NKL 2
1,0 kN/m²	17,60 m	16,85 m
1,5 kN/m²	17,05 m	16,30 m
2,0 kN/m²	16,55 m	15,80 m
2,5 kN/m²	16,05 m	15,40 m
3,0 kN/m²	15,15 m	14,55 m
3,5 kN/m²	14,40 m	13,90 m
4,0 kN/m²	13,65 m	13,30 m
4,5 kN/m²	13,00 m	12,80 m

* Angaben lt. ÖN B3800-4 mit einer derzeit gültigen Abbrandgeschwindigkeit von 0,65 mm/min.

Vision - Faltstegelement

Das Faltstegelement ist als reines Wandelement angedacht mit dem Ziel, thermische Durchdringungen gleichmäßig und so gering als möglich im Bauteil zu halten.

Es gibt Überlegungen Elemente dieser Art mit Zelluloseflocken für Wärmedämmzwecke zu verfüllen. Die Verschränkung der Stegzungen soll einen optimalen Schutz gegen Setzungen der eingebrachten Zellulosefüllung bewirken.

Zukünftiges Ziel ist mit dieser Technologie ein kompaktes Wandelement zu schaffen, welches befestigungstechnische und haptische Vorteile von Massivbauplatten aufweist und die energietechnischen Vorteile von Holz-Riegelkonstruktionen übernimmt.

Abb. 13: Faltstegelement mit der minimalsten Stegausführung

7.2 Sonstige Baustoffe, Produkte

Einsatzmöglichkeiten von Phase Change Material (PCM) im Holzhausbau zur Vermeidung von sommerlichen Überhitzungen

Christoph Kempkes, Stephan Schlitzberger

1 Allgemeines

Gebäude bzw. Gebäudeteile in Leichtbauart führen im Sommer ohne weitere Maßnahmen häufiger und intensiver zu Überhitzungen als Massivbauten. Insbesondere trifft dies auch auf die Situation „Dachgeschoss“ zu, wo aufgrund der zumeist in Holzbauweise ausgeführten Dachkonstruktion sowohl im Neu- wie auch im Altbaubereich in aller Regel von einer nur geringen, zur Pufferung von Temperaturschwankungen verfügbaren thermischen Masse ausgegangen werden muss.

Phasenwechselmaterialien oder Phase Change Materials (PCM) können eingesetzt werden, um durch latente Wärmespeicherung die thermische Masse eines in leichter Bauweise ausgeführten Gebäudes zu erhöhen. Die technischen Daten geeigneter PCM-Basismaterialien sowie PCM-haltiger Werkstoffe lassen hoffen, dass mit dem Einsatz von PCM-Materialien in Bezug auf das sommerliche Wärmeverhalten auch im Holzbau die wirksame Wärmekapazität eines vergleichbaren Massivbaus erreicht, bzw. sogar übertroffen werden kann.

2 PCM-Basismaterialien

Um verschiedene Arten von PCM zu klassifizieren und damit einen Überblick über potentielle Einsatzgebiete zu erhalten, ist eine Unterscheidung bezüglich ihrer Schmelzpunkte sinnvoll. In Abb. 1 sind die typischen PCM-Materialklassen bezüglich ihrer Schmelzenthalpien und der dazugehörigen Temperaturbereiche eingeordnet.

Für die Verbesserung des sommerlichen Wärmeverhaltens durch Erhöhung der Wärmekapazität der Raum umschließenden Bauteile interessiert der Temperaturbereich zwischen 20 °C und 30 °C. Da Gashydrate aufgrund ihrer physikalisch/chemischen Eigenschaften für die Verwendung in Bauprodukten ausscheiden, verbleiben im interessierenden Temperaturbereich Paraffine als organisches und Salzhydrate als anorganisches Material.

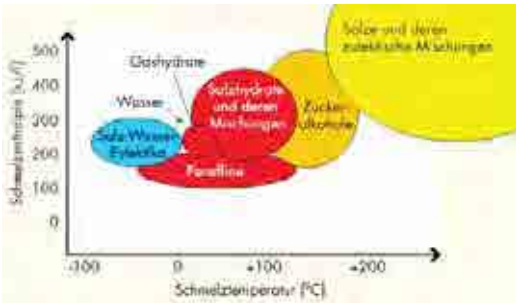


Abb. 1: Typische volumenspezifische Schmelzenthalpien und zugehörige Temperaturbereiche von Materialklassen zur Latentwärmespeicherung [1]

Vorteile von Salzhydraten sind:

- hohe Schmelzwärme (je höher der Grad der Hydratation, desto größer die Schmelzwärme)
- hohe spezifische Wärmekapazität für die sensible Wärmespeicherung
- relativ höhere Rohdichten und somit eine höhere volumenbezogene Speicherfähigkeit auf als organische PCM
- Die Wärmeleitfähigkeit variiert zwar stark zwischen fester und flüssiger Phase, ist jedoch in beiden Fällen größer als bei organischen PCM
- Salzhydrate sind nicht brennbar
- Salzhydrate sind kostengünstig herstellbar

Nachteile von Salzhydraten gegenüber den Paraffinen sind die kritische Phasenstabilität (Gefahr der Entmischung), der deutlich ausgeprägtere Unterkühlungseffekt (schlechteres Erstarrungsverhalten), die potenziell geringere Langzeitstabilität sowie die Korrosivität. Allen genannten Aspekten muss bei der Entwicklung von Basismaterialien bzw. bei der Integration in Baukonstruktionen Rechnung getragen werden.

Die Vorteile von Paraffinen sind:

- hohe spezifische Schmelzwärme
- im Vergleich zu Salzhydraten höhere spezifische Wärmekapazität zur sensiblen Wärmespeicherung
- enger Schmelzbereich
- Paraffine schmelzen kongruent und besitzen daher Phasenstabilität
- Paraffine weisen keine oder nur sehr geringe Unterkühlung auf
- geringe chemische Reaktivität

Die Nachteile von Paraffinen liegen in der im Vergleich zu Salzhydraten geringen Rohdichte, was zu einer nur etwa halb so großen volumenbezogenen latenten Speicherdichte führt, in der nur geringen Wärmeleitfähigkeit, was bei größeren Schichtdicken zu verzögerten Be- und Entladevorgängen führen kann (Lösung: Mikroverkapselung oder Trägerstruktur) sowie die etwa 10 %ige Volumenänderung beim Phasenübergang. Der Hauptnachteil von Paraffinen insbesondere bei der Verwendung im Holzbau dürfte jedoch in der Brennbarkeit und der damit einhergehenden Erhöhung der Brandlast zu sehen sein.

3 PCM-Technologien zur Anwendung in Baustoffen

Um Phasenwechselmaterialien mit ihrer Fähigkeit zur latenten Wärmespeicherung für Anwendungen in Gebäuden zum sommerlichen Wärmeschutz brauchbar zu machen, gibt es verschiedene Möglichkeiten, PCM in herkömmliche Baumaterialien oder Baustoffe einzubringen.

Grundsätzlich muss hierbei gewährleistet werden, dass das PCM im flüssigen Zustand nicht ausläuft. Zum einen besteht die Möglichkeit der Verkapselung (Makro- und Mikroverkapselung) und zum anderen können die PCM-Materialien in sog. Saug- oder Matrixstrukturen eingelagert werden, wobei durch Kapillarkräfte innerhalb der Trägerstruktur ein Auslaufen des PCM in der flüssigen Phase verhindert wird.

3.1 Makroverkapselung

Unter Makroverkapselung versteht man die Umhüllung des PCM-Materials durch mehr oder weniger große Behälter. Die häufigste Form dieser Art der Verkapselung sind Kunststoff- oder Aluminiumcontainer, die als Kühlakkus z.B. in Kühlschränken bzw. Gefrierschränken zum Einsatz kommen. Diese Behälter sind in beliebigen Formen und Größen herstellbar. (Bild 1,3 und 4 in Abb. 2)

Abb. 2: Makroverkapselung [1]

Makroverkapselung ist eine hervorragende Möglichkeit, z.B. Salzhydrate in die von ihnen benötigte wasserdampfdichte Hülle einzubringen. Für die konstruktive Einbringung in Wand-, Decken oder Fußbodenkonstruktionen von makroverkapselten PCM-Elementen eignen sich jedoch nur solche Flächen, in denen die Ummantelung dauerhaft vor Beschädigungen geschützt bleibt.

3.2 Mikroverkapselung

Die grundlegenden Unterschiede zur Makroverkapselung bestehen bei der Mikroverkapselung zum einen in der Größe der Kapseln und zum

anderen im Herstellungsprozess. Die ersten Versuche, mikroverkapselte PCM in Baustoffen zur Energieeinsparung zu integrieren, wurden Anfang der 80er Jahre unternommen, blieben allerdings aufgrund mangelnder Stabilität der Kapseln ohne nachhaltigen Erfolg. Mittlerweile können jedoch Mikrokapseln mit einer polymeren Schale hergestellt werden, die auch hoher mechanischer Belastung standhalten, wodurch diese Technologie für die Verkapselung von PCM-Materialien zur Anwendung in Baustoffen bereitgestellt werden kann. Die Durchmesser dieser Kapseln betragen zwischen 3 und 20 Mikrometern. (Bild 1 in Abb. 3)

Abb. 3: Mikroverkapselung [1]

Die Mikroverkapselung ist ein besonders gut geeignetes Verfahren, um mit Wasser nicht mischbare Stoffe, z.B. Paraffine, mit einer belastbaren Hülle zu umschließen, die der Phasenumwandlungen des Kerns und der damit verbundenen Beanspruchung durch Volumenänderung standhalten.

Mikrokapseln sind als Dispersion oder Pulver fließfähig und gut dosierbar (Bild 2 und 3 in Abb. 3) und können auf diese Weise Bauprodukten wie z.B. Putzen beigemischt werden. Außerdem besitzen sie ein günstiges Oberfläche / Volumen-Verhältnis, wodurch sie ein gutes Schmelz- und Erstarrungsverhalten aufweisen.

3.3 Einlagerung in Saugstrukturen

PCM, die grundsätzlich keine Umhüllung benötigen, um Phasen- und Langzeitstabilität zu gewährleisten, sind Paraffine, Fettsäuren und Fettsäureester. Aufgrund dieser Eigenschaft eignen sie sich besonders gut, um über Tränkverfahren oder direkte Einbindung in den Herstellungsprozess in ein geeignetes Baumaterial integriert zu werden, wobei die Kapillarkräfte des Baumaterials das flüssige PCM innerhalb ihrer Trägerstruktur binden und am Auslaufen hindern. Auf diese Weise übernimmt der Baustoff die Funktion eines Trägermaterials, wobei dessen Poren- und Kapillarstruktur entscheidend für den integrierbaren PCM-Anteil ist.

Für diese Art der Einbringung in Baumaterialien wurden spezielle PCM optimiert, deren spezifische Schmelzwärmen zwischen 180 und 250 kJ/kg liegen und deren Schmelzpunkte zwischen –30 °C und 90 °C einstellbar sind.

Dem Problem der thermischen Volumenänderung begegnet man hierbei mit einer veränderten Kristallstruktur und entsprechend ausgebildeten Luftporenanteilen im Trägermaterial. Geeignete Matrixstrukturen bieten Fasermaterialien wie z.B. Holzweichfaserplatten, Mineralwolle und Textilfasern sowie Kunststoffe, poröse Granulate, Leichtbetonsteine, Gipskartonplatten und Ähnliches.

Faserplatten können hierbei ungefähr das Doppelte ihres Eigengewichts an PCM-Material aufnehmen, was in diesem Fall zu einer spezifischen Wärmekapazität von ca. 120 kJ/kg führt. [2] (Bild 1 in Abb. 4)

Ein rieselfähiges Produkt mit gebundenem PCM stellt ein bestimmtes Granulat (Diatomeenerde)

dar, welches sich besonders gut dazu eignet, Hohlräume zu verfüllen (Bild 2 in Abb. 4).

Abb. 4: PCM in Matrixstrukturen [1]

Das in Abb.3 aus Bild 4 dargestellte Pulver ist ein PCM-Material, bei dem ein Silikatträgerpulver die Matrixstruktur bereitstellt. Einsatzgebiet solcher Pulver sind vornehmlich medizinische Anwendungen in der Wärmetherapie, sie können prinzipiell aber auch zur Hohlraumverfüllung eingesetzt werden.

Das letzte, in Bild.4 aus Abb. 4 dargestellte Verbundmaterial weist durch seinen zehnprozentigen Volumenanteil an Graphitschaum eine besonders hohe Wärmeleitfähigkeit von bis zu 30 W/mK auf, was einer Erhöhung um den Faktor 50 – 100 gegenüber dem reinen PCM entspricht. In etwa 85 V.-% nimmt hier das PCM selbst ein, was einen entscheidenden Vorteil dieses Verbundmaterials ausmacht. Demgegenüber steht ein maximaler Anteil von 20 % in Gipskartonplatten [2].

Entscheidender Nachteil aller paraffinhaltigen Materialien bleibt aber deren Brandverhalten, was aufwendige Brandschutzmaßnahmen bei der Integration in Gebäudekonstruktionen erforderlich machen kann. Im Hinblick auf die Verarbeitbarkeit und Vielseitigkeit sind Faserplatten und Granulate aber sicher eine vielversprechende Alternative.

4 Integration in Holzbaukonstruktionen

Für die Möglichkeit, Phasenwechselmaterialien in Holzbaukonstruktionen zu integrieren, sind aufgrund der zur Verfügung stehenden Basisprodukte zahlreiche Varianten denkbar. Im Rahmen eines von der AiF geförderten Forschungsvorhabens [3], wurden eine Vielzahl von Lösungen aufgezeigt und auch rechnerisch vergleichend bewertet - unter anderem die PCM–Werkstoffe „Knauf Latentwärmespeicherplatte“ (Gipskartonplatte mit ca. 20 % mikroverkapseltem Paraffin), „Rubitherm GR–Granulat“, „Rubitherm PX–Pulver“, „SGL Paraffin / Graphit–Platte“, „SGL Salzhydrat / Graphit–Platte“ und als makroverkapselte Lösung das „Rubitherm SP–Speicherelement“. Betrachtet wurde jeweils die Integration in Wand-, Dach- und Bodenaufbauten. Die rechnerische Gegenüberstellung des Einflusses auf das sommerliche Wärmeverhalten erfolgte für ausgewählte Konstruktionen durch dynamische Simulation für eine typische Einfamilienhaussituation.

4.1 Praktischer Vergleich

Bei der Bewertung der jeweiligen Konstruktionen in Bezug auf Kriterien wie Realisierbarkeit, Speicherpotential und Brandschutzanforderung erweisen sich je nach Bewertungskriterium unterschiedliche PCM-Werkstoffe als besonders geeignet.

Hinsichtlich der einfachen Verarbeitbarkeit gibt es zu der Knauf–Platte derzeit keine Alternative, allerdings verfügt sie aufgrund des relativ geringen PCM–Anteils über eine vergleichsweise geringe Speicherfähigkeit. Das Rubitherm SP–Speicherelement ist in Bezug auf das Speicherpotential der herausragende Werkstoff, kann dieses aber nur dauerhaft bereitstellen, wenn eine Zerstörungsfreiheit seiner Makroverkapselung innerhalb des

Bauteils gewährleistet werden kann. Genereller Vorteil eines Werkstoffes auf Basis von Salzhydraten ist, dass er nicht brennbar ist und eine höhere volumenbezogene Speicherfähigkeit aufweist.

4.2 Vergleichende rechnerische Untersuchungen

Die rechnerischen Ergebnisse zeigen, dass im Holzbau durch den Einsatz PCM-haltiger Konstruktionen die thermische Behaglichkeit im Sommer entscheidend verbessert und mit entsprechenden Lösungen sogar über das Niveau einer schweren Bauweise angehoben werden kann. Tab. 1 zeigt die sich im Schlafzimmer eines Einfamilienhauses im Jahresverlauf einstellenden Maximaltemperatur für verschiedene Gestaltungsvarianten der Bauteilkonstruktionen. Für Konstruktionen in Holz-Leichtbauweise ohne PCM (LB) ergibt sich mit 31,5 °C ein deutlich höheres Temperaturniveau als bei einer massiven Ausführung in Kalksandbauweise (KS) oder einer mittelschweren Bauweise mit Porenbeton (PB).

Tab. 1: Sich im Jahresverlauf einstellende, maximale operative Temperatur für das Schlafzimmer bei Variation der sensiblen bzw. latenten Speichermasse bzw. des Schmelzpunktes (SP)

VARIANTE	MAXIMALE TEMPERATUR [°C]	ZEITPUNKT
KS	27,0	02.08. 16.30 Uhr
LB	31,5	31.07. 18.30 Uhr
PB	28,5	31.07. 18.30 Uhr
SP 25	25,4	07.08. 10.30 Uhr
SP 26	25,5	07.08. 10.30 Uhr
SP 27	25,7	07.08. 10.30 Uhr
GK 1	27,2	05.09. 17.30 Uhr
GK 2	26,6	05.09. 16.30 Uhr

Gegenüber einer Ausführung mit konventionellen Holzbaukonstruktionen kann das Temperaturniveau bei Einsatz des Rubitherm SP-Speicherelements (SP-Varianten mit unterschiedlichem Schmelzpunkt) um bis zu sechs Kelvin verringert werden, wenn alle Raumumschließungsflächen mit PCM-haltigen Materialien versehen werden. Auch die paraffinhaltige Knauf-Gipsbauplatte in einfacher (GK1) und aufgedoppelter (GK2) Variante bewirket eine deutliche Verbesserung gegenüber dem Ausgangsfall ohne PCM, ist aufgrund des begrenzten PCM-Anteils jedoch nicht so wirksam wie die Lösung mit der in die Konstruktion integrierten Speicherplatte.

Eine Untersuchung zur maximal wirksamen Schichtdicke von PCM-haltigen Schüttungen zeigt, dass diese maßgeblich von der Periodendauer der äußeren Lasten abhängt. Bei langen Zyklen, wie z.B. aufeinanderfolgenden Hitzeperioden, werden auch größere Schichtdicken wirksam. Bei Zyklen mit einer Periodendauer von einem Tag wird dagegen nur eine etwa 3 cm dicke Schicht der Schüttung aktiviert. Die gleiche wirksame Schichtdicke von etwa 2-3 cm ergibt sich bei der Betrachtung eines gesamten Jahres mit realistischen Wetterdaten, was darauf hinweist, dass der Tag / Nacht-Rhythmus mit Schmelzen am Tag und Erstarren in der Nacht für das Temperaturverhalten bestimmend ist. Dieser Umstand lässt weitere Verbesserungen des thermischen Komforts bei Einsatz aktiver Maßnahmen zur Unterstützung des nächtlichen Erstarrungsprozesses erwarten, insbesondere bei Verwendung von Salzhydrat, da hier der Unterkühlungseffekt deutlich stärker zum Tragen kommt. Derzeitige Rechenmodelle berücksichtigen diesen Effekt leider noch unzureichend.

4.3 Aktive Systeme

Einige der in [3] entwickelten Bauteile wurden bereits im Hinblick auf die Ausbildung als thermisch aktiviertes Bauteil konzipiert, wobei insbesondere wasserführende Rohrregister oder luftdurchströmte Bauteilquerschnitte in Frage kommen. Im Rahmen einer Diplomarbeit an der Uni-

versität Kassel [4] wurden neben dem Fall der passiven Auskühlung auch aktive Systeme mit Durchströmung des Bauteils mit kalter Nachtluft am Beispiel einer Konstruktion mit integrierten Rubitherm SP-Speicherelementen, Abb. 5, messtechnisch unter Laborbedingungen untersucht.

Abb. 5: Rubitherm SP- Speicherelement

Die Versuche zur Ermittlung des Auskühlverhaltens bei konventioneller Nachtlüftung führen zu der Erkenntnis, dass eine Rückführung in den festen Aggregatzustand nur unter Annahme von unrealistisch niedrigen Außentemperaturen möglich ist. Selbst bei Zufuhr von 10 °C kalter Luft dauert der Erstarrungsprozess noch etwa neun Stunden. Für den Fall, dass zu Beginn der Erstarrungsphase noch feste Bestandteile des PCM vorliegen, kann die Erstarrungszeit zwar entscheidend verkürzt werden, beträgt aber auch hier (Zufuhr von 12 °C kalter Luft) etwa fünf Stunden. Eine Abfuhr der in dem Speichermaterial gebundenen Wärme ausschließlich durch passive Nachtkühlung erscheint demnach unrealistisch.

Während der Versuche, bei denen die Rückführung des PCM durch zusätzliche, aktive Hinterlüftung beschleunigt wird, beträgt die erforderliche Zulufttemperatur 17 °C und liegt damit im Bereich der in einer Sommernacht tatsächlich möglicher Außentemperaturen. Eine solche Lösung erfordert allerdings erheblichen konstruktiven Aufwand.

Abb. 6: Aufbau des vom Fraunhofer-IBP untersuchten Fußbodensystems

Im Rahmen eines vom BmWI über den Projektträger Jülich geförderten Forschungsvorhabens wird derzeit vom Fraunhofer-Institut für Bauphysik in Kooperation mit Industriepartnern ein aktives, wasserbasiertes System unter realen klimatischen Bedingungen in einem dem Holzfertighausbau realistisch nachempfundenen Versuchsstand messtechnisch untersucht. Das Rubitherm SP-Speicherelement wird in diesem Fall in ein klassisches Fußbodenheizungssystem in Trockenbauweise integriert und im Sommer zu Kühlzwecken mit kaltem Wasser (Vorlauftemperatur > 18 °C)) mit geringer Leistung überwiegend nachts durchströmt.

Die bisherigen Ergebnisse zeigen deutlich, dass ein solches System, welches ohne großen konstruktiven Mehraufwand der klassischen Fußbodenheizung zu dem Zusatznutzen „Kühlen mit niedrigem Energieaufwand“ verhilft, deutliche Entwicklungspotenziale aufweist. Mit geringstem Aufwand in konstruktivem wie energetischem Sinne lassen sich deutliche Komfortsteigerungen im Sommer auch in der Holz-Leichtbauweise erzielen.

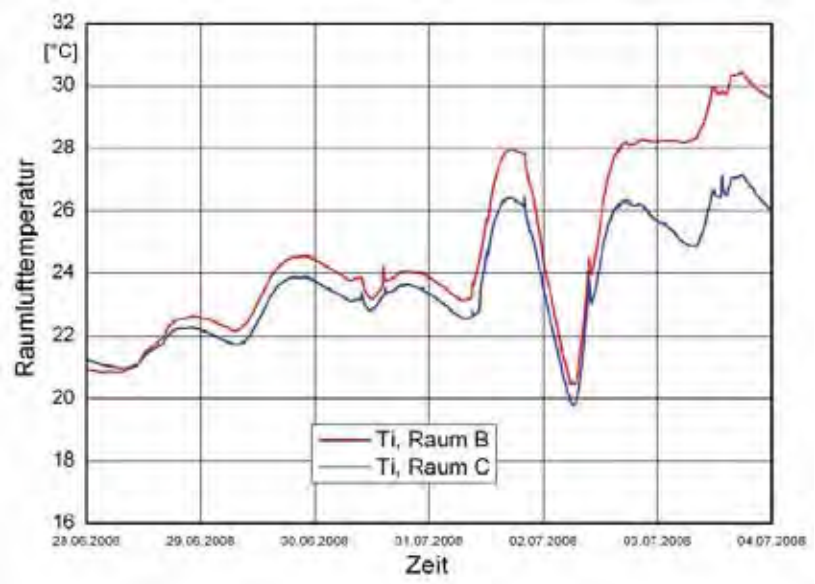


Abb. 7: Reduktion der Raumlufttemperatur durch das System gem. Abb. 6

Quellen

[1] Mehling, Harald: BINE themeninfo IV/02 Latentwärmespeicher, BINE Informationsdienst, Fachinformationszentrum Karlsruhe, 2002

[2] Lenzen, Birgit: Entwicklung und Untersuchung eines latentwärmespeichernden Baumaterials zum Einsatz in transparent gedämmten Außenwänden. Fortschritt Berichte VDI, Reihe 4 Nr. 175, VDI Verlag, Düsseldorf 2002

[3] Hauser, Gerd; Kempkes, Christoph et al.: Einsatz von aggregatzustandsändernden Materialien (Phase Change Material, "PCM") in Holzhäusern zur Vermeidung von sommerlichen Überhitzungen - Konstruktionsempfehlungen und Quantifizierung der thermisch/energetischen Wirkung. Forschungsbericht zum AiF-Vorhaben Aif 13797 des Zentrum für Umweltbewusstes Bauen e.V., Kassel, 2005

[4] Schlitzberger, Stephan.: Messtechnische Untersuchungen und Simulationsrechnungen für den Einsatz von Salzhydrat-PCM-Platten im Holzfertighausbau. Diplomarbeit (Diplom II), Universität Kassel, Fachbereich Bauingenieurwesen, Kassel, 2007

7.2 Sonstige Baustoffe, Produkte
Vakuumdämmung im Holzbau

Martin Forstner

1 Forschungsprojekt

An einem Hanggrundstück in Voggenthal, nahe der oberpfälzischen Stadt Neumarkt gelegen, erhebt sich seit Ende 2005 das Nullheizenergiehaus der Firma Variotec dreigeschossig über die umliegende Dorfbebauung. Hinter dem rechteckförmigen Kubus, den mit einer Holzfassade bekleideten Außenwänden, den großen südlichen Fensterflächen und den weithin sichtbaren Photovoltaikelementen steckt jedoch mehr, als nur ein gewöhnliches Passivhaus. Das Gebäude mit 280 m² Wohnfläche wartet hinsichtlich seiner Konstruktion und der Haustechnik mit wegweisenden Innovationen auf.

Als Architekt wurde mir die Aufgabe der Entwicklung und des Baus des weltersten vollvakuumgedämmten Prototypen übertragen.

Abb. 1: Nullenergiehaus Voggenthal

Die bei dem Forschungsprojekt gewonnen Erkenntnisse wurden seit 2005 konsequent für alle Baueinsatzbereiche weiterentwickelt. Mehrere hundert Detailsituationen mussten neu entwickelt und für alle Einsatzbereiche angepasst werden. Ein mehrjähriges Monitoring hat die bausichere Qualität der QASA Vakuumelemente bestätigt.

Die entwickelte praxistaugliche VIP-Dämmung wird als Sandwichbauteil verpackt nun unter dem Namen QASA in zahlreichen Varianten angeboten. Die Abkürzung VIP steht für Vakuum-Isolations-Paneele. Das Q steht für Wärme und der Rest als Synonym für das sichere Haus. Bei den Elementen handelt es sich um Großflächenelemente, die bereits alle Voraussetzungen und Eigenschaften für den Baueinsatz beinhalten.

Dabei schließt eine mehrlagige, metallisierte Hochbarrierefolie den unter Vakuum stehenden Stützkern aus „pyrogener Kieselsäure“ diffusions- und luftdicht ab. Die neue Dämmung setzt Maßstäbe, denn sie weist eine bislang ungekannt geringe Wärmeleitfähigkeit auf. Bei konventionellen Dämmmaterialien wie Holzfaserdämmplatten (0,045 W/mK) oder Polystyrol (0,030 bis 0,040 W/mK) liegt dieser Wert als Basiswert 0,047 W/mK zzgl. 10 % Sicherheitsfaktor bei avisierten 0,055 W/mK! Variotec hat damit den nachweislich besten Wert für Vakuumdämmungen bedingt durch innovative Folienneuentwicklungen.

2 Deutliche Nutzflächengewinne

Die geringe Elementstärke von maximal 6 cm im Passivhausstandard inkl. der Deckschichten, gepaart mit der fast gegen Null tendierenden Wärmeübertragung, führt zu Nutzflächengewinnen, die den Einsatz von VIP zukünftig interessant machen. Würde man z.B. ein Wohnhaus mit 100 m² Nutzfläche mit 40 mm VIP anstatt mit einem 300 mm konventionellen Dämmstoff isolieren, läge der Wohnraumgewinn durch die dünneren Wände bei 11 m² – bei gleicher Dämmwirkung. Die schlanken Wände führen außerdem zu geringeren Leibungstiefen und der Möglichkeit des Einbaus fassadenbündiger Fenster.

Die großflächigen Elemente sind doppelt gesichert, vergleichbar mit einem modernen Doppelwandanker. Umhüllt von einsatzbezogenen Schutzschichten und diffusionsdichten Randeinfassungen sind bauübliche Beschädigungen genauso ausgeschlossen, wie erhöhte Staufeuchte.

„Ein nacktes VIP an den Bau zu liefern, ist mit Versagensrisiken von bis zu 20 % verbunden. Zahlreiche Anwendungen aus der Praxis bestätigen diese Aussage. Die QASA Elemente erfüllen alle Voraussetzungen und Eigenschaften für den Baueinsatz."

Die QASA Dämmelemente setzen sich im Holzbaubereich aus dem Dämmkern in Stärken von 10, 15, 20, 25, 30, 40 und 50 mm sowie den beidseitigen Deckschichten aus Holzwerkstoffplatten oder anderen detailabgestimmten Belägen zusammen.

Diese Elemente werden in Größen bis zu 1250 x 3000 mm individuell vorgefertigt und auf die gewünschte Einbausituation abgestimmt. Durchdringungen oder Aussparungen werden ebenso wie Öffnungen oder Haltepunkte für Fassadenkonstruktionen berücksichtigt.

Das Beispiel zeigt anschaulich den hohen Flächengewinn durch den Einsatz von QASA Dämmelementen in schlanken Holzkonstruktionen.

Der Einsatzbereich der Vakuumdämmung vor allem im Holzbau stellt eine äußerst wirtschaftliche und qualitativ hochwertige Möglichkeit dar, sehr schlanke Bauteile im Holzmassiv-, Holzrahmen-, Satteldach-, Flachdach und Bodenplattenbereich zu fertigen und die Vorteile der trockenen Bauweise mit dem hohen Flächengewinn zu kombinieren. Hier spielt die bausichere QASA Vakuumelementlösung und die `trockene Fertigungssituation` im Holzwerk, die Basis für wirtschaftliches, schnelles und passgenaues Bauen, die tragende Rolle.

Für die Anwendung im Holzbau kommen Lösungen mit kerngedämmten oder applizierten Dämmlösungen zum Einsatz.

Tab.1: Wohnflächenvergleich

Wohnflächenvergleich			
		MagBoard+Zellulose	**MagBoard+VIP 30/40**
Erdgeschoß	Eingang	5,72 m²	7,05 m²
	WC	1,33 m²	1,33 m²
	Wohnen	19,6 m²	22,73 m²
	Abstellr.	1,64 m²	1,65 m²
	Küche+Essen	9,29 m²	10,65 m²
		37,58 m²	**43,41** m²
		100,0%	→ 115,5%
Dachgeschoß	Galerie	2,69 m²	3,41 m²
	Bad	3,96 m²	4,31 m²
	Technik	1,46 m²	1,58 m²
	Arbeiten	6,92 m²	8,11 m²
	Kind+Schrank	6,6 m²	7,78 m²
	Eltern	12,43 m²	14,7 m²
		34,06 m²	**39,89** m²
		100,0%	→ 117,1%
Gesamtfläche		**71,64** m²	**83,3** m²
		100,0%	→ 116,3%
		Wohnflächengewinn	→ **16,3%**
			11,66 m²

Der Anwender kann mit dieser Lösung neben den schlanken, flächensparenden Bauteilen aber auch Lösungen für baurechtlich schwierige Projektsituationen anbieten, wenn hier z.B. Abstandsflächen oder Gebäudehöhen eine übliche Bauweise verhindern. Aber auch der architektonische Aspekt wird durch diese Elementbauweise in höchstem Maße erfüllt, stellt doch die hochgedämmte Wand ohne sichtbar große Dämmstärken einen wichtigen Punkt in der Umsetzung vieler zeitgemäßer Bauwerke dar. Die Holzbaufirma erschließt mit der Verwendung der Bauteile neue Produktebenen und sichert sich so eine wertvolle Marktposition.

3 Konstruktionen

Der Wandaufbau besteht aus der statischen Tragschale aus Holzmassiv- oder Holztafelelementen. Außenseitig werden die geschosshoch gefertigten Elemente auf der liegenden Wandebene planeben eingebaut und im Stoßbereich der Platten, die Elementränder durchdringend, im Untergrund befestigt. Hier besteht die Möglichkeit des Einbaus einer äußeren Lage aus einer weiteren Holzwerkstoffplatte um das VIP als Kerndämmung einzuschließen oder dem Einbau von senkrecht positionierten Traglatten für die spätere Holzfassaden- oder Unterkonstruktion einer hinterlüfteten Putzfassade.

Abb. 2: Aufbau Holzwand- oder Dachelement [Forschungsbericht Nullheizenergiehaus Voggenthal]

Die Elementgrößen der VIP Platten würden in dem Fall abgestimmt auf ein Fassadentragraster somit z.B. 625 x 2750 mm betragen.

Das VIP Element wird hier als Dampfsperre funktionalisiert, die Fugenstöße werden im Zuge der Montage mit einem diffusionsdichten Band abgeklebt.

Abb. 3: Abklebungsarbeiten

Es lassen sich aber auch im Sanierungsbereich Holzfassaden mit Außendämmung auf Massivwänden oder bestehenden Holztragwänden aufbauen.

Da die Sanierung mit ca. 77 % einen sehr hohen Anteil auf dem Bausektor einnimmt, ist dies zudem ein sehr wichtiges Marktsegment.

Die Einfachheit der Konstruktion wird durch die Elementausbildung mit den im Element integrierten Dämmrändern gebildet. Diese Ausführung lässt sich auf alle im Holzbau möglichen Konstruktionsbereiche wie auch der Dach- und Bodenplattenkonstruktionen übertragen.

Im Dachbereich können so Satteldach- und Flachdachkonstruktion im Neubau – und Sanierungsbereich gedämmt werden.

Übliche Holzbalkenkonstruktionen aber auch Massivplatten lassen sich ähnlich der Wandkon-

struktion vorfertigen. Im Dachbereich können, so wie bei der Wandkonstruktion anstelle der Traglatten für die Fassade, Konterlattung und Lattung für eine Ziegeldeckung montiert werden.

Abb. 4: Montage Dachelement
Auch hier ist die VIP Lösung Bestandteil einer frei wählbaren Tragkonstruktion.

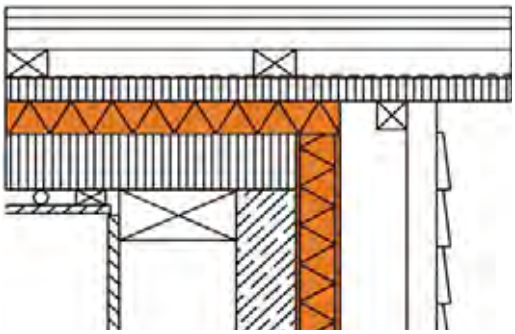


Abb. 5: Detail Eckausbildung

Im Flachdachbereich empfiehlt sich eine Sandwichkonstruktion aus einer Tragschale und einer äußeren Abdeckung aus einer schlankeren Holzwerkstoffplatte zu bilden. Auf diese Oberflächekönnen die gewünschten Dachabdichtungen aufgebaut werden. Durch diese Konstruktion ist zudem der Schutz der Konstruktion im Baualltag in jeder Situation gegeben.

Zu planen sind nun nicht mehr schwierige Dämmanschlusslösungen sondern die normalüblichen Basisdetails für luft- und wind- bzw. dampfdichte Detailpunkte.

4 Modulbau

Erstmals lassen sich mit dieser schlanken Dämmung nun auch hochgedämmte Modulkörper im Passivhausstandard fertigen. Im Rahmen eines Forschungsprojektes zur Entwicklung eines vakuumgedämmten, vorgefertigten Gebäudemoduls – „future house“ - unter Zusammenarbeit mit Fa. Variotec und Fa. Renggli CH wurde ein Baukörper mit den Maßen ca. 3 x 6 m konzipiert.

Abb. 6: Hochgedämmter Modulkörper im Passivhausstandard

Das Modul beinhaltet alle zur Funktionalität benötigten anlagentechnischen Bestandteile und ist multifunktional erweiterbar.

7.2 Sonstige Baustoffe, Produkte
Wärmedämmverbundsysteme mit Holzfaserplatten im Holzbau

Borimir Radovic

1 Allgemeines

Wärmedämmverbundsysteme (WDVS) gehören zu den Fassadensystemen, so dass sie zunächst alle Anforderungen an diese Systeme, wie z.B. dauerhafter Wetterschutz, klimabedingter Feuchtechutz, baulicher Holzschutz, Brandschutz und Gebrauchstauglichkeit, erfüllen müssen. Außerdem gewährleisten die WDVS eine vollflächige, wärmebrückenfreie Außenwärmedämmung von Außenwänden.

Für die WDVS gibt es zurzeit weder eine europäische Norm noch eine DIN-Norm, so dass die Verwendung von WDVS in Deutschland entweder in einer europäischen Zulassung oder einer allgemeiner bauaufsichtlichen Zulassung des Deutschen Institutes für Bautechnik (DIBt) geregelt werden muss.

Für die in Deutschland im Holzbau verwendeten WDVS muss zurzeit eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung des DIBt vorhanden sein.

Im Vorfeld der erwähnten Zulassung müssen bei den WDVS umfangreiche Prüfungen durchgeführt werden, vor allem in Hinblick auf:

- Dauerhaften Wetterschutz (u.a. Bewitterungsversuche an kompletten Außenwänden in einer Doppelklimakammer)
- Hydrothermisches Verhalten
- Wasseraufnahme des Putzsystems
- Frost / Tauverhalten des Putzsystems
- Haftzugfestigkeit des Putzsystems
- Wasserdampfdurchlässigkeit
- Tragverhalten von Verbindungsmitteln
- Stoßfestigkeit des Wärmedämmverbundsystems
- Brandverhalten

In Abhängigkeit von der Art des verwendeten Wärmedämmstoffes wird unterschieden zwischen:

- WDVS aus Hartschaumplatten mit Kunstharzputz,
- WDVS aus mineralischen Faserdämmstoff mit Kunstharzputz und
- WDVS aus Holzfaserdämmplatten mit mineralischen Putz oder Kunstharzputz.

Im Weiteren werden nur WDVS mit Holzfaserdämmplatten besprochen.

2 Festlegungen im Rahmen von allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen für WDVS mit Holzfaserdämmplatten

Um eine sichere Anwendung zu gewährleisten, wird in den allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen für die WDVS aus Holzfaserdämmplatten Folgendes festgelegt und definiert:

- Zusammensetzung und Eigenschaften von Holzfaserdämmplatten
- Abmessungen der Platten,
- Befestigungsmittel, Art, Anzahl und Anordnung
- Geprüfte und definierte Putze, Armierungsgewebe, Zubehör
- Übereinstimmungsnachweise für WDVS-Komponenten
- Standsicherheitsnachweis,
- Wärmeschutz und klimabedingter Feuchteschutz
- Brandschutz
- Bestimmungen für die Ausführung,
- Herstellung, Verpackung, Transport, Lagerung und Kennzeichnung
- Zeichnerische Systemdarstellungen
- Werkseigene Produktionskontrolle und Fremdüberwachung
- Information für den Bauherren über sachgerechte Ausführung.

3 Komponenten der WDVS mit Holzfaserdämmplatten

Ein WDVS mit Holzfaserdämmplatten besteht aus folgenden Komponenten:

- Hydrophobierte Holzfaserdämmplatte mit einer Rohdichte zwischen 150 kg/m³ und 250 kg/m³
- Befestigungsmittel
- Putzsystem
- Schlussanstrich
- Zubehörteile

Abb. 1: Komponenten eines WDVS mit Holzfaserdämmplatten [1]

3.1 Holzfaserdämmplatten

Holzfaserdämmplatten bestehen zu mindestens 85 % aus Holzfasern und werden entweder im Nass- oder Trockenverfahren hergestellt. Sie müssen der DIN EN 13171: 2009-02 entsprechen. Die Holzfaser werden aus Hackschnitzeln gewonnen, wobei die Hackschnitzel im Vorfeld unter Einwirkung von Wasserdampf aufgeweicht und so für die nachfolgende Zerfaserung vorbereitet werden. Die Zerfaserung erfolgt am häufigsten zwischen profilierten Mahlscheiben aus Metall in einem sogenannten Defibrationsverfahren.

Bei der Herstellung in Nassverfahren werden die in bis zu 98% Wasser aufgeschlämmten Holzfasern auf einer Formmaschine zu einem Faserkuchen geformt. Nach mechanischem Auspressen eines großen Teils des Wassers wird der Faserkuchen auf Länge geschnitten. Anschließend gelangen die Abschnitte des Faserkuchens in einen Trockenkanal, wo sie bei Temperaturen zwischen 160 °C und 220 °C getrocknet werden. Die getrockneten Abschnitte verlassen den Trockenkanal als Holzfaserdämmplatten, die dann auf Format geschnitten und falls erforderlich profiliert werden. Eine Beigabe von Klebstoffen ist nicht erforderlich, da die Holzfaser durch holzeigene Bindekräfte (Lignin) und Verfilzung zusammengehalten werden.

Im Nassverfahren werden die Holzfaserdämmplatten in der Regel mit einer Plattendicke von 20 mm hergestellt. Durch die Verklebung mit einem feuchtebeständigen Klebstoff mehrerer solchen Platten miteinander können dann die für das WDVS gewünschten Plattendicken hergestellt werden.

Abb. 2: Im Nassverfahren geklebte Holzfaserplatten 4 x 20 mm - Gesamtdicke 80 mm [2]

Bei der Herstellung im Trockenverfahren werden die Holzfasern unmittelbar nach der Zerfaserung auf die für die Verklebung erforderliche Feuchte getrocknet und anschließend in einem speziellen Kanal oder Turm mit einem Klebstoff, in der Regel Pur-Harz, versehen. Die mit Klebstoff versehenen Holzfasern werden ausgestreut, auf die gewünschte Plattendicke gepresst und durch ein

Dampf-Luft-Gemisch ausgehärtet. Nach der Aushärtung werden aus dem Plattenstrang die Platten mit gewünschten Längen und Breiten zugeschnitten.

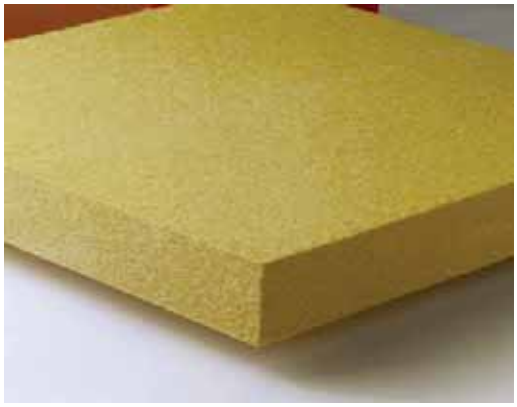


Abb. 3: Im Trockenverfahren hergestellten Holzfaserdämmplatten, Dicke bis 200 mm [1]

Allen, bei den WDVS verwendeten Holzfaserdämmplatten wird während des Herstellungsprozesses ein Hydrophobierungsmittel beigegeben.

Die Wärmedämmung von Holzfaserdämmplatte bewirken die hohlen Holzfasern sowie die Hohlräume zwischen den Holzfasern. Die Wärmeleitfähigkeit der Holzfaserdämmplatten mit λ = 0,04 bis 0,05 W/mK entspricht in etwa der Wärmeleitfähigkeit von Polystyrol- und Mineralfaserplatten. Die deutlich höhere Rohdichte mit rd. 150 - 250 kg/m³ und deutlich höhere spezifischen Wärmekapazität mit rd. 2100 J/kgK gegenüber Polystyrol- und Mineralfaserplatten bewirken eine geringe Temperaturleitzahl á von 3,7 - 4,0 cm²/h, die sich sehr positiv auf den sommerlichen Hitzeschutz und den winterlichen Kälteschutz auswirkt.

In den allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen werden an die Holzfaserdämmplatten folgende Anforderungen gestellt:

- Rohdichte
- Abmessungen der Platten
- Kantenausbildung
- Dickentoleranz
- Druckfestigkeit
- Zugfestigkeit senkrecht zur Plattenebene
- Wasseraufnahme
- Wasserdampf-Diffusionswiderstand
- Wärmeleitfähigkeit
- Brandverhalten

3.2 Übliche Befestigungsmittel

Für die Befestigung von Holzfaserdämmplatten auf die Holzkonstruktion werden in der Regel:

- Breitrückenklammern, Rückenbreite 27 mm, Drahtdurchmesser 2,1 mm,
- Schrauben mit Dübelhülse und
- thermisch entkoppelte Spezialschrauben aus nicht rostendem Stahl verwendet.

Abb.4: Breitrückenklammern

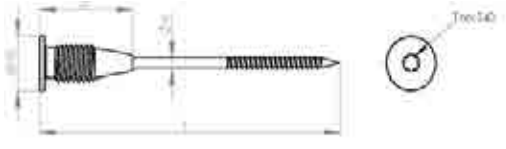


Abb. 5: Spezielle Holzschraube

3.3 Putzsystem

Das Putzsystem besteht aus:

a) 4 - 6 mm dicken Unterputz (Armierungsputz) aus Werktrockenmörtel auf Kalk-Zementbasis mit Zusätzen aus organischen Bestandteilen zur Erhöhung der Haftung und Elastizität und leichten Zuschlagstoffen (Mineralleichtputz)
b) Bewehrung (Armierungsgewebe) aus kunststoffbeschichtetem Glasfasergewebe
c) Haftvermittler aus Wasserglas / Styrol- , Acrilat- Dispersion zur Verbesserung der Haftung zwischen Unter- und Oberputz
d) Oberputz aus mineralischen Putzen oder Silikonharzputzen
e) Schlußanstrich

3.4 Zubehörteile

Bei den Zubehörteilen handelt es sich um Teile, die eine einwandfreie und sichere Anbringung von Holzfaserdämmplatten und des Putzsystems ermöglichen, z.B. Sockelschienen, Kanten- und Fugenprofile und Fugendichtband.

Abb. 6: Aluminium-Sockelschiene [1]

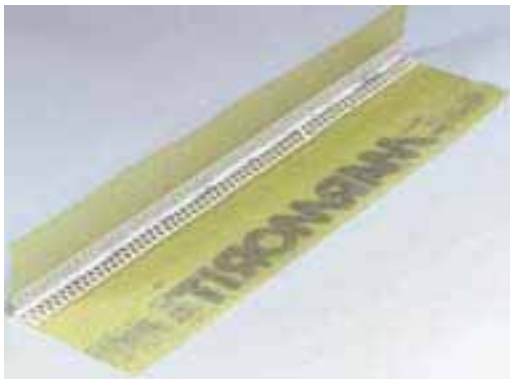


Abb. 7: Kunststoffgewebeschutzwinkel

4 Anbringen von WDVS mit Holzfaserdämmplatten

4.1 Anbringen von Sockelschienen

Um eine reibungslose Verlegung von Holzfaserdämmplatten zu ermöglichen, werden zunächst die Aluminium Sockelschiene an die Unterkonstruktion befestigt.

Abb. 8: Anbringen von Sockelschienen [1]

4.2 Verlegung von Holzfaserdämmplatten

Die Holzfaserdämmplatten können

a) direkt auf Konstruktionshölzer mit mechanischen Verbindungsmitteln,
b) auf Beplankung oder Bekleidung mit Verklebung und
c) auf Beplankung oder Bekleidung mit mechanischen Verbindungsmitteln angebracht werden.

In den meisten Fällen wird die Variante a) angewandt.

Bei der Verlegung von Holzfaserdämmplatten ist auf Folgendes zu achten:

- Platten müssen trocken gelagert und verarbeitet werden
- Die vertikalen Plattenstöße der benachbarten Plattenreihen sind um rund. 20 – 30 cm zu versetzen, Kreuzfugen sind nicht erlaubt
- In Eckbereich von Öffnungen müssen die Platten ausgeschnitten und um die Ecke herumgeführt werden
- Platten sind gegen Hinterlüftung zu schützen
- Platten müssen fugendicht aneinander gestoßen werden
- Auf Wind- und Wasserdichtheit bei den Anschlüssen ist zu achten
- Eventuelle Unebenheiten in der Fläche sind vor dem Verputzen durch Schleifen zu beseitigen
- Montierte Platten sind von direkter Befeuchtung zu schützen

Abb. 9: Befestigung mit Schrauben [2]

4.3 Befestigung von Holzfaserdämmplatten

Die Art, die Anzahl und die Anordnung von mechanischen Verbindungsmitteln müssen der jeweiligen allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung entsprechen.

Die vorgeschriebene Mindesteinschlagtiefe der Befestigungsmittel im tragenden Holzuntergrund, in der Regel 25 mm bei Schrauben und 30 mm bei Breitrückenklammern, muss eingehalten werden.

Schraubenteller sind bündig zur Oberfläche anzubringen. Breitrückenklammern sind etwa 3 mm zu versenken.

Abb.10: Befestigung mit Klammern [2]

4.4 Maßnahmen im Spritzwasserbereich

Die Anwendung des WDVS im Spritzwasserbereich ist nur zulässig, sofern nachgewiesen wird, dass eine Befeuchtung der Holzfaserdämmplatten ausgeschlossen werden kann, z.B. durch Verwendung einer Flexschlemme bei ausreichender Drainage. Anderenfalls sind die Holzfaserdämmplatten in diesem Bereich durch ein anderes geeignetes Material zu ersetzen (Abb. 11).

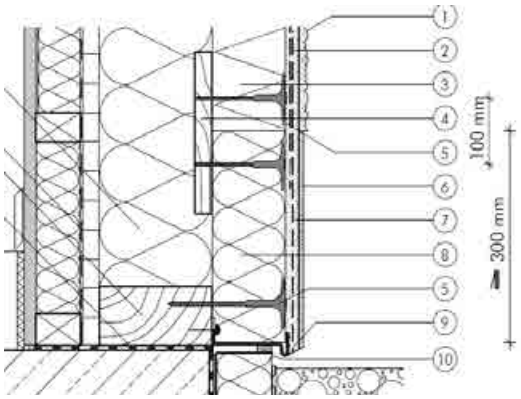


Abb. 11: Perimeterdämmung im Spritzwasserbereich [2]

4.5 Geschossstoß

Im Bereich der Geschossstöße ist die hinter dem WDVS vorhandene Konstruktion so auszubilden, dass keine Verformungen infolge Schwindens, Setzungen oder Lastabtragung auftreten, die zur Bildung von Quetschfugen im WDVS führen könnten. Dies kann durch Verwendung entweder von Randbohlen aus schwindarmen und trockenen Holzwerkstoffen (z.B. Furnierschichtholz oder Furnierstreifenholz) oder durch Anbringung von Stellhölzern mit lotrechter Faserrichtung neben den Deckenbalken erreicht werden. Außerdem sind die übereinander angeordneten Bauteile druck- und zugfest auszubilden.

Die Geschoßstreifen sind passgenau zwischen den vorhandenen Holzfaserdämmplatten einzupressen.

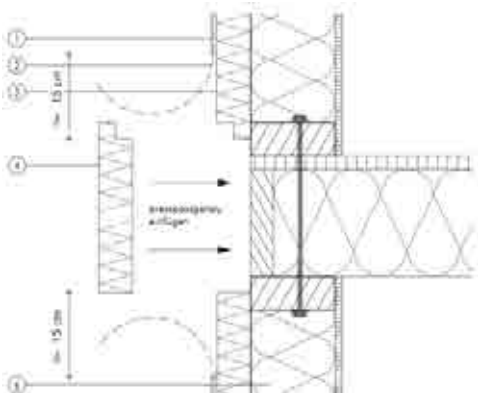


Abb. 12: Geschossstoß mit passenden Streifen aus Holzfaserdämmplatten [2]

4.6 Fensteranschluss

Im Fensterbereich ist vor allem auf einen sicheren Anschluss des Leibungsbereiches an den Fensterrahmen und einen auf Dauer dichten Fensterbankabschluss zu achten.

Abb. 13: Abdichtung im Fensterbereich [2]

Abb. 14: Abdichtung im Fensterbereich [2]

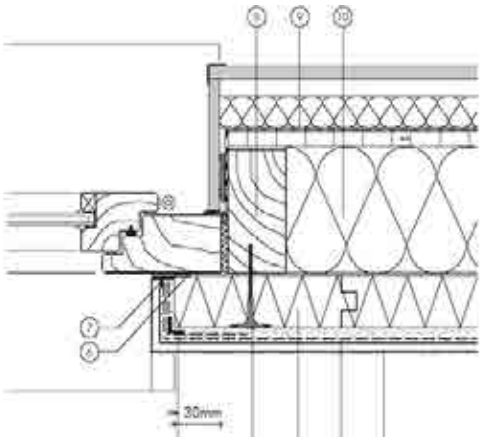


Abb. 15: Anschluss des Leibungsbereiches [2]

Auf einen dichten Anschluss von Rolladenkasten ist ebenfalls sehr zu achten.

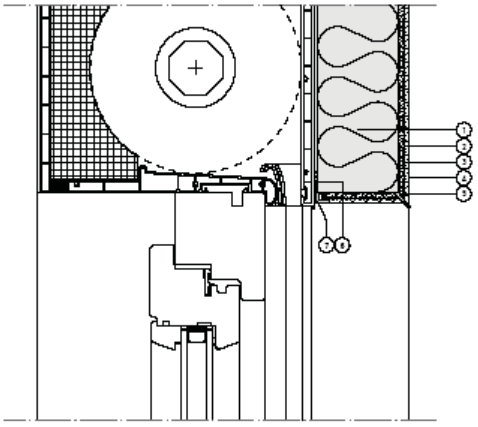


Abb. 16: Dichter Anschluss eines Rolladenkastens [3]

5 Anbringung des Putzsystems auf die WDVS mit Holzfaserdämmplatten

5.1 Vorbereitende Maßnahmen

Um ein intaktes Putzsystem auf Dauer zu gewährleisten, müssen im Vorfeld der Putzarbeiten einige vorbereitende Maßnahmen durchgeführt werden.

Zunächst werden im Bereich des künftigen Anschlusses der Putzebene an die Bauteile in der Regel Kunstoff - Anputzprofile angebracht, um einen rissfreien Anschluss zu erreichen.

In Eckbereichen werden Gewebeeckschutzwinkel in die Armierungsmasse eingebetet.

Abb. 17: Anbringen von Gewebeeckschutzwinkel [2]

An allen Öffnungsecken wird die sogenannte Diagonalarmierung ebenfalls in die Armierungsmasse eingebetet. In der Diagonalarmierung ist eine Zugbewehrung senkrecht zu möglichen Diagonalrissen eingearbeitet.

Abb. 18: Anbringen der Diagonalarmierung [2]

5.2 Putzarbeiten

5.2.1 Aufbringung des Unterputzes und der Armierung

Der Unterputz wird entweder von Hand oder maschinell aufgebracht und anschließend mit einer sehr großen Zahnkelle kalibriert. Danach wird das Armierungsgewebe aufgelegt und mit einem sogenannten Schmetterling oder einer Glättkelle in die Armierungsmasse eingearbeitet bis eine geschlossene Unterputzschicht entstanden ist. Das Armierungsgewebe muss sich im äußeren Drittel des Unterputzes befinden.

Abb. 19: Aufbringung von Unterputz und Armierung [2]

Abb. 20: Aufbringung von Unterputz und Armierung [2]

5.2.2 Aufbringung des Oberputzes

Um die Haftung des Oberputzes zu verbessern, wird vor dem Aufbringen des Oberputzes der Unterputz mit einem Haftvermittler grundiert. Dieser kann auch farblich eingestellt werden.

Die einzelnen Arbeitsschritte sollten nass in nass erfolgen, um eine möglichst gleichmäßige Struktur zu erreichen.

5.2.3 Schlussanstrich

Durch den Schlussanstrich wird ein einheitliches Erscheinungsbild erreicht.

Abb. 21: Haus mit einem WDVS nach dem Aufbringen des Schlussanstriches [1]

6 Weitere Bestimmungen für die Ausführung

Bezüglich einer sicheren Anbringung der WDVS sind in den allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen auch folgende Bestimmungen enthalten:

- Verarbeitungsrichtlinie des Herstellers (Zulassungsinhabers) des WDVS (Technische Dokumentation) müssen beachtet werden
- Die ausführenden Unternehmen müssen durch den Hersteller des WDVS geschult werden
- Bei der Eingangskontrolle muss die ordnungsgemäße Kennzeichnung der Komponenten des WDVS überprüft und bestätigt werden
- Die ausführende Firma muss die sachgerechte Ausführung des WDVS dem Bauherr schriftlich bestätigen

7 Schlussfolgerungen

WDVS mit Holzfaserdämmplatten haben zahlreiche positive Eigenschaften, die für einen deutlich stärkeren Einsatz im Bauwesen sprechen:

- Problemlose Anbringung an Holzrahmen, Massivholzelemente und mineralischen Untergründen
- Diffusionsoffen
- Sehr guter Wetterschutz
- Sehr guter Wärmeschutz
- Sehr guter sommerlicher Hitzeschutz
- Guter Schallschutz
- Robust gegenüber mechanischen Einflüssen
- Wärmedämmstoff aus dem nachwachsenden und ökologisch unbedenklichen Naturprodukt Holz

Quellen

[1] Gutex
[2] Pavatex
[3] Inthermo

8 Vollholz
Inhaltsverzeichnis

8.1 Vollholz

Holz im Vergleich mit anderen Werkstoffen S. 539
Materialmodelle für Holz S. 545
Vom Baum zum Bau oder die Quadratur des Kreises S. 551
Festigkeitsuntersuchungen an Fichtenpressholz (FPH) S. 559
Thermo-hygromechanisches Verformungsverhalten von Pappelholz aus KUP S. 563
Mondholz S. 569
Holz – die innere Optimierung der Bäume S. 573

8.2 Modifiziertes Holz

Modifizierung von Holz S. 583
Acetylierung S. 587
Furfurylierung S. 599
Melaminharzbehandlung S. 605
Holzvernetzung S. 611
Siliziumhaltige Verbindungen S. 619
Thermische Modifizierung S. 625
Modifikation mit holzzersetzenden Pilzen S. 637
DNA Modifikation von Bäumen S. 643

8 Vollholz
Einleitung

In der Praxis sind unterschiedliche Einteilungsordnungen für Baustoffe je nach Zielsetzung und Detaillierung vorzufinden. Ein allgemein gültiges und für alle Zwecke durchgängig anwendbares Ordnungssystem gibt es nicht. Die Unterscheidung nach der stofflichen Zusammensetzung und dem strukturellen Aufbau der Baustoffe eignet sich für eine erste Unterscheidung und Zuordnung. Nach der stofflichen Zusammensetzung werden anorganische und organische Baustoffe unterschieden (Abb. 1).

Anorganische Baustoffe		Organische Baustoffe
mineralische	metallische	
Natursteine, Keramische Baustoffe, Glas, Mörtel, Beton, u.a.	Gußeisen, Stahl, Aluminium, Kupfer, u.a.	Vollholz, Holzwerkstoffe, Bitumen, Teerpeche, Kunststoffe, u.a.

Abb. 1: Baustoffgruppen [www.infoholz.de]

Eine größer werdende Zahl moderner Baustoffe ist als heterogene Mehrkomponenten-Baustoffe zu bezeichnen, die sich in das vorstehende Ordnungssystem nicht immer eindeutig einfügen lassen. Beispiele für solche Bauprodukte sind Stahlbeton, glasfaserverstärkte Kunststoffe, mineralisch gebundene Holzwolle-Leichtbauplatten, Kunstharzmörtel und ähnliche. Die Eigenschaften solcher Baustoffe werden nicht mehr durch den Ausgangsstoff, sondern durch ein vielschichtiges Wechselspiel zwischen den Eigenschaften der Reinkomponenten und deren Mengenverhältnis sowie der gegenseitigen Beeinflussung bestimmt.

Vollholz

Produkte aus Vollholz sind definitionsgemäß solche Holzerzeugnisse, die in ihrem Gefüge nicht oder nur wenig verändert wurden. Damit stehen sie im Gegensatz zu den konstruktiven Holzwerkstoffen, die deutlich stärker in ihrem Gefüge verändert sind. Die Bearbeitung von konstruktiven Vollholzprodukten beschränkt sich auf die Schritte Sägen, Trocknen, Festigkeitssortierung sowie erforderlichenfalls Hobeln, Profilieren, Heraustrennen von Fehlstellen, Keilzinken und Kleben. Die Produkte sind üblicherweise stabförmig und weisen – sofern sie aus mehreren Lagen bestehen – keine Querlagen auf. Allein durch Vergütung des Holzes wie zum Beispiel durch Dämpfen, Trocknen, Imprägnieren oder Verdichten erzeugte Produkte sind keine Holzwerkstoffe.

Ausgewogenes Eigenschaftsprofil

Vollholz verfügt über ein sehr ausgewogenes Eigenschaftsprofil, wird jedoch in nahezu allen Merkmalen von anderen Materialspezialisten übertroffen. Unumschränkt ist seine Umweltfreundlichkeit, sofern diese nicht durch nachträgliche Behandlungen in Frage gestellt wird. Auch der Preis pro Tonne, bei dem selbst eine thermische Verwertung noch in Betracht gezogen werden kann, ist gegenüber vielen heutigen Materialien konkurrenzlos billig. Das Problem von Vollholz sind seine mechanischen Kennwerte, die je nach Dichte und Wachstumsstruktur um etwa eine Größenordnung streuen. Der Vergleich von Bauholz mit faserparallelem Holz ohne Äste und Wuchsunregelmäßigkeiten fördert nochmals beträchtliche Differenzen zutage, so dass das ungenutzte Festigkeitspotenzial von Vollholz sich insgesamt auf reichlich eine Größenordnung beläuft.

Diese erkennbaren Hemmnisse für eine technische Verwendung von Vollholz beschreibt der Beitrag „Vom Baum zum Bau oder die Quadratur des Kreises“ (Peer Haller). Darunter fällt das kleine Festigkeitsspektrum von Vollholz im Vergleich zu den so genannten Strukturwerkstoffen. Hinzu kommen die Richtungsabhängigkeit des Holzes bezüglich seiner mechanischen Eigenschaften – auch Anisotropie genannt – und eine relativ geringe Dauerhaftigkeit gegenüber der Witterung.

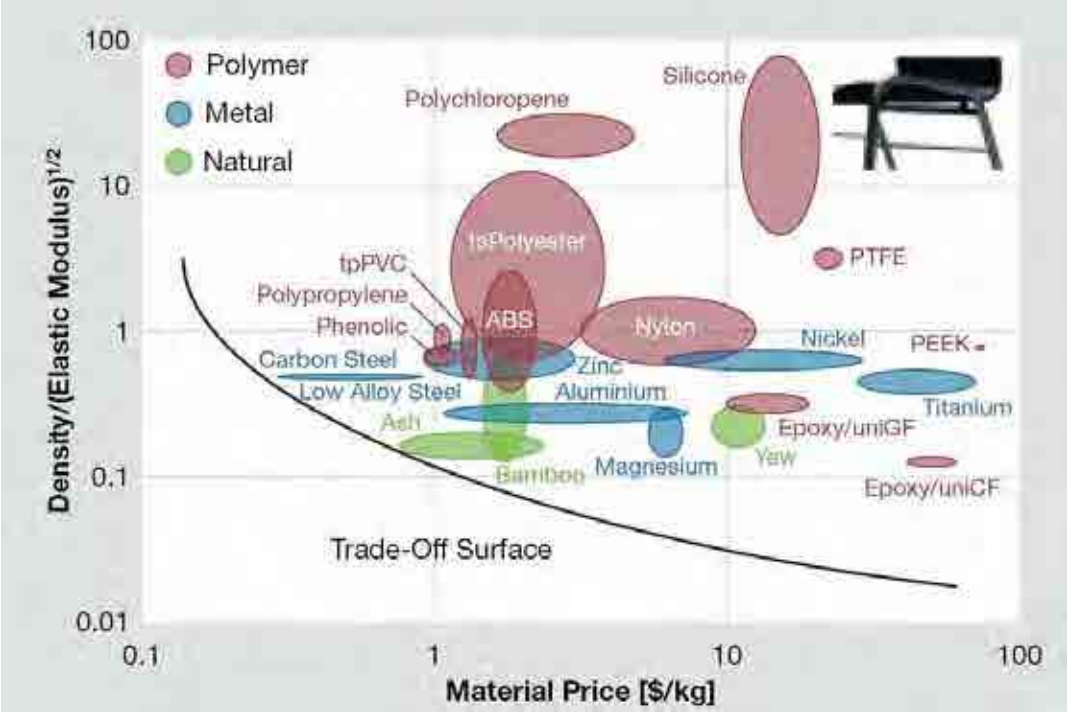


Abb. 2: Trade-off für die Auswahl eines möglichst biegesteifen und leichten Stuhlrahmens in Abhängigkeit vom Materialpreis (nach Ashby 2003).

Trotz dieser Nachteile besitzt Vollholz auch Eigenschaften, die in ihrer Summe einem Werkstoffvergleich durchaus standhalten können. Dies verdeutlicht der Beitrag „Holz im Vergleich zu anderen Werkstoffen“ (Alfred Teischinger), der das Potenzial des Werksstoffes „Vollholz“ im Vergleich zu anderen Werkstoffen zeigt. Das oben stehende Werkstoffdiagrammen (Abb. 2) wurde für ein sehr konkretes Beispiel erstellt: Es zeigt die Auswahlkriterien für einen möglichst biegesteifen und leichten Stuhlrahmen in Abhängigkeit vom Materialpreis. Alle in der Nähe der Trade-off-Linie liegenden Werkstoffe sind dafür besonders geeignet, unter anderem auch die Holzart Esche (Ash).

Änderung der Holzeigenschaften

Welches Baumaterial genommen wird, entscheidet zumeist der Ingenieur und Planer nach technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten. Im Gegensatz zum Handwerk ist der Ingenieur nicht auf ein bestimmtes Material festgelegt. Eine Entscheidung für Holz im Bauwesen bedarf trotz ökologischer Vorzüge vor allem der Stärkung technischer und wirtschaftlicher Argumente. Naturwissenschaft und Technik sollten daher die Voraussetzungen für eine effiziente Nutzung und stärkere Inanspruchnahme dieser Ressource schaffen. Beispiele dafür finden sich in den nachfolgenden Erläuterungen.

Der Eingriff in seine natürlichen Eigenschaften stellt eine Möglichkeit dar, um Vollholz auch im Bauwesen effizienter nutzen zu können. Der Beitrag „Untersuchung vom thermo-hygromechanischen Verformungsverhalten von Pappelholz aus KUP“ (Sonja Ziegler) zeigt, wie der oben aufgeführten Streuung der Festigkeiten von Vollholz wirksam entgegen gearbeitet werden kann. Die Untersuchungen der Pappelhölzer aus Kurzum-

triebsplantagen ergeben eine hervorragende Eignung zur Herstellung von Formholz. Ihre Struktur, geringe Dichte und gleichmäßige Verteilung der Poren sind idealen Voraussetzungen für einen problemlosen technischen Verdichtungs- und Formprozess. Zu ähnlichen Ergebnissen kommt der Beitrag „Festigkeitsuntersuchungen an Fichtenpressholz (FPH)“ (Peer Haller, Jörg Wehsener) für die Holzart Fichte. Insgesamt sind die gewonnen Baustoffe um einiges homogener und fester als vergleichbares Vollholz.

Der Beitrag „Mondholz“ (Institut für Holztechnologie) folgt dem Gedanken, Vollholz zu finden, welches eine geringe Streuung seiner Eigenschaften aufweist. Wissenschaftliche Untersuchungen an Hölzern mit bestimmten Fälldatum konnten bisher keine signifikanten Unterschiede zu jenen Hölzern aufweisen, welche ohne besondere Beachtung des Fällzeitpunktes geerntet wurden. Dies schließt jedoch keineswegs aus, dass so genanntes Mondholz – in größeren Dimensionen als Vollholzbalken eingesetzt – tatsächlich deutlich weniger zu Rissen neigt.

Modifiziertes Holz

Ein erheblicher Eingriff in die natürlichen Eigenschaften stellt die Holzmodifizierung dar. In diese Gruppe gliedern sich Hölzer ein, deren chemischer Aufbau der Holzzellen grundsätzlich verändert wurden. Die Veränderung der chemischen Konstitution des Holzes hat die Absicht, verfahrenstechnische Vorteile oder neue Produkte zu gewinnen, welche zum Beispiel die Dauerhaftigkeit des Holzes erhöhen und die ungeschützte Anwendung im Außenbereich ermöglichen.

Der Einsatz von relativ dimensionsstabilen und dauerhaften Importholzarten aus den Tropen und Subtropen sowie die Behandlung wenig dauerhafter Hölzer mit Bioziden waren in der Vergangenheit die Lösungsansätze der Holzwirtschaft, um den natürlichen Nachteilen von Holz entgegenzuwirken. Allerdings sind in den letzten 20 Jahren sowohl die chemischen Holzschutzmittel mit ihren Wirkstoffen und deren Umweltwirkungen als auch die Bewirtschaftung und der Raubbau der tropischen und subtropischen Wälder in die Diskussion geraten. beschreibt, dass als Folge in manchen Bereichen, wie beispielsweise auf dem Fenstermarkt, eine massive Verdrängung und Substitution des Werkstoffes Holz durch andere Werkstoffe einsetzte.

Dies führte zu verstärkten Aktivitäten seitens der Forschung und Industrie, die Modifizierung einheimischer Hölzer voranzutreiben. Zurzeit ist die thermische und die chemische Modifikation von Holz am Bedeutendsten, da bereits am Markt verfügbar. Noch erforscht werden dagegen die biologische sowie die genetische Modifikation.

Der Beitrag „Modifizierung von Holz“ (Institut für Holzbau) gibt einen tieferen Einblick in die unterschiedlichen Verfahren der Holzmodifikation.

Chemische Modifizierung

Bislang wurden diverse wissenschaftliche Ansätze gewählt, um die Holzzellwand mit chemischen Substanzen zu modifizieren. Bei der chemischen Modifizierung werden vor allem die Hydroxylgruppen in der Zellwand durch funktionelle Gruppen der mit dem Holz reagierenden Chemikalie ersetzt. In dieser Studie werden folgende chemische Modifikationsverfahren in jeweiligen Einzelbeiträgen näher beschrieben: Die Acetylierung, die Furfurylierung, die Behandlung mit Melaminharz, die Holzvernetzung sowie die Behandlung mit siliziumhaltigen Verbindungen.

Ende 2008 wurde in den Niederlanden eine Schwerlastbrücke (siehe Abbildung 3) aus acetyliertem Holz errichtet, welche als Meilenstein für die Nutzung modifizierten Holzes gelten darf. Die prognostizierte Nutzungsdauer der aus neuseeländischer Kiefer bestehenden Brücke liegt ca. bei

80 Jahren. Das Verfahren der Acetylierung beschreibt ein gleichnamiger Beitrag des Instituts für Holzbau. Beim Acetylierungsverfahren werden die Hydroxylgruppen in der Zellwand durch Essigsäureanhydrid in Acetylgruppen überführt. Durch diesen Prozess verändert sich die Fähigkeit des Holzes zur Aufnahme bzw. Abgabe von Wasser, da sich Acetylgruppen im Gegensatz zu Hydroxylgruppen hydrophob (Wasser abweisend) verhalten. Mittlerweise existieren diverse Anlagen zur Acetylierung von Holz, welche auch auf die Wirtschaftlichkeit dieses Verfahrens hinweisen.

Die Acetylierung hat allerdings den Nachteil, dass Metallverbinder innerhalb des Holzes von der Essigsäure angegriffen werden. Verwiesen wird in diesem Zusammenhang auf den Beitrag „10.1 Korrosionsverhalten von Baumetallen bei Holzkontakt“ (Beate Gläser, Dirk Kruse, Norbert Rüther). Im Falle der niederländischen Brücke schützt ein Epoxydharz jene Gewindestangen, welche für die Aufgabe der Querzugbewehrung in das Holz eingeklebt wurden. Auch für die außen liegenden bzw. das Holz berührenden Stahlteile wurden besondere Vorkehrungen getroffen: Sie sind feuerverzinkt und zusätzlich mit einem dreischichtigen Korrosionsschutzanstrich versehen.

Abb. 3: Brücke in Sneek, NL, chemisch modifiziertes Holz ohne konstruktiven Holzschutz

Ähnliche Holzeigenschaften wie bei der Acetylierung erhält man bei der Furfurylierung. Ein entsprechender Beitrag „Furfurylierung“ (Institut für Holzbau) liegt ebenfalls dieser Studie bei. Dieses Verfahren verbessert hauptsächlich die Festigkeitseigenschaften und die Dauerhaftigkeit durch eine erhöhte Dimensionsstabilität und Pilzresistenz. Furfuryliertes Holz ist so gut wie instandhaltungsfrei und zeichnet sich dadurch für den Einsatz im Freien aus. Bei frei bewitterten Hölzern wird von einer Haltbarkeit von 30 Jahren ohne Wartung ausgegangen. Durch die Kombination aus erhöhter Abriebfestigkeit, Widerstandsfähigkeit gegen Meeresorganismen und Meerwasser und seiner dunklen Farbe wird furfuryliertes Holz bereits im Yachtbau eingesetzt. Der Einsatz als Konstruktionsholz beschränkt sich bisher auf den Bau von Schallschutzwänden, Uferbefestigungen u.ä.. Die Verwendung des Holzes für tragende Bauteile ist derzeit allerdings noch nicht bekannt.

Drei weitere Verfahren chemischer Modifikation, die jeweils in einem Beitrag beschrieben werden, beziehen sich auf die Behandlung mit siliziumhaltigen Verbindungen, mit Kunstharz sowie mit Melaminharz. Die Einbringung siliziumhaltiger Verbindungen in das Holz ist derzeit auf Laborversuche begrenzt, jedoch wird an dem Ziel der industriellen Umsetzung gearbeitet. Versuche mit künstlich bewitterten Proben zeigten zwei Effekte: Zum einen wird ein Schutz vor schneller Vergrauung im Außenbereich erreicht, zum anderen wird eine Rissbildung verzögert. Ein anderer Versuch bei behandeltem Kiefernholz zeigte, dass sich der Masseabbau durch Holz zerstörende Pilze um mindestens 60 % gegenüber unbehandeltem Holz verbesserte.

Durch die Behandlung mit Kunstharz wird eine so genannte Holzvernetzung induziert, auch bei diesem Verfahren werden die reaktiven Moleküle der Zellwand hydrophobiert. Versuche mit Buche im Außenbereich stehen allerdings erst am An-

fang. Auch Versuche der Tränkung mit Melaminharz sind noch in den Anfängen: Die Harzbehandlungen zielen dabei auf den kombinierten Effekt, dass sich bei optimierten Prozessbedingungen die Resistenz des Holzes deutlich verbessern lässt und sich zugleich einige andere wichtige Holzeigenschaften wie z.B. Dimensionsstabilität oder Lichtstabilität erhöhen. Proben entsprechend behandelter Kiefer behielten etwa ein Jahr lang ihre ursprüngliche, fällfrisch-helle Farbe. Da jedoch im Außenbereich die Gefahr der erhöhten Rissbildung besteht, wird der Einsatz im Innenbereich, zum Beispiel als Parkett, empfohlen.

Thermische und biologische Modifizierung

Thermisch modifiziertes Holz wird bei Temperaturen über 160 Grad C hergestellt bei reduzierter Sauerstoffkonzentration. Dadurch ist sie eine Teilpyrolyse in sauerstoffarmer Atmosphäre, die zu einem Abbau der Hemizellulose führt, aber auch zum Abbau der Cellulose- und Ligninbestandteile des Holzes. Mittlerweile liegt für thermisch modifiziertes Holz eine europäische technische Spezifikation vor, die 2008 eingeführt wurde. Diese zeigt auch, wie weit sich mittlerweile die Behandlungsart vor allem im europäischen Raum verbreitet hat.

Ein entsprechender Beitrag des Instituts für Holzbau beschreibt die Einsatzbereiche und Eigenschaften thermisch modifiziertes Holzes näher. Danach bietet es sich vor allem als Parkett- und Fußbodenbelag sowohl im Außen- als auch im Innenbereich an. Auf Grund der hohen Dimensionsstabilität und Dauerhaftigkeit kann es in Bereichen mit hohen Feuchtewechseln eingesetzt werden. Nach einer Studie der ETH Zürich findet es überwiegend Verwendung im Garten- und Landschaftsbau (52 %) und als Fassadenbekleidung (29 %). Eher gering ist die Verwendung im Innenausbau (7 %), Industriebau (3 %), Möbelbau (3 %), Saunabau (2 %) oder als Fenster und Türen (1 %). Verwiesen sei hier auch auf die Beiträge „Verklebung von Thermoholz“ (Thomas Schnider) und „Verklebung von wärmebehandeltem Buchenholz“ (Thomas Schnider, Peter Niemz, Andreas Hurst) in Kapitel 10.

Zuletzt sei als biologische Modifikation von Holz die Änderung der Erbmasse auf Grund genetischer Züchtungen genannt. Der Beitrag „DNA Modifikation von Bäumen“ (Institut für Holzbau) nimmt hierzu näher Stellung. Danach konzentriert sich die Forschung auf die Steigerung der Biomasseproduktion und Veränderungen der Holzstruktur, um im Wesentlichen die Ligninzusammensetzung und den Ligningehalt des Holzes - was insbesondere für die Papierindustrie interessant ist - zu beeinflussen. Vor allem die schnell wachsende Pappel ist im Fokus der Forschung, das Produktionsziel ist vor allem die Zellstoffherstellung, weniger der Einsatz als Bauholz.

Insgesamt zeigen die teilweise bereits großtechnisch realisierten Verfahren der Holzmodifikation, dass man innerhalb der letzten 20 Jahre in Deutschland und Europa dem Verzicht sowohl auf chemische Holzschutzmittel als auch auf tropische Hölzer ein gutes Stück näher gekommen ist. In Bezug auf die deutlich verbesserten Festigkeiten und Dauerhaftigkeiten ist dem modifizierten Holz auch im Baubereich ein hohes Entwicklungspotenzial zu bescheinigen, das es durch praxisnahe Forschung weiterhin zu unterstützen gilt.

8.1 Vollholz
Holz im Vergleich mit anderen Werkstoffen

Alfred Teischinger

Holz zählt zu den vielseitigst einsetzbaren Bau- und Werkstoffen und entfaltet somit in der Gesamtheit seiner Eigenschaften einen Werkstoff der Superlative. In einzelnen Kennwerten bzw. Anwendungen liegt Holz jedoch oftmals weit hinter den konkurrierenden Werkstoffen zurück, weshalb es selbst in typischen Anwendungsbereichen durch moderne synthetische Werkstoffe substituiert wird. Durch die Entwicklung moderner und innovativer Holzwerkstoffe kommt es gleichzeitig wieder zu einer teilweisen Rücksubstitution. In Werkstoffdiagrammen nach Ashby kann für bestimmte Zielfunktionen der optimale Werkstoff identifiziert werden und es wird gezeigt, wo Holz sein Potenzial zur vollen Entfaltung bringt.

1 Einleitung

Eine historische Betrachtung der Nutzung von Werkstoffen zeigt, dass sich im Zuge der technologischen Entwicklung einer Gesellschaft die Bedeutung einzelner Werkstoffe oft dramatisch verändert hat. Gerade am Beispiel des Baustoffes Holz zeigt sich, dass seine relative Bedeutung als Baustoff für tragende Zwecke im Vergleich zu den anderen Baustoffen in den letzten Jahrhunderten stark zurückgegangen ist. Erst in allerjüngster Zeit, zeigt sich aufgrund holztechnologischer Innovationen und der steigenden Bedeutung nachwachsender Rohstoffe wieder eine deutliche Steigerung des Einsatzes von Holz und damit auch eine Rücksubstitution des Werkstoffes für bestimmte Einsatzbereiche. Ein günstiges Preis-/Leistungsverhältnis spielt dabei nach wie vor eine entscheidende Rolle.

Es gibt verschiedene Zugangsweisen, Bau- und Werkstoffe miteinander zu vergleichen. Das Problem dabei ist, dass in der Regel nur eindimensionale Bezugsgrößen bzw. Vergleiche angestellt werden wie Materialpreis pro Masse oder Volumen. Wesentlich komplexer fällt der Vergleich aus, wenn eine bestimmte Funktion oder Leistung angesprochen wird, wie zum Beispiel eine bestimmte Festigkeit, Steifigkeit, Wärmedämmung etc. Aus dem täglichen Umgang mit den Werkstoffen, ihrer Verbesserung oder gar Neuentwicklung (Stichwort Kunststoffe etc.) haben die einzelnen Werkstoffgruppen wie metallische Werkstoffe, mineralische Werkstoffe und Glas, Kunststoffe, natürliche Werkstoffe wie Holz etc. ihren Platz für bestimmte Einsatzzwecke gefunden. Durch Verbesserungen und Neuerfindungen von Werkstoffen bzw. Werkstoffverbunden kommt es laufend zu Substitutionen von Werkstoffen (z.B. Glasflasche durch PET-Flasche oder Tetra Pak, Holzrahmen bei Stühlen durch Leichtmetallrahmen, Fensterrahmen aus Holz durch Kunststoff bzw. Holz-Alu-Verbunde etc.).

Die Substitutionsvorgänge können dabei unterschiedlich schnell verlaufen. Der Substitutionsvorgang des konventionellen Fensterrahmens aus Holz verläuft vergleichsweise langsam gegenüber der Substitution des Glas- oder Metallgebindes aus PET oder des Karton-, Kunststoff- und Metallverbundes (Tetra Pak) bei einer Vielzahl von Getränkearten.

2 Die globale Bedeutung einzelner Werkstoffe

Aus globaler Sicht betrachtet sind Holz und Holzwerkstoffe nach wie vor von entscheidender Bedeutung für die Materialbereitstellung der einzelnen Gesellschaften (Tab. 1). Mit der wachsenden Weltbevölkerung auf eine geschätzte Zahl von ca. 9 Milliarden Menschen im Jahr 2040, dem zunehmenden Wohlstand und Nachholbedarf der Menschen in den Schwellenländern, kommt es sowohl beim Energiebedarf wie auch beim weltweiten Materialbedarf zu hohen Zuwachsraten, wobei derzeit vor allem Stahl, Zement, Aluminium wie auch Kunststoffe überproportionale Zuwachsraten haben, die teilweise nur durch ent-

sprechend hohe Recyclingraten abgefedert werden können (Tab. 1). Der Werkstoff Holz gerät neben einer derzeit eher bescheidenen Recyclingquote zunehmend in ein Spannungsfeld von stofflicher und energetischer Nutzung sowie zumindest regional limitierter Verfügbarkeit, worauf seitens der Holzwirtschaft schon jetzt durch vorausschauende strategische Nutzungskreisläufe reagiert werden müsste [6, 7, 8].

Tab.1: Jährliche globale Produktion verschiedener Werkstoffe mit aktuellen Recyclingraten sowie Wachstumsraten [[4] sowie verschiedenen Internetquellen]

	Produktion Mt/Jahr	Recyclingrate	Wachstumsrate[1)]
Rundholz (stofflich genutzt)	1 352	n.i.	n.i.
Schnittholz und Holzwerkstoffe	450	WE 13%	2,5 %
Papier und Karton	480	WE 63%, US 53%, WW 37%	2,7%
Kunststoffe	280	WE 35%, 54% rsp.	6,3%
Zement	2 290	n.i.	4,3%
Rohstahl	1240	WW 42%	6 – 9%
Aluminium	32	WE 34%, US 45%	7%
Glas	137	WE 64%	n.i.

WE Westeuropa, WW Weltweit, US United States of America
1) Die angeführten Wachstumsraten beziehen sich auf Statistiken für den Zeitraum 2005 – 2007. Durch die aktuelle weltweite Wirtschaftskrise sind diese Wachtumsraten für bestimmte Werkstoffgruppen derzeit deutlich geringer

3 Methoden eines allgemeinen Werkstoffvergleiches

Es ist nicht immer ganz einfach, Werkstoffe miteinander zu vergleichen und daraus dann eine Entscheidung für den Einsatz eines bestimmten Werkstoffes abzuleiten. Dies hängt auch davon ab, auf welcher Ebene man die Werkstoffe untereinander vergleichen will. Eine generelle Struktur für die Bewertung von Werkstoffen bietet (Abb. 1), in dem werkstoffspezifische Eigenschaften (Festigkeit, Steifigkeit, Dichte, Wärmeleitfähigkeit etc.) und attributive Eigenschaften wie Verfügbarkeit, Preis, Verarbeitungseigenschaften etc. unterschieden werden. Zusätzlich wird eine ökologische Bewertung der Werkstoffe immer wichtiger, die für die Werkstoffauswahl letztendlich von der jeweiligen gesellschaftlichen Verantwortung und deren Standards abhängt. Diesbezügliche Aktivitäten im CEN TC 350, generelle Standards für die ökologische Bewertung von Baustoffen zu erarbeiten gehen in die richtige Richtung.

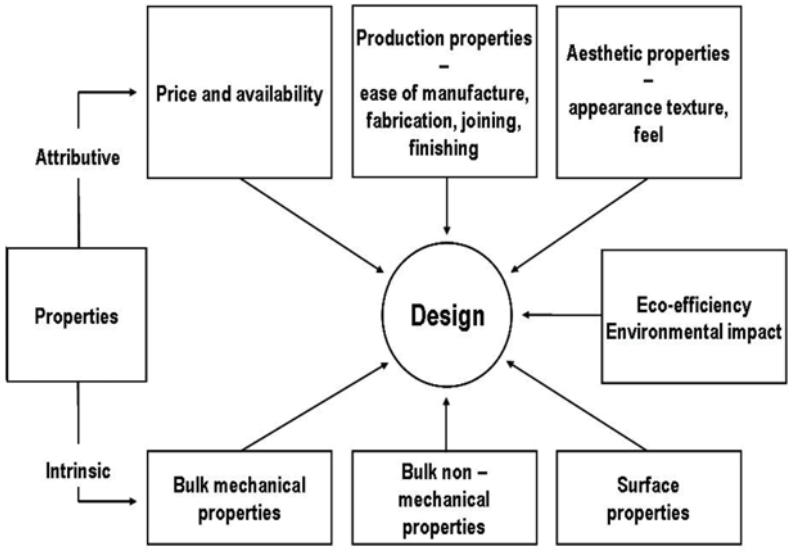


Abb. 1: Struktur der Werkstoffauswahl für ein Productdesign [3]

Will man Werkstoffe für einen speziellen Einsatz bewerten, dann eignen sich die Werkstoffdiagramme von Ashby (2003) für eine erste Abschätzung der Leistungsfähigkeit der einzelnen Werkstoffe. Dabei können entweder bestimmte Zielfunktionen gebildet werden (z.B. eine höchstmögliche Säule, Abb. 2) oder ein Trade-off (leichtester und dennoch biegesteifer Stuhlrahmen bei entsprechender Kostenbetrachtung, Abb. 3), um ein Materialscreening durchzuführen. Das eher theoretisch anmutende Beispiel einer höchst möglichen Säule (Abb. 2) ist durch die Funktion E/ρ^2 = const. bestimmt und zeigt die Leistungsfähigkeit der Werkstoffe in Hinblick auf ihre Steifigkeit im Verhältnis zur Dichte. Holz nimmt dabei eine überragend gute Stellung ein.

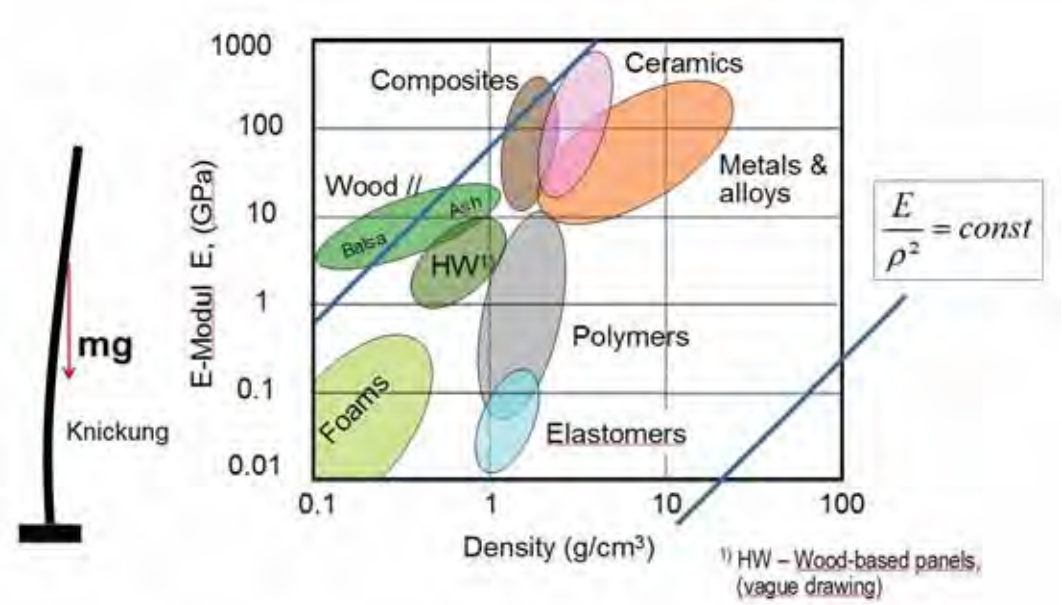


Abb. 2: Werkstoffauswahl für eine bestimmte Zielfunktion (im vorliegenden Beispiel: höchstmögliche Säule) [2]

Alle Werkstoffe, die auf der nach der Gleichung E/ρ^2 = const. generierten Funktion (hier blaue Linie) liegen, zeigen für diesen Fall dieselbe Eignung.

Diese Werkstoffdiagramme von Ashby können nach bestimmten Zielfunktionen, unter anderem auch nach der Kostenstruktur der einzelnen Werkstoffe oder für eine bestimmte Zielfunktion (zum Beispiel biegesteifer und möglichst leichter Rahmen) aufgelöst werden.

Im Sinne eines ökologischen Vergleiches ist zwar durch den ISO Standard 14044 die Methode der Ökobilanzierung von Produkten standardisiert, dennoch ergeben sich bei der Bewertung und dem Vergleich von Baustoffen, Bauteilen und den daraus erzeugten Bauwerken noch große Unsicherheiten in einer allgemein anerkannten vergleichenden Bewertung. Gerade für den Baustoff Holz liegen jedoch bereits eine Vielzahl von Studien und Kenndaten auf Basis von Ökobilanzen usw. vor [1]. Dabei steht fest, dass der Baustoff Holz nicht nur in seiner Herstellung im Vergleich zu anderen Baustoffen deutlich weniger Energie benötigt (und damit CO_2 frei setzt), sondern dass die stoffliche Nutzung von Holz über einen möglichst langen Zeitraum eine effektive Kohlenstoffsenke darstellt. (Abb. 3 und 4)

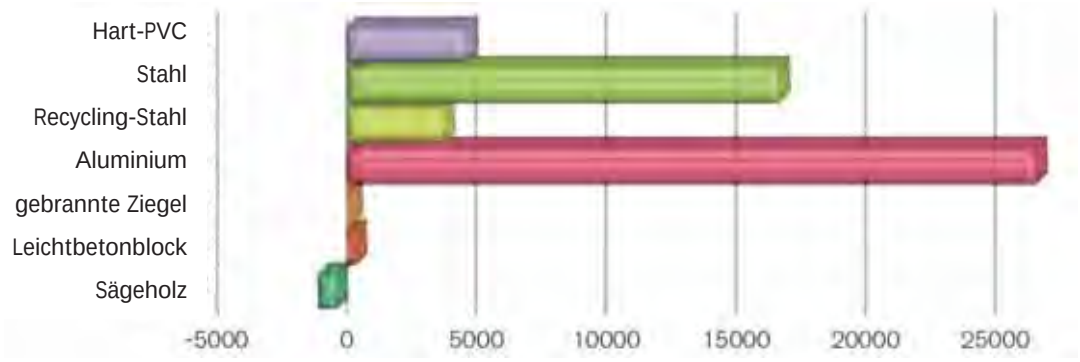


Abb. 3: Vergleich des CO_2 Ausstoßes verschiedener Werkstoffe als Nettoemissionen (CO_2 äquivalente Emissionen) einschließlich des Kohlenstoffsenkeneffekts. Nach RTS-Umweltbericht über Baustoffe 2000 – 2001, übernommen [1]

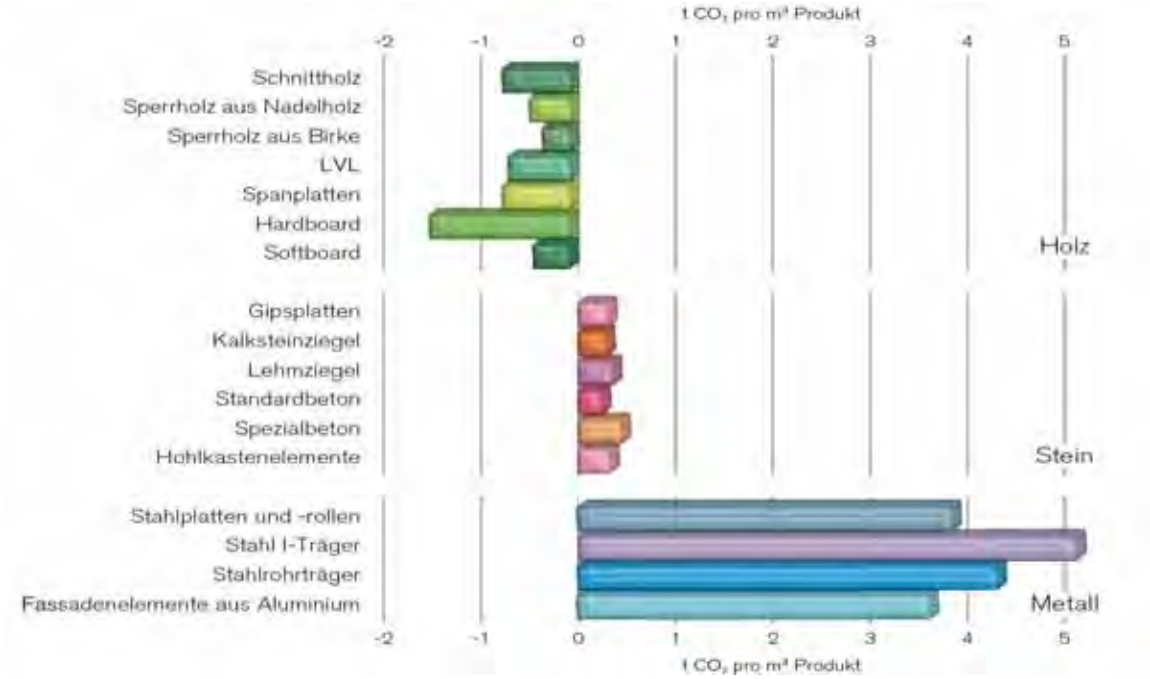


Abb. 4: Netto CO_2 Emissionen von Baustoffen während der gesamten Nutzungsdauer. Nach RTS Building Information Foundation, [1]

4 Herausforderungen an die Zukunft

Gerade als Massenbau- und Werkstoff wird Holz seine Rolle in Zukunft mehr denn je gegenüber mineralischen Baustoffen, metallischen Bau- und Werkstoffen sowie Kunststoffen verteidigen müssen. Die Geschwindigkeit der Werkstoffsubstitutionen ist dabei enorm. Ein Werkstoff-Engineering und verbesserte Verarbeitungstechnologien, insbesondere auch im Bereich der Holzsortierung, sind wesentliche Eckpfeiler für den Erhalt der Wettbewerbsfähigkeit des Werkstoffes Holz. Dabei ist zwischen dem Werkstoffeinsatz für tragende Zwecke und für nicht tragende Zwecke zu unterscheiden. Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde mit Holz werden in Zukunft eine wesentliche Rolle spielen und in den einzelnen Forschungslabors kann man bereits interessante Entwicklungen für neue Verbundwerkstoffe auf Basis Holz erkennen wie Hochleistungswerkstoffe, Holzkunststoffverbundwerkstoffe (WPC) mit entsprechenden direkten Formgebungstechnologien, Sandwichstrukturen usw.

Im globalen Kontext zeigt sich, dass Ressourceneffizienz zu einem wichtigen Faktor entwickeln wird und die Rohstoffkonkurrenz zwischen stofflicher und energetischer Nutzung ist aus heutiger Sicht vor allem durch eine sinnvolle Nutzungskaskade zu lösen (Abb. 5), wobei versucht werden soll, möglichst hohe Anteile des Rohstoffes Holz sowie der bei der Verarbeitung anfallenden Koppelprodukte einer stofflichen Nutzung zuzuführen. Werkstoff- und Productdesign müssen jedoch auf eine stoffliche Rückführung und eine spätere energetische Nutzung ausgerichtet sein.

Dass die Holzwirtschaft auf diesem Gebiet noch viel aufzuholen hat, zeigen die zusammenfassenden Ergebnisse der COST Action E 31 „Management of Recovered Wood“ [5]. Neben dem Werkstoff- und Productdesign sind dabei vor allem auch Managementsysteme für die Altholzaufbereitung und Rückführung zu entwickeln.

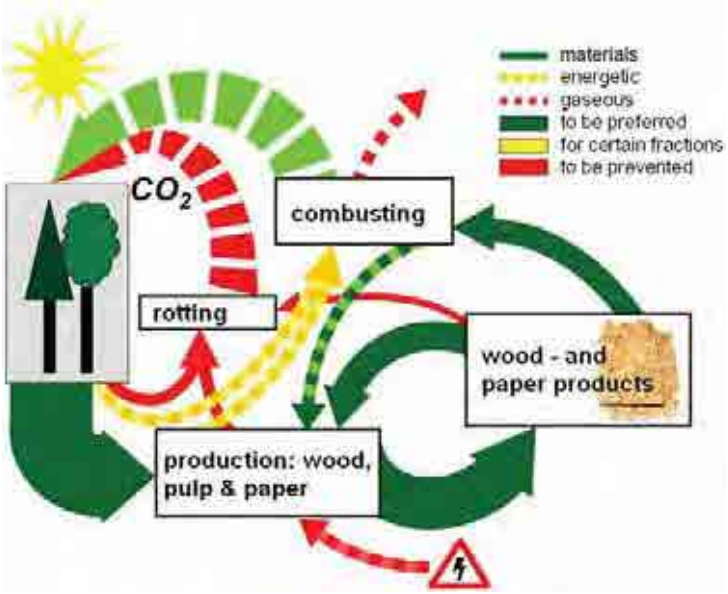


Abb. 5: Optimale Nutzungskreisläufe für den Rohstoff Holz im Sinne einer Nutzungskaskade mit der stofflichen Nutzung als erster Kaskade und letztendlicher energetischer Nutzung [6]

Quellen

[1] Dem Klimawandel mit Holz entgegnen. CEI Bois, Brüssel. www.cei-bois.org

[2] Ashby, M.F. 2003: Materials selection in mechanical design. Butterworth Heinemann, Oxford, 2003

[3] Ashby, M.F., Jones D.R.H., 2005: Engineering Materials 1. An introduction to properties, applications and design. Elsevier Butterworth-Heinemann, Oxford

[4] Dewulf, J., Van Langenhove, H., 2006: Renewables-Based Technologies. John Wiley & Sons, Ltd, Chichester 2006

[5] Gallis, C. (ed.), 2007: 3rd European COST E31 Conference. Management of Recovered Wood. Proceedings, Klagenfurt, Austria 2007, University Studio Press, Thessaloniki

[6] Teischinger, A., Müller, U., 2007: Ressourcenverknappung in der Holzwirtschaft als Herausforderung für Technologie und Innovation. LIGNOVISIONEN Band 16, Universität für Bodenkultur Wien, ISSN 1681-2808

[7] Teischinger, A., 2007: Wood and competing materials. In: IUFRO & The Chinese Forest Products Assoc., Eds., IUFRO, All Division 5 Conference, Forest Products and Environment: A Productive Symbiosis, IUFRO Vienna, IUFRO All Division 5 Conference. Forest Products and Environment: A Productive Symbiosis, October 29th - November 2nd, 2007, Taipei, Taiwan, 10-12

[8] Teischinger, A., 2008: Werkstoffvergleich Holz. In: Schweizer Arbeitsgemeinschaft für Holzforschung/SAH (Hrsg.), Holzforschung Schweiz, SAH c/o LIGNUM, Zürich, SAH Statusseminar, 19.03.2008, EMPA Akademie, Duebendorf, 1-3; ISSN 1662-6168

8.1 Vollholz
Materialmodelle für Holz

Thomas Tannert, Till Vallée

Einführung

Im traditionellen Holzbau kamen nur stabförmige Tragelemente für die Aufnahme von Normalkräften oder Biegemomenten zum Einsatz, für die universell einsetzbare analytische Berechnungsverfahren verfügbar sind. Zahlreiche im modernen konstruktiven Holzbau eingesetzte Werkstoffe (Brettschichtholz, Schichtholz, Brettstapel) ermöglichen flächige Bauteile und beliebig gefügte Querschnitte (T-, I- Hohlkasten, blockverleimte Querschnitte). Für diese in zunehmendem Maße eingesetzten zweidimensionalen Tragelemente sind zur Berechnung des Spannungen und Deformationen nicht immer analytische Verfahren vorhanden, sondern es müssen numerische Methoden eingesetzt werden. Auch im Bereich von Verbindungsmitteln und immer komplexer werdenden Anschlüssen treten mehrdimensionale Beanspruchungszustände und Spannungsspitzen auf, welche den Einsatz numerischer Verfahren erfordern.

Um Aussagen über das Tragverhalten von solchen Bauteilen treffen zu können, müssen Materialmodelle formuliert werden, welche das reale physikalische Verhalten von Werkstoffen auch über die Grenzen der Elastizitätstheorie hinaus beschreiben. Schnittgrößen und Verschiebungen ausschließlich nach der linearen Elastizitätstheorie zu bestimmen ist oft unbefriedigend, da die Berücksichtigung der plastischen Verformbarkeit zu duktilen und wirtschaftlicheren Tragwerken führen kann. Grundlage für die Anwendung numerischer Verfahren sind geeignete Materialmodelle, welche das Trag-, Verformungs-, Bruch- und Nachbruchverhalten von mehrachsig beanspruchten Bauteilen zuverlässig beschreiben. Die Defizite an werkstoffmechanischem Grundlagenwissen im Hinblick auf das Verhalten von Holz bei komplexen Beanspruchungen begründete die Forschung zur Erweiterung des Materialverständnisses von Holz und seiner mathematischen Beschreibung, unter anderen an der TU Wien [1–6], der Bauhaus-Universität Weimar [7–8] und der Universität Leipzig [9–10].

Grundlagen zur Materialmodellierung

Numerische Methoden führen zu Näherungslösungen von analytischen Problemen, für die mittels analytischer Ansätze keine Lösungen formuliert werden können. Es gibt verschiedene numerische Methoden, unter anderem die Finite Elemente Methode (FEM), Finite Differenzen Methode, Diskrete Elemente Methode und Material Punkt Methode [11],[12]. Jede dieser Methoden hat Vor- und Nachteile, auf die hier nicht eingegangen werden kann. Die FEM ist die am weitesten verbreitete Methode um das Trag- und Verformungsverhalten von Bauteilen rechnerisch zu beschreiben; diese Methode bietet die Möglichkeit, die Anzahl von Versuchen zu reduzieren, und nach Anschluss der experimentellen Modellkalibrierung und Verifizierung können Last-, Lager- und Randbedingungen im Modell variiert werden.

Ein Materialgesetz verknüpft Spannungen mit Verformungen und ist damit die Grundlage der Berechnung der Verformung von Körpern. Materialgesetze werden unterteilt nach der Dimension des Spannungszustands den sie beschreiben (1D, 2D oder 3D) und danach, welchen Spannungs-Dehnungs-Verlauf bei Be- und Entlastung das Material aufweist. Ist ein Materialgesetz ideal elastisch und linear, so spricht man von linear ideal elastischen Verhalten; diese ideale Elastizität gilt nur in gewissen, technisch nutzbaren Bereichen. Eine Abweichung von diesem Zusammenhang kann z.B. durch Überschreiten der Elastizitätsgrenze bei mechanischer Beanspruchung hervorgerufen werden.

Für Holz gilt unabhängig von der Beanspruchungsart oder -richtung, dass nach Überschrei-

tung einer Elastizitätsgrenze bleibende Schädigungen auftreten. Bei verschiedenen Beanspruchungsmodi ist im postkritischen Bereich eine Entfestigung zu verzeichnen, die mit Mitteln der Kontinuumsmechanik auf Grundlage der Plastizitätstheorie berücksichtigt werden kann. Holz besitzt weiterhin ein ausgeprägtes zeit- und feuchteabhängiges Verhalten, bei dem sowohl verzögert elastische als auch irreversible Verformungen auftreten. Bei Vernachlässigung von Temperatureinflüssen sowie zeitabhängigen Eigenschaften reduzieren sich die unter einer einwirkenden Belastung resultierenden Dehnungen des Materials auf einen elastischen sowie unmittelbar auftretenden plastischen Anteil: Während der elastische Anteil relativ einfach berechnet werden kann, existieren gemäss Plastizitätstheorie drei konstitutive Beziehungen, mit deren Hilfe das irreversible Festigkeitsverhalten von realen Stoffen mathematisch beschrieben wird: (i) Fließkriterium, (ii) Fließregel und (iii) Verfestigungsvorschrift.

Holz als Roh- und Werkstoff

Holz ist ein inhomogener und anisotroper Werkstoff. Seine mechanischen Eigenschaften werden vorwiegend durch die Holzart, Rohdichte und Holzfeuchte bestimmt. Holz ist ferner mit makroskopischen Inhomogenitäten, wie Ästen, Rissen und Faserabweichungen, durchzogen. Diese beeinflussen nachhaltig und oftmals nachteilig die mechanischen Eigenschaften des Werkstoffs. In den meisten Modellen werden derartige Inhomogenitäten jedoch vernachlässigt und es wird von makroskopisch homogenem Material ausgegangen. Alternativ können basierend auf der klassischen Kontinuumsmechanik sowohl die mechanischen Eigenschaften des Materials als auch Inhomogenitäten verschmiert werden. Mit diesem Ansatz wird z.B. ein Riss oder eine andere Materialdiskontinuität nicht diskret abgebildet, sondern durch seine Auswirkung auf das Spannungs-Dehnungs-Verhalten beschrieben.

Holz wird durch materielle Eigenschaften über einen Abschnitt der Längenskala beeinflusst, der sich von den makroskopischen Wachstumseigenschaften bis zum molekularen Niveau erstreckt [13]. Es können fünf Skalen unterschieden werden: (i) makroskopische Skala, (ii) Jahrringskala, (iii) Zellstruktur, (iv) Zellwandebene, und (v) Molekülebene [2]. Die komplexe Struktur erfordert für eine umfassende Beschreibung des Materialverhaltens eine Anpassung an die betrachtete Größenordnung. Die durch den zellulären Bau bedingten anatomischen Unterschiede in Faser-, Radial- und Tangentialrichtung spiegeln sich prinzipiell in den elastischen Eigenschaften des Holzes [14].

Auf makroskopischer Ebene wird meist orthotropes Verhalten bezüglich der natürlichen Achsen des Holzes unterstellt. In diesen Achsen longitudinal (L) zum Stamm, radial (R) und tangential (T) zu den Jahresringen sind nicht nur die Steifigkeitsverhältnisse sondern auch die Bruchfestigkeiten, Versagensmechanismen und Festigkeitsdegradationen stark unterschiedlich. Das allgemeine Elastizitätsgesetz für den 3-achsigen Fall kann für die Annahme der Orthotropie vereinfacht werden, so dass neun unabhängige Parameter durch Materialprüfung bestimmt werden müssen: die Elastizitätsmoduli in den Materialrichtungen (L, R, T), die Schubmoduli in den Ebenen (LR, LT, RT) und die drei zugehörigen Querdehnzahlen. Während die Anzahl vorhandener Tests Sicherheit über die Elastizitätsmoduli geben, existiert weniger Sicherheit über die Schubmoduli und die Querdehnzahlen.

Der Schlüssel zum erfolgreichen Modellieren ist eine realitätsnahe Beschreibung des Materialverhaltens. Meist werden einzelne Phänomene des materiellen Verhaltens des Holzes ohne ihre Interaktion studiert. Idealerweise sollten folgende Parameter gemeinsam berücksichtigt werden: (i) biologische Parameter wie Holzart; (ii) physikali-

sche Parameter wie Rohdichte, Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Feuchtegehalt; und (iii) strukturelle Parameter wie Faserorientierung, lokale Defekte und Schädigungen [1]. Numerische Modellierungen der Tragfähigkeit von Holz werden hauptsächlich auf der Makroebene durchgeführt. Eine genaue Kenntnis der Holzstruktur auf Mikroebene ist nur im Einzelfall möglich und die Ergebnisse einer solchen Modellierung können nicht verallgemeinert werden. Allgemeingültige Materialmodelle für Holz sollten in der Lage sein, die skalaren Effekte einzubeziehen [13]. Die Betrachtung von Holz auf makroskopischer Skala als homogenes, zylindrisch-orthotropes Material ist oftmals unzulänglich ist, da die strukturellen Eigenschaften wie Dichte und Jahrringlage das Bruchverhalten stark beeinflussen [2].

Bruchhypothesen für Holz

Die Kenntnis der Materialfestigkeiten ist notwendig um mit einem mathematischen Materialmodell eine Aussage über die Tragfähigkeit von Elementen zu treffen. Die Bestimmung von Festigkeiten unter einachsiger Beanspruchung ist relativ einfach möglich und somit auch die Bestimmung der Tragfähigkeit von Bauelementen unter einachsiger Beanspruchung. In Realität treten jedoch meist mehrachsige Spannungszustände auf. Die Bestimmung von Festigkeiten unter mehrachsiger Beanspruchung kann sehr aufwendig an speziellen Versuchseinrichtungen durchgeführt werden [1]; Die experimentelle Bestimmung eines einfachen 2d Konstitutiv-Gesetz muss nicht immer aufwendig sein, einfache „Off-axis“ Zugversuche, bei denen die Fasern verschiedene Neigungen zur Kraft aufwiesen ermöglichen es, neben der Festigkeit parallel und senkrecht zu den Fasern auch dessen Schubfestigkeit zu bestimmen.

Um eine Aussage über die Tragfähigkeit von Bauteilen unter mehrachsigen Spannungszuständen treffen zu können bedarf es einer adäquaten Bruchhyphothese. Bruchkriterien sind empirischer Natur, oft aus experimentellen Daten des Materialverhaltens entwickelt. Für Holz wurde eine Reihe von Bruchhypothesen entwickelt und angewandt [15]. Die meisten im Holzbau verwendeten Bruchkriterien sind Abwandlungen des Tsa-Wu Tensorpolynoms [16]. Diese Kriterien unterscheiden allerdings nicht die materialspezifischen Bruchmechanismen bei Druck- bzw. Zugbeanspruchung oder entsprechend der Faserorientierung. Folglich ist es mit diesem Ansatz nicht möglich, die an den Beanspruchungsmodus gebundenen Ver- oder Entfestigungen abzubilden. Auch die unsichere Beurteilung unzulässiger Spannungszustände bei großen Lastinkrementen und die große Anzahl willkürlicher Festigkeitskoeffizienten mathematischer Natur sprechen gegen eine Verwendung der Tensorpolynomtheorie als Grundlage für ein allgemein gültiges Holzmodell. Die Formulierung einzelner, voneinander unabhängiger Fließkriterien, obwohl hinsichtlich der numerischen Umsetzung allerdings aufwändiger als geschlossene Funktionen, erlaubt indes eine treffende Beschreibung der holzspezifischen Versagensmechanismen.

Mehrflächenplastizitätsmodell

Auf Grund des charakteristischen makroskopischen Aufbaus sind die mechanischen Eigenschaften von Holz richtungs- und beanspruchungsabhängig. Holz zeigt bei Längs- und Querzug- sowie Längsschubbeanspruchung ein sprödes Versagen infolge von Rissbildung. Dagegen ist das Verhalten bei transversaler und longitudinaler Druckbeanspruchung ausgesprochen duktil. Weiterhin bestehen Interaktionen von mehreren räumlichen Spannungskomponenten mit Einfluss auf das Materialverhalten. Für eine sinnvolle numerische Formulierung müssen bei Interaktion die Entfestigungen miteinander gekoppelt werden. Andererseits kann eine Interaktion zwischen Spannungszuständen ausgeschlossen werden, wenn durch die Beanspruchungen verschiedene Ebenen der Holzsubstanz geschädigt werden

oder die Versagensmechanismen unabhängig voneinander ablaufen.

Mehrflächenplastizitätsmodelle ermöglichen die Unterscheidung der mikromechanischen Brucharten. Grosse [7] entwickelte ein Modell für quasistatisches Kurzzeittragverhalten, welches Interaktionen zwischen Querspannung, Längs- und Rollschub in den LT und LR Ebenen und zwischen Längsschub in der LR Ebene und Querdruck berücksichtigt. Die spezifischen Entfestigungsphänomene finden größtenteils in verschiedenen Ebenen der Mikrostruktur statt und laufen unabhängig voneinander ab; auf makroskopischer Ebene breiten sich Risse oder Stauchbänder nur ausgerichtet zu den natürlichen Symmetrieebenen aus und eine Interaktion ist nur zwischen den Schubspannungen und einer transversalen Beanspruchung möglich. Das vorgeschlagene mehrflächige Fließkriterium enthält sechs Bedingungen: (i) Faserruptur, (ii) Faserstauchung, (iii) Rissbildung parallel zur LT-Ebene, (iv) radiale Kompression, (v) Rissbildung parallel zur LR-Ebene und (vi) tangentiale Kompression.

Aufbauend auf den biaxialen Versuchen von Eberhardsteiner [1], die das mathematische Modell und eine quantitative Grundlage als auch eine qualitative Basis liefern, schlagen Mackenzie-Helnwein et al. [3] ein weiteres Mehrflächenplastizitätsmodell vor. Je nach Beanspruchungsart werden vier Grundtypen von unterschiedlichen Versagensmechanismen aufgezeigt: (i) sprödes Zugversagen in Faserrichtung mit kaskadenartigem Splitterbruch, (ii) sprödes Versagen durch kombinierte Zug- und Schubbeanspruchung quer zur Faser mit glattem, dem Faserverlauf folgenden Bruch, (iii) duktiles Druckversagen quer zur Faser mit ausgeprägtem Verdichtungs- und Verfestigungsverhalten, und (iv) Druckversagen in Faserrichtung unter Ausbildung von lokalen bandartigen Schädigungszonen.

Eine Erweiterung des Plastizitätsmodells von Mackenzie-Helnwein et al. um die Berücksichtigung von Holzmerkmalen wurde durch Fleischmann [4] vorgeschlagen. Die Einbeziehung der Faserneigung ist durch die Verwendung eines orthotropen Materialmodells ohne zusätzliche Maßnahmen möglich. Der Einfluss von Ästen und der damit verbundenen lokalen Faserabweichungen auf das mechanische Verhalten kann über einen dimensionslosen Astfaktor definiert werden. Der Einfluss von Ästen und der lokalen Faserabweichungen um die Äste auf die Steifigkeitseigenschaften wird deshalb vernachlässigt; die Auswirkung lokaler Störungen auf die Festigkeitseigenschaften ist dagegen beträchtlich und wird durch Verändern der initialen Fließfläche für fehlerfreies Fichtenholz über eine Abminderung der ins Modell eingehenden Extremwerte der Fließspannungen in Abhängigkeit vom Astparameter berücksichtigt [6].

Zusammenfassung und Ausblick

Mit den entwickelten Materialmodellen, die im vorherigen Abschnitt skizziert wurden, stehen leistungsfähige Werkzeuge für die numerische Simulation von Holz zur Verfügung mit denen sich eine Vielzahl von baupraktischen Aufgabenstellungen untersuchen lassen. Sie wurden unter anderem erfolgreich bei Holz-Beton-Verbundsystemen und Schalenkonstruktionen eingesetzt, Problemstellungen bei denen mit herkömmlichen Materialbetrachtungen für Holz nur wenig realistische Ergebnisse zu erwarten sind. Der Einsatz leistungsfähiger Materialmodelle, die das orthotrope und nicht-elastische Verhalten von Holz in einer dreidimensionalen Formulierung berücksichtigen, ermöglicht Einblicke in die Spannungsverteilung, die aktivierten Versagensmechanismen und das Ausmaß plastischer Verformungen. Die Ergebnisse von numerischen Simulationen eröffnen neue Wege in der Bemessung und Optimierung von Bauteilen. Die entwickelten Materialmodelle können für viele im Holzbau denkbare Prob-

lemstellungen eingesetzt werden, so z.B. für Ausklinkungen, Durchbrüche, Queranschlüsse, zimmermannsmäßige oder geklebten Anschlüsse.

Die bisher entwickelten Materialmodelle sind für quasistatische Kurzzeitbelastung gültig. Für Weiterentwicklungen kommt der Einbeziehung des hygrothermischen Langzeittragverhaltens große Bedeutung zu. Zu klären ist, wie sich Fehlstellen im Material auf die Festigkeitsentwicklung im postkritischen Bereich und unter lang anhaltenden und wechselnden Belastungen auswirken. Mit Mehrflächenplastizitätsmodellen können die unterschiedlichen Versagensmechanismen durch verschiedene, mikromechanisch motivierte Versagensflächen berücksichtigt werden und damit das Materialverhaltens für nicht getestete Beanspruchungszustände abgeschätzt werden. Eine Extrapolation auf das Verhalten von nicht getesteten Holzproben und -arten ist jedoch nicht möglich, da die Zusammenhänge zwischen der Mikrostruktur und dem mechanischen Verhalten des Materials keinen Eingang finden. Mit dem Plastizitätsmodell kann also die große Variationsbreite mechanischer Kennwerte unterschiedlicher Holzarten und -proben anhand deren unterschiedlicher mikrostruktureller Kennwerte nicht erklärt werden. Kern des zuletzt genannten Modells ist die Identifizierung universeller Grundbausteine und morphologischer Strukturen in Holz. Mikromechanische Modelle stellen eine Ergänzung zu Plastizitätsmodellen dar, indem sie die Ermittlung von Eingabedaten für diese Modelle in Abhängigkeit von mikrostrukturellen Kenngrößen ermöglichen [5].

Um Effekte, die durch Querdehnungsbehinderung (z.B. in blockverleimten Brettschichtholz durch ungleichmäßige Feuchteänderungen) entstehen, numerisch abbilden zu können, ist es notwendig die plastischen Dehnungen transversal zur Belastungsrichtung zu erfassen. Wichtig ist in diesem Zusammenhang die Weiterentwicklung vorhandener Messtechnik, um aus Laborversuchen und Tragwerkuntersuchungen mehr Informationen über den Verformungszustand gewinnen zu können. Eine Aussage über die Resttragfähigkeit geschädigter Bauteile ist zurzeit mit numerischen Methoden noch nicht möglich. Dafür müssten die Materialkennwerte von geschädigtem Holz und die Zusammenhänge der Ergebnisse zerstörungsfreier Untersuchungsmethoden mit den Kennwerten des Materialmodells bestimmt werden. Abschliessend ist zu bemerken, dass die bisher entwickelten Materialmodelle nicht in kommerziell erhältlicher Software implementiert sind. Dies ist aber eine unabdingbare Voraussetzung zur Verbreitung und Anwendung der Materialmodelle.

Quellen

[1] J. Eberhardsteiner. Mechanisches Verhalten von Fichtenholz – Experimentelle Bestimmung der biaxialen Festigkeitseigenschaften. Springer Verlag, Wien New York, 2002.

[2] K. Frühmann. Fracture of wood on different hierarchical levels. Dissertation, TU Wien, 2002.

[3] P. Mackenzie-Helnwein, J. Eberhardsteiner, H.A. Mang. A multi-surface plasticity model for clear wood and its application to the finite element analysis. Computational Mechanics 31: 204-218, 2003.

[4] M. Fleischmann. Numerische Berechnung von Holzkonstruktionen unter Verwendung eines realitätsnahen orthotropen elastoplastischen Werkstoffmodells. Dissertation, TU Wien, 2005.

[5] K. Hofstetter, Ch. Hellmich, J. Eberhardsteiner. Development and experimental validation of a continuum micromechanics model for the elasticity of wood. European Journal of Mechanics A-Solids 24: 1030-1053, 2005.

[6] J. Eberhardsteiner, K. Hofstetter. Materialgesetze für Holz – Unerlässlich für die Bewertung und Prognose des Verhaltens von Holz und Holzkonstruktionen. Beitrag zum 12. Internationales Holzbau-Forum, 2006.

[7] M. Grosse. Zur numerischen Simulation des physikalisch nichtlinearen Kurzzeittragverhaltens von Nadelholz am Beispiel von Holz-Beton-Verbundkonstruktionen, Dissertation, Bauhaus Universität Weimar, 2005.

[8] M. Grosse, K. Rautenstrauch. Numerical modelling of timber and fasteners used in timber-concrete-composite constructions. Proceedings, CIB-W18, 37-7-16, 2004.

[9] J. Schmidt, M. Kaliske. Zur dreidimensionalen Materialmodellierung von Fichtenholz mittels eines Mehrflächen-Plastizitätsmodells, LACER No. 8, 2003.

[10] J. Schmidt, M. Kaliske. Entwicklung von Materialmodellen für Holz, Holz als Roh- und Werkstoff, 64, 393–402, 2006.

[11] J. Nairn. A. Material point method calculations with explicit cracks. Computer Modeling in Engineering & Sciences, Vol. 4, pp. 649-664, 2003.

[12] F. Wittel. Diskrete Elemente - Modelle zur Bestimmung der Festigkeitsevolution in Verbundwerkstoffen, Dissertation Universität Stuttgart, 2006.

[13] I. Smith, E. Landis, M. Gong. Fracture and fatigue in wood. Wiley & Sons, Chichester, England. 2003.

[14] P. Lieblang. Beitrag zur Beschreibung des elastischen Materialverhaltens von Holz mit Methoden der Mikromechanik, Dissertation, RWTH Aachen, 2000.

[15] B. Kasal, R. J. Leichti. State of the art in multi-axial phenomenol-ogical failure criteria for wood members. Progress in Structural Engi-neering and Materials, 7(1), 3-13, 2005.

[16] S.W. Tsai, E.M. Wu. A general theory of strength for anisotropic materials. Journal of Composite Materials 5: 58-80, 1971.

8.1 Vollholz
Vom Baum zum Bau oder die Quadratur des Kreises

Peer Haller

1 Technik im Spannungsfeld von Ökonomie und Ökologie

Die Bedeutung des Baustoffes Holz und den Beitrag, den er über das Bauwesen hinaus zu einer nachhaltigen Entwicklung leisten kann, wird entscheidend davon abhängen, in welchem Umfang unsere Aufgaben damit wirtschaftlich und qualitativ befriedigend gelöst werden können. Es genügt daher nicht, über einen nachwachsenden Rohstoff zu verfügen, er muss auch heutigen und künftigen Anforderungen gewachsen sein.

Materialentscheidungen werden von Ingenieuren nach technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten getroffen. Sie kommen in ihrer akademischen Ausbildung mit einer reichen Palette an Bau- und Werkstoffen in Berührung, die sich in Zukunft noch weiter zu ihren Gunsten vergrößern wird. Im Gegensatz zum Handwerk ist dieser Beruf nicht auf ein bestimmtes Material festgelegt, jedoch scheidet der Einsatz von Holz in vielen Bereichen der Technik von vornherein aus, so dass seine Verwendung eigentlich nur noch im Bauwesen ernsthaft in Erwägung gezogen wird. Eine Entscheidung für das Holz bedarf trotz ökologischer Vorzüge der Stärkung technischer und wirtschaftlicher Argumente. Naturwissenschaft und Technik sollten daher die Voraussetzungen für eine effiziente Nutzung und stärkere Inanspruchnahme dieser Ressource schaffen.

Der Wald ist weltweit nicht nur einer der größten, sondern auch einer der billigsten Stoffproduzenten. Es ist schwer einzusehen, dass ein Stoff, der auf einem Drittel der Fläche unseres Landes mit Hilfe von Sonnenenergie nachwächst, preislich von Materialien unterboten werden kann, zu deren Herstellung erhebliche Mengen fossiler Energie und Kapital bereitgestellt werden müssen. Ein entscheidender Grund ist darin zu sehen, dass wir den Forst nicht als Stoff- sondern als Querschnittsproduzenten betrachten. Hiervon wird noch eingehender die Rede sein.

Darüber hinaus wird man sich die Frage stellen müssen, welche weiteren Nachteile der Verwendung von Holz in technischen Anwendungen entgegenstehen und inwieweit sie sich beseitigen lassen. Es sind:

1. das kleine Festigkeitsspektrum im Vergleich zu den Strukturwerkstoffen,
2. die Richtungsabhängigkeit der mechanischen Eigenschaften, auch Anisotropie genannt und
3. die geringe Dauerhaftigkeit gegenüber der Witterung.

2 Dicht, dichter, am dichtesten

Holz hat ein sehr ausgewogenes Eigenschaftsprofil, wird jedoch in nahezu allen Merkmalen von ausgesprochenen Spezialisten übertroffen. Unumschränkt ist seine Umweltfreundlichkeit, sofern diese nicht durch nachträgliche Behandlungen in Frage gestellt wird. Auch der Preis pro Tonne, bei dem selbst eine thermische Verwertung noch in Betracht gezogen werden kann, ist gegenüber vielen heutigen Materialien konkurrenzlos billig.

Die mechanischen Kennwerte spielen bei tragenden Strukturen eine zentrale Rolle und hängen weitgehend von der Dichte und Wachstumsstruktur ab. Die Unterschiede betragen unter den Holzarten etwa eine Größenordnung. Der Vergleich von Bauholz mit faserparallelem Holz ohne Äste und Wuchsunregelmäßigkeiten fördert nochmals beträchtliche Differenzen zutage, so dass das ungenutzte Festigkeitspotenzial sich insgesamt auf reichlich eine Größenordnung beläuft.

Das Verdichten von Holz (Abb. 1), vornehmlich Laubholz, unter Wärme und Druck ist in der Holztechnologie seit langem bekannt und auch heute

werden kunstharzgebundene Furnierholzplatten nach diesem Verfahren zum Beispiel für den elektrischen Anlagenbau hergestellt. Voraussetzung für das Verdichten ist der Zellaufbau des Holzes, der nach Erreichen der Erweichungstemperatur des Lignins unter einer Presse verdichtet werden kann. Durch diese thermomechanische Behandlung lassen sich Festigkeit und Steifigkeit proportional zur Verdichtung steigern. Die weitere Erhitzung über 200 °C bewirkt außerdem eine Zunahme der biologischen Resistenz, so dass mit der Wärme zwei wesentliche Eigenschaften nämlich Festigkeit und Dauerhaftigkeit tangiert werden.

Abb. 1: Fichte-Kantholzquerschnitt vor und nach der Verdichtung

In Abb. 2 sind die Festigkeitsklassen verschiedener Baustoffe und deren Verbünde dargestellt. Holz weist diesbezüglich eine enge Stufung auf, die jedoch durch die Verwendung von faserparallelem Holz und die Verdichtung (Abb. 3) deutlich erweitert werden kann.

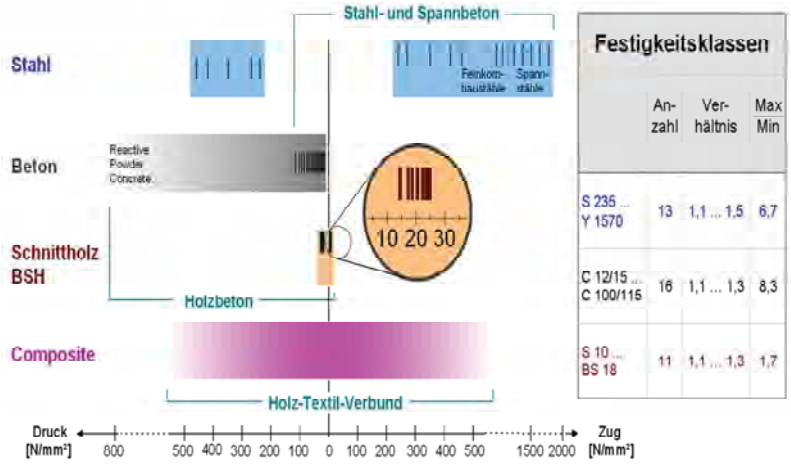


Abb. 2: Festigkeitswerte und Festigkeitsklassen heutiger Baustoffe und Baustoffentwicklungen

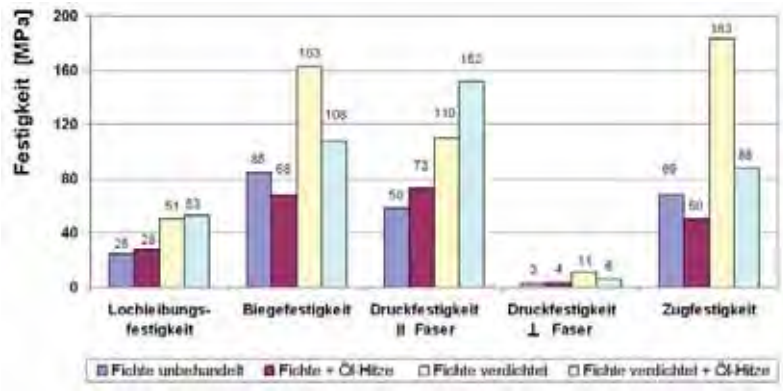


Abb. 3: Festigkeiten von faserparallelem Nadelholz (Fichte), unbehandelt; öl-hitzebehandelt; verdichtet; verdichtet und öl-hitzebehandelt

3 Vom Stamm zum Querschnitt

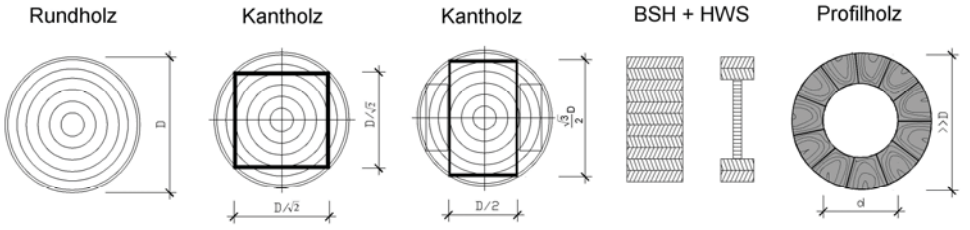
Das Wachstum des Baumes und dessen Auftrennen im Sägewerk führen einerseits zu hohen Verlusten, andererseits zu Vollquerschnitten, welche verglichen mit technischen Profilen geringe Flächenmomente erzielen. Während der Stoffproduzent Wald zu den preiswürdigsten Stoffanbietern gehört, geht die Wettbewerbsfähigkeit bei der Transformation des Rohholzes in Querschnitte verloren. Es ist daher unabdingbar, die Möglichkeiten der Materialeinsparung bei der Querschnittsbildung auszuloten.

Die Sägereitechnik ist erster und wichtigster Prozessschritt bei der Bereitstellung von Querschnitten und bestimmt durch Rohholzausbeute und Verschnitt im wesentlichen den Stofffluss und damit die Preisstruktur anderer, zum Teil konkurrierender Holzprodukte. Die Eindimensionalität dieser Technologie favorisiert mit Blick auf die Ausbeute wiederum „eindimensionale" Baumarten, was im Zuge von Wiederaufforstungen den Nadelhölzern, insbesondere der Fichte, den Vorzug gegenüber standorttypischen Laubholzarten, wie zum Beispiel Eiche oder Buche mit ihren weitverzweigten Kronen, gegeben hat.

Holz gilt als leicht zu bearbeitendes Material, doch das Gegenteil trifft zu! Die Transformation des Rohholzes zum Querschnitt erfolgt ausschließlich durch spanende Verfahren und späteres Fügen mit synthetischen Bindemitteln. Kenntnisse der Mikrostruktur werden nicht benötigt. Hier liegen jedoch große Potenziale für neue Verfahren und Produkte, denen bisher in Wissenschaft und Technik wenig Aufmerksamkeit geschenkt wurde.

Das Sägewerk liefert einen rechteckigen Kantholzquerschnitt, der im Gegensatz zu technischen Profilen aus Metall oder Kunststoff eine geringe Materialeffizienz aufweist. Zusammen mit der schlechten Rohholzausbeute beim Sägen fällt sie geradezu dramatisch aus. In Abb. 4 sind ausgehend vom Rundholz die Stoffausbeute sowie das erzielte Flächenmoment in der Wertschöpfungskette verschiedener Querschnittsarten dargestellt.

Intuitiv verbinden wir mit hoher Festigkeit die besondere Eignung für tragende Anwendungen. Dies muss etwas differenzierter betrachtet werden. Was tun Ingenieure bei der Planung von Tragwerken? Sie übertragen Kräfte und Momente mit Hilfe des Produktes aus einer stofflichen Größe – nämlich der Festigkeit – und einer geometrischen Größe, also Querschnittsfläche oder Flächenmoment. Salopp gesagt: ist ein Werkstoff nur halb so fest, verdoppeln sie dessen Querschnittsfläche. Und zwar höchstens verdoppeln, denn bei den Flächenmomenten geht der Abstand des Querschnittes zur neutralen Faser in der Potenz ein. Daher lässt sich die Dimensionierung von Bauteilen auch leichter über die Abmessungen des Querschnittes als durch die Wahl der Festigkeitsklasse vornehmen.



$\frac{A}{A_{max}} =$	1	0,64	0,55	0,5	≈ 1
$\frac{\bar{E}I}{EI_o} =$	1	0,42	0,55	. . .	> 2

Abb. 4: Holzausbeute bezogen auf das Rundholz und Biegesteifigkeit EI verschiedener Querschnittstechnologien

Das Selbstverständnis des runden oder rechteckigen Vollquerschnittes im Holzbau verstellt den Blick auf dessen geringe Ressourcenproduktivität. Vergleicht man diesbezüglich Kantholz mit technischen Profilen, ergibt sich ein Verhältnis von etwa 1:15, das sich einerseits aus den Verlusten im Sägewerk und andererseits aus dem geringen Flächenmoment des Vollquerschnittes zusammensetzt (siehe Abb. 5).

Da das Holz nur mittelbar über den Querschnitt wirksam ist, muss es dort nach mechanischen Überlegungen optimal angeordnet werden und dabei drei Voraussetzungen erfüllen:

1. Der Querschnitt darf nicht durch die Abmessungen des Baumes in Quer- oder Längsrichtung begrenzt sein,
2. er muss effizient sein, das heißt, bei gegebenem Flächeninhalt ein großes Flächenmoment aufweisen, und
3. er muss in großen Mengen billig produziert werden können.

Kantholz erfüllt die Punkte 1 und 2 nicht, verleimtes Holz nicht die Punkte 2 und 3. Erst das in den Abbildungen 6 und 7 gezeigte Formholzprofil, dem ein neues Werkstoffverständnis zugrunde liegt, erfüllt potenziell alle drei Forderungen.

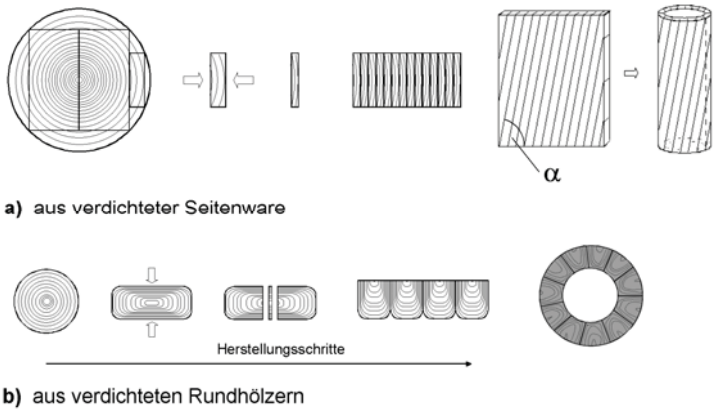


Abb. 6: Prozess zur Herstellung geformter Holzprofile aus Kant- und Rundholz

4 Holz in Hochform

Technologisch gesehen beruht das Bauen mit Holz auf zwei Grundprozessen: dem Trennen – also Sägen, Hobeln, Zerfasern etc. – und dem späteren Fügen durch synthetische und metallische Binde- bzw. Verbindungsmittel. Man vergegenwärtige sich die vielfältigen konstruktiven Möglichkeiten, die mit jedem dieser Grundprozesse und deren Kombination verbunden sind, und welche uns mit einem oder zwei weiteren zuwüchsen... .

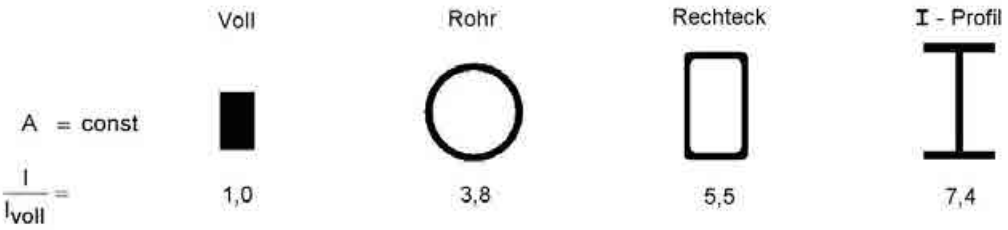


Abb. 5: Vergleich des Flächenmomentes I des rechteckigen Vollquerschnittes mit Profilen gleicher Fläche

Das in der Bundesrepublik vorherrschende Nadelholz weist ein Porenvolumen von ca. 60 % auf. Seine polymere Zusammensetzung gestattet bei einer Temperatur von140 °C und einem Druck von 5 MPa eine leichte plastische Formgebung quer zur Faser. Die Querschnittsabmessung kann dabei auf etwa die Hälfte reduziert werden (siehe Abb. 1), wobei sich die Mikrostruktur des Holzes zusammenfaltet. Auf diese Möglichkeit wurde zur Verbesserung der mechanischen Eigenschaften im vorausgegangen Abschnitt bereits hingewiesen.

Von nicht geringerer Bedeutung ist die Feststellung, dass die Stauchung ohne Schädigungen der Mikrostruktur bei geeignetem Prozessregime wieder nahezu vollständig rückgängig gemacht und fixiert werden kann.

Der große Porenanteil führt somit zu einer völlig neuen Betrachtungsweise des Holzes als schaumstoffartiges, zelluläres Gebilde, das nun tatsächlich zu einem sehr leicht zu verarbeitenden Material wird. Auf diese Weise erhöht sich die Bruchdehnung in Faserquerrichtung von einem auf 100 %, also um zwei Größenordnungen. Nadel- und Laubhölzer sind dafür gleichermaßen geeignet.

Ausgehend von diesen Überlegungen wurden am Institut für Stahl- und Holzbau Platten aus Pressholz geleimt, deren Verdichtungsrichtung in Plattenebene verläuft. Im nachfolgenden Formprozess wird die Stauchung unter Zufuhr von Wärme und Feuchtigkeit zur Herstellung prismatischer Querschnitte genutzt, wobei die Zellen vollständig wieder auseinander gefaltet werden.

Der Krümmungsradius der Umformung hängt von der vorherigen Verdichtung ab. Die minimale Krümmung entspricht verfahrensbedingt in etwa der zweifachen Plattendicke. Prinzipiell sind auf diese Weise alle offenen und geschlossenen prismatischen Querschnitte in beliebiger Länge herstellbar.

Abb.7: Ringförmiger Querschnitt aus verdichteten Halbrundhölzern

Nach diesem mittlerweile patentierten Verfahren wurden bereits mit Erfolg Rohre mit tragwerksnahen Abmessungen gefertigt. Abb. 6 zeigt eine Verfahrensvariante, die von Rundholz ausgeht, welches zunächst verdichtet wird. Das Auftrennen in Richtung der maximalen Dichte und das anschließende Verleimen führen zu einer massiven Platte, die auf thermo-mechanischen Wege in ein Rohr überführt werden kann. Die auf das Rundholz bezogene Materialeinsparung beläuft sich auf etwa 80 %!, wobei 50 % aus der Abfallvermeidung in der Sägerei resultieren und die weitere Einsparung mit der effizienten Anordnung im Profil erzielt wird.

5 Faden begegnet Faser

Für die tragende Verwendung von Holz ist neben dem mechanischen und biotischen Verhalten, die Anisotropie von großer Bedeutung. Während sich erstere durch Sortierung sowie thermische bzw. thermo-mechanische Verfahren verbessern lassen, begegnet man der Richtungsabhängigkeit der Festigkeit mit unterschiedlichen konstruktiven Maßnahmen.

Festigkeit und Steifigkeit können im Zuge der Querschnittsdimensionierung in Längsrichtung sehr wirksam kompensiert werden, hingegen stellen die Schub- und Querbeanspruchungen selbst erfahrene Tragwerksplaner immer wieder vor Probleme, die mittlerweile eine Vielzahl verschiedener Lösungsansätze und Nachweise hervorgebracht und zu einem unübersichtlichen Spezialwissen geführt haben. Es ist daher wünschenswert, den in Zusammenhang mit der Anisotropie stehenden Problemen auch mit einer universellen Technologie zu begegnen.

Ein Blick auf die Natur könnte manches lehren, denn in vielen natürlichen Konstruktionen werden mechanische Spannungen von einer optimal ausgerichteten Faser aufgenommen: in der Astverzweigung, im Strohhalm oder im Muskel etc. An ihrem Vorbild haben sich in der Technik die faserverstärkten Kunststoffe orientiert. Das Verbinden von Fäden zu einem flächigen oder räumlichen Gebilde ist Gegenstand der Textiltechnik. Ihr Einsatz im Bauwesen wird im Sonderforschungsbereich SFB 528 „Textile Bewehrungen zur bautechnischen Verstärkung und Instandsetzung“ an der Fakultät Bauingenieurwesen untersucht.

Im Rahmen dieses SFB's werden auch die Grundlagen zur textilen Verstärkung von Holzbauteilen erarbeitet. Die interdisziplinäre Zusammenarbeit mit dem Institut für Textil- und Bekleidungstechnik ermöglicht dem Holzbau in Dresden die Verstärkung mit form- und beanspruchungsgerechten textilen Bewehrungen aus Glas-, Kohle-, Aramid- und Naturfasern, die anschließend mit synthetischen Harzen aufgebracht werden.

Mit Hilfe technischer Textilien wird auch eine Brücke vom Holz- zum Leichtbau geschlagen, so dass hier ebenfalls mit einer Akzeptanz zu rechnen ist, die mittelfristig eine völlig neue Qualität im Umgang mit dieser nachwachsenden Ressource erwarten lässt.

Neben den mechanischen Eigenschaften erweist sich in der Konstruktion die geringe Dauerhaftigkeit organischer Baustoffe bei der Außenanwendung als entscheidender Nachteil, dem man heute auf stofflicher oder konstruktiver Ebene begegnet. In beiden Fällen fallen jedoch zusätzliche Kosten an.

Die vollflächige Bewehrung ganzer Bauteile in Verbindung mit Oberflächenbehandlungen des Leichtbaus stellt neben der statischen Verstärkung auch einen wirksamen konstruktiven Schutz gegenüber der Witterung dar. Dies ist ein entscheidender Vorteil nicht nur bei Feuchtigkeit sondern auch in Hinblick auf korrosive Umgebungen.

Abb.8: Rohrquerschnitte mit textiler Bewehrung, links Kohlefaser, Mitte unbewehrt, rechts Glasfaser, lackiert

6 Fazit

Mit den vorliegenden Entwicklungen werden alle Schwachstellen der gegenwärtigen technischen Verwendung von Holz aufgegriffen, und wie ich meine, sehr grundlegend gelöst. Dies betrifft die Rohholzausbeute, die zu geringeren Materialkosten führt, das Verdichten, welches die Enge der Festigkeitsklassen aufweitet, die textile Verstärkung, die als preiswerte Technologie das Problem

der Anisotropie umfassend löst und darüber hinaus das Holz vor der Witterung schützt, und schließlich das Formen effizienter Querschnitte, als die wohl am weitesten reichende Innovation.

Die Neuerungen betreffen alle Anwendungen, für die ein Querschnitt benötigt wird. Dies können tragende Bauteile des Bauwesens wie Stützen und Träger, sowie des Leicht- und Anlagenbaus sein, aber auch nichttragende Teile des Möbel- und Ausbaus sind auf diese Weise herstellbar. Darüber hinaus sind viele Gegenstände mit geschlossenem und offenem prismatischen Querschnitt mit dieser Technologie ausführbar wie zum Beispiel Kabeltrommeln, Masten, Fässer, Behälter, Rotorblätter, Rümpfe etc.

Um eine größere technische Bedeutung zu erzielen, sollten die Eigenschaften des Holzes, seine Querschnitte und Technologien künftig der Vorstellungswelt der Ingenieure besser entsprechen. Mit alten Konstruktionen wird man auch immer auf alte Vorbehalte treffen. Deshalb ist es leichter, neue Wege zu beschreiten, so erstaunlich dies klingen mag. Holz hält auf stofflicher und technologischer Ebene viele Innovationen bereit. Die nachgesagte Innovationsschwäche ist nicht ihm anzulasten, sondern den Strukturen, die wenig zu seiner Entfaltung beitragen.

Quellen

[1] Haller, P.; Birk, T.; Offermann, P.; Cebulla, H.; Fully fashioned biaxial weft knitted and stitch bonded textile reinforcement for wood connections; Composites: Part B 37 (2006) 278-285

[2] Haller, P.; Vom Baum zum Bau oder die Quadratur des Kreises; Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Universität Dresden; 53 (2004) Heft 1-2; S. 100-104

[3] Haller, P.; Formholzprofile und textilbewehrter Beton – Ein neuer Verbundquerschnitt; Beton- und Stahlbetonbau (Hrsg.: Ernst und Sohn); 99, Heft 6, S. 488-489

[4] Haller, P.; Concepts for textile reinforcements for timber structures; Materials and Structures, (2007), 40: 107-118

[5] Haller, P.; Wehsener, J.; Festigkeitsuntersuchungen an Fichtenpressholz; Holz als Roh- und Werkstoff (2004) 62: 452-454

[6] Welzbacher, C.R.; Wehsener, J.; Rapp, A.O.; Haller, P.; Biologische und mechanische Eigenschaften von verdichteter und thermisch behandelter Fichte (picea abies) ; holztechnologie (Hrsg.: Carl Hanser Verlag); 47 (2006) 2, S. 1-6

8.1 Vollholz
Festigkeitsuntersuchungen an Fichtenpressholz (FPH)

Peer Haller, Jörg Wehsener

1 Zusammenfassung

Fichtenkantholz wurde unter geringem Druck bei einer Temperatur von 140°C auf einer Mehretagenpresse senkrecht zur Faser auf 50% des Volumens verdichtet, wobei der Prozess in drei Stufen erfolgte: Erhitzen, Verdichten, Rückkühlen. Die mechanischen Eigenschaften des Pressholzes wurden anschließend an fehlerfreien Kleinproben ermittelt. Es hat sich gezeigt, dass anatomischer Aufbau, Anisotropie, Rohdichte und Feuchtigkeit das Ergebnis beeinflussen, und dass die Erhöhung der Steifigkeit und Festigkeit sich meist proportional zur Verdichtung einstellte. Schädigungen infolge von Faserabweichungen, Ästen oder anderen Holzfehlern traten nur sehr begrenzt auf. In Abhängigkeit von Zeit und Höhe der Temperatureinwirkung verändern sich die Festigkeit, die Holzfärbung sowie das Quell- und Schwindverhalten.

2 Einleitung

Die Festigkeit und Steifigkeit von Holz korreliert sehr gut mit der Rohdichte und den Strukturmerkmalen wie Faserrichtung, Jahrringbreite und Holzart. Diese Feststellung ist für tragende Anwendungen des Bauwesens, des Leicht- und Maschinenbaus von grundlegender Bedeutung.

Ein besonders wirksames technologisches Mittel zur Verbesserung der mechanischen Eigenschaften stellt die thermo-mechanische Verdichtung dar, die für viele technische Anwendungen an Laubholz vorgenommen wird. In der vorliegender Studie wird die Eignung dieses Verfahren für die Fichte untersucht, da sie als wichtigste heimische Holzart nur mittlere Festigkeitswerte erzielt.

3 Material und Methoden

Entgegen den Empfehlungen der Literatur (Kollmann 1955; Vorreiter 1949) wurde anstelle von Laubhölzern Fichte (picea abies) zur Herstellung von Pressholz verwendet. Nadelholz ist durch seinen anatomischen Aufbau insbesondere des ausgeprägten Dichteunterschiedes im Jahrringaufbau verglichen mit den ring- und zerstreutporigen Laubholzarten weniger gut zur Verdichtung geeignet. Die grundsätzliche Machbarkeit wurde jedoch bereits von [Norimoto et al (1993), Inoue et al (1994), Schrepfer (1997), Tanahashi (1998), Navi und Giradet (2000)] aufgezeigt und bestätigte sich in der vorliegenden Studie.

Die Herstellung des Pressholzes erfolgte auf einer industriellen Mehretagenpresse mit einer Pressfläche von 2500 x 1200 mm. Dabei wurde sägerauhes Kantholz mit Querschnittsabmessungen von 2200 x 200 mm, einer Ausgangsfeuchte von 10 % und einer Rohdichte von 380 bis 530 kg/m^3 verwendet. Eine vorherige Aussortierung von Holzmerkmalen wie Äste, Harzgallen oder Faserabweichungen wurde nicht vorgenommen.

Die Verdichtung erfolgte bei einer Presstemperatur von 140°C und einem Druck von etwa 5 MPa vornehmlich in radialer Richtung. Nach Erreichen der Prozesstemperatur wurde die Presse weggesteuert bis auf 50 % der ursprünglichen Höhe der Bohlen geschlossen, so dass sich nach dem Pressen eine Verdopplung der Ausgangsrohdichte einstellte. Die Verdichtungsprozess ohne Rückkühlung betrug nach Haller und Wehsener (2003) 30 min.

Die mechanischen Eigenschaften des Fichtenpressholzes wurde für folgende Beanspruchungen an jeweils 10 verdichteten und unverdichteten Probekörpern bestimmt: Biegung (DIN 52186), Zug in Faserrichtung (DIN 52188), Druck parallel (DIN 52185) und senkrecht zur Faser (DIN 52192), Scherung (DIN 52187), Lochleibung (DIN EN 383).

Die Probekörper wurden fehlerfrei aus dem verdichteten Holz herausgeschnitten, wobei keine der üblichen Bearbeitungsformen wie Sägen, Hobeln und Bohren angesichts der hohen Dichte zu besonderen Schwierigkeiten führte.

4 Ergebnisse

Beobachtungen am Rasterelektronenmikroskop haben gezeigt, dass bei radialer Verdichtung von Nadelholz zuerst die Frühholzzellen auf Grund ihrer geringeren Wandstärke verformt und mit zunehmendem Druck völlig geschlossen werden. Die Jahrringe liegen geschichtet aufeinander. Die Zellwände des Frühholzes sind stark gefaltet, jedoch nicht gebrochen oder durch große Verschiebungen an der Spätholz- / Frühholzgrenze abgerissen. Die dicken Zellwände des Spätholzes sind bei einer Verdichtung auf 50 % des Volumens kaum verformt.

Mit steigender Dichte erhöht sich die Festigkeit und Steifigkeit, jedoch erfolgt durch den bereits ab etwa 100°C beginnenden thermischen Abbau eine leichte Versprödung des Pressholzes, die jedoch weit weniger ausgeprägt ist als bei der Hitzebehandlung, wie sie zur Erhöhung der biologischen Resistenz üblich ist. Das Bruchverhalten des verdichteten Holzes ist spröder und kurzfasriger.

Die Festigkeitssteigerungen können je nach Belastungsart mit einem Faktor von 1,7 bis 4,4 beziffert werden. In besonderem Maße profitiert die Querdruckfestigkeit, die bei vielen tragenden Anwendungen einer besonderen Aufmerksamkeit bedarf (siehe Tab 1, Abbildung 1). Sie wurde an der Quetschgrenze bei definierter Verformung von 5% bestimmt.

Tab. 1: Prüfergebnisse der Festigkeiten

		u [%]	ρ [kg/m³]	F_{max} [N]	σ [N/mm²]	s_σ [3] [N/mm²]	E [N/mm²]	s_E [3] [N/mm²]
Biegung	Fichte	11,8	390	1490	84	10	12500	1400
	FPH	12,2	870	2970	169	36	20300	4520
	Verhältnis		2,2		2,0		1,6	
Druck ∥	Fichte	11,2	420	21500	54	2	12300	2680
	FPH	11,0	890	42900	108	9	27600	1430
	Verhältnis		2,1		2,0		2,2	
Druck ⊥	Fichte	11,7	420	1000	2,5	0,4	200	15
	FPH	10,6	960	4600	11,1	0,5	750	38
	Verhältnis		2,3		4,4		3,8	
Zug	Fichte	11,9	420	9540	73	15	12200	1580
	FPH	12,0	990	2220	185	19	31000	1520
	Verhältnis		2,3		2,5		2,5	
Lochleibung	Fichte	11,7	420	2270	28	2	40 [1]	3,5
	FPH	10,0	850	5780	72	6	93 [1]	6,5
	Verhältnis		2,0		2,5		2,3	
Scherfestigkeit	Fichte	10,6	400	18800	9,2	0,8	0,7 [2]	0,04
	FPH	9,4	890	31300	15,5	0,7	0,5 [2]	0,05
	Verhältnis		2,2		1,7		1,4	

[1]Bettungsmodul [N/mm³]; [2]Verschiebung [mm]; [3]Standardabweichung

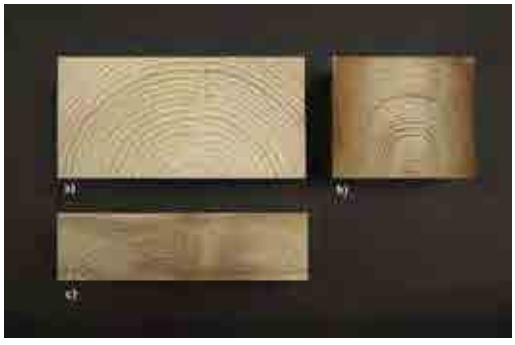


Abb.1: a) Unverdichteter, b) tangential und c) radial verdichteter Nadelholzquerschnitt

5 Schlußfolgerung

Die Holzverdichtung von Laubholz ist Stand der Technik. Bei der Verdichtung von Fichte haben sich weder bei der Herstellung noch bei der Bearbeitung oder Verleimung besondere Schwierigkeiten ergeben.

Die mechanischen Untersuchungen an Fichtenpressholz ergaben eine weitgehend proportionale Erhöhung der Steifigkeiten und Festigkeiten mit der Dichte. Die Scher- und Biegefestigkeiten fallen etwas geringer aus; die Druckfestigkeit quer zur Holzfaser erhöhte sich überproportional um den Faktor 4,4. Besonders hervorzuheben ist die Zugfestigkeit, die mit 185 N/mm² nahe an jene Größenordnung des Baustahles heranreicht bei einem Achtel des Gewichtes. Somit ergeben die auf die Dichte bezogenen Festigkeiten keinerlei Hinweise auf Schädigungen des Holzgefüges durch den Prozess. Dieses Ergebnis wird durch mikroskopische Beobachtungen erhärtet.

Die Verdichtung von Nadelholz stellt ein einfaches und preiswertes Verfahren zur Vergütung mechanischer Eigenschaften dar, die besonders in tragenden Anwendungen benötigt werden [Leijten (1998), Haller, Wehsener (2003), Herzog et al. (2003)]. Darüber hinaus ließen sich wüchsige Holzarten geringer Dichte und minderwertige Qualitäten mit diesem Verfahren aufwerten.

Quellen

[1] Haller P, Wehsener J (2003) Entwicklung innovativer Verbindungen aus Pressholz und Glasfaserarmierung für den Ingenieurholzbau. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart

[2] Herzog T, Naterer J, Schweitzer R, Volz M, Winter W (2003) Holzbauatlas, Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH & Co. KG, München

[3] Inoue M, Minato K, Norimoto M 1(994) Permanent fixation of compressive deformation of wood by crosslinking. Mokuzai Gakkaishi 40(9):931-936

[4] Kollmann F (1955) Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe. Band 2, Springer Verlag, Berlin

[5] Leijten A (1998) Densified veneer wood reinforced timber joints with expanded tube fasteners. Delft University of Technology; Delft University Press; Netherlands

[6] Navi P, Tomme F-Ph, Gfeller B, Giradet F (1998) Densified wood: an innovative product with highly enhanced characters. In Tagungsband (Hrsg.) Naterer J, Sandoz J L: 5th World Navi P, Giradet F (2000) Effects of Thermo-Hydro-Mechanical Treatment on the Structure and Properties of Wood. Walter de Gruyter Verlag Berlin, Holzforschung 54: 287-293

[7] Norimoto M, Ota Ch, Akitsu H, Yamada T (1993) Permanent fixation of bending deformation in wood by heat treatment, Wood Research 79: 23-33

[8] Schrepfer V (1997) Formvollholz für den Baueinsatz. Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Professur für Holztechnologie 97-1: 10

[9] Conference on Timber Engeneering, Montreux, Schweiz, Vol.2, 640-647

[10] Tanahashi M et al. (1998) Compressive - Molding of Wood by High-Pressure Steam Treatment. Part 1, Holzforschung 52: 211–216

[11] Vorreiter L (1949) Holztechnologisches Handbuch. Band 2, Verlag Georg Fromme & Co., Wien

8.1 Vollholz
Untersuchungen zum thermo- hygromechanischen Verformungsverhalten von Pappelholz aus KUP

Sonja Ziegler, Peer Haller

1 Einleitung

Das wachsende Bedürfnis der Welt nach Energie nötigt uns, unseren Umgang mit fossilen und erneuerbaren Rohstoffen zu bedenken und ermutigt uns, deren Verwendung in verschiedensten Anwendungsbereichen zu überdenken, bisherige Produkte zu verbessern und neue Verfahren und Produkte zu entwickeln. Alternative und erneuerbare Energie werden verstärkt eingesetzt und die die Holzindustrie sieht sich einem neuen Mitbewerber um ihren kostbaren Rohstoff konfrontiert. In den vergangen Jahrzehnten beklagte die Holzwirtschaft ein Überangebot an Holz, das die Preise immer tiefer sinken ließ. Heute ist das Gegenteil der Fall. Die Holzpreise steigen und der erwartete Bedarf wird nicht mehr allein aus dem Wald zu decken sein.

Holz kann durch Druck unter Beachtung bestimmter Randbedingungen verdichtet werden ohne die Zellstruktur zu beschädigen. Dabei faltet sich seine wabenartige Struktur so zusammen, dass diese Verformungsreserven speichert. Dank des sog. Memory Effekt lassen sich die Verformungsreserven zu jedem Zeitpunkt aktivieren, so dass bei einem Verdichtungsgrad von 50% nun zum Querbiegen eine Elastizität von 100% zur Verfügung steht. Dieses Verfahren wurde am Institut für Stahl- und Holzbau der TU Dresden entwickelt und ist patentiert.

Im klassischen Holzbau verwendet man überwiegend Vollquerschnitte, deren Herstellung im Sägewerk mit einem Materialverlust von 50 % verbunden ist. Dieses Material steht dem Tragwerk nicht mehr zur Verfügung. Brettschichtholz vermag zwar große Querschnitte zu erzeugen, ist aber teuerer und die Materialausbeute ist ebenso gering wie bei gesägten Querschnitten. Außerdem weisen Vollquerschnitte in den meisten Bereichen gegenüber Hohlquerschnitten eine geringe Materialeffizienz auf.

Kurzumtriebsplantagen (KUP) werden hauptsächlich zur Gewinnung von Energieholz angelegt und betrieben. Allerdings lassen sich trotz des gestiegenen Holzpreises oft noch immer nicht zufriedenstellende Preise erzielen. Um höhere Preise erzielen zu können, muss entweder die Nachfrage steigen oder, durch eine Aufwertung des Endprodukts, der Verkaufspreis. Aus diesem Grund wurde untersucht, ob Pappel aus KUP zu Herstellung von Formholz geeignet ist.

2 Vom Baum zum Rohr

Die Idee des oben genannten Verfahrens ist die Umkehr des klassischen Holzbiegeprozesses. Das Holz wird zunächst verdichtet und dann gebogen, wobei man die dem Holz durch das Verdichten zugeführten Verformungsreserven aktiviert (Abb. 1). Der Querschnitt, Balken, Bretter oder wie hier dargestellt, Rundholz, wird zunächst verdichtet. Das verdichtete Holz wird dann zu verdichteten Platten verleimt und anschließend geformt. Dabei lassen sich jegliche offene und geschlossene, prismatische Formen herstellen. Biegt man Holz auf diese Weise, lassen sich Radien biegen, die klein genug sind, um technisch von Bedeutung zu sein.

Die Verdichtung wird bei 140°C durchgeführt und die Verdichtungsgeschwindigkeit ist im Gegensatz zu den industriellen Pressgeschwindigkeiten sehr langsam. Nur so kann gewährleistet werden, dass die Verdichtung beim Formen auch wieder rückgängig gemacht werden kann. Dies steht im Gegensatz zur herkömmlichen Holzverdichtung, die der Steigerung der Festigkeiten und der Dauerhaftigkeit dient und bei der die Verdichtung permanent im Querschnitt erhalten werden soll.

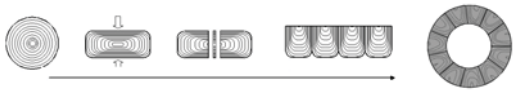


Abb. 1: Herstellung von Formholzprofilen

3 Pappel aus Kurzumtriebsplantagen

Pappel ist bekannt als ein Holz minderer Qualität. Es hat weder die Festigkeit und Dauerhaftigkeit, als Konstruktionsholz eingesetzt zu werden, noch sind seine Farbe und Textur für den Möbel- und Innenausbau interessant. Absatzmarkt sind daher bislang vor allem Span- und Kraftwerke. Das vorliegende Holz stammt von einer, zu Versuchszwecken in Methau, Sachsen, angelegten Plantage. Der Baumabstand war nach einer Durchforstung, drei Jahre nach Anlegen der Plantage relativ groß, so dass die Bäume gerade und gleichmäßig wuchsen und große Zuwachszonen erreicht wurden. Die Jahrringbreite variiert wischen 5 und 12 mm so dass Stämme mit bis zu 20 cm Durchmesser erzielt werden konnten. Für die Versuche wurden Stämme mit einem Durchmesser von 16 (±2) cm gewählt. Bei dem Klon handelte es sich um den in Deutschland zugelassenen MAX I. Mit einer Rohdichte des hier verwendeten Probenmaterials von 300 kg/m³ ist diese Pappel mehr als 100 kg leichter als herkömmliche Pappeln.

4 Fragestellungen und Probekörper

Ziel ist die Herstellung verdichteten Holzes für das Formen und die Ermittlung eines Materialgesetzes der Verdichtung. Verdichtetes Holz als Grundmaterial für Formholz muss gleichmäßig verdichtete, rückerinnerbar und darf in der Struktur nicht beschädigt sein. Zahlreiche Parameter wie Holzart, Jahrringausrichtung, Temperatur und Feuchte haben einen Einfluss auf die Verdichtung und das Verdichtungsergebnis. Die Probekörper wurden aus Scheiben mit einer Dicke von 20 mm herausgesägt. Sie sind 40 x 20 x 20 mm groß und wurde dem Querschnitt so entnommen, dass die Jahrringe entweder radial oder tangential zur Verformungsebene orientiert sind.

Es werden zwei Holzfeuchten betrachtet. Die 7 % feuchten Proben entsprechen dabei gelagertem, getrocknetem Holz, die 70 % feuchten Proben, grünem Holz. Feuchtigkeit im Holz senkt die Festigkeiten und erweicht die Struktur. Die aufzuwendende Druckkraft wird somit geringer, was sich aus zwei Gründen positiv auf den Verdichtungsprozess auswirkt. Zum einen wird dadurch die benötigte Energie reduziert und zum anderen wird dadurch eine Schädigung der Zellstruktur während des Zellfaltungsprozesses weniger wahrscheinlich. Die Proben werden auf 120°C vorgeheizt und dann in einer Heißpresse verdichtet. Abhängig von der Holzart wird die Zellstruktur ab einer Temperatur von 80°C erweicht und dient ebenso wie die Feuchtigkeit als Aktivator einer zerstörungsfreien Verdichtung. Die Proben werden quer zur Wuchsrichtung auf 50% ihrer Höhe verdichtet. Die Verdichtungsgeschwind beträgt 1 beziehungsweise 4 mm/min.

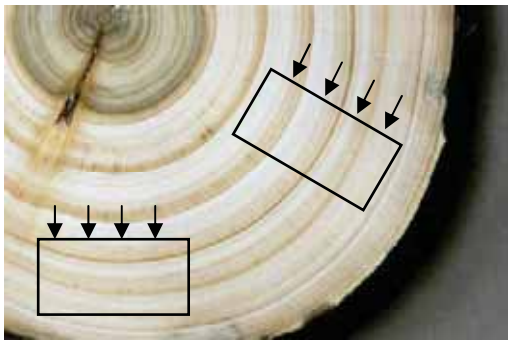


Abb. 2: Proben für Druckversuche

5 Ergebnisse

Abbildung 3 zeigt ein typisches Spannungs- Zeit Diagramm bei einer Verformungsgeschwindigkeit von 4 mm/min. Der Pressvorgang wird gestoppt, wenn der gewünschte Verdichtungsgrad von 50% erreicht wird. Die Proben verbleiben dann

für weitere 10 Minuten in der geschlossenen Presse, um die Relaxation zu studieren. Abgesehen davon, dass die Werte für trockenes Holz drei Mal höher sind als für feuchtes Holz, verlaufen die Kurven sowohl beim Verdichten als auch bei der Relaxation quasi parallel.

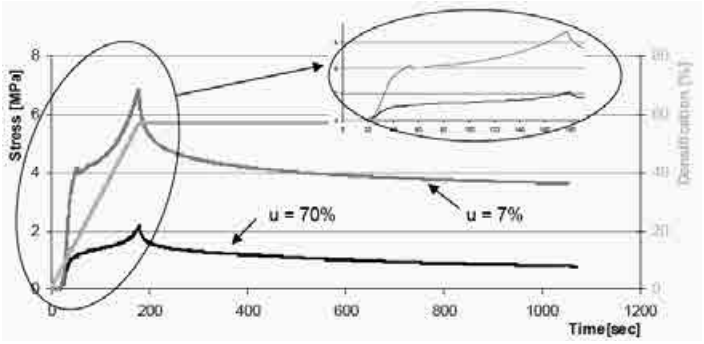


Abb. 3: typischer Spannungs-Zeit Verlauf während der Verdichtung

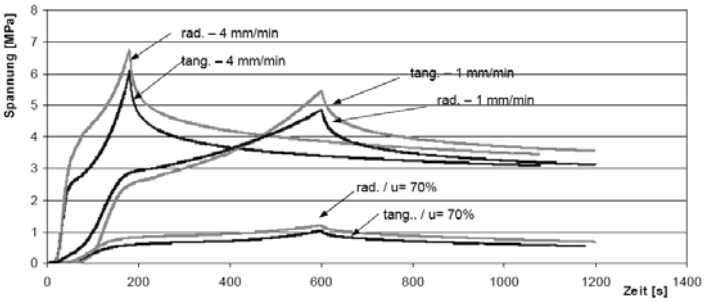


Abb. 4: Verdichtungsdiagramm für verschiedene Verdichtungsparameter (Feuchte, Geschwindigkeit, Jahrringorientierung)

Beim Verdichten werden drei Abschnitte deutlich. Der erste Abschnitt ist linear elastisch und von einer raschen Spannungszunahme und geringen Verformungen gekennzeichnet. Anschließend beginnen die Zellen zu knicken, was zur Folge hat, dass die Kraft nun deutlich weniger ansteigt und die Verformungen sehr groß sind. Dies ist die Phase des Verdichtens. Sind die Lumen gefüllt und kommen die Zellwände aufeinander zu liegen, steigt die Kraft wieder deutlich an. Der Verdichtungsgrad muss nun abhängig von der Holzsorte und der Dichte so gewählt werden, dass die Verformung gleichmäßig über den Querschnitt verteilt ist und gleichzeitig die Zellwände nicht bei zu hohem Druck untereinander verkleben.

Feuchte senkt die Holzfestigkeit. Um trockenes Holz auf einen Verdichtungsgrad von 50% zu verdichten, muss für trockenes Holz vier Mal so viel Kraft aufgewendet werden, wie für feuchtes Holz (Abb. 4). Eine niedrigere Verdichtungsgeschwindigkeit garantiert einen geringeren Pressdruck und damit auch weniger Schädigungen der Zellstruktur. Gründe für die geringeren Spannungen sind zum einen die bereits während des Verdichtens einsetzende Relaxation die bei geringerer Geschwindigkeit umfangreicher ist und der Wasserdruck bei feuchtem Holz der durch langsameres Verdichten ebenfalls geringer ist. Beide Richtungen, radial und tangential, verhalten sich ähnlich.

Positiver Nebeneffekt des Verdichtens ist die Holztrocknung durch mechanisches Herauspressen des Wassers. Im grünen Holz wird so und durch die hohe Umgebungstemperatur während des Pressens die Holzfeuchte um 50% reduziert. Die Feuchte des trockenen Holzes sinkt immerhin noch um 30%. Dies ist von ökonomischer Bedeutung, da so die mitunter langen bzw. energieintensiven Trocknungszeiten reduziert werden können.

Obwohl das Verdichten grünen Holzes aus ökonomischen und verdichtungstechnischen Gesichtspunkten hervorragend zu sein scheint, ist dieses Holz letztlich nicht als Formholz einsetzbar. In Abbildung 5 ist die plötzliche Rückerinnerung (spring-back) für verschiedene Vorbehandlungen zusammengestellt. Als plötzliche Rückerinnerung wird hier der prozentuale Betrag der ursprünglich eingebrachten Verdichtung bezeichnet, der aufgrund des Memory-Effektes plötzlich und direkt nach der Entnahme der Probe oder des Balkens aus der Presse, frei wird. Da dieser Betrag dem Formprozess nicht mehr zur Verfügung steht, ist

er zu minimieren. Der Betrag der plötzlichen Rückerinnerung wird maßgeblich von der Holzfeuchte, der Entnahmetemperatur und dem Fortschritt der Relaxation nach der Verdichtung beeinflusst. Holzart und Verdichtungsrichtung haben im Vergleich zu den eben genannten Größen nur einen unwesentlichen Einfluss.

Bei feuchtem Holz beträgt die plötzliche Rückerinnerung durchschnittlich mehr als 70 %. Verformungsreserven sind also quasi kaum mehr vorhanden. Außerdem ist die Rückerinnerung sehr ungleichmäßig. Die Dicke der Proben variiert stark – während die Rückerinnerung an den Rändern noch relativ gering ist, ist sie im Zentrum der Probe besonders stark ausgeprägt. Die plötzliche Rückerinnerung bei trocknen Holz beträgt etwa 20 %; der Querschnitt bleibt eben. Hier sind noch ausreichend Verformungsreserven vorhanden, um zu Formen. Durch längeres Verweilen der Probe in der Presse in Kombination mit Abkühlen der Probe.

Die Betrachtung der Spannungs-Dehnungs-Beziehung der einzelnen Experimente ermöglicht einen Einblick in die Wirkung der Vorbehandlung. In Abbildung 6 sind die Ergebnisse für eine Verdichtung in tangentialer Richtung dargestellt. Am leichtesten lässt sich feuchtes Holz verdichten, das auf 120 °C vorgeheizt wurde. Das Falten der Zellen beginnt hier schon bei einer Spannung von 1 MPa, während bei trockenem Holz 2,8 MPa nötig sind. Die Höchstspannung bei einem Verdichtungsgrad von 50 % beträgt 1,8 MPa für das feuchte und 5,1 MPa für das getrocknete Holz.

Ab einer Dehnung von 45% nimmt die Spannung wieder stärker zu, was darauf schließen lässt, dass einzelne Zellwände schon aufeinander liegen, während andere Zellen noch weiter verdichtet werden.

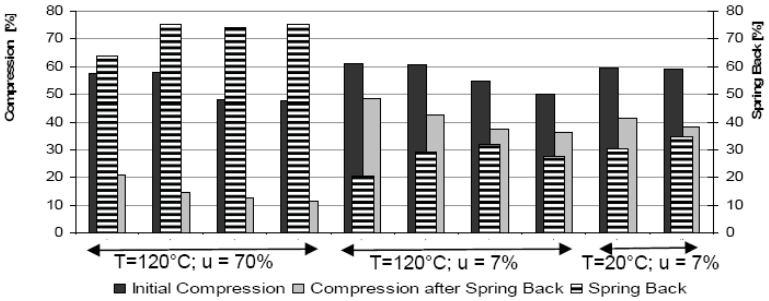


Abb. 5: Rückerinnerung bei Entnahme aus der Presse

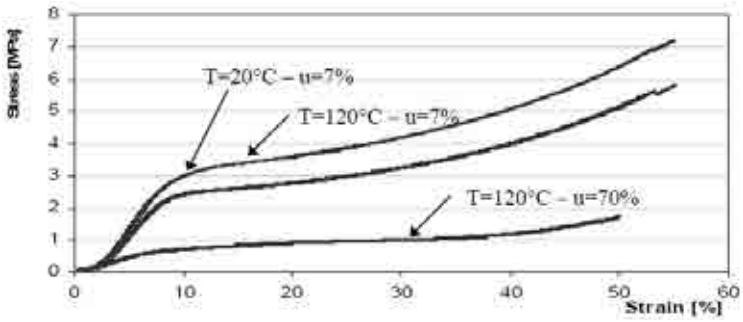


Abb. 6: Spannungs- Dehnungs- Diagramm für Verdichtung in tangentialer Richtung

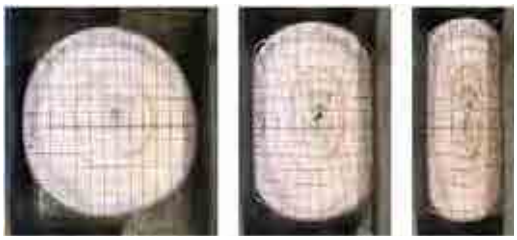


Abb. 7: Verdichten von Rundholz

Versuche an Baumscheiben zeigen, dass sich diese ohne seitliche Begrenzung gut verdichten lassen (Abb. 7). Die Verdichtung selbst ist im Querschnitt unregelmäßig verteilt und zeigt das Spiegelbild des zusammen geschobenen Querschnitts. Die Verdichtung ist in der Mitte in Pressrichtung gleichmäßig und wird bogenförmig zu den Rändern hin geringer. Der äußerste Rand in der Mitte bleibt unverdichtet. Trotz der Unregelmäßigkeit der Verdichtung kann solches Holz bei Beachtung der richtigen Orientierung für das Formen verwendet werden. Problematisch ist der

Riss der sich vom Mark her schon bei geringen Verdichtungen in einem Winkel von etwa 45° zur Pressrichtung ausbildet und beinahe die gesamte Scheibe durchzieht.

6 Zusammenfassung

Schnellwachsende Pappel aus Kurzumtriebsplantagen eignete sich hervorragend zur Herstellung von Formholz. Seine Struktur, seine geringe Dichte und die gleichmäßige Verteilung der Poren sind die idealen Voraussetzungen für einen problemlosen Verdichtungs- und Formprozess. Pflanzt man Pappel zur Herstellung von Formholz, ist darauf zu achten die Pflanzabstände im Gegensatz zu denen der Energieholzgewinnung zu vergrößern. Alternativ kann die Pflanzung auch nach 3-5 Jahren durchforstet werden. Das Verdichten grünen Holzes ist möglich, aber nicht zu empfehlen. Das Holz sollte vor dem Verdichten gelagert und getrocknet werden. Es bleibt noch zu untersuchen, inwieweit Holz mit einem Feuchtegehalt von 20...35 % zum Verdichten geeignet ist. Die Verdichtungstemperatur sollte zwischen 120 und 160°C liegen. Während des Erhitzens ist darauf zu achten, dass Holz mit niedrigem Feuchtegehalt nicht noch weiter getrocknet wird. Unterschiede bei den Verdichtungsrichtungen sind bei Pappel nicht markant. Die plötzliche Rückerinnerung ist durch geeignete Maßnahmen zu minimieren.

8.1 Rohstoff Holz
Mondholz

1 Einführung

Unter „Mondholz" bzw. „Mondphasenholz" versteht man solches Holz, das unter Berücksichtigung des forstwirtschaftlichen Mondkalenders zu einem als „günstig" angesehenen Zeitpunkt gefällt wurde. Ob dies jedoch bei zunehmendem oder abnehmendem Mond geschehen soll, hängt von dem Kalender ab, den man zu Rate zieht.

Dem Mondholz werden von seinen Befürwortern besondere Qualitäten hinsichtlich Festigkeit, Dauerhaftigkeit, Feuerbeständigkeit und Resistenzen gegenüber Insekten und Pilzen nachgesagt. So wird Mondphasenholz als Bauholz, Brennholz, für Kamine, den Instrumentenbau oder zum Aufbewahren von Lebensmitteln eingesetzt. Dafür muss es verschiedenen Ansprüchen gerecht werden, die nicht immer gleichzeitig erfüllt werden können. Für „Bretter und Bauholz" sowie für „besonders hartes Holz" wird ein Holzeinschlag bei zunehmendem Mond empfohlen, hingegen für „Möbel- und Werkzeugholz", „nichtfaulendes Holz", „schwundfreies Holz" sowie „Brücken- und Bootsholz" ein Einschlag bei abnehmender Mondphase. Welche Eigenschaften bzw. welches Holz für welche Einsatzgebiete idealerweise vorgesehen ist bleibt allerdings meist offen. Werden Brücken nicht aus Brettern und anderem Bauholz hergestellt? Muss Werkzeugholz nicht besonders hart sein? Ist es nicht von Vorteil, wenn Bretter und Bauholz nicht faulen und schwinden?

Der wissenschaftliche Beweis für den Zusammenhang zwischen den Eigenschaften des Holzes und dem Zeitpunkt des Fällens konnte bisher, zumindest für das gut untersuchte Fichtenholz und im wesentlichen auch für Eichenholz, nicht erbracht werden.

2 Historie

Viele alte Holzbauten beweisen, dass Holz ein dauerhafter Baustoff ist. Beeindruckende Beispiele hierzu liefern die Stabkirchen in Skandinavien, die rustikalen Holzhäuser in den Alpen oder die kunstvoll verzierten Pagoden und Paläste in Japan und China. Häufig werden diese Beispiele der Holzbaukunst von Verfechtern des Mondholzes mit diesem in Verbindung gebracht. Beweise für die Einhaltung bestimmter Einschlagtermine, Mondphasen o. ä. bei der Holzernte können bei Gebäuden, die mehrere hundert Jahre alt sind, jedoch meist nicht vorgelegt werden. Vielmehr ist die lange Lebensdauer damit zu begründen, dass die damaligen Baumeister die Regeln des konstruktiven (baulichen) Holzschutzes beherrschten und anwendeten.

Da man einst nicht schreiben und lesen konnte, wurden die Arbeitsanweisungen, um sie für die Menschen leichter aufnehmbar zu machen, einfach in Versform oder in einer stark übertriebenen Darstellung aufbereitet. Die alten Bauernregeln werden oftmals als Beweis für das uralte Wissen um die besonderen Eigenschaften des Mondholzes herangezogen. Diese sind nicht prinzipiell falsch, sollten aber im Kontext betrachtet werden. Wahrscheinlich ist, dass diese Empfehlungen oftmals kirchlich oder auch betrieblich motiviert sind. So ist es einfach zu begründen, dass man in bestimmten Monaten nicht das Holz erntete, weil man in diesen Zeiten den Acker bestellten musste. Daraus eine allgemeine Empfehlung abzuleiten, nur im Winter das Holz zu schlagen, ist dadurch kaum zu rechtfertigen.

Aussagen wie „Wer sein Holz um Christmett fällt, dem sein Haus wohl zehnfach hält." sagt eigentlich nichts anderes aus, als dass eine Schlägerung in der Frühwinterphase günstig ist. Interpretationen, die suggerieren, dass Holz, das nach dieser Regel geschlagen wurde, eine größere Dauerhaftigkeit besitzt, konnte bisher wissenschaftlich nicht zweifelsfrei belegt werden. Bei den früheren Holzerntemethoden (und teilweise ist es auch heute noch so) kann jedoch das im Frühwinter

geschlagene Holz problemlos über längere Zeit im Wald oder Sägewerk lagern, ohne dass es gleich von Sekundärschäden (Pilze, holzzerstörende Insekten) befallen wird. Gleichzeitig ist eine Holzrückung aus dem Wald mit schweren Geräten bei gefrorenem Boden wesentlich schonender.

Dies legt nahe, dass nicht das Holz zum entsprechenden Erntezeitpunkt besser ist, sondern die Rahmenbedingungen. Wenn diese aber durch moderne Transport- und Verarbeitungsmethoden geändert bzw. verbessert sind, verändern sich auch eventuell vorhandene Vor- oder Nachteil für bestimmte Erntezeitpunkte.

Neben dem abnehmenden Mond als „richtigen Zeitpunkt" für die Holzernte, soll an bestimmten Tagen geerntetes Holz besondere Eigenschaften besitzen. Als besonders häufig genanntes Beispiel hierfür gilt der 1. März. An diesem Tag geschlagenes Holz soll nicht brennen, so jedenfalls wollen es „uralte Quellen" wissen. Diese nach dem Datum starre und von der Bedeutung für die Holzqualität bedeutungsvolle Regel ist im forstlichen Schrifttum sehr früh dokumentiert – so findet sich diese Regel bereits in einer Veröffentlichung aus dem Jahre 1680. Bei diesen und anderen auf bestimmte Tage und Zeiträume bezogenen Fällterminen bleibt jedoch die Frage, ob die Umstellung vom Julianischen auf den Gregorianischen Kalender (begonnen 1582, endgültig durchgesetzt 1700) berücksichtigt wurde. Insbesondere die Tatsache, dass es 118 Jahre dauerte, bis in ganz Deutschland wieder ein einheitliches Datum eingeführt war (durch die Kalenderreform wurden 10 Tage „übersprungen"), wirft die Frage auf, welche Regeln vor oder nach der gregorianischen Kalenderreform entstanden sind, und welche angepasst oder nicht angepasst wurden.

Kalender, die sich nicht auf feste Termine festlegen, sondern die Fälltermine entsprechend den Mondphasen und den Tierkreisbildern richten, sind zwar nicht von dieser Kalenderreform betroffen, ein Einfluss auf die Holzqualität ist aber hier ebenso wenig bewiesen wie bei anderen Fällregeln.

3 Forschung

Die Skepsis gegenüber wissenschaftlich geführten und wiederholbaren (bzw. wiederholten) Versuchen ist immer noch groß, wohingegen überlieferte, tradierte Informationen ungeprüft angenommen werden. Verschiedene Forschungen (zusammengestellt in [1]) kommen zu dem Schluss, dass „Mondholz" ebenso gut brennt wie „normales" Holz, die Resistenz gegen Pilze und Insekten ebenso vergleichbar mit herkömmlich eingeschlagenem Holz ist wie Raumstabilität, Härte (Dichte) und Holzfeuchte, es also zu keiner Verbesserung der Holzeigenschaften kommt.

Demgegenüber stehen Forschungen, die einen Einfluss zu erkennen glauben. Holzwissenschaftler Ernst Zürcher (Hochschule für Architektur, Bau und Holz, Biel) konnte verbesserte Festigkeiten von Mondholz bei 2000 Fichten-Proben feststellen. Außerdem stellte er eine erhöhte Dichte bei Mondholz im Vergleich zu Holz aus normalem Einschlag fest.

Weitere Forschungsergebnisse von Ernst Zürcher z.B. belegen zwar einen Unterschied der Eigenschaften des Mondholzes, allerdings liegen die Unterschiede der verglichenen Mittelwerte der Darrdichten der Proben (insgesamt 30 Stück) von Mondholz und normal geschlagenem Holz bei 10%. Da die natürliche Schwankungsbreite der Eigenschaften von Holz recht groß ist, sollte bei einem positiven Effekt des Einschlagzeitpunktes auf die Eigenschaften des Rohstoffes ein deutlicher Unterschied zu den durchschnittlichen Eigenschaften feststellbar sein – dies entspricht üblicherweise einer Abweichung von deutlich mehr

als 10% der Vergleichsstichprobe von den Mittelwerten der geprüften Eigenschaften.

Von Seiten der Mondholz-Befürworter wird stets propagiert, dass im Winter geschlagenes Mondholz auch deshalb so gut ist, weil sich der Baum zu diesem Zeitpunkt in der Saftruhe befindet, die Holzfeuchte somit geringer ist. Forscher der TU Dresden haben in einer Tabelle verschiedene Forschungsergebnisse bezüglich des minimalen und maximalen Wassergehalts in verschiedenen Baumarten zusammengetragen. Die Tabelle zeigt, dass keine allgemeinen Aussagen bezüglich des minimalen und maximalen Wassergehalts gemacht werden können, da dieser von verschiedenen Faktoren abhängig ist (Tab. 1). Grundsätzlich gibt es natürlich eine Veränderung im Holz über den Jahresverlauf durch unterschiedliche physiologische Vorgänge, insbesondere hinsichtlich der Einlagerung von Speicherstoffen. Es ist aber zu beachten, dass sich diese Vorgänge nur im Splintbereich und da nur in den physiologisch aktiven Zellen bzw. Bereichen abspielen, so dass ein Großteil des später als Bauholz eingesetzten Holzes davon gar nicht erfasst ist.

Tab. 1: Jahresgang der Feuchte im Splintholz unterschiedlicher Baumarten. Je nach Untersuchungsmethode, Baumart und Baumalter weisen die Bäume zu fast jeder Jahreszeit einen Höchst- bzw. Niedrigstgehalt an Wasser auf. [1]

Autor	Jahr	Baumart	Baumalter	Methode	Höchster Wassergehalt	Niedrigster Wassergehalt
D. du Monceau	1755	Eiche	-	Stammstücke	Winter	Sommer
Nördlinger	1879	Eiche	-	Stammstücke	Juli	Dezember
Hartig T.	1858/1871	Eiche	16	Bohrkerne	Sommer	Frühling
Büsgen	1911	Buche	-	Bohrkerne	Mai	Spätherbst
Gäumann	1935	Buche	-	Stammscheiben	Sommer	Dez./Jan.
Knuchel	1930	Fichte/ Tanne	-	Balken	keine Änderung	
Langner	1932	Fichte	-	Stammscheiben	Winter	Sommer
Choong	1969	Kiefer	-	-	Winter	Sommer
Gibbs	1958	Laubbäume	junge Bäume	Zweige, Wipfel	Mai	März
Sachsse	1971	Buche	70-100	Stammscheiben	keine Änderung	
Klemm	1963	Pappel	7	Durchstrahlung	Mai	Februar
Burmester	1980	Fichte	75	Bohrkerne	Februar	Juni
Burmester u. Ranke	1981	Eiche	-	-	keine Änderung	
Schulz u. Böhner	1987	Fichte	-	Bohrkerne	keine eindeutigen Ergebnisse	
Glavac et al.	1990	Buche	35/42	Stammscheiben	Herbst	Winter
Schwartz-Spornberger	1990	Fichte	-	Computer-Tomographie	keine eindeutigen Ergebnisse	
		Kiefer	-		September	Juli
		Buche	-		Februar/April	August
Lüttschwager	1990	Kiefer	-	-	Frühsommer	Herbst
Wiebe	1992	Laub- und Nadelbäume	-	Computer-Tomographie	keine eindeutigen Ergebnisse	
Teischinger und Fellner	2000	Fichte	100	Stammscheiben	Winter	Sommer

Auch die Freiburger Forstwissenschaftlerin Ute Seeling hat in zwei Studien Mondholz und konventionelles Holz von Eichen und Fichten verglichen. Da ein genauer Einschlagzeitpunkt für Mondholz aufgrund der unterschiedlichen Angaben in den Bauernkalendern nicht festgelegt werden konnte, bezogen die Forscher beide Varianten (abnehmender bzw. zunehmender Mond) in ihre Untersuchung ein und maßen dann, wie stark das Holz nach dem Schlagen sein Volumen verringerte, während es auf natürliche Weise trocknen konnte. Dabei konnte kein Unterschied zwischen dem so genannten Mondholz und dem – gemäß Mondkalender – nicht in der richtigen Mondphase geschlagenen Holz nachgewiesen werden.

Trotzdem hat Mondholz in der Tat sehr oft gute Qualitäten – vermutlich aber aus vielerlei Gründen: Erntezeitpunkt, die Art des Einschnittes, die Lagerung und Trocknung an der Luft. Nicht der Mond macht das Holz zu dem, was es ist, sondern ein Gesamtkonzept von der behutsamen, umweltschonenden Auswahl der Hölzer, bis zur traditionellen und gewissenhaften Verarbeitung – jenseits der Massenproduktion.

4 Vermarktung

Teilweise werden zur Zeit um bis zu 30% höhere Preise für Mondholz verlangt, als für herkömmlich eingeschlagenes Holz. Doch sollte ein Kunde, der im Vergleich zu Holz aus herkömmlichem Einschlag z.B. 20% mehr für Mondholz bezahlt auch ein Anrecht darauf haben, 20% bessere Holzeigenschaften zu bekommen, verglichen mit der besten Holzqualität von Bäumen aus dem preis-

günstigeren Normaleinschlag – dies kann aber, glaubt man den Ergebnissen der verschiedenen Forschungsprojekte, nicht gewährleistet werden. Das Geschäft mit den angeblichen Eigenschaften des „Mondholzes“ birgt die Gefahr, ein falsches Licht auf den Baustoff Holz zu werfen. Werbung, die Versprechungen macht, welche nicht nachweislich gehalten werden können, können dem Holz unter Umständen sogar schaden.

5 Fazit

Um endgültig den Einfluss des Mondes auf das Holz zu klären, haben die Forscher der TU Dresden Leitlinien aufgestellt, die den weiteren Umgang mit dem Thema Mondholz betreffen. Nach den Aussagen der Forscher erscheint es notwendig, weitere Forschungen zum Thema durchzuführen, die jedoch nicht von Beginn an als „esoterisch“ abgetan werden sollten. Eine wichtige Voraussetzung ist die Reproduzierbarkeit der Forschungsergebnisse, die zur Zeit für die Forschungsergebnisse, die einen Effekt der Mondphase auf das Holz bestätigen, nicht gegeben ist. Die möglichen Unterschiede der Holzeigenschaften von „Mondholz“ und Holz aus herkömmlichem Einschlag müssen außerhalb der natürlichen Schwankungsbreite liegen, um einen praxisrelevanten und wissenschaftlich anerkannten Charakter zu besitzen. Erst wenn jederzeit reproduzierbare und praxisrelevante Eigenschaftsunterschiede zwischen „Mondholz“ und normalem Holz nachgewiesen wurden, ist es Zeit, die Ergebnisse einer breiten Öffentlichkeit bekannt zu geben. Erst wenn die positiven Eigenschaften nachgewiesen und begründbar sind, ist die Werbung mit den speziellen Eigenschaften seriös und eventuell sogar ein höherer Verkaufspreis gerechtfertigt.

Quellen

[1] Bues, C.-T.; Triebel, J.: Mythos "Mondholz". Professur für Forstnutzung, TU Dresden. http://tu-dresden.de/die_tu_dresden/fakultaeten/fakultaet_forst_geo_und_hydrowissenschaften/fachrichtung_forstwissenschaften/institute/fnft/fn/mondholz/mondholz

[2] Rauch-Schwegler, T.; Rock, S.: Nachhaltig handeln. h.e.p. Verlag, 2005 http://www.3sat.de/nano/cstuecke/43070/index.html

[3] Schramm, M.: Von Mondholz und Vollmondbier – Was der Erdtrabant tatsächlich bewirkt. Manuskript, Bayern 2 – radioWissen, Bayerischer Rundfunk www.br-online.de/wissen-bildung/collegeradio/medien/natur-technik/mondholz/manuskript/mondholzn_manuskript.pdf http://www.br-online.de/wissen-bildung/collegeradio/medien/natur-technik/mondholz/hintergrund/#modul3

[4] Zürcher, E.: Holzforschung im Zeichen des Mondes. Lebendige Erde 6/2003

8.1 Vollholz
Holz - die Innere Optimierung der Bäume

Claus Mattheck

1 Einleitung

Im Forschungszentrum Karlsruhe wurde die Selbstoptimierung der Baumgestalt untersucht und das Axiom der konstanten Spannung formuliert, an hunderten von Beispielen verifiziert und Verfahren entwickelt, Maschinenbauteile nach diesem Axiom zu designen. Letzteres Verfahren fand bereitwillige Aufnahme seitens der Industrie, und bislang lassen zahlreiche Lizenznehmer bruchgefährdete Bauteile computersimuliert wachsen [1].

Es wurde weiterhin herausgefunden, dass Bäume bei Störung der gleichmäßigen Verteilung der Spannungen auf der Baumoberfläche (Axiom konstanter Spannung) diese durch Reparaturanbauten wiederherstellen. So werden innere Faulhöhlen durch äußere Wülste und Risse durch die Ausbildung von Rippen vor der Rissspitze angezeigt.

Lokale Rindenstauchungen in Ziehharmonikaform können lokal hohe Druckspannungen und reißlackartige Rindenablösungen können lokal hohe Zugspannungen bedeuten. Diese Defektsymptome sind Warnsignale in der Körpersprache der Bäume. Sie wurden mit der VTA-Methode (Visual Tree Assessment) dem jeweiligen Defektsymptom zugeordnet. Für die Defektbestätigung wurden Geräte entwickelt und durch umfangreiche Feldstudien Versagenskriterien bereitgestellt [2]. Das kostengünstige Verfahren ist leicht erlernbar und verbreitete sich weltweit schnell. In Deutschland fand es bereits Eingang in die Rechtsprechung auch auf Oberlandesgerichtsebene.

Fast alle diese Untersuchungen bezogen sich auf die äußere Baumgestalt, deren Untersuchung nunmehr als weitgehend abgeschlossen gelten kann.

Die innere Optimierung der Bäume ist biomechanisch relativ wenig erforscht. Die meisten Bücher über Holzanatomie sind eher beschreibender Natur [3-5]. Dies mag wohl auch daran liegen, dass bislang keine Geräte existierten, die es erlaubten, die mechanischen Eigenschaften grüner Hölzer vor Ort, also in der Natur zu bestimmen. Fällt man jedoch einen Baum, zersägt ihn in Holzproben, so ist die Vermeidung von Trocknungsrissen sowie die Zuordnung zum Baum ein Problem. Daher wurden in Zusammenarbeit mit unserem Industriepartner Erich Hunger (Instrumenta Mechanik Labor GmbH, Wiesloch) mehrere robuste, feldtaugliche Geräte entwickelt, ohne die die nachfolgenden Ergebnisse nicht gefunden worden wären.

Wer nämlich die mechanische Optimierung des Holzes verstehen will, muss erlernen, wie es vom Baum optimal, also lastgerecht eingesetzt wird. Wer nur Bretter untersucht, wird niemals die innere Optimierung der Bäume, also ihre funktionelle Holzanatomie verstehen [6].

2 Messtechnik: Die Fractometerfamilie

Es galt eine Holzprobe zu finden, die mit nur geringer Schädigung des Baumes unter Feldbedingungen leicht zu entnehmen ist, die Fällung des Baumes nicht notwendig macht und dennoch Zugang zu allen versagensrelevanten Festigkeitseigenschaften des Holzes verschafft.

Diese Probe ist der Ø 5 mm Bohrkern, der mit einem sogenannten Zuwachsbohrer, einem hohlen, selbstschneidenden Stahlbohrer entnommen werden kann. Abb. 1 zeigt die Messgrößen, die durch Zerbrechen des Bohrkerns - und nur durch den Bruch einer Probe lassen sich Festigkeiten bestimmen! - sich ergeben.

Um diese Messungen vorzunehmen, wurden sogenannte Fractometer entwickelt. Wegen ihrer relativ niedrigen Kosten verbreiteten sich die Ge-

räte zusammen mit der VTA-Methode weltweit sehr schnell. Studien der Universität Freiburg haben ergeben, dass man allein mit dem Fractometer alle untersuchten Holzzersetzungen durch Fäule problemlos nachweisen kann [7]. Neben der Messtechnik musste auch ein einfaches Holzmodell entworfen werden, das die Mechanik des Holzes in allgemeinverständlicher Weise beschreibt.

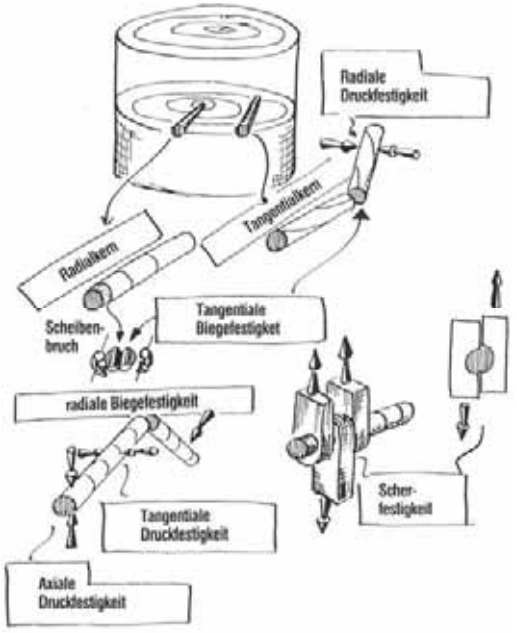
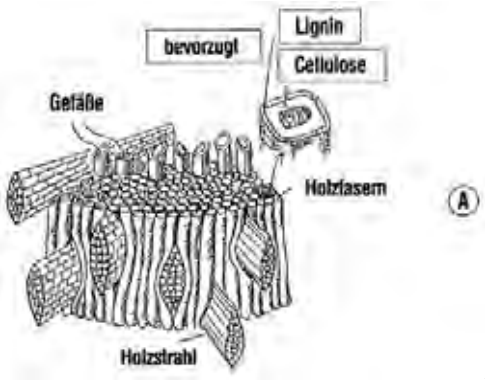


Abb. 1: Festigkeitsgrößen, die sich durch Bruch eines Bohrkernes bestimmen lassen.

3 Ein mechanisches Ersatzmodell für Holz

Abbildung 2a zeigt ein Stück eines Jahrringes von ringporigem Holz mit den großen Gefäßen im Frühholz und den eigentlich tragenden Holzzellen in Spätholz. Die Holzzellen bestehen aus einer äußeren Mittellamelle, die die Zellen untereinander verklebt, einer Primärwand, die pro Volumeneinheit viel Lignin enthält und einer inneren Sekundärwand, die pro Volumeneinheit viel Zellulose und weniger Lignin enthält. Die Fasern umsteuern die Holzstrahlen, die die Fasern radial zusammenhalten und wie Fahrradspeichen zur Baummitte verlaufen. Die Spindelform der Holzstrahlenquerschnitte ermöglicht eine weiche Kraftflussumlenkung, die das Risiko des Faserknickens mindert.

Für die nachfolgenden mechanischen Betrachtungen führen wir ein mechanisches Ersatzmodell ein (Abb. 2b), das zwar nicht in allen Details exakt ist, aber die Vereinfachung ist der Preis für die Anschaulichkeit.



A

bb. 2a: Vereinfachte Holzmodelle. Stück eines Jahrringes von ringporigem Holz mit vergrößert gezeichneter Zelle, die aus einer ligninreichen Primärwand und einer zellulosereichen Sekundärwand besteht

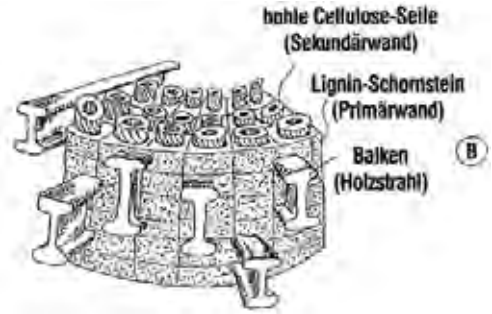


Abb. 2b: Vereinfachte Holzmodelle. Mechanisches Ersatzmodell, bei dem die Primärwände der Holzzellen zu einem System aus Lignin-Schornsteinen miteinander verklebt sind. Die Schornsteine aus sprödem Lignin enthalten je ein biegeweiches, aber zugfestes Zellulose-Hohltau. Die Holzstrahlen stellen eine radiale Armierung dar, die als I-Träger eingezeichnet ist.

Dabei fassen wir die Mittellamelle und Primärwand (und eigentlich auch das in der Sekundärwand enthaltene Lignin) zu einem Ligninschornstein zusammen der mit einem Zellulosehohltau armiert ist. All diese mit Zelluloseseilen gefüllten Schornsteine sind nun miteinander verklebt und werden in radialer Richtung durch die hier als I-Balken eingezeichneten Holzstrahlen armiert. Die Holzstrahlen selbst bestehen ebenfalls aus – nunmehr jedoch radial gerichteten - Ligninschornsteinen mit Zelluloseseilfüllung. Holz ist also ein sprödes Mauerwerk aus Ligninschornsteinen, die axial und radial durch Zelluloseseile zusammengehalten werden. Diese Seile tragen z.B. die Zugspannungen, die auf der Windseite des Baumes auftreten und die Ligninschornsteine die Druckspannungen auf der Leeseite.

Das Holzersatzmodell hat auch den Vorteil, dass man mit ihm die Wirkung holzzersetzender Pilze leicht veranschaulichen kann, wie dies in Abbildung 3 für die extremen Holzzersetzungsarten gezeigt ist. Es wurden systematisch die biomechanischen Folgen verschiedener Holzfäulen untersucht und Pilze nach ihrem Gefährlichkeitspotential (Spröd- oder Zähbruch!) klassifiziert [7].

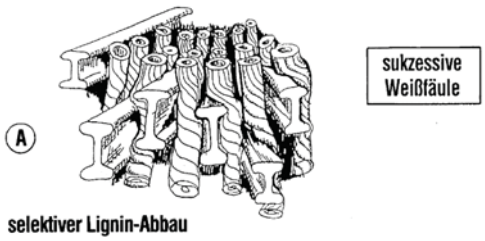


Abb. 3a: Sukzessive Weißfäulen bauen zunächst die Lignin-Schornsteine ab. Es verbleibt ein biegeweiches, aber noch recht zugfestes Material aus den Zellulose-Hohltauen verbunden durch Holzstrahlen. Zähbruchrisiko!

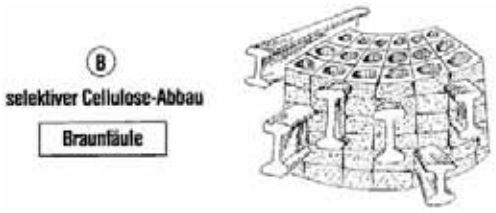


Abb. 3b: Braunfäule zerstört gezielt die Zellulose-Hohltaue und hinterlässt ein steifes, aber sprödes Gerüst aus Lignin-Schornsteinen. So geschädigte Bäume können spröde wie ein Zwieback und ohne Vorwarnung versagen. Baldiges Sprödbruchrisiko!

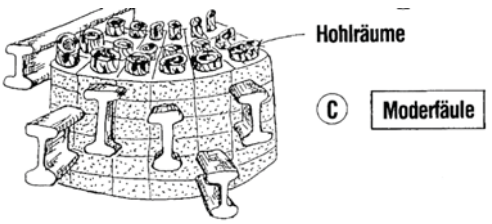


Abb. 3c: Moderfäule bewirkt einen „Lochfraß“ in den Zellulose-Hohltauen, der aber viel träger als bei Braunfäule zur Holzversprödung führt. Spätes Sprödbruchrisiko.

4 Biomechanische Bedeutung der Holzstrahlen

Wenn ein Baumstamm gebogen wird, gibt es ein Bestreben der Jahrringe, aufeinander abzugleiten, so wie dies auch die Seiten eines Buches tun, das man biegt.

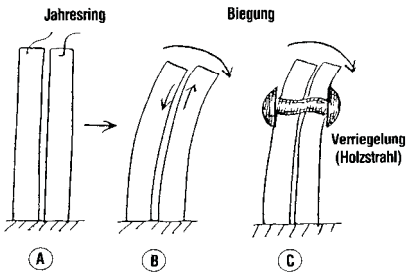


Abb. 4a: Die Holzstrahlen haben auch die Funktion, Gleitbewegungen der Jahrringe gegeneinander durch Verriegelung zu unterdrücken.

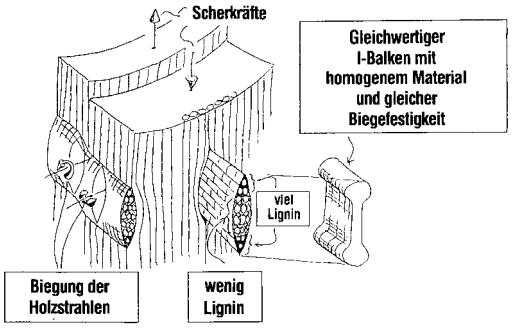


Abb. 4b: Werden die Holzstrahlen auf Biegung belastet, haben sie, wie von Francis Schwarze, Freiburg für Esche nachgewiesen wurde, am oberen und unteren Ende der Spindel mehr Lignin. Sie entsprechen damit trotz ihrer Spindelform einem I-Balken.

Die Holzstrahlen verriegeln benachbarte Jahrringe gegen diese Schubbelastung wie ein Querbolzen (Abb. 4). Die Querbolzen, also die Holzstrahlen, werden dabei auf Biegung belastet. Ihre spindelartige Querschnittsform, die so vorteilhaft eine weiche Umlenkung der Holzfasern wie um einen Schiffsbug erlaubt, ist hier eher nachteilig. Es zeichnet sich ab, als würden die Bäume mit nicht zu hohen Holzstrahlen dies durch eine stärkere Lignifizierung also Aussteifung der Holzstrahlspindelenden ausgleichen. Die Holzstrahlen zumindest einiger Baumarten sind somit getarnte I-Balken [8]. Bei sehr hohen Holzstrahlen wie bei Eiche und Buche ist dies nicht zu erwarten, da diese eher auf Schub als auf Biegung belastet werden.

Eine weitere mechanische Funktion der Holzstrahlen ist der radiale Zusammenhalt der Holzfasern. Dadurch wird der Widerstand des Holzes gegen Längsspaltung enorm erhöht. Die flachwurzelnde Fichte versagt nicht selten durch eine Längsspaltung im Bereich des Wurzelanlaufes, die durch radial nach außen gerichtete Zugspannungen bewirkt wird. Obwohl dieses Maximum sich nun fern des Kambiums, im Bauminneren befindet, scheinen die Bäume dieses Risiko zu erkennen. Albrecht wies nämlich genau an den Stellen höchster radialer Zugspannungen auch höchste radiale Fractometerwerte nach, also höchste radiale Festigkeiten [9]. Dies ist in Abbildung 5 qualitativ dargestellt, wobei die Holzstrahlen durch Seile vereinfacht dargestellt sind.

Das Besondere an dieser Erkenntnis ist, dass es offenbar einen Mechanismus gibt, der im „toten“ Holz dieses Maximum mit zunehmendem Dickenwachstum des Baumes nach außen wandern lässt. Der holzanatomische Mikromechanismus ist noch nicht geklärt.

Übrigens wurde von Mattheck und Zipse an schottischen Rotbuchen, die ganzjährig windexponiert waren, auch eine wesentlich höhere axiale Druckfestigkeit auf der druckbelasteten Leeseite als auf der zugbelasteten Luvseite gemessen. Auch die radialen Festigkeiten waren leeseitig höher, wohl um ein Ausknicken der Fasern nach erfolgter Separation voneinander zu vermeiden. Kurz, die Bäume sind radial und in Faserrichtung da am festesten, wo die Belastung des Holzes am größten ist.

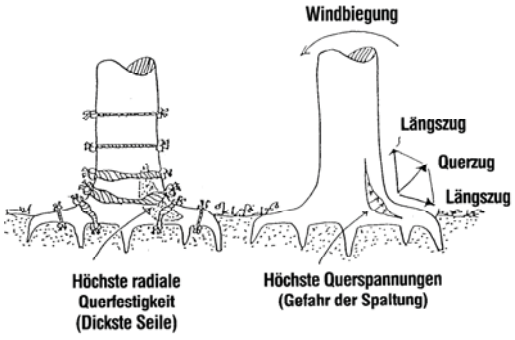


Abb. 5: Neben der Querverriegelung sind die Holzstrahlen auch wesentlich verantwortlich für die Regulierung der radialen Festigkeit. Messungen im Wurzelanlauf von Bäumen zeigten höchste Querfestigkeit da, wo auch die höchsten Radialspannungen wirken.

Wie sieht es aber nun bei Belastung in tangentialer Richtung aus, wo es keine Fasern und keine Holzstrahlen gibt, deren Zelluloseseile den Zug aufnehmen können, wo also Holz allein auf den Kleber zwischen den Ligninschornsteinen angewiesen ist?

5 Tangentiale Festigkeit - die Achillesferse?

Wer eine frische Banane geradebiegt, bewirkt eine axiale Spaltung auf deren konvexer Seite (Abb. 6). Ähnliche Risse entstehen, wenn schiefe, aber gekrümmte Bäume oder Äste durch Absinken geradegebogen werden.

Obwohl die Bäume nun keinerlei Kraftträger wie Fasern oder Holzstrahlen in Richtung der Jahrringe, also tangential angeordnet haben, sind sie in der Lage, ihre tangentialen Festigkeiten zu verbessern (Abb. 7).

An jenen gefährlichen konvexen Bereichen der Stammunterseite finden sich nämlich tatsächlich höhere tangentiale Festigkeiten. Auch hier steuert der Baum seinem Versagen entgegen. Da dies allein durch eine Verbesserung des „Klebstoffes" zwischen den Holzfasern geschieht, ist der Festigkeitszuwachs begrenzt. Die Bäume haben daher noch weitere Mechanismen entwickelt, um die Ausbildung von „Bananenrissen" zu verhindern.

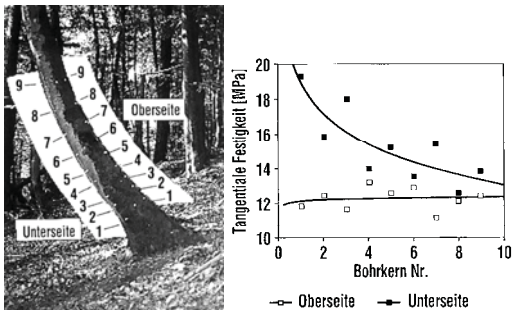


Abb. 7: Schiefe Bäume begegnen dem Risiko der Bananenrisse, indem sie im Bereich der größten Krümmung auf der gefährdeten Baumunterseite höchste tangentiale Festigkeiten erzeugen.

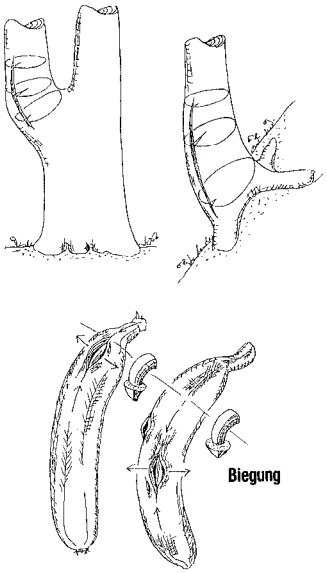


Abb. 6: Der Absenkungsriss („Bananenriss") entsteht, wenn krumme Baumteile geradegebogen werden. Er erinnert an das Aufplatzen einer frischen Banane, die man geradebiegt.

6 Wachstumsspannungen bekämpfen äußere Belastungen

Zunächst einmal versuchen schiefe Bäume, durch Anlagerung von Reaktionsholz weiteres Absinken zu verhindern. Dies geschieht bei Laubbäumen durch Zugholz auf der Stammoberseite. Das Zugholz schrumpft und zieht dabei den Stamm nach oben wie eine Seilwinde, die beim vitalen Baum über Jahrzehnte erfolgreich sein kann. Bei nachlassender Vitalität oder großer Trockenheit erschlafft die Seilwinde und der Baum senkt sich durch Kriechvorgänge ab. „Bananenrisse" können sich bilden.

Außer diesen axialen Zugeigenspannungen auf der Baumoberseite hat jeder lebende Baum - auch der gerade Baum - tangentiale Druckspannungen auf der Oberfläche (Abb. 8).

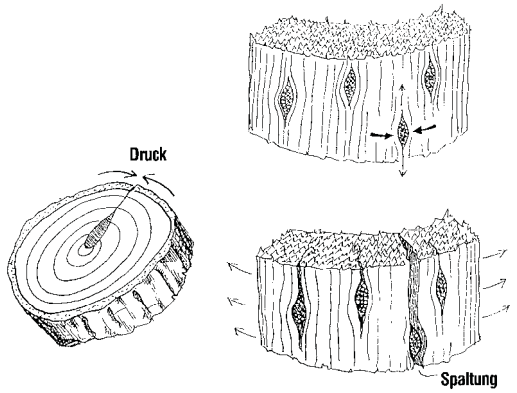


Abb. 8: Bäume haben Wachstumsspannungen, die in Längsrichtung auf der Stammoberfläche Zugspannungen und in Umfangsrichtung Druckspannungen sind. Dieser tangentiale Druck belastet auch die Spindelform der Holzstrahlen in höchst vorteilhafter Weise. Die Holzstrahlen werden zu Rissen, wenn sie quer zur Spindelrichtung gezogen werden. Die Bäume wehren sich gezielt gegen diese Versagen.

Tangentiale Druckspannungen auf der Oberfläche kann man leicht durch einen radialen Sägeschnitt nachweisen: Der Sägeschnitt verengt sich nahe der Rinde sofort nach dem Herausziehen der Säge. Diese Druckeigenspannungen haben nun die vorteilhafte Eigenschaft, die spindelförmigen Querschnitte der Holzstrahlen seitlich zusammenzudrücken und damit die in eben dieser Spindelform begründete Rissgefahr zu vermeiden. Zieht man nämlich eine solche Holzstrahlspindel in tangentialer Richtung, so wirken das obere und untere Ende der Spindel wie eine Rissspitze. Die Holzstrahlen müssen zwar der weichen Umlenkung des Faserverlaufes wegen eben diesen spindelförmigen Querschnitt haben, sind aber durch eben diese Form gleichsam schlafende Risse. Sie werden alleine durch die tangentialen Druckeigenspannungen unter Kontrolle gehalten (Abb. 8 oben).

Frank Dietrich konnte nun zeigen, dass diese tangentialen Druckspannungen, die allein vom grünen Baum aktiv erzeugt werden müssen, da am größten sind, wo das Risiko der „Bananenrissbildung“ am größten ist. Dazu sägte er Säbelbäume in Scheiben und schlug je ein Paar Nägel nahe der Rinde unter- und oberseitig des schiefen Baumes in die Sägeschnittfläche. Sodann wurde je ein weiterer radialer Sägeschnitt zwischen die eingeschlagenen Nägel geführt und die Veränderung der Nagelabstände vor und nach dem radialen Sägeschnitt gemessen (Abb. 9).

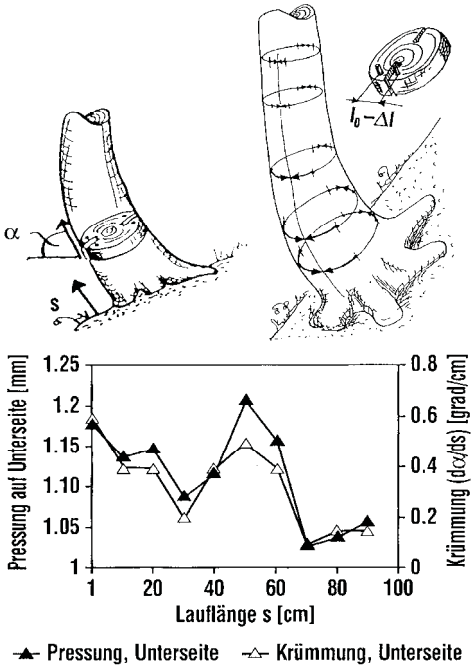


Abb. 9: Die tangentialen Wachstumsspannungen, erkennbar an der Pressung der radialen Sägeschnitte, sind am größten, wo die Gefahr der Absenkungsrisse besonders hoch ist, also an Orten größter Stammkrümmung.

Die Verengung des Radialschnittes ist ein Maß für die tangentialen Wachstumsspannungen. Das Risiko der „Bananenrissbildung“ ist da am größten, wo die Krümmung des Stammes am größten ist. Die Schließung des Sägeschnittes verläuft weitgehend parallel zum Verlauf der Krümmung des Stammes.

Damit ist bewiesen, dass der Baum seine tangentialen Wachstumsspannungen optimal verteilt [10]. Die Holzstrahlen werden da am meisten seitlich durch tangentiale Wachstumsspannungen gequetscht, wo die Gefahr am größten ist, dass sie durch Querzug zu Rissen werden.

7 Die Grenzen der Selbstoptimierung

Immer wieder findet man Bäume mit Schubrissen im unteren Stammbereich, also scheinbar an der falschen Stelle! Weiter oben ist der Stamm dünner, die Scherfläche (Stammquerschnitt) kleiner und damit die querkraftbedingte Schubspannung größer. Die Schubrisse entstehen in der Regel aber am Stammfuß, also unten.

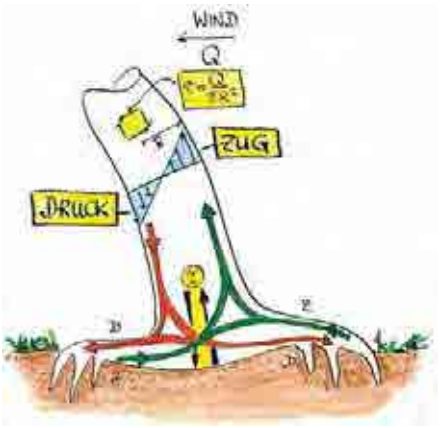


Abb. 10: Windinduzierte Biegebelastung führt zu sich kreuzendem Verlauf der Zug- und Druckkraftflüsse im Stammfuß und entsprechend hohen Schubspannungen zwischen den Holzfasern.

Betrachtet man die Kraftflussverläufe im Stammfuß bei Windbelastung, findet man in der Horizontalwurzel eine s-förmige Biegelinie mit sich kreuzenden Zug- und Druckkraftflüssen. Und auch aus dem Stamm laufen Zug- und Druckkräfte sich kreuzend in die Wurzel ein. Diese Mehrfachkreuzung von Zug und Druck ist praktisch eine Scherbombe! Die Schubspannungen im Stammfuß können fast 50-fach höher sein als oben [11].

Der Pferdefuß an diesem Schubmaximum im Stammfuß ist, dass die Bäume einmal in der jugendlichen Pfahlwurzel angelegte Holzfasern nicht umbilden können. Was in der Jugend für Biegebelastung optimal war, wird im Alter zur Sabotage! Im Alter, wo lange Horizontalwurzeln eine S-Biegelinie bilden, müsste der Baum im inneren gekreuzte Faserverläufe haben. Der alte Baum, insbesondere der Flachwurzler, hat also nicht nur lokal hohe Schubspannungen am Stammfuß, sondern auch geringe Scherfestigkeiten, bedingt durch den lokal nun ungünstigen Faserverläufe - eine Falle der Evolution!

Besonders versagensgefährdet sind auch freigestellte, zuvor phototrop formgestörte Bäume. Diese sind unter gewaltigem Konkurrenzdruck in die Höhe gewachsen, ohne in der Dicke ausreichend zuzulegen. Feldstudien an Laub- und Nadelbäumen haben ein Versagenskriterium, also einen kritischen Schlankheitsgrad, ein kritisches Höhe / Durchmesserverhältnis von H/D=50 für Bäume ergeben [12]. Von diesem Wert an nimmt die Versagensrate der Bäume schnell zu (Abb.11).

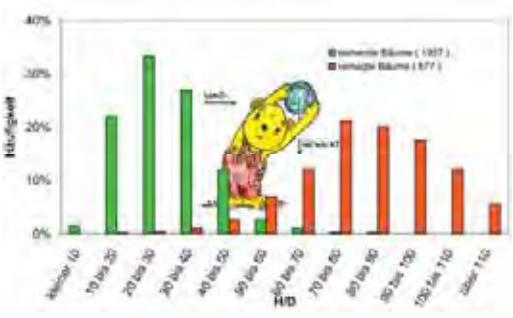


Abb.11: Häufigkeit stehender bzw. versagter Bäume über ihrem Höhe / Durchmesserverhältnis.

Unterhalb von H/D=50 versagen in der Regel nur Problembäume, z.B. in Staunässe, in dünner Bodendeckung auf Fels oder gesunde Bäume bei Orkan. Der zu schlanke Baum versagt, indem er zuerst vom Wind seitlich verbogen und dann vom Gewicht vollends heruntergezogen wird.

Auch wenn Bäume durch Fäule zunehmend ausgehöhlt werden, steigt das Versagensrisiko. In diesem Fall wird das Versagen durch einen Schubriss eingeleitet, gefolgt von einer Querschnittsverflachung wie beim Schlauchknicken. Da voll bekronte, hohle Bäume bereits um 70% Höhlung versagen können, ist der Schubsicherheitsfaktor, den der Schubspannungsanstieg überwinden muss, dort S = R/t = 1/0,3 = 3,33 (Abb.12 und 13).

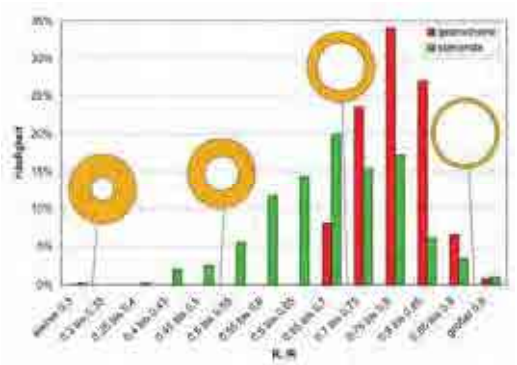


Abb.12: Häufigkeit stehender bzw. gebrochener Bäume über ihrem Höhlungsgrad.

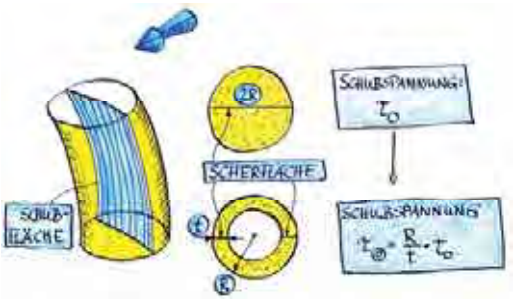


Abb. 13: Die Längsscherfläche im intakten Baum, verläuft entlang des Durchmessers quer zur Lasteinleitung. Verringert sich die Scherfläche durch Höhlung auf den Bruchteil t/R, so ist der Schubspannungsüberhöhungsfaktor S= R/t. Überkritisch hohle Bäume können in der Regel durch Einkürzen wieder sicher gemacht werden.

8 Zusammenfassung

Die äußere Gestalt und die Innenarchitektur der Bäume sind in vielen Bereichen optimal an die Belastung angepasst. Die Holzqualität ist da am besten, wo dem Baum die meiste Gefahr droht, wo also in seinem Inneren die höchsten Spannungen wirken. Die Holzstrahlen und Fasern werden durch Wachstumsspannungen entlastet, wo das Versagensrisiko am höchsten ist. Die Wachstumsspannungen wirken also den äußeren Belastungen genau da entgegen, wo diese am gefährlichsten sind.

1. Mechanische Spannungen werden durch lastadaptives Wachstum gleichmäßig auf der Baumoberfläche verteilt.
2. Die Holzfasern verlaufen innerhalb eines Jahrringes so wie der Kraftfluss, wodurch der Schub zwischen den Holzfasern minimiert wird.
3. Die Holzstrahlen sorgen da für höchste radiale Querfestigkeit, wo das Risiko der tangentialen Spaltung am größten ist.
4. Die Holzfasern sind über ihre „Lignin-Schornsteine“ da am besten verklebt, wo die Gefahr der radialen Längsspaltung („Bananenriss“) am größten ist.
5. Die Holzstrahlen werden durch tangentiale Wachstumsspannungen dort seitlich am meisten zusammengedrückt, wo das Risiko von „Bananenrissen“ am höchsten ausgeprägt ist, wo also die spindelförmigen Holzstrahlquerschnitte am ehesten auf Querzug belastet werden.

Aber auch die Optimierung der Bäume hat Grenzen, so z.B. bei Schubspannungsrissen in hohlen Bäumen und im Stammfuß, oder die Versagensgefahr durch zu große Schlankheit bei unter gewaltigem Konkurrenzdruck gewachsenen phototrop formgestörten Bäumen die freigestellt werden.

Doch trotz dieser Einschränkungen sind Bäume für die Technik geniale Lehrmeister, deren Selbstoptimierungsmechanismen zur Steigerung der Lebensdauer technischer Bauteile mit großem Erfolg genutzt [12] und heute als Universalform der Natur [13] eingesetzt werden.

Quellen

[1] C. Mattheck: Design in der Natur - Der Baum als Lehrmeister (4. Auflage) Rombach Verlag, Freiburg, 2006

[2] C. Mattheck: Aktualisierte Feldanleitung für Baumkontrollen mit Visual Tree Assessment, Forschungszentrum Karlsruhe, 2007

[3] F. H. Schweingruber, Anatomie europäischer Hölzer, Paul Haupt Verlag Bern, 1990

[4] R. Wagenführ: Anatomie des Holzes, VEB Fachbuchverlag, Leipzig, 1980

[5] D. Grosser: Die Hölzer Mitteleuropas, Springer Verlag. Berlin, 1977

[6] C. Mattheck, H. Kubler: Wood - The internal Optimization of Trees, Springer Verlag Heidelberg, 2. Auflage 1996

[7] K. Weber, C. Mattheck: Taschenbuch der Holzfäulen im Baum, Forschungszentrum Karlsruhe, 2001

[8] C. Mattheck, F.W.M.R. Schwarze: Die Holzstrahlen als getarnte I-Balken in einem mechanischen Ersatzmodell für Holz, Allgemeine Forst und Jagdzeitung 165, 10, 1994, 197-201

[9] W. Albrecht, K. Bethge, C. Mattheck: Is lateral strength in trees controlled by lateral stress?, Journal of Arboriculture 21 (2), 1995, 83- 87

[10] F. Dietrich, C. Mattheck: Cracks in sabre-shaped trees and branches, Journal of Theoretical Biology, 173 (1995) 321-327

[11] C. Mattheck: Warum alles kaputt geht – Form und Versagen in Natur und Technik, Forschungszentrum Karlsruhe, 2003, (www.mattheck.de)

[12] C. Mattheck: Verborgene Gestaltgesetze der Natur – Optimalformen ohne Computer, Forschungszentrum Karlsruhe, 2006, (www.mattheck.de)

[13] C. Mattheck: Einheit in der Vielfalt - Universalformen der Natur, Labor&more, 1/2009, 18-20

8.2 Modifizierung von Holz

1 Allgemeines

Holz ist ein anisotroper Werkstoff und seine technologischen Eigenschaften unterliegen dem Einfluss des Umgebungsklimas. Dies gilt jedoch für die verschiedenen Holzarten in sehr unterschiedlichem Maße. Holz unterliegt ferner biologischen Abbauprozessen, was im Sinn der biologischen Rückführung in die natürlichen Kreisläufe positiv zu werten ist, aber die natürliche Dauerhaftigkeit von Holz im Außenbereich einschränkt. Auch hier bestehen zwischen den unterschiedlichen Holzarten große Unterschiede. Der Einsatz von relativ dimensionsstabilen und dauerhaften Importholzarten aus den Tropen und Subtropen sowie die Behandlung wenig dauerhafter Hölzer mit Bioziden waren in der Vergangenheit die Lösungsansätze der Holzwirtschaft, um diesen natürlichen Nachteilen von Holz entgegenzuwirken. Allerdings sind in den letzten 20 Jahren sowohl die chemischen Holzschutzmittel mit ihren Wirkstoffen und deren Umweltwirkungen als auch die Bewirtschaftung und der Raubbau der tropischen und subtropischen Wälder in die Diskussion geraten. Als Folge setzte in manchen Bereichen, wie beispielsweise auf dem Fenstermarkt, eine massive Verdrängung und Substitution des Werkstoffes Holz durch andere Werkstoffe ein.

Um Holz wieder konkurrenzfähiger zu machen und die Marktposition der von kleinen und mittelständischen Unternehmen dominierten Holzindustrie zu stärken, bedarf es innovativer Technologien, welche gerade die Eigenschaften von einheimischen Holzarten in kritischen Einsatzbereichen verbessern und ihren Einsatz attraktiver machen. Aus diesen Entwicklungen folgte die Suche nach Alternativen für die Behandlung mit Holzschutzmitteln. In den letzten zehn bis fünfzehn Jahren wurden verstärkt Versuche unternommen, um Holz in seiner chemischen Struktur so zu modifizieren, dass die physikalischen und biologischen Eigenschaften wesentlich verbessert werden. Dies betrifft vor allem die Verminderung der Hygroskopizität des Holzes und die Verbesserung seiner Dauerhaftigkeit.

2 Definition

Allgemein wird unter einer Modifikation ein Vorgang verstanden, um etwas im Hinblick auf bestimmte Erfordernisse oder Gegebenheiten abzuwandeln. Bei der Holzmodifizierung wird der chemische Aufbau der Holzzellen ohne Einsatz von Giften grundsätzlich verändert. Die Veränderung der chemischen Konstitution des Holzes hat die Absicht, verfahrenstechnische Vorteile oder neue Produkte zu gewinnen. Die Modifizierung von Holz lässt sich in Hauptgruppen unterteilen. Am Bedeutendsten, da bereits teilweise auf dem Markt verfügbar, sind sicherlich die thermische und die chemische Modifikation von Holz. Noch erforscht wird die biologische Modifikation. Des weiteren bilden die mechanische Modifikation, in Form von Pressholz und in Zukunft vielleicht auch die genetische Modifikation weitere Hauptgruppen. Innerhalb der Modifizierungsgruppen kommt es zu einer weiteren Unterteilung in Modifizierungsverfahren. Die verschiedenen Holzmodifizierungsverfahren basieren auf unterschiedlichen Wirkprinzipien. Unter Modifizierung versteht man die Behandlung von Holz über den gesamten Querschnitt. Bei herkömmlichen Hydrophobierungen mit Wachsen, Ölen oder Paraffin handelt es sich um eine Oberflächenbehandlung und nicht um eine Modifizierung.

3 Grund für Holzmodifikation

Das Holz wird durch gezielte Eingriffe sehr viel widerstandsfähiger gegen Feuchtigkeit, Pilzbefall und UV-Strahlung und als nachwachsender Rohstoff zu einem modernen Verbundwerkstoff der Zukunft. Heimische Hölzer bleiben gegenüber anderen Materialien konkurrenzfähig und gleichzeitig kann auf den Import tropischer Harthölzer weitgehend verzichtet werden. Gründe für den Aufschwung dieser neuen Holztechnologien liegen zum einen bei Lieferengpässen und Quali-

tätsschwankungen bei Tropenhölzern, zum anderen auch im steigenden Umweltbewusstsein, wie Abholzung der Regenwälder und Einsatz von chemischen Holzschutzmitteln.

Dies zeigt sich am Beispiel der Holzart Meranti aus Südostasien. Anfang der 80er Jahre war Meranti das Fensterholz schlechthin. Gute Eignung, beste Verarbeitbarkeit und die Verfügbarkeit in großen Mengen haben diese Entwicklung gefördert. Der Bauboom in den 90er Jahren führte zum Preiskampf mit dem Kunststoff-Fenster. Die Folge war ein fataler Preisverfall. Durch Maßnahmen der indonesischen Regierung wurde der Einschlag von 22,5 Mio. m³ (2001) auf 5,5 Mio. m³ (2005) staatlich reguliert. Bei schrumpfenden Verfügbarkeiten und einer zeitgleich steigenden Nachfrage entstand der ideale Nährboden für die rasante Entwicklung des illegalen Einschlags.

Noch heute stammen 80 % des indonesischen Holzexportes aus illegalem Einschlag. In diesem Zusammenhang kommt es auch immer öfters zu Qualitätsproblemen, da die kleinen improvisierten Sägewerke ähnlich aussehendes Holz, das aber absolut nicht als Fensterholz geeignet ist, verarbeiten. Des weiteren werden Mischsortimente angeboten, bei denen Reste aus der Herstellung von starkem Schnittholz zu Fensterkanteln verleimt werden. Für qualitativ hochwertiges Tropenholz, das aus legalem Einschlag kommt, werden die Preise in Zukunft steigen. Somit bestehen gute Chancen für modifiziertes Holz aus einheimischen Holzarten in Konkurrenz zu Tropenholz und anderen Substitutionsmaterialien zu treten.

4 Abgrenzung Modifizierung zu klassischen Holzschutzverfahren

Das Ziel der Modifikation ist es, Veränderungen von technologischen Eigenschaften des Holzes zu erreichen. Damit grenzen sich die Modifikationsverfahren ganz eindeutig von den klassischen Holzschutzverfahren ab. Es wird kein biozider Wirkstoff in das Holz eingebracht. Das Holz erfährt vielmehr eine Veränderung seiner chemischen Struktur und es entsteht quasi ein neuer Werkstoff.

5 Modifikationsgruppen

5.1 Chemisch

Der wissenschaftliche Ansatz um die natürlichen Nachteile von Holz zu beseitigen liegt darin, die Basischemie der Zellwandpolymere zu verändern. Wie die Forschung der letzten Jahre zeigt, kann die molekulare Struktur der Zellwandsubstanzen verändert werden. Die chemische Modifikation von Holz kann als eine chemische Reaktion zwischen einigen reaktiven Teilen der Holzzellwandbestandteile und einer einfachen einzelnen chemischen Substanz definiert werden, bei der es zur Ausbildung einer kovalenten Bindung zwischen den beiden Reaktionspartnern kommt.

Es wurden diverse wissenschaftliche Ansätze gewählt, um die Holzzellwand chemisch zu modifizieren. Bei der chemischen Modifizierung werden vor allem die Hydroxylgruppen in der Zellwand durch funktionelle Gruppen der mit dem Holz reagierenden Chemikalie ersetzt. Einige Verfahren sind bereits am Markt erhältlich.

Zur Gruppe der chemischen Modifikation gehören die Modifikationsverfahren Acetylierung, Furfurylierung, Melaminharzbehandlung, Holzvernetzung und die Behandlung mit siliziumhaltigen Verbindungen.

5.2 Thermisch

Die thermische Behandlung von Holz zur Verbesserung ausgewählter Holzeigenschaften ist weder eine neue Idee noch eine innovative Erfindung. Der Grundgedanke stammt aus den 20er Jahren des vorigen Jahrhunderts. Allerdings wurden erst in den letzten 10 Jahren die Bestrebungen, Verfahren zu optimieren und praxistaugliche Produkte herzustellen, konsequent verfolgt, was in ers-

ter Linie an der geänderten Einstellung der Konsumenten zu Holz und dessen Behandlung liegt. Europaweit wurde die Forschung vorangetrieben, verschiedenste Verfahren entwickelt, patentiert und Produktionsstätten errichtet. Die thermische Modifikation von Holz ist die Modifikationsart, welche schon seit Jahren auf dem Markt erhältlich ist. Daher weist sie die höchste Produktionskapazität aller Modifikationsarten auf. Bei der thermischen Modifikation von Holz gibt es zwar unterschiedliche Prozesse, eine weitere Aufteilung in verschiedene Verfahren wird aber nicht vorgenommen.

5.3 Biologisch

Bei der biologischen Modifikation wird versucht das Holz mittels Organismen zu behandeln. Die mykologische Modifikation mit Weißfäuleerregern hat gute Ergebnisse gezeigt und es wird versucht diesen Prozess in Zukunft industriell anzuwenden. Weitere Verfahren die untersucht werden ist die Behandlung mit Bakterien und Enzymen.

6 Wirkprinzipien der Holzmodifizierung

Durch die Modifizierung von Holz kommt es immer zu einer Veränderung in der Holzstruktur. Die verschiedenen Modifikationsarten unterscheiden sich in der Wirkungsweise wie eine Veränderung der Eigenschaften erzielt wird. Dabei muss zwischen den verschiedenen Modifizierungsgruppen unterschieden werden. Nur bei der chemischen Modifikation kommt es zur Einlagerung von Stoffen und deren Reaktion mit der Zellwand. Bei der thermischen, wie auch der biologischen Modifikation kommt es nur zum Abbau bzw. teilweisen Umbau in der Zellwand.

Bei der chemischen Modifikation muss zwischen dem Ort der Einlagerung und der Wirkungsweise unterschieden werden. Da das Ziel der chemischen Modifikation eine chemische Reaktion mit Bestandteilen der Zellwand ist, kommt es immer zu einer Einlagerung in der Zellwand. Bei manchen Verfahren kann es jedoch zusätzlich noch zu einer Füllung des Zelllumens kommen.

Bei der Wirkungsweise unterscheidet man zwischen der Reaktion mit den Hydroxylgruppen, der Vernetzung bzw. Quervernetzung der Hydroxylgruppen und der Veränderung der Zellwandstruktur. Zu einer Veränderung der Zellwandstruktur kommt es bei allen Verfahren. Jedoch unterscheiden sie sich durch Art und Weise wie dies geschieht. Eine Reaktion mit den Hydroxylgruppen ist das Ziel der chemischen Modifikation und findet bei allen Verfahren statt. Der Unterschied zwischen Vernetzung und Quervernetzung besteht darin, dass es bei der Vernetzung zur Verbindung von Hydroxylgruppen durch Einlagerung eines Stoffes kommt, während es bei der Quervernetzung durch Abbau und Umbau der Zellwand ohne Einwirkung eines Stoffes zur Verbindung der Hydroxylgruppen kommt. Es sind auch mehrere Wirkungsweisen auf einmal möglich.

Ziel aller Modifikationsarten ist es, die Hydroxylgruppen auf irgendeine Art und Weise unzugänglich zu machen, da diese für das Quell- und Schwindverhalten verantwortlich sind. Die Hydroxylgvruppen sind hydrophil und lagern Wassermoleküle an. Dadurch kommt es in der unbehandelten Zellwand zur Quellung. Es gibt mehrere Arten, wie dieser Vorgang durch die Modifikation der Zellwand verhindert werden kann. (Abb. 1)
Bei der Modifizierung kommt es zu einer Änderung in der Zellwand. Es wird dabei zwischen vier verschiedenen Wirkprinzipien unterschieden.

Abbau

Bei der thermischen Modifikation kommt es durch die Hitzeeinwirkung zu einer teilweisen Auflösung der Zellwand. Dabei wirdfvor allem die Hemizellulose mit ihrem hohen Anteil an Hydroxylgruppen aufgelöst. Gleichzeitig kommt es zu

einer Quervernetzung von Hydroxylgruppen, so dass keine freien Enden mehr vorhanden sind an denen sich Wasser anlagern kann. (Abb. 2)

Pfropfung

Eine weitere Wirkungsart ist die Pfropfung, wie sie z.B. bei der Acetylierung, der Furfurylierung sowie bei der Behandlung mit siliziumhaltigen Verbindungen vorkommt. Der eingebrachte Stoff geht eine Verbindung mit den Hydroxylgruppen ein und es entsteht eine hydrophobe Endgruppe an der Zellwand. Im Prinzip macht man einen Deckel auf die gewünschte Stelle. (Abb. 3)

Blockade

Die Behandlung mit Melaminharzen bedient sich der Blockade, indem die Harze in die Zellwand eingebracht und dort fixiert werden. Die Hydroxylgruppen werden blockiert und es kann sich kein Wasser dazwischen anlagern. (Abb. 4)

Vernetzung

Bei der Vernetzung hat der eingebrachte Stoff mehrere Endgruppen die reaktiv sind. Dabei reagiert er mit Hydroxylgruppen verschiedener Zellwände und stellt eine Verknüpfung her. Die Zellwände werden miteinander vernetzt. (Abb. 5)

Quellen

Abbildungen aus: Frühwald, A.; Ressel, J.B.; Bernasconi, A.: Hochwertiges Brettschichtholz aus Buchenholz, Abschlussbericht, Institut für Holzphysik und mechanische

Abb. 1: Quellen und Schwinden von Holz durch-Anlagerung von Wassermolekülen an den Hydroxylgruppen

Abb. 2: Teilweise Auflösung der Hydroxylgruppen durch Hitzeeinwirkung

Abb. 3: Pfropfung der Hydroxylgruppen durch Verbindung mit eingebrachtem Stoff, hier beispielhaft der Acetylierung

Abb. 4: Blockade der Hydroxyl-Gruppen in der Zellwand

Abb. 5: Vernetzung der Hydroxylgruppen benachbarter Zellwände

8.2 Modifiziertes Holz
Acetylierung

1 Allgemeines

Bei der Acetylierung handelt es sich um ein Verfahren zur chemischen Modifizierung von Holz mittels Essigsäureanhydrid. Die chemische Veränderung findet dabei nicht nur an der Oberfläche statt, sondern gleichmäßig über den ganzen Querschnitt. Dabei kommt es zu einer Reaktion mit Teilen der Zellwand und somit zu einer Änderung der Zellwandstruktur. Die Veränderung findet ausschließlich in der Zellwand statt, es werden keine Stoffe in das Zelllumen eingelagert. Das Verfahren der Acetylierung bewirkt bei den wichtigsten Polymeren im Holz (Zellulose, Hemizellulose und Lignin) die Substituierung der Hydroxylgruppen durch Acetylgruppen. Acetylverbindungen kommen schon von Natur aus in geringer Anzahl in allen Holzarten vor.

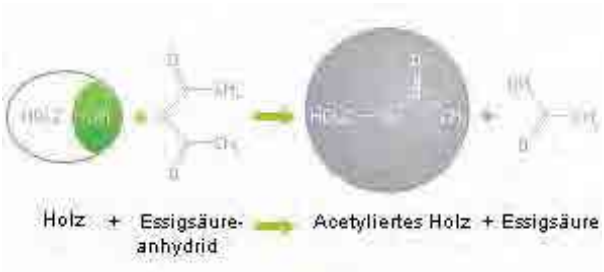


Abb. 1: Reaktionsmechanismus der Acetylierung

Ziel der Acetylierung ist es, die Anzahl dieser Verbindungen zu erhöhen. Durch diesen Austausch verändert sich die Fähigkeit des Holzes zur Aufnahme bzw. Abgabe von Wasser. Acetyliertes Holz nimmt wesentlich weniger Wasser auf als unbehandeltes Holz, da sich Acetylgruppen, im Gegensatz zu Hydroxylgruppen, hydrophob verhalten. Außerdem nimmt die „Verdaulichkeit" des Holzes für Mikroorganismen ab. Durch die Modifizierung entsteht ein neuer Werkstoff mit verbesserten Eigenschaften. Da das Produkt durch den chemischen Prozess aber nur innerlich verändert wird, sieht es genau so aus und fühlt sich genau so an wie unbehandeltes Rohmaterial. Die Verbesserung der Eigenschaften ist dabei abhängig vom Grad der Acetylierung. Es ergeben sich vor allem für wenig dauerhafte Holzarten mit hohen differentiellen Schwindmaßen neue Einsatzbereiche. Dementsprechend erlaubt diese Holzmodifizierung, selbst minderwertige Hölzer entscheidend aufzuwerten, so dass die Produkte sehr dauerhaft und außerordentlich formstabil sind.

Der wissenschaftliche Ansatz, Holz mit Essigsäureanhydrid zu verestern, ist keinesfalls neu. Das Verfahren wurde bereits in den 1920er Jahren unter Laborbedingungen erfolgreich angewandt. Erste Publikationen gehen auf die 50er Jahre zurück. Auch ist schon seit längerem bekannt, dass acetyliertes Holz hervorragende Materialeigenschaften besitzt. Die wissenschaftlichen Erkenntnisse wurden jedoch erst in den 90er Jahren aufgrund der Umweltdiskussion bezüglich herkömmlicher Holzschutzmittel und einer stetigen Verknappung hochwertiger Holzarten technologisch weiterentwickelt. Verschiedene Arbeitsgruppen in Europa, Nordamerika, Neuseeland und Japan haben sich mit der Acetylierung von Holz, Holzspänen und Holzfasern befasst. Das Verfahren ist seit langem bekannt und wird beispielsweise im Bereich der Textilindustrie zur Derivatisierung der Zellulose industriell umgesetzt. Das Besondere im Verfahren der Holzacetylierung ist, aufgrund der fast unveränderten Festigkeitseigenschaften, die Anwendungsmöglichkeit für Massivholz im konstruktiven Bereich. In den Niederlanden wurde seit 1991 nach intensiven Forschungen ein Verfahren zur Modifizierung von Vollholz entwickelt. Das Verfahren wurde bereits bis zur Serienreife entwickelt und acetyliertes Holz wird seit März 2007 im Handel angeboten.

2 Planerische Einflussfaktoren

2.1 Einsatzzwecke / -gebiete

Vor allem die weiterverarbeitende Industrie (Fenster, Türen, Parkett) steht der neuen Veredelungstechnik sehr positiv gegenüber, weil sie die Versorgung mit hochwertigen Hölzern mittel- und

langfristig für problematisch halten. Außerdem stärkt der hochwertige Grundstoff die Konkurrenzfähigkeit holzbasierter Produkte gegenüber Kunststoffen und anderen Substitutionsmaterialien.

Abb. 2: Fensterkante

Besonders interessant ist der Fenstermarkt, wo Dimensionsstabilität und Dauerhaftigkeit im modernen Fenster immer wichtiger werden. Funktionierende Lösungen wurden durch die Einbindung von externen Fachleuten entwickelt. Die Neuentwicklungen wurden unter die Maßgabe gestellt, vorhandene Systeme (speziell im Werkzeugbereich) bei der Herstellung dieser neuen Konstruktionen einzusetzen, so dass eine Markteinführung ohne große Investitionen auf Seite der potentiellen Verarbeiter möglich ist. Ob es gelingen wird, mit acetylierten Hölzern verloren gegangene Marktanteile zurückzuerobern, bleibt abzuwarten. Letzteres hängt auch sehr stark von den höheren Kosten für acetyliertes Holz ab. Durch den geringeren Wassergehalt acetylierter Hölzer haben diese im Vergleich mit herkömmlichen Laub- oder Nadelholzkanteln gleicher Dimension eine höhere Isolierwirkung. Dadurch sind dünnere Rahmenquerschnitte oder besser wärmedämmende Fenster möglich.

Ob eine Verwendung im Innenbereich als sinnvoll erscheint bleibt abzuwarten. Zum einen werden im Innenbereich keine erhöhten Anforderungen an die Dauerhaftigkeit gestellt, zum anderen ist acetyliertes Holz vergleichsweise teuer. Lässt sich der Essigsäuregeruch nicht vollständig entfernen, schließt dies eine Verwendung im Innenbereich sowieso aus. Des Weiteren sind die Gesundheitsaspekte noch nicht ausreichend erforscht.

Aufgrund der positiven Eigenschaften von acetyliertem Holz wird in Zukunft auch mit einer großen Entwicklung bei den Holzwerkstoffen gerechnet. Zudem wird die Herstellung von WPC´s aus modifizierten Holzspänen ausgiebig erforscht.

Aufgrund der verbesserten Dauerhaftigkeit scheint vor allem der Außenbereich als Einsatzgebiet interessant zu sein. Ein viel versprechender ist die Außenfassade. Viele Probleme, insbesondere mit der Dauerhaftigkeit der heutigen Holzwerkstoffe in der Fassadenanwendung könnten unter Umständen mit acetylierten Hölzern gelöst werden. Aus diesem Grund wurde im Rahmen des durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt geförderten Projektes eine Fassadenplatte mit dünnen acetylierten Buchenfurnieren in der Außenschicht produziert. Diese wurde in einem Bauobjekt eingesetzt und der freien Bewitterung ausgesetzt. Die Ergebnisse waren nach über einem Jahr freier Bewitterung viel versprechend. Eine Vergrauung der unbehandelten Oberfläche wird durch die Acetylierung nicht unterbunden.

Über den gesamten Lebenszyklus gesehen stellt das Verfahren eine interessante Möglichkeit dar, andere Produkte zukünftig zu substituieren. Überall dort, wo Dauerhaftigkeit und Dimensionsstabilität trotz Feuchtigkeitskontakt gefragt sind, ist acetyliertes Holz erste Wahl und kann Hart- bzw. Tropenhölzer, aber auch Materialien wie Metall, Putz und Stein ökologisch und ökonomisch sinnvoll ersetzen.

Bisher wird acetyliertes Holz vor allem für Fenster verwendet. Das Besondere an dieser Art der Mo-

difizierung ist jedoch, dass sich das Holz auch im konstruktiven Bereich verwenden lässt. Damit hat es gegenüber anderen Modifikationsarten, wie z.B. der thermischen Behandlung, große Vorteile. Um diesem Material im konstruktiven Bereich zum Durchbruch zu verhelfen, werden in den Niederlanden zwei Schwerlastbrücken gebaut.

2.3 Schwerlastbrücken in Sneek, Niederlande

Die Firma Titan Wood hat im Zuge konkreter Förderung des neuen Werkstoffes und der Holzbranche von der niederländischen Regierung den Zuschlag für die Materiallieferung zum Bau von zwei Schwerlastbrücken in der Provinz Fryslan (Friesland) bekommen. Für das Projekt werden 1200 m³ acetyliertes Holz, das unter dem Markennamen Accoya vertrieben wird, eingesetzt. Bei den zwei Brücken handelt es sich um die ersten Bauwerke aus acetyliertem Holz. Da bisher keine tragenden Teile aus Accoya hergestellt wurden, ist dies für alle Beteiligte Neuland.

Die auch für den Schwerlastverkehr befahrbaren Brücken werden bei Sneek die Autobahn A7 mit einer Spannweite von 32 m, einer Breite von 12 m und einer Höhe von 15 m überqueren. Entwurf und Planung stammen von den Architekten Hans Achterbosch (Achterbosch Architectuur, Leeuwarden, NL), Alex van den Beld und Haiko Meijer (Onix architecten, Groningen, NL). Der Bau der Brücken und die Herstellung der blockverleimten Brettschichthölzer wird von der Schaffitzel Holzindustrie GmbH (Schwäbisch Hall, D) ausgeführt. Die erste Brücke soll im August 2008, die zweite 2009 fertig gestellt werden.

Die Konstruktion wird aus blockverleimtem Brettschichtholz aus acetyliertem Holz hergestellt. Als Holzart wird Pinus radiata, eine schnell wachsende Kiefernart, verwendet. Die Hölzer sind im Rohzustand 38 mm stark, in der Breite jedoch unterschiedlich. Nach der Acetylierung werden sie auf 33 mm abgehobelt um eine plane Fläche für die

Abb.3: Modell und Entwurf Brücke Sneek

Verleimung zu erhalten. Die Verleimung acetylierter Hölzer ist nur mit Resorcinharz möglich. Bei der Montage muss darauf geachtet werden, dass es nicht zu einer Korrosion der Metallteile kommt. Deshalb werden bei diesen Brücken die Verbindungen mit eingeklebten, verzinkten Gewindestangen mit 48 mm Durchmesser hergestellt. Als Kleber wird Epoxidharz verwendet. An den Gewindestangen befinden sich Abstandhalter, so dass ein direkter Kontakt zum Holz verhindert wird. Das Epoxidharz bildet somit eine Schutzschicht zwischen Gewindestangen und Holz. Dabei handelt es sich um eine zusätzliche Schutzmaßnahme.

Für die Berechnung gibt es bisher noch keine Rechenwerte. Zurzeit werden jedoch an der MPA Karlsruhe Tests mit Brettschichtholzträgern durchgeführt. Diese Tests liefern die nötigen Ausgangsdaten für das Projekt, wie auch für die weitere Normung. Es wird davon ausgegangen, dass die Werte mindestens auf gleichem Niveau liegen evtl. sogar etwas höher ausfallen als bei gleichwertigem „normalen" Brettschichtholz. Die Berechnung erfolgt nach DIN 1052.

Laut Titan Wood kann der konstruktive Holzschutz völlig vernachlässigt werden. Die Brücken erhalten zwar einen Anstrich dieser dient aber nur der Farbgebung und hat keine schützende Wirkung für das Holz. Dennoch wird mit einer Nutzungsdauer von 80 Jahren gerechnet. Ob die Brücken auf lange Zeit ohne Holzschutz auskommen, muss sich aber noch zeigen. Sollte dies gelingen, würden sich auf die Nutzungsdauer gesehen auch die höheren Kosten für das Holz rechtfertigen, da auf eine Bekleidung der tragenden Konstruktion und deren Wartung verzichtet werden kann.

Sollte sich das acetylierte Holz bei diesem Projekt bewähren, könnte dies zum Durchbruch im konstruktiven Holzbau verhelfen. Holz könnte damit in weiteren konstruktiven Einsatzgebieten eine konkurrenzfähige Alternative zu Stahl oder Beton werden.

3 Physikalische Einflussfaktoren

3.1 Holzarten

Die Vollholz-Acetylierung lässt sich auf verschiedenste Holzarten anwenden. So können auf diese Weise nicht nur die gängigsten mitteleuropäischen, sondern auch außereuropäische Holzarten modifiziert werden. Allerdings lassen sich Laubhölzer wie Buche und Pappel gleichmäßiger acetylieren als Nadelhölzer. Es hat sich gezeigt, dass die Imprägnierbarkeit der Holzart einen entscheidenden Einfluss auf das Ergebnis hat.

Buche ist in mehrfacher Hinsicht interessant. Einerseits besitzt die Buche ein besonders ausgeprägtes Quell- und Schwindmaß und zählt außerdem zu den natürlich wenig dauerhaften Holzarten. Andererseits hat sich gezeigt, dass sich Buchenholz zufriedenstellend acetylieren lässt. Buche wird in die Dauerhaftigkeitsklasse 5 eingestuft. Nach der Acetylierung erreicht sie Dauerhaftigkeitsklasse 1. Die Tatsache, dass Buche als eine der wichtigsten Laubholzarten in besonderem Maße am Aufbau der zunehmenden Mischwälder in Deutschland beteiligt ist, liefert ein weiteres Argument, um Buchenholz zu modifizieren.

Derzeit wird nur Pinus Radiata für Accoya eingesetzt. Dabei handelt es sich um eine schnell wachsende Kiefernart. Das Plantagenholz ist in großen Mengen verfügbar, da es in mehreren Ländern (Chile, Südafrika, Neuseeland) im großen Umfang angebaut wird. Die langfristige Versorgung mit dieser Holzart wird als unproblematisch angesehen. Bedenken wegen der Nachhaltigkeit der Radiata-Kiefern-Plantagen bestehen nicht. Allerdings ist damit keine Wertschöpfung der europäischen Holzproduktion verbunden.

3.2 Holzfeuchte

Die Holzfeuchte zu Beginn der Behandlung hat ebenfalls einen Einfluss auf den Verlauf der Acetylierung. Das Holz sollte darrtrocken sein wenn es acetyliert wird, da das Essigsäureanhydrid sonst nicht nur eine Reaktion mit den Hydroxylgruppen in der Zellwand eingeht, sondern auch mit dem vorhandenen Wasser zu Essigsäure umgesetzt wird. Je niedriger der Feuchtegehalt ist, desto effizienter und wirtschaftlich rentabler ist der Prozess.

4 Veränderung der materialtechnischen Eigenschaften

4.1 Wasserabsorption

Durch die Acetylierung wird die Aufnahmefähigkeit und Aufnahmegeschwindigkeit von Wasser im Holz deutlich gesenkt. Hierbei werden die hydrophilen Hydroxylgruppen im Holz durch hydrophobe Acetylgruppen ersetzt. Die markant reduzierte und damit substantiell herabgesetzte Wasserabsorptionseigenschaft spiegelt sich im verringerten Gleichgewichtsfeuchtegehalt des behandelten Holzes wieder. So nimmt die maximale Gleichgewichtsholzfeuchte mit wachsendem Acetylierungsgrad von ca. 25-30 % bei unbehandeltem Holz auf ca. 10-12 % bei einem WPG von 20 ab (WPG: weight percent gain: prozentuale Gewichtszunahme durch Einlagerung von Stoffen als Maß für den Acetylierungsgrad).

Die Acetylgruppen werden hauptsächlich in die Lignin- und Hemizellulosepolymere eingelagert. Demzufolge bestimmt die Acetylierung die Feuchtigkeitsempfindlichkeit des Holzes offensichtlich über die Lignin- und Hemizellulosepolymere der Zellwand.

4.2 Dimensionsstabilität

Durch Acetylierung modifiziertes Holz quillt und schwindet im Vergleich zu unbehandeltem um 60-80 % weniger. Dieser Wert trifft auf alle Holzarten gleichermaßen zu. Dabei nimmt die Dimensionsstabilität mit dem Acetylgehalt in etwa linear zu. Durch die Dimensionsstabilisierung wird eine verminderte Rissbildung erreicht.

4.3 Dauerhaftigkeit

Pilzresistenz:

Die „Unverdaulichkeit“ des Holzes sorgt für einen hohen Widerstand gegen den Abbau durch Pilze und Bakterien. Für den Abbau durch Pilze sind unter anderem Mindestholzfeuchte und geeignete Substrate ausschlaggebend. Beide Parameter werden durch die Acetylierung entscheidend beeinflusst, da die Gleichgewichtsfeuchte auf max. 10-12 % herabgesetzt wird und mit den Hydroxylgruppen leicht angreifbare Molekülgruppen aus dem Zellverband ersetzt werden. Dementsprechend dringen bei höheren Acetylierungsgraden Pilzhyphen nicht in die Holzzellwände ein und können die mikrofibrillären Strukturen nicht angreifen. Außerdem verhindert die Acetylierung Insektenschäden und beugt damit wichtigen Eintrittspforten für Pilze ins Holz vor.

Durch die Acetylierung lässt sich die Dauerhaftigkeit heimischer Holzarten wie Buche, Kiefer und Pappel beträchtlich verbessern. Das Holz wird umso resistenter, je mehr Hydroxylgruppen durch stabile chemische Verbindungen ersetzt werden. Ein WPG von 12 gewährleistet in der Regel einen vollständigen Schutz. Ein WPG von 10 verhindert schon Moderfäule. Somit erreichen acetylierte Hölzer Resistenzklasse 1, das heißt, dass ihre Dauerhaftigkeit derjenigen von Teakholz entspricht oder diese übersteigt. Die Acetylierung verhindert aber nicht nur den Gewichts-, sondern auch den Festigkeitsverlust, welcher durch Braun- und Weißfäulepilze entstehen kann. Bläuepilzbefall kann allerdings durch Acetylierung nicht verhindert werden.

Hölzer die von Accoya angeboten werden, sind immer so behandelt, dass sie die höchste Dauerhaftigkeitsklasse (Klasse 1) nach DIN EN 350-2

erreichen. Die Haltbarkeit wird im oberirdischen Einsatzbereich mit 50 Jahren, bei Einsatz mit Erdkontakt mit 25 Jahren angegeben.

In den Niederlanden befand sich acetyliertes Holz 10 Jahre als Uferbefestigung an der Luft-Wassergrenze, ohne dass Schäden am Holz zu verzeichnen sind.

Abb.4:Uferbefestigung nach 10 Jahren im Einsatz

Insekten- und Termitenresistenz:
Acetyliertes Holz zeigt auch eine verbesserte Resistenz gegenüber Termitenbefall. Die Insektenresistenz wächst mit dem WPG. Frühe Versuche mit Spanplatten haben jedoch gezeigt, dass selbst beim höchstmöglichen Acetylierungsgrad nicht vollständig resistent gegenüber dem Befall von subterranen Termiten waren. Dies kann zum Teil auf die Fähigkeit der Termiten zurückgeführt werden, Essigsäure, Acetylgruppen und vielleicht auch Acetate zu verdauen.

4.4 Verwitterung

Acetyliertes Holz verhält sich gegenüber Sonnenlicht und Regen nicht wie unbehandeltes Holz. Aufgrund der acetylierungsbedingt geringen Gleichgewichtsholzfeuchte werden die UV-Licht-Abbauprodukte des Lignins langsamer aus der Zellwand ausgewaschen. Intra- und intermolekulare Bindungen der acetylierten Zellwand sind stabiler, was ihre integrierte Zersetzung vermindert. Im Laufe der Zeit jedoch beseitigt die UV-Strahlung die blockierenden Acetylgruppen, und das Holz verwittert. Allerdings kann die UV-Strahlung nicht alle Acetylgruppen entfernen, so dass sich die photochemischen Zersetzungseigenschaften geringfügig verbessern. Die UV-Verwitterung wird nicht verhindert, sondern nur verzögert.

4.5 Oberflächenbehandlung

In Versuchen mit lackierten (Klarlack), acetylierten Holzoberflächen konnte nach 2 Jahren Außenbewitterung eine erhöhte UV-Stabilität festgestellt werden, wodurch die Verwitterung der Oberflächen bei Außenanwendung acetylierter Holzprodukte vermindert wird. Selbst dunkle Lacke wiesen auf acetylierter Fichte und Pappel im Gegensatz zum unbehandelten Holz nach einigen Jahren noch keine Schäden auf. Offensichtlich halten Lacke auf acetyliertem Holz besser als auf Unbehandeltem. Dies wird auf die verbesserte Dimensionsstabiltät des behandelten Holzes zurück geführt. Die Beständigkeit der Oberflächenbeschichtung verbessert sich und die Wartungsintervalle können verlängert werden. Farbanstriche müssen nur noch alle 10 bis 15 Jahre und nicht mehr alle 3 bis 5 Jahre erneuert werden. Die Hersteller Glasurit und Sikkens geben 10 Jahre Garantie auf bestimmte Lacksysteme ohne Wartungsanstrich.

4.6 Festigkeitseigenschaften

Die Acetylierung verändert die Festigkeitseigenschaften von Vollholz kaum. Je nach Holzart differiert der E-Modul um ± 5 % und die Biegefestigkeit um etwa ±10 %. Eine Verwendung von acetyliertem Holz im konstruktiven Bereich ist problemlos möglich.

Das acetylierte Holz liegt in einem stark gequollenen Zustand vor, d.h. pro Querschnittsfläche wird weniger Fasermaterial als bei unbehandeltem, ungequollenem Holz getestet. Dementsprechend geht die Scherfestigkeit des Holzes in der Regel um 10-25 % zurück. Andererseits trägt die geringere Holzfeuchte des acetylierten Holzes an-

scheinend zur Erhöhung der Druckfestigkeit bei. Des weiteren erhöht die Acetylierung die Materialdichte um ca. 5–10 %, so dass ebenfalls mit höheren Festigkeiten gerechnet werden kann. Eine Zunahme der Härte um bis zu 30 % kann erreicht werden. Grundsätzlich vermag das Verfahren der Acetylierung es jedoch nicht, aus Weichholz Hartholz zu machen.

4.7 Brandverhalten

Die Acetylierung verändert die Feuereigenschaften von lignozellulosehaltigem Material nicht. In einer thermogravimetrischen Analyse reagierten acetylierte Kiefern-Sägespäne bei definierten Temperaturen in der gleichen Weise wie unbehandeltes Material. Übereinstimmende Verbrennungstemperaturen und Sauerstoffverbräuche zeigen, dass die der Zellwand zugeführten Acetylgruppen die Zellwandpolymere nicht signifikant verändert haben. Ob bei der Verbrennung mit erhöhten Emissionen gerechnet werden muss ist noch nicht geklärt.

4.8 Akustische Eigenschaften

Die akustischen Eigenschaften von dünnen Holzfurnieren werden durch die Acetylierung entscheidend verbessert. Lautsprecherboxen z.B. aus acetylierten Furnieren, lösen den Klang deutlich besser auf als herkömmliche Boxen. Für Holz, welches zum Instrumentenbau verwendet werden soll, gilt ähnliches. Die Acetylierung verringert den Feuchtigkeitsgehalt der Zellwand, wodurch die akustische und dimensionale Stabilität bei Feuchtigkeitsschwankungen erhöht wird. Die Acetylierung reduziert die Schallgeschwindigkeit um ca. 5 % und verringert ebenfalls die Klangaufnahme, nicht jedoch die akustische Umsetzungseffizienz. In welchem Maß sich die veränderten Materialeigenschaften auf Holzbauteile, wie z.B. Fassadenplatten, und deren Schalldämmmaß auswirken, muss noch untersucht werden.

4.9 Klebbarkeit

Mit Hilfe handelsüblicher Phenol-Formaldehyd-Harz-Klebstoffe können Sperrholzplatten aus acetylierten Furnieren hergestellt werden, die den Anforderungen der EN 636-3 sowie der DIN 68705 Teil 3 gerecht werden. Die Herstellung von Brettschichtholz-Trägern ist gerade in der Erprobung. Zur Verleimung müssen allerdings Resorzinharzleime verwendet werden.

4.10 Wärmeleitvermögen

Acetyliertes Holz weist ein geringeres Wärmeleitvermögen auf als unbehandeltes Holz. Aufgrund dieser positiven Eigenschaften eignet es sich vor allem für Fenster und Fassaden.

4.11 Bearbeitung

Nachträglich entstandene Schnittkanten oder aus größeren Abmessungen entstandene Produkte müssen nicht in irgendeiner Weise nachbehandelt werden, da die chemische Veränderung nicht nur an der Oberfläche, sondern gleichmäßig über den gesamten Querschnitt stattfindet. Die maschinelle Be- und Verarbeitung ist problemlos möglich. Es kommt zu keinem erhöhten Verschleiß an Maschinen.

Abb. 5: Bearbeitetes Accoya

4.12 Farbänderung

Die natürliche Farbgebung der jeweiligen Holzart wird durch die Acetylierung nicht verändert.

6 Produktionsanlage/ Kapazität

Die erste und bisher einzige großtechnische Acetylierungsanlage ist in Arnheim, Niederlande errichtet worden. In der Anlage, die am 31. Mai 2007 offiziell in Betrieb genommen wurde, sollen jährlich 30 000 m³ Accoya-Holz produziert werden. Sie ist aber auf eine Erweiterung der Kapazität ausgelegt.

Herzstück der Fabrik sind zwei Reaktoren, die aus zwei liegenden Kesseln bestehen. Der Acetylierungsprozess stellt hohe Anforderungen an die Materialbeschaffenheit dieser Kammern. Die eingesetzte Chemikalie (Essigsäureanhydrid) ist äußerst aggressiv und der Prozess läuft unter hohem Druck und großer Temperaturentwicklung ab. Die komplizierte und aufwändige chemisch-technische Seite des Prozesses ist der Grund für die lange Zeit, die nötig war, bis aus den erfolgreichen Laborversuchen eine großtechnische Anlage entwickelt werden konnte. Aufgrund der Komplexität der Vorgänge ist erhebliche Erfahrung in chemischer Prozesstechnologie erforderlich. Dies sieht man auch an den zahlreichen Anlagen, Kesseln und Rohrleitungen, welche an die zwei Reaktoren anschließen. Die Reaktoren können Chargen von 35 bis 40 m³ gelatteter Bretter oder Kanteln aufnehmen.

Abb. 7: Bestückung des Reaktors

7 Bestimmung des Acetylierungsgrades

Durch die Einlagerung von Acetylgruppen in die Zellwand bzw. durch die Umwandlung von Hydroxylgruppen in Acetylgruppen kommt es zu einer Gewichtszunahme im Holz, da die Acetylgruppen schwerer sind als die Hydroxylgruppen. Der Acetylierungsgrad wird deshalb über die Gewichtszunahme bestimmt. Die Gewichtszunahme wird meistens mit WPG abgekürzt. WPG steht für weight percent gain. Es erlaubt somit den Anteil des eingelagerten Acetats an der Holzmasse zu quantifizieren.

Es gibt aber auch noch andere Methoden. In der Regel wird der Acetylierungserfolg auch noch durch Volumenzuwachs, Auswaschwiderstand oder IR-Spektralanalyse bzw. spektrophotometrisch oder über die Leitfähigkeit nachgewiesen. Weil die Zellulose acetylierter Zellwände im aufgequollenen Zustand vorliegt, kann der voluminometrische Vergleich mit unbehandeltem Holz Hinweise auf den Acetylierungsstatus des Produkts liefern. Neben der IR-Spektralanalyse bedienen sich neuere Untersuchungen mit der Deacetylierung, HPLC-Analytik und spektrophotometrischer Eluatquantifizierung z.T. deutlich präziserer Methoden.

6 Produktionsanlage/ Kapazität

Die erste und bisher einzige großtechnische Acetylierungsanlage ist in Arnheim, Niederlande errichtet worden. In der Anlage, die am 31. Mai 2007 offiziell in Betrieb genommen wurde, sollen jährlich 30 000 m³ Accoya-Holz produziert werden. Sie ist aber auf eine Erweiterung der Kapazität ausgelegt.

Herzstück der Fabrik sind zwei Reaktoren, die aus zwei liegenden Kesseln bestehen. Der Acetylierungsprozess stellt hohe Anforderungen an die Materialbeschaffenheit dieser Kammern. Die eingesetzte Chemikalie (Essigsäureanhydrid) ist äußerst aggressiv und der Prozess läuft unter hohem Druck und großer Temperaturentwicklung ab. Die komplizierte und aufwändige chemisch-technische Seite des Prozesses ist der Grund für die lange Zeit, die nötig war, bis aus den erfolgreichen Laborversuchen eine großtechnische Anlage entwickelt werden konnte. Aufgrund der Komplexität der Vorgänge ist erhebliche Erfahrung in chemischer Prozesstechnologie erforderlich. Dies sieht man auch an den zahlreichen Anlagen, Kesseln und Rohrleitungen, welche an die zwei Reaktoren anschließen. Die Reaktoren können Chargen von 35 bis 40 m³ gelatteter Bretter oder Kanteln aufnehmen.

Abb. 7: Bestückung des Reaktors

7 Bestimmung des Acetylierungsgrades

Durch die Einlagerung von Acetylgruppen in die Zellwand bzw. durch die Umwandlung von Hydroxylgruppen in Acetylgruppen kommt es zu einer Gewichtszunahme im Holz, da die Acetylgruppen schwerer sind als die Hydroxylgruppen. Der Acetylierungsgrad wird deshalb über die Gewichtszunahme bestimmt. Die Gewichtszunahme wird meistens mit WPG abgekürzt. WPG steht für weight percent gain. Es erlaubt somit den Anteil des eingelagerten Acetats an der Holzmasse zu quantifizieren.

Es gibt aber auch noch andere Methoden. In der Regel wird der Acetylierungserfolg auch noch durch Volumenzuwachs, Auswaschwiderstand oder IR-Spektralanalyse bzw. spektrophotometrisch oder über die Leitfähigkeit nachgewiesen. Weil die Zellulose acetylierter Zellwände im aufgequollenen Zustand vorliegt, kann der voluminometrische Vergleich mit unbehandeltem Holz Hinweise auf den Acetylierungsstatus des Produkts liefern. Neben der IR-Spektralanalyse bedienen sich neuere Untersuchungen mit der Deacetylierung, HPLC-Analytik und spektrophotometrischer Eluatquantifizierung z.T. deutlich präziserer Methoden.

8 Wirtschaftlichkeit

Der Preis für acetyliertes Rohholz liegt gerade bei 1000 €/m³ (Stand Januar 2008). Damit ist es etwa fünf Mal so teuer wie normales Nadelholz. Der Preis wird in erster Linie durch Materialkosten (Holz, Chemikalien und Energie) und hohe Anlagekosten bestimmt. Die Holzqualität stellt eine wichtige Voraussetzung für die angestrebten Produkteigenschaften und die Prozesskosten dar. Insbesondere die Holzfeuchte beeinflusst die Prozesskosten über den Chemikalienverbrauch stark, weil Wasser das Essigsäureanhydrid in Essigsäure spaltet. Die Produktkosten werden darüber hinaus durch die Zielqualität beeinflusst. So hängt der Verbrauch von Essigsäureanhydrid wesentlich vom angestrebten WPG ab. Dementsprechend steigen Kosten proportional mit der gewünschten Produktqualität. Unabhängig vom Produktionsstandard erfordert der Umgang mit Essigsäureanhydrid eine hochwertige Anlagenkonfiguration aus Edelstahl-Bauteilen.

Das korrosive Essigsäureanhydrid des Modifizierungsprozesses schließt die Verwendung herkömmlicher Imprägnieranlagen aus. Auch die Notwendigkeit der Chemikalienrückgewinnung übersteigt die Komplexität üblicher holzindustrieller Aktivitäten. Vor diesem Hintergrund muss es spezialisierte Acetylierungsbetriebe als Kooperationspartner von Holzindustrie und chemischer Industrie geben, deren Standorte wesentlich von der Möglichkeit der chemischen Produktion und der Verfügbarkeit von Essigsäureanhydrid bestimmt wird.

Der Vergleich der Folgekosten im Fensterbau mit den Vorteilen von acetyliertem Holz wie Dauerhaftigkeit, Formstabilität, UV-Resistenz und Witterungsbeständigkeit von Lacken weisen darauf hin, dass der neue Werkstoff auch höhere Einstandspreise rechtfertigt.

Abb. 8: Produktionsanlage

9 Ökologie

Wie unbehandeltes Holz enthält acetyliertes Holz nur Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff als chemische Bausteine und bleibt damit frei von toxischen Substanzen. Untersuchungen haben ergeben, dass acetyliertes Holz problemlos entsorgt werden kann. Ob eine thermische Verwertung möglich ist oder dabei mit erhöhten Emissionen gerechnet werden muss, ist noch unklar.

Die Acetylierung ist für sich betrachtet ein energieaufwändiger Prozess. Ein isolierter Betrieb einer Acetylierungsanlage ohne eine Chemikalienrückgewinnung ist aus ökologischer Sicht nicht sinnvoll. Eine integrierte Chemikalienrückgewinnung zur Aufbereitung der verunreinigten Essigsäure (Extraktstoffe aus dem Holz) und des überschüssigen Essigsäureanhydrids vermindern nicht

nur den Energieeinsatz, sondern stellen auch eine erhebliche Risikoverminderung, durch z.B. weniger Gefahrguttransporte, dar. Trotz der oben genannten Einschränkungen ist die Acetylierung aus ökologischer Sicht ein interessantes, zukunftsweisendes Verfahren, da durch die Verbesserung der Eigenschaften der Produkte eine Substitution von mit Holzschutzmitteln behandelten Hölzern möglich ist. Die verbesserten Eigenschaften hinsichtlich der Oberflächenbehandlung mit den daraus resultierenden größeren Wartungsintervallen zeigen ebenfalls in diese Richtung.

10 Gesundheit

Der Einsatz von acetyliertem Holz im Innenbereich scheint derzeit nicht sinnvoll, da es zu Geruchsbelästigungen kommen kann und weitere Gesundheitsbelastungen nicht ausgeschlossen werden können. Ist die Essigsäure aus dem Holz nicht vollständig entfernt, kann diese während der Nutzungsphase unkontrolliert entweichen und zur Belastung der Raumluft (oder auch Außenluft) mit flüchtigen organischen Verbindungen (VOC´s) beitragen. Im Innenbereich besteht allerdings auch keine Anforderung an eine erhöhte Dauerhaftigkeit. Auch schränken die hohen Kosten für die Behandlung die Verwendung im Innenbereich ein.

11 Patente

Die verfahrenstechnischen Grundlagen für den Acetylierungsvorgang basieren auf den beiden Patenten von Rowell (1987) und Militz und Beckers (1995). Dieses Acetylierungsverfahren ist für lignocellulosehaltiges Material wie Späne, Flachspäne oder Platten sowie für massives Holz verschiedener Arten und Dimensionen geeignet.

Das britische Unternehmen Accsys Technologies PLC, spezialisiert auf umweltverträgliche Verfahren und Technologien, hat den Prozess in dreizehnjähriger Forschungsarbeit zusammen mit dem Scion Research Institute, Rotorua, Neuseeland weiterentwickelt, so dass heute die kommerzielle Produktion von acetyliertem Holz erstmals möglich ist. Die Rechte an dem Verfahren hält die Accsys-Tochtergesellschaft Titan Wood, der zugleich Produktion, Vermarktung und Lizenzierung obliegen. Titan Wood bringt acetyliertes Holz unter dem Markennamen Accoya auf den Markt.

Quellen

[1] Dreimann, A.: Betrachtungen zur Dauerhaftigkeit von Möbeln aus Sperrholz für den Außenbereich, Bachelor Thesis Kurzfassung, HAWK Hildesheim, 2007

[2] Holzschutz durch Holzmodifizierung, Sachverständigenbüro für Holzschutz, 2007

[3] Krause, A.: Neue Materialien – neue Chancen für Holzfenster?, Institut für Holzbiologie und Holztechnologie, Göttingen, 2007

[4] Militz, H.: Neuartige Verfahren der Holzmodifizierung für den Fenster- und Fassadenbau, ift Rosenheim, 2003

[5] Militz, H.: Holzmodifizierung – Alternative Schutz- und Behandlungsverfahren, 22. Holzschutztagung der DGFH, Göttingen, 2000

[6] Militz, H.: Übersichtsbericht – Acetyliertes Holz, Institut für Holzbiologie und Holztechnologie, Göttingen, 2001

[7] Militz, H.: Die Verbesserung des Schwind- und Quellverhaltens und der Dauerhaftigkeit von Holz mittels Behandlung mit unkatalysiertem Essigsäureanhydrid, Holz als Roh- und Werkstoff 49, Seite 147 – 152, 1991

[8] Modifiziertes Holz – Eigenschaften und Märkte, Kurzfassung, Institut für Holzforschung, BOKU Wien, 2002

[9] Richter, R.: Neue Materialien und Beschichtungen für den Oberflächenschutz, Empa, Abteilung Holz, Dübendorf 2005

[10] Roggemann geht mit Accoya auf den Markt, Holz-Zentralblatt, Nummer 22, Seite 596, 2007

[11] Rowell, R.: Acetylation of wood, Forest Products Journal, Vol. 56 No. 9, 2006
[12] Teischinger, A.: Modifiziertes Holz, Institut für Holzforschung, BOKU Wien, 2003
[13] Wepner, F.: Produktinnovationen durch Holzmodifizierung, Institut für Holzbiologie und Holztechnologie, Göttingen, 2005
[14] Zimmer, B., et. al: Erprobung eines Acetylierungsverfahrens für heimische Holzarten und Holzprodukte, Zusammenfassender Bericht der Ergebnisse, Deutsche Bundesstiftung Umwelt, 2003
[15] Internetseite der Firma Titan Wood: www.accoya.info
[16] Internetseite der Firma Roggemann: www.roggemann.de
[17] Internetseite des Architekturbüros Achterbosch: www.achterboscharchitectuur.nl

Linkliste

www.accoya.info
Acetyliertes Holz der Firma Titan Wood Limited
Produktionsanlage in Arnheim, Niederlande

www.roggemann.de
Seite der Firma Enno Roggemann
Offizieller Vertrieb von Accoya Holz für Deutschland und Polen

8.2 Modifiziertes Holz
Furfurylierung

1 Allgemeines

Ein weiteres Verfahren der chemischen Modifikation von Holz ist die Behandlung mit veredeltem bzw. polykondensiertem Furfurylalkohol. Furfurylalkohol (FA) ist eine erneuerbare Chemikalie, die aus Pflanzenabfällen in der Industrie, z.B. bei der Zuckerfabrikation oder anderen landwirtschaftlichen Biomasseprodukten wie Maiskolben oder Sonnenblumen abgeleitet wird. Gebräuchlichster Ausgangsstoff ist Bagasse. Bei der industriellen Zuckerfabrikation bleiben neben dem Saft der Pflanze große Mengen faseriger Bestandteile übrig, diese werden Bagasse genannt.

Bei der Furfurylierung wird die Holzstruktur chemisch verändert. Es kommt dabei sowohl zu einer Füllung der Zellwand wie auch des Zelllumen. In der Zellwand findet eine Reaktion mit den Hydroxylgruppen statt was zu einer Änderung der Zellwandstruktur führt.

Die Furfurylierung verbessert hauptsächlich die Festigkeitseigenschaften und die Dauerhaftigkeit durch eine erhöhte Dimensionsstabilität und Pilzresistenz. Furfuryliertes Holz ist so gut wie instandhaltungsfrei und zeichnet sich dadurch für den Einsatz im Freien aus.

Die Firma Wood Polymer Technology (WPT) aus Norwegen hat das Verfahren der Furfurylierung von Holz entwickelt und patentieren lassen. Die weltweite Vermarktung und Lizenzierung erfolgt durch die Kebony Products DA, einer Tochtergesellschaft der WPT. Große Verwendung findet es hauptsächlich in den nordischen Ländern, Kanada und USA. In Deutschland ist furfuryliertes Holz noch nicht auf dem Markt erhältlich. Das modifizierte Holz wird unter dem Markennamen Kebony vertrieben. Hauptsächlich werden die Holzarten Buche, Esche und Kiefer modifiziert. Der Prozess wird von WPT auch als Kebonierung bezeichnet. Die Produkte wurden seither als Visor-Wood und Kebony bezeichnet und unterschieden sich durch Holzart und der eingelagerten Menge an Furfurylalkohohl. In der Zwischenzeit werden alle Produkte als Kebony bezeichnet und man unterscheidet zwischen Vollkebonierung, also der Behandlung über den ganzen Querschnitt wie bei Esche und Buche, und teilweiser Kebonierung, wie bei Kiefer, bei der lediglich der Splintholzbereich behandelt werden kann.

Die ersten Untersuchungen zur Modifizierung von Holz mit Furfurylalkohol wurden bereits in den 50er Jahren durchgeführt. Vor dem Hintergrund, durch die dunkle Färbung des furfurylierten Holzes einen Ersatz für bestimmte Tropenhölzer zu schaffen, wurden intensive Forschungsarbeiten Ende der 90er Jahre durchgeführt. Diese patentierte Modifizierungsmethode wurde über mehr als 10 Jahre durch Forschung und Entwicklung weiterentwickelt.

2 Einsatzgebiete

Aus furfuryliertem Holz sind Fassadenprofile, Terrassen- und Kaibeläge, Profile zur Dacheindeckung, Konstruktionshölzer sowie Bodenbeläge und Bekleidungen für Yachten erhältlich.

Aufgrund seiner Eigenschaften eignet sich furfuryliertes Holz vor allem für Außenanwendungen bei denen eine hohe Widerstandsfähigkeit gegen Verrottung, Pilzbefall, Termiten, holzbohrende Meeresorganismen und Larven gefragt ist. Daher wird dieses Holz meist für Bekleidungen, Bohlenbeläge, Masten, im Garten- und Landschaftsbau, für Piers und Fenster verwendet. Besonders zu erwähnen ist die Verwendung als Dachbekleidung, wie sie in den nordischen Ländern oft verwendet wird. Nach Angaben des Herstellers ist das Holz fast instandhaltungsfrei und erfordert neben der normalen Reinigung keine weitere Pflege. Es wird von einer Haltbarkeit von 30 Jahren ohne Wartung ausgegangen [2].

Abb. 1: Einsatzgebiete von furfuryliertem Holz [3]

Durch seine dunkle Farbe wird es auch im Innenbereich als Substitutionsmaterial für tropische Harthölzer verwendet und für Fußbodenbeläge, Möbel, Fenster und Türen eingesetzt.

Durch die Kombination aus erhöhter Abriebfestigkeit, Widerstandsfähigkeit gegen Meeresorganismen und Meerwasser und seiner dunklen Farbe wird es bereits auch im Yachtbau eingesetzt.

Der Einsatz als Konstruktionsholz beschränkt sich auf den Bau von Schallschutzwänden, Uferbefestigungen, etc. Die Verwendung des Holzes für tragende Bauteile ist nicht bekannt.

3 Veränderung der materialtechnischen Eigenschaften

Die Veränderung der materialtechnischen Eigenschaften ist abhängig vom Grad der Furfurylierung.

3.2 Dimensionsstabilität

Infolge einer reduzierten Ausgleichsfeuchtigkeit nehmen die Quellung und Schwindung um 30 bis 80 % im Vergleich zu unbehandeltem Holz ab. Je höher die Furfurylierung desto besser ist die Dimensionsstabilität.

3.3 Dauerhaftigkeit

Mit zunehmendem Furfurylalkoholgehalt im Holz steigt auch seine Dauerhaftigkeit. Kiefernsplintholz erreicht laut Angaben des Herstellers bereits nach der Furfurylierung mit geringen Chemikalienkonzentrationen die Dauerhaftigkeitsklasse 1 bis 2 nach EN 350-1 und ist somit mit Teak und Iroko vergleichbar.

Zudem hat es eine gesteigerte Resistenz gegenüber Termiten, Insekten und holzbohrenden Meeresorganismen. Eine über achtjährige Testphase hat gezeigt, dass dieses Holz sowohl im Außenbereich als auch im Meerwasser eine lange Lebensdauer hat [3].

Infolge einer reduzierten Ausgleichsfeuchtigkeit und der veränderten chemischen Holzstruktur wird eine verbesserte Pilzresistenz erzielt.

Die Widerstandsfähigkeit gegenüber Säuren und Laugen wird verbessert.

3.4 Verwitterung

Mit der Zeit wird auch furfuryliertes Holz silbriggrau. Es ist aber auch ohne Oberflächenbehandlung ebenso dauerhaft. Langjährige Tests haben gezeigt, dass es eine lange Lebensdauer im Außenbereich und auch im Erdkontakt hat [3].

3.5 Oberflächenbehandlung

Die Oberfläche kann problemlos mit Lacken, Farbe oder Öl behandelt werden.

3.6 Festigkeitseigenschaften

Die mechanischen Eigenschaften werden auch bei hohem Modifizierungsgrad nur gering beeinflusst. Die Brinellhärte und Biegefestigkeit steigen mit zunehmendem Furfurylalkoholgehalt leicht an. Es kann eine Härte von bis zu 9 HB erreicht werden. Die Bruchschlagzähigkeit wird um 20 bis 40 % reduziert.

3.7 Brandverhalten

Kebony hat eine 10 bis 30 % höhere Verbrennungsenergie als unbehandeltes Holz. Mit erhöhten Emissionen ist nicht zu rechnen, da das Holz nachweislich thermisch verwertet oder auch als Feuerholz verwendet werden kann [3].

3.8 Farbänderung

Das behandelte Holz erhält je nach Holzart und Beladung eine braune bis schwarze Verfärbung.

3.9 Bearbeitbarkeit

Die maschinelle Bearbeitbarkeit ist aufgrund der gesteigerten Härte mit der Bearbeitung von Harthölzern vergleichbar.

3.10 Änderung der Masse

In Abhängigkeit von der eingelagerten Menge an Furfurylalkohol erhöht sich die Masse. Bei niedrig furfuryliertem Holz beträgt die Gewichtszunahme 30 bis 40 %, bei stark furfuryliertem Holz 100 %.

4 Ökonomie

4.1 Prozess

Der Prozess der Firma Kebony Products DA hat Ähnlichkeiten mit Prozessen wie sie in üblichen Imprägnieranlagen angewandt werden. Es handelt sich um einen geschlossenen Prozess bei dem die nach der Behandlung noch übrigen Chemikalien zurückgeführt, aufbereitet und wieder verwendet werden. So ist sichergestellt, dass keine Chemikalien in die Umwelt gelangen können. Zuerst wird für 30 bis 60 Minuten ein Vakuum erzeugt um die Luft aus dem Holz zu entfernen. Dann wird unter einem Überdruck von 10 bar über 2 Stunden die wässrige Lösung mit dem Wirkstoff in das Holz eingebracht. Es folgt ein Nachvakuum um überschüssige Lösung zu entfernen. Damit eine Aushärtungsreaktion im Holz stattfindet, also die wässrige Lösung mit der Zellwand reagiert wird die Behandlungskammer durch Einblasen von Wasserdampf auf 80 bis 140 °C erwärmt. Diese Phase dauert 6 bis 8 Stunden. Zum Schluss erfolgt die Trocknung des Holzes. Dieser Schritt ist wichtig um Emissionen zu minimieren. Das Holz wird noch einem Reinigungprozess mit Gasen unterzogen um die letzten Emissionen die durch den Prozess entstanden sind zu entfernen.

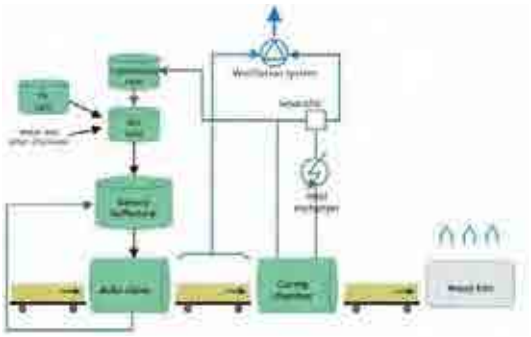


Abb. 2: Schema Produktionsprozess [3]

4.2 Anlagen, Kapazität

2000 wurde in Litauen die erste kommerzielle Anlage zur Produktion von furfuryliertem Holz mit einer Jahreskapazität von 500 m³ eingeweiht. 2003 betrug die Fertigungskapazität rund 5.500 m³/a mit jeweils einer Anlage in Norwegen und Litauen. 2004 wurde die Produktion mit weiteren Anlagen auf 15 000 m³/a ausgebaut. Mit einer neuen Anlage die Anfang 2008 in Betrieb gegangen ist soll die Kapazität auf insgesamt 17 000 m³/a gesteigert werden. Geplant ist die weltweite Vermarktung durch den Bau weiterer Fertigungsanlagen.

Abb. 3: Produktionsanlage [13]

4.3 Produkte

Furfuryliertes Holz wird unter dem Produktnamen Kebony auf dem Markt angeboten. Bisherige Produkte sind Fassadenprofile, Belaghölzer für Terrassen, Kais und Yachten, Profile zur Dacheindeckung und Konstruktionshölzer.

Konstruktionshölzer sind bis zu den Abmessungen 19,8 cm x 4,8 cm, 14,3 cm x 7,3 cm und 9,8 cm x 9,8 cm erhältlich.

4.4 Ökonomie

Aufgrund der guten Verfügbarkeit des umweltfreundlichen Ausgangsstoffs bietet sich die Modifikation von Holz mit Furfurylalkohol an.

Durch den Einsatz von furfurylitem Holz im Außenbereich ohne eine weitere Oberflächenbehandlung sowie den Wegfall weiterer Instandhaltungskosten scheint diese Modifizierungsart gegenüber anderen Materialien langfristig ökonomisch konkurrenzfähig zu sein. Aufgrund der relativ kurzen Verfügbarkeit auf dem Markt sind noch keine Langzeitergebnisse vorhanden.

5 Ökologie

Für die umweltfreundliche Herstellung von modifiziertem Holz bekam WPT mehrere Auszeichnungen. So ist es nach dem Ökolabel der nordischen Länder „The Swan“ in der Kategorie widerstandsfähiges Holz für den Außengebrauch zertifiziert. Des weiteren wurde dem Unternehmen der norwegische Nationalpreis für nachhaltigen Verbrauch und nachhaltige Produktion verliehen und von der European Environmental Press (EEP) mit dem EEP Award in der Kategorie umweltfreundliche Holzmodifikation ausgezeichnet.

Die EU hat die ökologischen Aspekte von Hölzern die nach dem Kebony-Prozess hergestellt wurden bewertet. Das Ergebnis war, dass die Widerstandsfähigkeit des Holzes nicht auf einer toxischen Behandlung beruht sondern durch die Modifikation der Zellwand erreicht wird. Beruhend auf diesem Ergebnis fallen die Produkte nicht unter die Biozidrichtlinie der EU.

Die Entsorgung von furfuryliertem Holz ist problemlos und kann auch verbrannt werden. Es wurde durch Untersuchungen nachgewiesen, dass es nicht zu erhöhten Emissionen bei der Verbrennung kommt [3].

6 Gesundheit

Um bei Verwendung im Innenbereich eine gesundheitsschädigende Wirkung auszuschließen werden VOC-Tests entsprechend ENV 717-1 und ENV 13419-1 durchgeführt [3].

7 Patent

Gezielte Forschungen, um Holz mit einer umweltfreundlichen Methode zu modifizieren, wurden die letzten zwei Jahrzehnte unter der Leitung von Professor Dr. Marc H. Schneider an der Universität von New Brunswick durchgeführt. Dr. Schneider gründete mit weiteren Personen die Firma Wood Polymer Technology (WPT) um die Technologie kommerziell zu vertreiben. Der Prozess wurde weiterentwickelt und patentiert. 2000 wurde der Chemblock Industries AS eine Unterlizenz für die USA und Kanada erteilt. Das erste

Lizenzabkommen für eine Produktion im großtechnischen Maßstab wurde im gleichen Jahr der Agder Polytre AS zugeteilt. Diese produzierte in Litauen Werkstoffe für die Firma Boen AS. 2002 wurde diese Lizenz an Boen AS übertragen.

2003 wurde dann offiziell die Firma Kebony Products DA gegründet, eine 100 % Tochtergesellschaft der WPT. Die Aufgabe von Kebony Products DA ist die Vermarktung und Weiterentwicklung dieser Behandlungsmethode während sich WPT mit der Entwicklung weiterer umweltfreundlicher Behandlungstechnologien beschäftigt. Zudem erwarb WPT die Rechte des geistigen Eigentums an der Technologie, einschließlich der eingereichten und bewilligten Patente von Dr. Schneider und der Universität von Brunswick.

WPT besitzt seit 2004 auch die Mehrheitsbeteiligung an der Modified Wood Corporation (ehemals Chemblock Industries).

Quellen

[1] EU-Entscheidungen zur Abgrenzung der Biozid-Produkte gegenüber anderen Rechtsbereichen, 2004
[2] Hoffrogge, C.: Hart und Wetter beständig wie Alu? – Modifiziertes Holz mit neuen Materialeigenschaften, Manuskript zur Sendung Leonardo – Wissenschaft und mehr, WDR5, Sendedatum: 04. November 2005
[3] Internetseite der Kebony Products DA, http://www.kebony.com/ger/
[4] Kebony – Material safety data sheet, Kebony Products DA, 2007
[5] Kebony ASH – Product data sheet, Kebony Products DA, 2007
[6] Krause, A.: Neue Materialien – neue Chancen für Holzfenster?, Institut für Holzbiologie und Holztechnologie, Göttingen, 2007
[7] Krause, A.: Innovation durch Holzmodifizierung, Institut für Holzbiologie und Holztechnologie, Göttingen
[8] Lande, S.; Eikenes, M.; Westin, M.; Schneider, M.: Changes in mechanical properties of furfurylated wood, Wood Polymer Technologies, 2005
[9} Malmanger, N.: Modificación de la madera con alcohol de furfuryl, Boletín de información técnica No. 225, 2003
[10] Militz, H.: Neuartige Verfahren der Holzmodifizierung für den Fenster- und Fassadenbau, ift Rosenheim, 2003
[11] Wepner, F.: Produktinnovationen durch Holzmodifizierung, Institut für Holzbiologie und Holztechnologie, Göttingen, 2005
[12] Westin,M.; Larnoy, E.; Lande, S.: Wood furfurylation process development, 2007
[13] Westin, M.; Lande, S.: Furfurylation of wood, Wood Polymer Technologies, 2004

Linkliste

http://www.kebony.com/ger/
Internetseite der Kebony Products DA

8.2 Modifiziertes Holz
Melaminharzbehandlung

1 Allgemeines

Der Einsatz von Kunstharzen und natürlichen Harzen zur Holzmodifizierung wird schon seit vielen Jahrzehnten untersucht. Bereits 1970 veröffentlichte Burmester eine ausführliche Übersicht der anwendbaren Harze. Das Augenmerk der meisten Behandlungen richtete sich auf die Verbesserung der Festigkeitseigenschaften oder der Oberflächenhärte. Zu Beginn der 90er Jahre wurde mit dem Hintergrund der Tropenholzdiskussion die Forschung der Kunstharzimprägnierung wiederbelebt. In Europa unter anderem durch Forschungsprogramme der EU, die nun jedoch nicht ausschließlich die Verbesserung der Festigkeitseigenschaften, sondern auch die Erhöhung der Dauerhaftigkeit und die Prozessoptimierung zum Ziel hatten.

Bei den heute verwendeten Harzen zur Modifizierung von Holz handelt es sich um N-Methylolverbindungen, die in gelöster oder flüssiger Form genutzt werden. Als besonders geeignet haben sich Melaminharz und DMDHEU (Dimethyloldihydroxyethyl-enurea) erwiesen. Die Behandlung mit DMDHEU wird als Holzvernetzung bezeichnet und ist mit dem Verfahren der Melaminharzbehandlung vergleichbar. Die Harzbehandlungen zielen dabei auf einen kombinierten Effekt ab, da sich gezeigt hatte, dass sich bei optimierten Prozessbedingungen die Resistenz des Holzes deutlich verbessern lässt und sich zugleich einige andere wichtige Holzeigenschaften wie z.B. Dimensionsstabilität oder Lichtstabilität verbessern.

Zur Modifizierung von Holz werden methanolverätherte Melamin-Formaldehyd-Harze (MMF-Harze) verwendet, die durch die Umsetzung von Melamin mit Formaldehyd und Methanol hergestellt werden. Melamin selbst ist ein feines, weißes Pulver, das heute durch chemische Prozesse aus Harnstoff gewonnen wird. Es wird vielseitig eingesetzt und dient hauptsächlich als Rohstoff für Melamin-Formaldehyd- und Melamin-Harnstoff-Formaldehyd-Harze. Man verwendet es aber auch als Zementadditiv oder als Flammhemmer in PU-Weichschäumen. Als Harz kommt es vor allem als Leim für Spanplatten und Holzwerkstoffe zur Anwendung. Darüber hinaus werden mit Melaminharz getränkte Papiere als Deckdekore für Arbeitsplatten und Laminat verwendet oder zur Nassfestausrüstung von Papier wie z.B. Banknoten.

Für die Holzbehandlung verwendet man Vorkondensate die in Wasser emulgiert sind und ins Holz über das Vakuum-Druck-Verfahren eingebracht werden. Bei Temperaturen von über 90 °C härten sie aus und werden so dauerhaft im Holz fixiert. Als farblose Lösung besitzt das Melamin dabei einen wesentlichen Vorteil gegenüber den braunen Phenolharzen. Es zeichnet sich insbesondere durch seine Härte, Kratzfestigkeit, UV-, Witterungs-, Chemikalien- und Temperaturbeständigkeit aus. Aufgrund dieser positiven Eigenschaften wird Melamin auch für die Modifizierung von Holz verwendet. Als Melamin-Formaldehyd kann es in die Zellwand eindringen und dort mit Hydroxylgruppen der Zellwandpolymere kovalente Bindungen bilden oder direkt in den Zelllumen kondensieren.

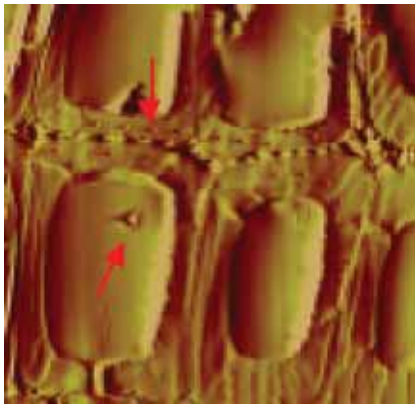


Abb. 1: Einlagerung des Harzes in der Zellwand und im Zelllumen [10]

2 Einsatzgebiete

Durch die deutliche Erhöhung der Härte und Abriebfestigkeit bietet sich mit Melaminharzen vergütetes Holz vor allem für den Einsatz im Parkettbereich an.

Der erhöhten Dauerhaftigkeit und verbesserten UV-Beständigkeit stehen bei Verwendung im Außenbereich die erhöhte Rissbildung gegenüber. Daher müsste für eine Verwendung im Außenbereich z.B. als Außenmöbel, Fenster oder Tür ein Weg gefunden werden, die Rissbildung zu minimieren.

Die Modifizierung von Buche für den Einsatz im Außenbereich erscheint nicht sinnvoll, da die doppelte Einbringmenge von MMF- Harz gegenüber Kiefernholz benötigt wird um eine deutliche Erhöhung der Dauerhaftigkeit zu erzielen. Besser geeignet für den Außengebrauch scheint Kiefernsplintholz zu sein, bei dem Dauerhaftigkeitsklasse 1 erreicht werden kann. Aber auch hier müsste eine Lösung für das Problem der Rissbildung gefunden werden.

Mit Melaminharz behandeltes Holz würde sich im Rahmen einer stofflichen Verwertung als hochwertiges Spanplattenrohmaterial anbieten. Die Modifizierung von Holz für die Herstellung von hochwertigen Plattenwerkstoffen ist möglich. Entscheidendes Kriterium hierfür werden jedoch die Kosten für die Modifikation im industriellen Maßstab sein.

3 Physikalische Einflussfaktoren

Die Behandlung ist holzartenabhängig und nicht jedes Holz ist tränkbar. Eine Behandlung von Buche mit Rotkern ist beispielsweise, aufgrund der vorhandenen Gefäßverschlüsse nicht möglich, während sich „weißes“ Buchenholz dagegen leicht imprägnieren lässt. Auch die Einbringmenge ist von der Holzart abhängig. Es gibt keine einheitliche Einbringmenge, da z.B. bei verschiedenen Pilzen unterschiedliche Einbringmengen die besten Ergebnisse erzielten. Es führt also nicht die höchste Einbringmenge zum jeweils besten Ergebnis.

4 Veränderung der materialtechnischen Eigenschaften

4.1 Sorptionsverhalten

Das Sorptionsverhalten wird durch die Behandlung verändert. Die Aufnahme flüssigen Wassers wird beträchtlich verzögert. Die Sorptionsisothermen von behandeltem und unbehandeltem Holz im Bereich zwischen 0 und 76 % relativer Luftfeuchte unterscheiden sich jedoch nicht. Erst zwischen 76 und 100 % relativer Luftfeuchte tritt eine deutliche Sorptionsvergütung ein.

4.2 Dimensionsstabilität

Die Dimensionsstabilität gegenüber unbehandeltem Holz kann durch eine Harzbehandlung um ca. 12 bis 16 % bei Kiefernsplintholz verbessert werden. Bei farbkernfreiem Buchenholz liegt die zu erwartende Reduzierung des Quell- und Schwindverhaltens im Vergleich zu unbehandeltem Holz selbst bei einer hohen Konzentration von 30 % Festharzanteil nur bei 15 %. Erreicht wird dies durch die Einlagerung von Melamin in hohem Maße in die Zellwand. Die Verbesserung ist abhängig von der Harzkonzentration. Behandlungen mit Tränklösungen mit geringen Harzkonzentrationen führen nicht zu einer nennenswerten Reduzierung der Holzfeuchte, jedoch zu einer verzögerten Wasseraufnahme und –abgabe.

Die Ausgleichsholzfeuchte wird minimal reduziert.

4.3 Dauerhaftigkeit

Mit Hilfe der Melaminbehandlung zeigen Holzproben aus Kiefernsplintholz deutlich geringere Abbauraten gegenüber Weiß- und Braunfäule. Untersuchungen zeigten, dass heimisches Kie-

fernsplintholz, das nach DIN EN 350-2: 1994 der Dauerhaftigkeitsklasse 5 (nicht dauerhaft) zugeteilt ist, nach einer Vergütung mit 10 %iger Harzlösung Dauerhaftigkeitsklasse 1 (sehr dauerhaft) erreichen kann. Allerdings war bei Tests im 2. Jahr der Freilandbewitterung an nahezu gleichviel Tagen die Grenzholzfeuchte von 25 % überschritten, wie bei unbehandelten Proben. Die überproportionale Steigerung der Grenzfeuchteüberschreitungen vom ersten zum zweiten Jahr, die sich teilweise mehr als verdoppelte, trat gleichzeitig mit verstärkter Rissbildung auf. Die Modifizierung des Holzes erfolgt über den ganzen Querschnitt und nicht nur an der Oberfläche. Daher hat die Rissbildung keine Auswirkungen auf die Dauerhaftigkeit. Buchenholz benötigt ungefähr die doppelte Menge an MMF-Harz, die Kiefernholz benötigt, um eine deutliche Erhöhung der Dauerhaftigkeit zu erreichen. Die erhöhte Resistenz gegenüber holzzerstörenden Pilzen wird auf chemisch-physikalischen-mechanischen Schutz vor Aufspaltung des Verbundes der Zellwandbestandteile zurückgeführt. Zum Schutz vor Bläue- und Schimmelpilzen ist ein Anstrich erforderlich.

4.4 Verwitterungseigenschaften

Durch die Melaminharzvergütung wird die Vergrauung und Verwitterung der Holzoberfläche mit steigender Konzentration verzögert. Wobei bereits bei einer Imprägnierung mit 7,5 %iger Tränklösung kaum noch delignifizierte Zellulosefasern während der Freilandversuche auftraten. Die Vergrauung setzte im Vergleich zu unbehandeltem Holz sehr viel später ein. Die Proben behielten etwa ein Jahr lang ihre ursprüngliche Farbe von fällfrischem hellem Kiefernholz. Dies bedeutet, dass das UV-stabile Melaminharz eine UV-schützende Wirkung auf das Holz ausübt.

4.5 Festigkeitseigenschaften

Während sich der E-Modul in Abhängigkeit der Harzlösung um 3 % bei 10%iger Harzlösung und um 16 % bei 20%iger Harzlösung erhöht, reduziert sich die Bruchschlagzähigkeit um 30 bis 37 %.

Härte und Abriebwiderstand von mit MMF-Harz getränktem Holz steigen deutlich an. Es ergaben sich Erhöhungen der Härte um bis zu 150 %. Die Erhöhung der Härte ist abhängig von der Eigenhärte des Vergütungsmittels, dem Beladungsgrad und der Tränkmittelverteilung im Holz. Mit Melaminharz vergütetes Holz ist härter als unvergütetes Holz mit gleicher Rohdichte, da Melaminharz eine höhere Eigenhärte als die Zellwandsubstanz aufweist. Mit MMF-Harzen getränktes Kiefern- und Buchenholz zeigen deutlich höhere Härten als Parkettholzarten.

4.6 Änderung Farbe

Melaminharze sind farblos. Somit ist mit MMF-Harzen vergütetes Holz farblich nicht von unbehandeltem Holz unterscheidbar.

4.7 Änderung Masse

Durch die Einlagerung von Stoffen ins Holz kommt es je nach Behandlungsgrad zu einer Gewichtszunahme von bis zu 40 %. Die Gewichtszunahme ist abhängig vom Festkörpergehalt der Tränklösung. Bei Tränklösungen aus dem mit Wasser auf 5–10 % Feststoffgehalt verdünnten methylveretherten Melaminharz beträgt die Gewichtszunahme ca. 10 %.

5 Vorgang der Modifizierung

Das Verfahren der Melaminharzbehandlung von Holz ist mit der Holzvernetzung vergleichbar. Bei der Behandlung wird eine Einlagerung von etwa 10 % Melaminharz angestrebt, was zu einer deutlichen Hydrophobierung des Holzes führt. (Abb. 2)

Die Lösung wird über das Vakuum-Druck-Verfahren in das Holz eingebracht. Über ein Anfangsvakuum wird die im Holz befindliche Luft

entfernt Im Anschluss wird der Kessel mit der verdünnten Tränklösung geflutet und mit ca. 8 bar Überdruck über mehrere Stunden in das Holz eingepresst. Die Aushärtung des Harzes und damit die Fixierung im Holz findet bei Temperaturen zwischen 90 und 140 °C statt. Zwischen Imprägnierung und Härtung ist eine schonende Trocknung notwendig, da es bei sofortiger Temperaturerhöhung durch ein hohes Feuchtgefälle zu Rissen im Holz kommen kann. Die Aushärtetemperatur hat einen deutlichen Einfluss auf das spätere Verhalten. Bei zu niedrigen Temperaturen kommt es nicht zu einer vollständigen Aushärtung. Die Harze werden sowohl in die Zellwand als auch in das Zelllumen eingelagert.

Die eingesetzten MMF-Harze sind einkomponentig und härten erst durch spätere Hitzeeinwirkung mit Hilfe der im Holz vorhandenen, katalytisch wirkenden, organischen Säuren aus. Zweikomponentige Reaktionsharze würden beträchtliche Mengen an Harz außerhalb des Holzes aushärten und große Mengen Abfall und Kosten verursachen. Die Tränklösung besteht, je nach Anwendungszweck, aus dem mit Wasser auf 5–10 % Feststoffgehalt verdünnten methylverethertеn Melaminharz. Sowohl die Löslichkeit der Harze in Wasser, als auch die Topfzeit (Verarbeitungszeit) ist vom Formaldehydanteil abhängig. Je höher der Formaldehydanteil, desto länger ist zwar die Zeitspanne bis sich das Harz komplett im Wasser löst aber desto höher ist auch die Topfzeit. Bei den veretherten Melamin-Formaldehyd-Harzen handelt es sich um niedermolekulare Vorkondensate. Bei der Herstellung wird die Kondensation mit Formaldehyd nur bis zu einer bestimmten Stufe vorgenommen, da die MMF-Harze zunächst noch gute Löslichkeitseigenschaften besitzen müssen. Erst nach der Einbringung ins Holz wird die Kondensation zu Ende geführt und die Harze somit unlöslich im Holz fixiert. Die Endkondensation, also die Härtung, wird durch Hitzeeinwirkung erreicht.

Abb. 2: Blockade der Hydroxyl-Gruppen in der Zellwand [1]

6 Ökonomie

Für die Druckimprägnierung im industriellen Maßstab wird ca. die doppelte Menge an Tränklösung im Druckkessel benötigt wie vom Holz aufgenommen wird. Daher ist die physikalische, chemische und biologische Stabilität der eingesetzten Tränklösung von Bedeutung, da die Harzlösung, welche nicht vom Holz aufgenommen wurde in Kontakt mit dem Holz und seinen teilweise löslichen Inhaltsstoffen wie Zuckern, Säuren sowie möglichen Verunreinigungen, Sporen und anderen Mikroorganismen kommt. Die Lösung muss in der Lage sein, diese Einwirkungen abzupuffern, um stabil für den weiteren Praxiseinsatz bzw. weitere Tränkvorgänge zu bleiben. In Versuchen wurde festgestellt, dass höher konzentrierte Lösungen dazu durchaus in der Lage sind, niedrig konzentrierte Lösungen jedoch Stabilitätsprobleme hatten.

Tränklösungen aus MMF-Harzen bieten sich aufgrund der niedrigen Viskosität, dem guten Eindringvermögen und der guten Verteilung im Holz für die Modifizierung an. Hinzu kommt die gute Fixierung im Holz. Es findet nahezu keine Auswaschung statt.

Für die Imprägnierung können übliche Kesseldruckanlagen, die auch für chromatfreie Holzschutzmittel wie CuHDO ausgelegt sind, verwendet werden. Durch eine Beschichtung können ältere Kessel nachgerüstet werden um die fehlende korrosionsschützende Wirkung chromathaltiger Holzschutzmittel auszugleichen. Die Trocknung und Härtung in gängigen Trock-

nungsanlagen ist möglich. Für die Modifikation von Holz mit Melaminharz werden keine speziellen Anlagen benötigt. Es können Anlagen, wie sie in der Holzindustrie bereits vorhanden sind verwendet werden. Daher bietet sich eine kommerzielle Umsetzung an. Zum jetzigen Zeitpunkt sind noch keine Produkte aus Melaminharz behandeltem Holz auf dem Markt erhältlich.

Die Kosten für die Vergütung mit methanolveretherten Melamin-Formaldehyd-Harzen liegen nach Rapp bei ca. 250 €/m³ [1].

7 Ökologie

Mit Melaminharz modifiziertes Holz kann unbedenklich entsorgt werden, da das Holz keine Biozide enthält sondern nur Elemente wie Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff, die es auch schon von Natur aus enthält. Eine thermische Verwertung ist nach der 4. Bundes-Immissionsschutzverordnung (BImSchV) in dafür zugelassenen Anlagen möglich [1]. Dies bedeutet, dass bei der Verbrennung modifizierten Holzes keine erhöhten Emissionen entstehen. Wenn die Hölzer zerkleinert werden ist auch eine Kompostierung möglich. Es ist biologisch durch Bakterien abbaubar. Des Weiteren ist eine stoffliche Verwertung als hochwertiges Spanplattenrohmaterial möglich.

8 Gesundheit

Das behandelte Holz sowie das ausgehärtete Harz ist lebensmittelverträglich. Melaminharz ist ein toxikologisch unbedenklicher Kunststoff, der in Deutschland für Kinderspielzeug, Küchengegenstände sowie Essgeschirr zulässig ist und auch als Beschichtung für Küchenarbeitsplatten verwendet wird.

Quellen

[1] Frühwald, A.; Ressel, J.B.; Bernasconi, A.: Hochwertiges Brettschichtholz aus Buchenholz, Abschlussbericht, Institut für Holzphysik und mechanische Technologie des Holzes, Hamburg, 2003

[2] Götz M.; Illner M.; et al.: Einheimisches, dimensionsstabilisiertes Holz im Fenster- und Fassadenbau, Kurzbbericht, isp Rosenheim

[3] Holzschutz durch Holzmodifizierung, Sachverständigenbüro für Holzschutz, 2007

[4] Krause, A.: Neue Materialien – neue Chancen für Holzfenster?, Institut für Holzbiologie und Holztechnologie, Göttingen, 2007

[5] Militz, H.: Neuartige Verfahren der Holzmodifizierung für den Fenster- und Fassadenbau, ift Rosenheim, 2003

[6] Militz, H.: Holzmodifizierung – Alternative Schutz- und Behandlungsverfahren, 22. Holzschutztagung der DGFH, Göttingen, 2000

[7] Militz, H.: Übersichtsbericht – Acetyliertes Holz, Institut für Holzbiologie und Holztechnologie, Göttingen, 2001

[8] Rapp, A. O.; Peek, R.-D.: Melaminharzimprägniertes sowie mit Wetterschutzlasur oberflächenbehandeltes und unbehandeltes Vollholz während zweijähriger Freilandbewitterung, Holz als Roh- und Werkstoff 57, Seite 331 – 339, 1999

[9] Richter, K.: Neue Materialien und Beschichtungen für den Oberflächenschutz, Schweizer Holzbau 7/2005

[10] Teischinger, A.: Modifiziertes Holz, Institut für Holzforschung, BOKU Wien, 2003

[11] Wepner, F.: Produktinnovationen durch Holzmodifizierung, Institut für Holzbiologie und Holztechnologie, Göttingen, 2005

Weiterführende Literatur

Forschungsvorhaben di-sta – Einheimisches, dimensionsstabilisiertes Holz für den Fenster und Fassadenbau, Deutsche Gesellschaft für Holzforschung e. V., DGfH-Az.: E-2001/03

Holzschutz mit Melaminharzen; Lukowsky, D., Dissertation, Universität Hamburg, 1999

8.2 Modifiziertes Holz
Holzvernetzung

1 Allgemeines

Holzvernetzung ist die Modifizierung von Holz mittels reaktiver N-Methylol Harze. Hierfür können verschiedene N-Methylol Verbindungen verwendet werden, die ihren Ursprung in der Textilindustrie haben. Für die industrielle Vernetzung von Holz wird DMDHEU (Dimethyloldihydroxyethylenurea) eingesetzt, ein Kunstharz, das schon seit langem zur Hochveredelung von Baumwollfasern verwendet wird. Es handelt sich dabei um einen umweltverträglichen und sehr gut untersuchten Wirkstoff. Durch diese Behandlung wird Baumwolle bügelfrei, knitterfest und wasserabstoßend. Wie die Baumwolle, die nahezu ausschließlich aus Zellulose besteht, ist auch Holz zu über 50 % aus Zellulose aufgebaut.

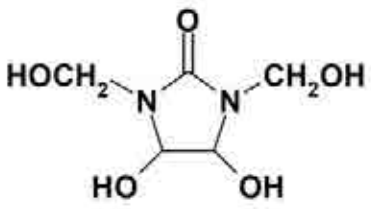


Abb. 1: Strukturformel DMDHEU [7]

Abb. 2: Vernetzung der Zellwände [16]

Dieses wasserlösliche Harz reagiert sehr gut mit Hydroxyl-Gruppen, welche in großer Anzahl in der Zellwand vorhanden sind. Das Harz ist in der Lage, in die Holzzellwand einzudringen. Bei geeigneten Prozessbedingungen lässt sich offenbar bewirken, dass sich die Moleküle untereinander oder auch mit der Zellwand vernetzen. Bei einer chemischen Reaktion mit der Zellwand werden durch den eingelagerten Stoff Zellulosefasern miteinander verbunden. Aufgrund der vernetzenden Wirkung wird diese Art der Modifikation Holzvernetzung genannt. Diese Modifizierungsart ist gut geeignet für Kiefer und Buche. Vor allem die Modifizierung von Buche wurde und wird erforscht. Der Grund hierfür ist, dass Buche nicht besonders dauerhaft ist und mit der Holzvernetzung eine Möglichkeit gefunden wurde, Buche auch für den Außeneinsatz tauglich zu machen. Trotz erster Produkte aus modifiziertem Buchenholz auf dem Markt ist die Wissenschaft aber noch mit grundlegenden Fragen beschäftigt. In einem aktuellen Forschungsvorhaben (Verbundprojekt „Innovative modifizierte Buchenholzprodukte“) wird derzeit der Frage nachgegangen, ob das Kunstharz tatsächlich mit der Zellwand reagiert oder sich die Moleküle nur untereinander vernetzen und den Raum zwischen den Holzfasern ausfüllen. Und ob die Moleküle des Wirkstoffs tatsächlich mit Zellulose oder auch mit Hemizellulose und Lignin reagieren. Erst wenn die Wirkungsweise wirklich genau bekannt ist kann man abschätzen ob diese Form der Modifizierung auch für andere Holzarten in Betracht kommt und wie man den Prozess abändern müsste.

Die Wirkungsweise der Modifizierung von Holz mit DMDHEU besteht darin, dass das Holz während der Behandlung quillt und in diesem Zustand fixiert wird. So wird die Zellwand in einen Zustand dauerhafter Quellung versetzt, den so genannten Bulking-Effekt. Dieser Effekt trägt entscheidend zur Verbesserung der Dimensionsstabilität bei, da es keinen Raum mehr für eindringende Wassermoleküle in die Zellwand gibt. Auch holzabbauende Pilze werden erheblich behindert, wie langfristige Tests beweisen [8]. Durch die Holzvernetzung wird nicht nur die Oberfläche verbessert, sondern der gesamte Querschnitt vollständig modifiziert. Ein verwandtes Verfahren der Holzvernetzung ist die Behandlung von Holz mit Melaminharz. Auch bei diesem Verfahren werden Harze aus N-Methylol Verbindungen eingesetzt.

Der Einsatz von Kunstharzen und natürlichen Harzen zur Holzmodifizierung wird schon seit vielen Jahrzehnten untersucht. Unter dem Gesichtspunkt ein Modifizierungsverfahren mit hoher Kosten-Nutzen-Effizienz zu entwickeln, wurden bereits 1987 die ersten Versuche mit Dimethylol-Verbindungen durchgeführt [4]. Das Verfahren wurde dann in Kooperation des Institut für Holzbiologie und Holztechnologie der Universität Göttingen, der Fritz Becker KG in Brakel und der Firma BASF bis zur Serienreife entwickelt und vor allem auf die Modifizierung von Formteilen aus Buche abgestimmt. Der Grund waren langjährige Überlegungen Buche für den Außeneinsatz haltbar zu machen, da Lackierungen und ähnliche Behandlungen keine dauerhaften Verbesserungen brachten. Erste Versuche mit behandelten Furnieren und Formteilen in der Außenbewitterung und der Klimakammer wurden 2003 an der Universität Göttingen unter der Leitung von Prof. Dr. Holger Militz durchgeführt. Nach viel versprechenden Ergebnissen wurde gemeinsam ein Verfahren zur Behandlung von Buchenfurnieren in wetterfester Ausführung entwickelt. In weiteren Versuchen mit einer Pilotanlage wurde das Verfahren weiterentwickelt und bis zur Serienreife gebracht. Das Verfahren wurde patentiert und der Wirkstoff wird unter dem Namen Belmadur angeboten. Erste Produkte sind seit 2006 auf dem Markt.

2 Einsatzgebiete

Besonders interessant ist dieses Verfahren für die nicht dauerhafte Buche, die nach der Behandlung von Dauerhaftigkeitsklasse 5 in Dauerhaftigkeitsklasse 1 bis 2 rückt und somit auch im Außenbereich verwendet werden kann. Daher wird diese Methode bereits in Bereichen mit stark wechselnder Feuchte, beispielsweise bei der Herstellung von Sitzmöbeln aus Buchenformholz für den Außenbereich oder für Türen, angewendet. Als Produkte sind bisher nur Formholzstühle für den Außenbereich erhältlich. Fenster und Haustüren aus vernetzter Buche sind derzeit als Prototypen in der Erprobung.

Abb. 3: Gartenmöbel im Außenbereich [14]

Dieses Modifikationsverfahren ist gerade bei formverpressten Furniersperrhölzern (Formsperrholz) interessant, da die Behandlung mit dem Holzvernetzer zwischen der Furnierherstellung und dem Trocknungsverfahren erfolgen kann. Das heißt, das entstehende Sperrholz wird während seiner Herstellung modifiziert und ist somit einfach in den Materialfluss einzuordnen. Hierbei zielt die Industrie auf eine kombinierte Produktverbesserung bezüglich der Dauerhaftigkeit mit gleichzeitiger Verbesserung der Dimensionsstabilität, wodurch man sich erhöhte Standzeiten von Produkten unter Außenbewitterungsbeanspruchung verspricht. Ergänzend kommt hinzu, dass das für dieses Verfahren besonders geeignete Buchenholz in der Formholzindustrie wegen seiner hervorragenden Verformbarkeit sowie der Furnierschälbarkeit eine entscheidende Rolle spielt und dadurch auch im Außenbereich eingesetzt werden kann, wodurch sich neue Einsatzgebiete ergeben. Denkbar wären z.B. Fassaden, Terrassenbeläge oder auch der Einsatz in Feucht- und Nassräumen. Zusätzliche Anwendungsbereiche könnten dadurch geschaffen werden, dass sich während des Prozesses auch gleichzeitig über Farbpigmente in der Behandlungslösung Farbeffekte in das Holz einbringen lassen und so auch

dunkle Farbtöne als Tropenholzersatz möglich sind.

Die bisher vorliegenden Ergebnisse und die noch unzureichenden Kenntnisse über wirtschaftliche Aspekte des Verfahrens reichen nicht aus, um das Potential dieser Behandlung für Fassadenhölzer abzuschätzen.

Durch seine gesteigerte Härte wäre vernetztes Holz gut für Parkett geeignet und könnte eine bessere Härte wie Laminat erzielen. Dafür spricht auch die verbesserte Dimensionsstabilität.

Der Einsatz modifizierter Buche im konstruktiven Bereich ist zum jetzigen Zeitpunkt eher unwahrscheinlich, da das Holz durch die Behandlung spröder wird. Zudem ist die vollständige Modifizierung in Abmessungen von Konstruktionshölzern noch nicht möglich. In Versuchen konnten in semi-industriellen Tränkungsanlagen aber bereits Hölzer mit einem Querschnitt von 8 cm x 8 cm über den ganzen Querschnitt getränkt werden [8].

3 Einflussfaktoren

Der Erfolg des Prozesses ist in großem Maße von der Holzart abhängig. Anatomie und Chemie des verwendeten Holzes spielen eine große Rolle. Buchen- und Kiefernholz lassen sich sehr gut behandeln, da sie sich gut imprägnieren lassen. Fichte ist für diese Art der Modifikation eher ungeeignet, da sie sich kaum tränken lässt.

Weitere Parameter sind Abmessungen der Hölzer, die Konzentration der verwendeten DMDHEU-Lösung, Art und Konzentration des verwendeten Katalysators Magnesiumchlorid, Stärke und Zeitintervall von Vakuum und Druck sowie das Aushärtungsverfahren.
Werden Druck und Vakuum nicht exakt gesteuert kann es sein, dass die Lösung nicht über den ganzen Querschnitt verteilt ist. Grundlage für die Behandlung ist jedoch, dass die Substanz tief genug ins Holz eindringt. Das Aushärtungsverfahren muss heiß genug sein, damit es zu einer Reaktion der Moleküle kommt, ohne dass das Holz spröde wird.

4 Veränderung der materialtechnischen Eigenschaften

4.1 Dimensionsstabilität

Die Verbesserung der Dimensionsstabilität beruht im Ganzen auf den Veränderungen in der Zellwand. Durch den Bulking-Effekt liegt die Zellwand schon in einem Zustand ständiger Quellung vor. Sie sind in einem dauerhaft gequollenen Zustand fixiert. Die Vernetzung sorgt für die dauerhafte Blockierung der Hydroxylgruppen in der Zellwand. Eindringende Wassermoleküle können sich nicht mehr an der Zellwand anlagern. Die Quervernetzung führt gleichzeitig dazu, dass das Holz nicht mehr bis zur ursprünglichen Größe quellen kann. Diese zwei Tatsachen, dass beim Quellen und Schwinden des Holzes die Volumenänderung sowohl nach unten als auch nach oben eingeschränkt ist, führt, in Abhängigkeit von der Vernetzungsintensität, zu einer Verbesserung der Dimensionsstabilität. Die Volumenänderung durch Quellen und Schwinden beträgt bei unbehandelter Buche ca. 20 % und verbessert sich durch die Behandlung auf unter 10 % [7].

Da nur die Zellwände imprägniert werden, kann das Holz weiterhin atmen und Wasser aufnehmen und wieder abgeben, ohne aber dabei stark zu quellen und zu schwinden.

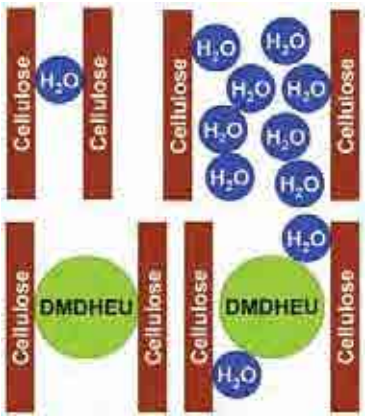


Abb. 4: Wirkprinzip von DMDHEU [7]

Abb. 5: Verbesserung des Schwind- / Quellverhaltens [15]

4.2 Dauerhaftigkeit

In Laboruntersuchungen und in Freilandtests zeigte sich die verbesserte Dauerhaftigkeit des vernetzten Holzes. Die Dauerhaftigkeit des Holzes wird durch die Vernetzungsintensität bestimmt. Geringe Vernetzungsintensität führt zu einer leichten Steigerung der Resistenz gegen Holz zerstörende Pilze, bei hoher Vernetzungsintensität ist das Holz fast nicht mehr abbaubar. Durch die Vernetzung der Zellulose in den Zellwänden können Holz zerstörende Pilze die Zellulosestrukturen nicht mehr abbauen. Durch die Behandlung rückt Buche von der schlechtesten Dauerhaftigkeitsklasse (Klasse 5) in Klasse 1 bis 2. Somit ist es für den Einsatz im Freien tauglich. Bläuepilzbefall kann durch die Holzvernetzung nicht verhindert werden.

Abb. 6: Einstufung in Dauerhaftigkeitsklassen [15]

Tests mit Buchenholz im Erdkontakt laufen schon seit mehr als 4 Jahren ohne dass sich das Holz zersetzt hat.

Über die Dauerhaftigkeit in Salzwasser liegen noch keine gesicherten Erkenntnisse vor. Erste Testes werden gerade durchgeführt.

4.3 Verwitterungseigenschaften

Die Widerstandsfähigkeit des Holzes gegenüber natürlicher Bewitterung wird stark verbessert. Das Verwitterungsverhalten verlangsamt sich. Die Vergrauung und Oberflächenerosion wird reduziert, aber nicht vollständig unterbunden.

Abb. 5: Zweijähriger Bewitterungstest [7]

4.4 Oberflächenbehandlung

Die Behandlung der Oberflächen mit Lasuren oder deckenden Anstrichen ist problemlos möglich. Durch die verbesserte Dimensionsstabilität halten sich Lacke und Lasuren besser auf der Oberfläche. Dadurch kann die Haltbarkeit von Anstrichen verlängert werden.

4.5 Festigkeitseigenschaften

Die Oberflächenhärte des Holzes wird durch das Vernetzen sehr stark erhöht. Die Brinellhärte von vernetztem Holz kann das doppelte bis dreifache der Härte von unbehandeltem Holz erreichen. Vernetzte Buche wird durch die Behandlung doppelt so hart wie Eiche.

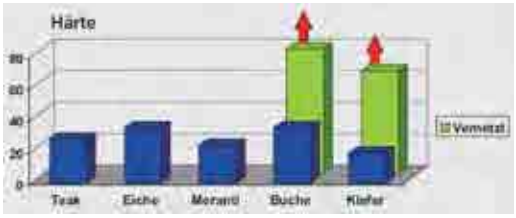


Abb. 7: Brinellhärte senkrecht zur Faser in N/mm² [15]

Kehrseite der erhöhten Härte ist die geringere Elastizität des Holzes, da durch die Vernetzung der Fasern die Bewegungsmöglichkeiten der einzelnen Faser eingeschränkt werden, wodurch das Holz spröder wird.

4.6 Klebbarkeit

Die Verleimung mit wasserfestem Leim nach EN 204 (D3) ist problemlos möglich. Bei der Herstellung von Buchenschichtholzformteilen wird ein spezielles wasserfestes Zwei-Komponenten-Leimsystem eingesetzt, so dass auch die Leimfuge wetterfest ist.

4.7 Änderung Masse

Durch die Behandlung kommt es zu einer Erhöhung des Gewichts um ca. 10 %.

4.8 Farbänderung

Die Vernetzung verursacht keine Verfärbung oder andere Beeinträchtigung der Optik. Eine Besonderheit dieses Verfahrens ist die Möglichkeit der Durchfärbung von Holz. Der wässrigen Vernetzerlösung können dispergierbare Pigmente zugeführt werden. Da der ganze Querschnitt modifiziert wird erfolgt auch die Verfärbung über das gesamte Volumen. Es ist jeder Farbton möglich. Er addiert sich zur natürlichen Farbe des Holzes. Daraus ergeben sich neue Designmöglichkeiten für Holz.

4.9 Haptik

Die Oberfläche wird härter und damit glatter.

4.10 Bearbeitbarkeit

Das Holz wird härter und dadurch zugleich spröder. Erste Erfahrungen bei der Bearbeitung von Buchenholzfurnieren zeigen dass es beim Fräsen wegen der erhöhten Härte fast keine Ausrisse gibt, die Kantenbearbeitung aber aufwändiger ist.

Da vernetzte Furniere spröder sind, lassen sich dreidimensionale Verformungen von Buchenholzformteilen nicht ganz so weit ausreizen wie mit unbehandelten Furnieren.

5 Prozess

Der Prozess besteht aus den zwei Prozessschritten Imprägnierung und Vernetzung. Die Vernetzung von Holz lässt sich grundsätzlich mit allen Holzarten durchführen, die sich gut tränken lassen. Besonders gute Ergebnisse werden mit Buche und Kiefer erreicht.

Zuerst wird die Vernetzerchemikalie, die als wässrige Lösung vorliegt, durch den Wechsel von Vakuum und Hochdruck, das sogenannte Vakuum-Druck-Verfahren ins Holz eingebracht. Dabei wird über das Vakuum die Luft aus der Zellstruktur des Holzes entfernt und anschließend die Imprägnier-

anlage mit der Lösung geflutet. Unter hohem Druck wird der Wirkstoff in das Holz eingepresst und dadurch der ganze Querschnitt durchtränkt.

Abb. 8: Tränkungsanlage [BASF]

Als zweiter Schritt folgt die Vernetzung der Moleküle. Im Heißdampftrockner erfolgt durch Hitze und den Katalysator Magnesiumchlorid die Vernetzung der Moleküle. Dabei findet die chemische Reaktion zwischen eingebrachter Lösung und Zellwand oder den Molekülen der Lösung untereinander statt. Um diese in Gang zu bringen wird eine Reaktionstemperatur von über 100 °C benötigt. Ein DMDHEU-Molekül besitzt jeweils zwei Methylol- und zwei Hydroxyl-Gruppen. Durch die Behandlung erreicht man eine chemische Reaktion, bei der zwei oder mehr OH-Gruppen der Zellulosefasern mit einem DMDHEU-Molekül reagieren. Durch diese Vernetzung werden Fasern miteinander verbunden und führen zu einem dreidimensionalen Netzwerk.

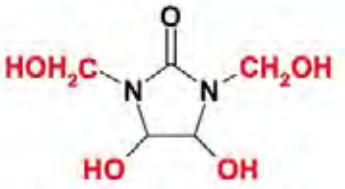


Abb. 9: Reaktive Teile (rot) des DMDHEU-Moleküls [7]

Es ist eine exakte Steuerung des Prozesses notwendig. Der Gehalt der Substanz darf nicht zu hoch und nicht zu niedrig sein. Zur Vernetzung muss es heiß genug für die Reaktion sein, ohne dass das Holz reißt oder spröde wird. Gerade bei der Behandlung von Schälfurnieren muss die Trocknung so gesteuert werden, dass die Schichten nicht zu spröde werden und die Vernetzung erst beim Formen der Teile in der Presse einsetzt. Ansonsten bricht das Holz wie Glas.

Für das Einbringen der Lösung werden Tränkungsanlagen verwendet, wie sie in der Holzindustrie bereits für das Tränken von Holz verwendet werden. Zusätzlich wird ein leistungsfähiger Trockner, ein Heißdampftrockner, benötigt.

Bei der Formholzherstellung kann die Behandlung in den Prozessablauf integriert werden. Der Prozess verlängert sich dadurch um einen weiteren Schritt, das Tränken der dünnen Schälfurniere aus Buche.

6 Ökonomie

Durch eine hohe Verfügbarkeit der relativ kostengünstigen und umweltverträglichen Vernetzungschemikalien bietet sich die kommerzielle Umsetzung an. In einem vom Bundesministerium für Bildung und Forschung finanzierten Projekt, das im Frühjahr 2005 gestartet ist, wird derzeit in Zusammenarbeit mit unterschiedlichen Holz verarbeitenden Betrieben, der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt, der BFH Hamburg und dem Institut für Holzbiologie und Holztechnologie der Universität Göttingen die Eignung dieses Verfahrens für die Behandlung von Rotbuche untersucht. Das Ziel besteht in einer Verbesserung der Holzeigenschaften, um neue Anwendungsfelder zu erschließen und so den Absatz von Buche zu steigern.

7 Gesundheit

Die Technologie beruht auf einem umweltverträglichen und sehr gut untersuchten Wirkstoff, der nach OECD-Studien unbedenklich ist. Eine analoge Technologie wird bei Textilien bereits seit

längerem eingesetzt und entspricht dort dem toxikologischen und ökologischen Standard Ökotex 100.

Die Modifizierung trägt zu einer Formaldehydemission aus dem Holz bei, die jedoch den E1-Grenzwert, der für Holzwerkstoffe gültig ist, unterschreitet. Emissionen können durch geeignete Formulierungs- und Prozesstechnologien reduziert werden. Die gesamten Emissionen, so genannte VOC, sind geringer als bei natürlichem Holz, da diese Stoffe zum Teil während des Modifizierungsprozesses entfernt werden.

8 Patent

Das Verfahren ist durch die BASF weltweit geschützt und wird unter dem Namen Belmadur vertrieben. Die BASF wird die Belmadur Technologie über ausgewählte Holzverarbeiter und Hersteller von Holzprodukten, so genannte Systempartner, zunächst in den europäischen Ländern vermarkten. Vorraussetzung ist der Abschluss einer Lizenzvereinbarung. Dabei wird der Prozess, wie auch die Belmadur Lösung auf die jeweiligen Anforderungen des Systempartners abgestimmt. Bisheriger Systempartner ist die Becker KG, die auch an der Entwicklung des Prozesses beteiligt war.

Quellen

[1] Militz, H.: Neuartige Verfahren der Holzmodifizierung für den Fenster- und Fassadenbau, ift Rosenheim, 2003
[2] Krause, A.: Neue Materialien – neue Chancen für Holzfenster?, Institut für Holzbiologie und Holztechnologie, Göttingen, 2007
[3] Mai, C.; Militz, H.: Im (Holz-) Kern verändert, Georgia Augusta 4/2005, Universität Göttingen, 2005
[4] Wepner, F.: Produktinnovationen durch Holzmodifizierung, Institut für Holzbiologie und Holztechnologie, Göttingen, 2005
[5] Militz, H.: Holzmodifizierung – Alternative Schutz- und Behandlungsverfahren, 22. Holzschutztagung der DGFH, Göttingen, 2000
[6] Militz, H.: Übersichtsbericht – Acetyliertes Holz, Institut für Holzbiologie und Holztechnologie, Göttingen, 2001
[7] Krause, A.: Holzvernetzung schafft wertvolles Holz, Institut für Holzbiologie und Holztechnologie, Göttingen
[8] Möhring, C.: Laborgespräch VI: Überraschung für Kenner, Modifiziertes Buchenholz – Von der Chemie der Zelle bis zum fertigen Produkt, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH – UFZ, Leipzig, 2008
[9] Hoffrogge, C.: Hart und Wetter beständig wie Alu? – Modifiziertes Holz mit neuen Materialeigenschaften, Manuskript zur Sendung Leonardo – Wissenschaft und mehr, WDR5, Sendedatum: 04. November 2005
[10] Mair, P.: Modifiziertes Holz – Der Markt der Zukunft?, DEGA Heft 27/2006
[11] Dreimann, A.: Betrachtungen zur Dauerhaftigkeit von Möbeln aus Sperrholz für den Außenbereich, Bachelor Thesis Kurzfassung, Fachhochschule Hildesheim, 2007
[12] Richter, K.: Neue Materialien und Beschichtungen für den Oberflächenschutz, Schweizer Holzbau 7/2005
[13] Götz M.; Illner M.; et al.: Einheimisches, dimensionsstabilisiertes Holz im Fenster- und Fassaenbau, Kurzbbericht, isp Rosenheim
[14] Militz, H.: Vortrag „Wetterfestes Buchenformholz“ im Rahmen des Transferpreis OWL 2006
[15] Bauen mit „neuem Holz“ TOLwood, Informationsschrift der Variotec Schweiz AG
[16] Holzschutz durch Holzmodifizierung, Sachverständigenbüro für Holzschutz, 2007

Linkliste

http://www.belmadur.de
Seite der BASF über die Belmadur Technologie

http://www.buchenholzmodifizierung.de
Internetseite zum Verbundprojekt „Innovative modifizierte Buchenholzprodukte“

http://www.becker-kg.de
Hersteller von Buchenholzformteilen. Systempartner der BASF

8.2 Modifiziertes Holz
Siliziumhaltige Verbindungen

1 Allgemeines

Die Idee zur Behandlung von Holz mit Siliziumverbindungen kommt aus der Natur. Dies belegen Funde von versteinertem Holz auf der ganzen Welt.

Abb. 1: Versteinertes „mineralisiertes“ Holz im Petrified Forest National Park, Arizona, USA [2]

Es gibt unterschiedliche Arten von versteinertem Holz, die sich darin unterscheiden, durch welchen Stoff die Holzsubstanz ersetzt wurde. Das Vorbild der Modifizierung von Holz mit Siliziumverbindungen ist verkieseltes Holz. So werden Hölzer bezeichnet, bei denen die Holzsubstanz durch Kieselsäure ersetzt wurde. Deshalb spricht man in der Praxis auch oft von „Verkieselung“ und meint damit die Einlagerung von Siliziumverbindungen in das Holz, im Gegensatz zum Vorbild in der Natur, bei der die Holzsubstanz durch Siliziumverbindungen ersetzt wurde.

Zur Entstehung durfte das Holz nicht verrotten. Deshalb war eine Unterbrechung der Sauerstoffzufuhr sowie der Schutz vor Mikroorganismen notwendig. Dies wurde durch Ablagerung im Wasser oder Einbettung in vulkanische Aschen erreicht. Organische Stoffe des Holzes wurden durch Kieselsäure ersetzt. Kieselsäure kommt häufig in vulkanischen Ablagerungen vor, kann aber auch in Sedimenten von Flüssen und Seen entstehen. Die Kieselsäure dringt in das Holz ein und kristallisiert. Die Geschwindigkeit der Kristallisation ist abhängig von Druck- und Temperaturbedingungen. Dieser von der Natur erschaffene Modifizierungsprozess wird heute in verschiedenen Forschungsvorhaben (siehe Anhang) untersucht. Ziel ist die industrielle Umsetzung. Bisher sind die Bemühungen jedoch auf den Einsatz im Labor beschränkt. Allerdings soll bei aktuellen Verfahren, im Gegensatz zum natürlichen Vorbild, die Holzsubstanz nicht ersetzt, sondern Siliziumverbindungen in die Holzsubstanz eingelagert werden.

Während des zweiten Weltkrieges wurden Zusammensetzungen aus Kieselsäure und Natriumoxid / Kaliumoxid, umgangssprachlich auch bekannt als Wasserglas bzw. Kaliwasserglas, für oberflächige Verkieselungen von Holzbauteilen als Brandschutz eingesetzt. Auf älteren Dachstühlen ist dies noch als milchig weißer Überzug erkennbar. Gegen Ende des Krieges sollte dies als Schutz gegen Brandminen und Brandbomben der beginnenden Luftangriffe dienen. Solch behandelte Hölzer von damals sind bis heute von Insektenbefall unversehrt geblieben. Daher wurde diese Anwendung im Holzschutz erprobt. Der Verkieselungsprozess dauert dabei aber über Jahre und ist so lange wasserlöslich. Dies schloss eine Verwendung im Freien aus. Nur ein Verbau unter Dach war möglich.

Bei der Behandlung von Holz mit siliziumhaltigen Verbindungen entsteht ein Verbundwerkstoff bei dem beständige, mineralische Bestandteile und vergängliche, kohlenstoffhaltige Bestandteile zusammengeführt werden. Man erhält mineralisiertes Holz, ein anorganisch-organischer Verbundwerkstoff. Aufgrund seiner komplexen inneren Poren- und Kanalgeometrie und der chemischen Zusammensetzung bietet sich das Holz für eine Infiltration mit siliziumhaltigen Tränklösungen an, da diese eine sehr kleine Feststoffgröße haben. Das vierwertige Siliziumatom kann Bindungen mit freien Hydroxyl-Gruppen der Zellulose bilden und

dadurch funktionelle Gruppen im Holz binden. Zusätzlich zur Änderung der Zellwandstruktur kommt es auch zu einer Einlagerung im Zelllumen. Es kann eine Vielzahl möglicher Siliziumverbindungen als Ausgangsstoff für die Modifizierung verwendet werden. Dabei werden Verbindungen von teilweise höchst unterschiedlicher Natur, die verschiedenen Stoffgruppen angehören, verwendet. Dies führt dazu, dass die Veränderung der Eigenschaften entscheidend von der verwendeten Verbindung abhängt. Dadurch besteht aber auch die Möglichkeit, die Veränderung der gewünschten Eigenschaften über die Zusammensetzung Tränklösung mit verschiedenen Siliziumverbindungen zu steuern.

Siliziumverbindungen werden auch für die Oberflächenbehandlung eingesetzt und eignen sich aufgrund ihrer Größe und Zusammensetzung vor allem für Nanobeschichtungen.

2 Einsatzgebiete

Aufgrund der verbesserten Dimensionsstabilität und verbesserten Dauerhaftigkeit zeichnet sich eine vielfältige Verwendung ab. Besonders interessant macht diese Methode aber die Erhöhung des Feuerwiderstandes, die durch Zugabe von Flammschutzmitteln noch verbessert werden kann. Damit wäre eine Verwendung im konstruktiven Bereich, sollten es die Festigkeitswerte zulassen, möglich.

3 Veränderung der materialtechnischen Eigenschaften

Die Eindringtiefe der Chemikalien variiert je nach Holzart sehr stark. Kiefer- und Buchenholz sind sehr gut imprägnierbar. Bei Fichtenholz dringen die Chemikalien aufgrund anatomischer Besonderheiten nur einige Millimeter ein.
Durch die verschiedenen möglichen Siliziumverbindungen können die Holzeigenschaften unterschiedlich stark variieren.

Die Ergebnisse der veränderten materialtechnischen Eigenschaften beziehen sich auf Versuche mit Kieselsole behandelter Kiefer und Buche im Rahmen des Projektes der Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung (BAM).

3.1 Sorptionsverhalten

Die Angaben zum Sorptionsverhalten widersprechen sich. Während sich in einem Fall eine verminderte Feuchtigkeitsaufnahme zeigte, bei der bei Feuchtlagerung in 100 % relativer Luftfeuchte und bei 23 °C die Ausgleichsfeuchte weniger als 10 % betrug, ergab sich im anderen Fall eine Erhöhung der Ausgleichsfeuchte um 1,5 % bis 4,5 % in Abhängigkeit vom gewählten Klima. Dies kann aber auch auf die Verwendung verschiedener Siliziumverbindungen zurückgeführt werden.

3.2 Dimensionsstabilität

Auch über die Dimensionsstabilität liegen unterschiedliche Angaben vor. Während es bei der Verwendung von Alkoxysilanen zu einer Verbesserung der Dimensionsstabilität von bis zu 42 % kam wurde bei der Tränkung mit reinem Siliziumdioxid-Sol eine verschlechterte Formstabilität im Differenzklima festgestellt.

3.3 Dauerhaftigkeit

Der Masseabbau durch holzzerstörende Pilze wurde bei behandeltem Kiefernholz um mindestens 60 % gegenüber unbehandeltem verbessert. Der in der Norm EN 113 definierte Grenzwert für den Masseabbau von 3 % konnte allerdings ohne weitere Zusätze nicht erreicht werden. Durch Zugabe von Kupfer zum Sol wird der Grenzwert dagegen erreicht.
Eine Schädigung durch Larven des Hausbockkäfers konnte verhindert werden. Zudem wurde eine erhöhte Resistenz gegenüber Termiten festgestellt.

3.4 Verwitterungseigenschaften
Versuche mit künstlich bewitterten Proben zeigten sowohl einen Schutz vor schneller Verfärbung als auch zusätzlich eine Verzögerung der Rissbildung.

3.5 Festigkeitseigenschaften
Die mechanischen Eigenschaften des Holzes bleiben erhalten. Der E-Modul wird durch die Behandlung fast nicht verändert. In Abhängigkeit der verwendeten Siliziumverbindung kann die Härte um bis zu 70 % gesteigert werden. Bei tiefer gehenden Tränkbehandlungen ist eine Versprödung und damit eine geringere Bruchschlagzähigkeit des Materials nicht auszuschließen.

3.6 Brandverhalten
Bei Verwendung von reinen Siliziumdioxid-Solen lässt sich eine Verbesserung des Feuerwiderstands feststellen. Die Behandlung reicht aber nicht aus um die Einstufung „schwerentflammbar“ (B1 nach DIN 4102) zu erreichen. Erst durch eine Behandlung mit einer Kombination von industriellem Flammschutzmittel und dem reinen Siliziumdioxid-Sol lässt sich diese Einstufung erreichen. Diese Kombinationstränkung erreicht aber momentan noch nicht die für einen Außeneinsatz notwendige Auswaschbeständigkeit.

3.7 Bearbeitbarkeit
In Abhängigkeit der Behandlung kann es durch die größere Härte des Materials zu einer verstärkten Abstumpfung von Geräten kommen.

3.8 Änderung Masse
Durch die Einlagerung in die Holzstruktur erhöht sich zwangsläufig die Dichte. Bei Kiefernholz betrug der Anstieg der Dichte bis zu 40 %.

3.9 Oberflächenbehandlung
Die Haftungseigenschaften für Beschichtungsmaterialien sind abhängig von der gewählten Siliziumverbindung. Während sich die Lackhaftung bei manchen Verbindungen verschlechtern kann, wurde z.B. bei Verwendung von Metalloxid-Solen kein Unterschied in den Haftungseigenschaften festgestellt.

3.10 Klebbarkeit
Die Verleimung mit MUF-Harz und PVAc zur Bestimmung der Bindefestigkeit ergab, dass der nach DIN EN 204 geforderte Mindestwert für die Klebfestigkeit nach 7-tägiger Lagerung im Normalklima von ≥ 10 N/mm² von den mit PVAc verleimten Prüfkörpern erfüllt und von den mit MUF-Harz verleimten Proben nicht eingehalten wurde.

4 Vorgang der Modifizierung
Der Prozess besteht aus zwei Verfahrensschritten und ist für alle Arten von siliziumhaltigen Verbindungen einheitlich. Die Chemikalie ist in einem geeigneten Lösungsmittel gelöst oder dispergiert. Diese Tränklösung muss so in das Holz eingebracht werden, dass der gesamte Holzkörper durchtränkt ist. Um dies zu erreichen werden Vakuum-Druck-Verfahren angewendet, wie es auch bei konventionellen Imprägnierverfahren der Fall ist. Die Eindringtiefe der Chemikalien variiert bei diesem Verfahren je nach Holzart sehr stark und ist abhängig von der verwendeten Zusammensetzung der Tränklösung sowie der Imprägnierbarkeit der Holzart.

Im zweiten Schritt wird das imprägnierte Holz bei erhöhten Temperaturen getrocknet. Dabei bilden die siliziumhaltigen Verbindungen chemische Bindungen mit den freien Hydroxyl-Gruppen der Zellulose. Durch diesen Vorgang härten die Siliziumverbindungen im Holz aus und werden fixiert.

Ein Vorteil von Verkieselungsreaktionen zum Einsatz in der Holzmodifizierung ist erst dann gegeben, wenn die siliziumhaltigen Verbindungen chemische Verbindungen mit den Holzzellwandkomponenten eingehen. Erst dadurch wird das Holz nicht nur wasserabweisend, sondern besitzt

auch ein verbessertes Quell- und Schwindverhalten und eine erhöhte Dauerhaftigkeit.

Durch die Einlagerung von Substanzen in die Zellwand entsteht ein Zustand permanenter Quellung. Dieser Effekt wird Bulking-Effekt genannt und führt zu einer verbesserten Dimensionsstabilität.

5 Mögliche Siliziumverbindungen

Die Modifikation von Holz ist mit verschiedenen siliziumhaltigen Verbindungen möglich. Die Wichtigsten werden hier kurz genannt.

Zu den rein anorganischen Siliziumverbindungen zählen Silikate wie z.B. Wasserglas. Diese werden überwiegend in den Lumen der Zellen abgelagert, dringen aber kaum in die Zellwand ein. Die Silikate sind nach der Trocknung noch nicht im Holz fixiert und können durch Wasser leicht ausgewaschen werden. Erst durch Neutralisation, z.B. durch den Kohlendioxidanteil der Luft kommt es zu einer Fällung der Silikate und damit zu ihrer auswaschbeständigen Fixierung.

Zu den organischen Siliziumverbindungen gehören die verschiedenen Alkoxysilane. Diese Verbindungen spalten in Anwesenheit von Wasser und teilweise von Katalysatoren Alkoholmoleküle ab (Hydrolyse). Die sich bildenden Siloxane neigen, unter Abspaltung von Wassermolekülen, zur Kondensation und bilden bei vollständiger Kondensation dreidimensionale SiO_2 – Netzwerke („Glas“). Der Prozess – bestehend aus Hydrolyse und Kondensation der Alkoxysilane – wird als „Sol-Gel-Prozess“ bezeichnet. Wird Holz mit einer alkoholischen Lösung von Alkoxysilanen imprägniert, zu der vor der Behandlung Wasser gegeben wurde, so kann der „Sol-Gel-Prozess“ innerhalb der Holzsubstanz ablaufen. Organofunktionelle Silane sind Alkoxysilane, bei denen anstatt einem Kohlenwasserstoffrest eine funktionelle Gruppe gebunden ist. Durch diese Gruppe lassen sich die Eigenschaften der gebildeten Gele und damit auch des behandelten Holzes gezielt steuern um bestimmte Eigenschaften zu erzielen. So können z.B. zur Erhöhung des Feuerwiderstandes flammhemmende Gruppen angebunden werden.

Die Silikone sind eine weitere Gruppe von Siliziumverbindungen. Da Silikon nicht wasserlöslich ist werden diese überwiegend in Form so genannter Makro- oder Mikroemulsionen eingesetzt. Bei Makroemulsionen ist die Eindringtiefe innerhalb eines Holzkörpers relativ gering. Die Silikone werden überwiegend in den Zelllumen abgelagert. Mikroemulsionen können dagegen auch in die Zellwand eindringen und dort eine Einlagerung der Silikone bewirken. Für Vollimprägnierungen werden daher Mikroemulsionen verwendet während Makroemulsionen eher für Oberflächenanwendungen in Frage kommen.

6 Ökonomie

Aufgrund der Möglichkeit die Veränderung der Eigenschaften von Holz, wie z.B. die Erhöhung des Feuerwiderstands, über die Zusammensetzung der verwendeten Siliziumverbindung zu steuern stellt diese Art der Modifikation einen interessanten Ansatz dar. In Zukunft werden voraussichtlich Produkte auf Basis verschiedener Siliziumtechnologien am Markt erhältlich sein.

Quellen

[1] Böcker, W.: Verbundwerkstoff – Mineralisiertes Holz, Kurzbericht, Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung (BAM), 2003
[2] Ein Forschungsprojekt der Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung (BAM) in Berlin, im Verbund mit Projektpartnern aus Wirtschaft und Forschung, www.infoholz.de
[3] Holzschutz durch Holzmodifizierung, Sachverständigenbüro für Holzschutz, 2007
[4] Krause, A.: Innovation durch Holzmodifizierung, Institut für Holzbiologie und Holztechnologie, Göttingen
[5] Krug, D.: Untersuchungen zur Verbesserung des Brandverhaltens und der Formstabilität von Vollholz durch Imprägnierung mit Metalloxid-Solen, Projektzusammenfassung
[6] Mai, C.; Militz, H.: Im (Holz-) Kern verändert, Georgia Augusta 4/2005, Universität Göttingen, 2005
[7] Mai, C.; Militz, H.: Modification of wood with silicon compounds, Vortrag beim COST E22 Meeting in Tuusula, Finnland
[8] Militz, H.: Holzmodifizierung – Alternative Schutz- und Behandlungsverfahren, 22. Holzschutztagung der DGFH, Göttingen, 2000
[9] Militz, H.: Übersichtsbericht – Acetyliertes Holz, Institut für Holzbiologie und Holztechnologie, Göttingen, 2001
[10] Militz, H.: Neuartige Verfahren der Holzmodifizierung für den Fenster- und Fassadenbau, ift Rosenheim, 2003
[11] Richter, R.: Neue Materialien und Beschichtungen für den Oberflächenschutz, Empa, Abteilung Holz, Dübendorf 2005
[12] Weigenand, O.: Wood modification with different types of silicon compounds, Dis-sertation, Kurzzusammenfassung, Universität Göttingen, 2006
[13] Wepner, F.: Produktinnovationen durch Holzmodifizierung, Institut für Holzbiologie und Holztechnologie, Göttingen, 2005
[14] Wie entsteht eigentlich versteinertes Holz, www.versteinertes-holz.de

Weiterführende Literatur

Forschungsvorhaben: Verbundwerkstoff – Mineralisiertes Holz, Entwicklung umweltverträglicher Holzverbundwerkstoffe mit verbesserter biologischer Beständigkeit, Feuchtebeständigkeit und verbesserten mechanischen Eigenschaften.
Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung, Fachgruppe IV.2, www.bam.de

Holzmodifizierung mit siliciumhaltigen Verbindungen; Georg-August-Universität Göttingen, Fakulät für Forstwissenschaften und Waldökologie, Abteilung Holzbiologie und Holzprodukte

Untersuchungen zur Verbesserung des Brandverhaltens und der Formstabilität von Vollholz durch Imprägnierung mit Metalloxid-Solen
Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen, AiF, Köln
AiF-Nr. 12931 BR

Wood modification with different types of silicon compounds, Weigenand O., Dissertation, Universität Göttingen, 2006

8.2 Modifiziertes Holz
Thermische Modifizierung

1 Allgemeines

Bei der thermischen Modifizierung von Holz handelt es sich, neben der chemischen Holzmodifizierung, um eine eigene Modifizierungsart. Der korrekte Fachbegriff ist thermisch modifiziertes Holz. Der nach wie vor häufig verwendete Begriff Thermoholz steht zwar synonym für thermisch modifiziertes Holz, ist aber nicht weiter definiert. Thermowood ist die Marke für Verfahren und Produkte der Finnish Thermowood Association und wird von deren Mitgliedern geführt. Als Kurzbezeichnung hat sich TMT etabliert, abgeleitet vom englischen Thermally Modified Timber und analog zu CMT, der Abkürzung für chemisch modifiziertes Holz (Chemically Modified Timber).

Mit der europäischen technischen Spezifikation CEN/TS 15679 „Thermisch modifiziertes Holz – Definitionen und Eigenschaften“, die zum März 2008 eingeführt wurde liegt nun auch eine normative Basis für TMT vor. Darin ist thermisch modifiziertes Holz oder TMT definiert als Holz, das bei Temperaturen von üblicherweise über 160 °C bei reduzierter Sauerstoffkonzentration behandelt wurde und bei dem wesentliche Eigenschaften über den gesamten Holzquerschnitt dauerhaft verändert sind. Bei der Definition wurde Wert darauf gelegt, offen für verschiedene Verfahren der thermischen Modifizierung zu sein. Hierzu zählen derzeit vier in Europa industriell angewendete Prozesse, die sich vor allem durch die Art und Weise unterscheiden, wie eine Reduzierung des Sauerstoffgehaltes der Kammeratmosphäre während der Behandlung erreicht wird.

Die thermische Modifizierung ist eine Teilpyrolyse in sauerstoffarmer Atmosphäre. Dies führt zu einer Änderung der chemischen Zusammensetzung der Zellwand. Es kommt zu einem Abbau der Hemizellulose und der Zellulose, sowie zu einem Abbau und teilweisen Umbau des Lignins. Ziel ist vor allem die Auflösung von Hemizellulose in hohem Maße, was zu einer deutlichen Reduzierung der Anzahl an OH-Gruppen (Hydroxyl-Gruppen) führt. Die Veränderung der Zellstruktur erfolgt über den gesamten Querschnitt.

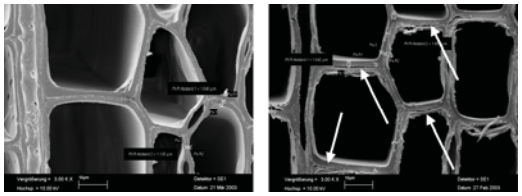


Abb. 1: Rissbildung in der Zellwand durch Hitzebehandlung unbehandelt (links) und nach thermischer Behandlung (rechts)

Hauptziele der thermischen Modifikation sind vor allem eine erhöhte Dimensionsstabilität, geringere Gleichgewichtsfeuchten und eine erhöhte Beständigkeit gegen holzzerstörende Pilze. Durch die Behandlung erhält das Holz einen dunkleren Farbton, weshalb es auch gerne als Tropenholzersatz verwendet wird. Die Dauerhaftigkeitserhöhung des Holzes durch Hitzebehandlung ist jedoch mit Festigkeitseinbußen im statischen und besonders im dynamischen Bereich, im Vergleich zu unbehandeltem Holz, verbunden. Aufgrund der reduzierten Festigkeitswerte ist derzeit eine Verwendung für tragende und aussteifende Teile ohne geeigneten Verwendbarkeitsnachweis nicht zulässig.

In der Regel wird TMT als thermisch behandeltes Schnittholz (Halbfertigerzeugnis) in Form von Brettern oder Bohlen angeboten. Da sich die Sortimente aber nicht nur durch die Holzart, sondern auch durch Hersteller bzw. Verfahren und Behandlungsstufe unterscheiden weisen sie jeweils ein spezifisches Eigenschaftsprofil auf. Daher sollte TMT als eigene Holzartengruppe und TMT-Sortimente als eigene Holzart betrachtet werden.

Auch bei der thermischen Modifizierung von Holz handelt es sich nicht um eine völlig neue Methode. Bereits vor einigen hundert Jahren wussten die Menschen, dass man mit Feuer Holz dauer-

hafter machen konnte. Das Verfahren der Feuerbehandlung wurde für Außenanwendungen wie Umzäunungen genutzt. Der erste industrielle Prozess zur Hitzebehandlung von Holz wurde 1946 von Stamm entwickelt. Vorrangiges Ziel war es, die Dimensionsstabilität von Holzbauteilen zu verbessern. Das so genannte „Staybwood" wurde in einer Metallschmelze hitzebehandelt. Die industrielle Umsetzung war jedoch stark begrenzt, da die Versprödung des Materials durch die Hitzeeinwirkung die Anwendungen stark einschränkte. In Deutschland entwickelte Burmester 1974 das Feuchte-Wärme-Druck-Verfahren (FWD-Verfahren). Bei diesem Verfahren wurde Holz mit einem Feuchtegehalt von 20 bis 30 % in einem geschlossenen System unter Druck einer Hitzebehandlung ausgesetzt. Das Verfahren erreichte aber nicht die Praxisreife, da neben den reduzierten Festigkeitseigenschaften die im Vergleich zur Schutzmitteltränkung höheren Prozesskosten eine industrielle Umsetzung verhinderten. Erst nachdem Fragestellungen hinsichtlich der Umweltverträglichkeit von Holzschutzmitteln und der Tropenholznutzung marktrelevant wurden, wurde die Entwicklung von Hitzebehandlungsverfahren in den 1980er Jahren wieder aufgenommen. 1981 wurde von Giebler die Behandlung im Autoklaven unter Stickstoffatmosphäre untersucht. Dieses Verfahren wird seit 2003 von der Firma Balz Holz AG industriell umgesetzt. Seit 1995 gab es dann zahlreiche Arbeiten in Deutschland, den Niederlanden, Finnland und Österreich. Verfahren zur thermischen Modifizierung von Vollholz haben sich in den vergangenen Jahren bis zur Marktreife entwickelt. Entsprechende Produkte werden beispielsweise als Thermowood, Menz-Holz oder Plato-Holz angeboten.

Thermisch modifiziertes Holz ist das Modifikationsverfahren, das als erstes auf dem Markt erhältlich war. Daher ist es auch am weitesten entwickelt. Auch beim Absatz liegt TMT weit vor den anderen Modifizierungsarten. Die Gesamtproduktionskapazität der Hitzebehandlungsanlagen in Europa beläuft sich auf über 100 000 m³ thermisch modifizierten Holzes pro Jahr. Trotz ständig steigender Menge bewegt man sich aber im Vergleich zum Holzmarkt insgesamt auf einem niedrigen Niveau. Aufgrund der relativ kurzen Verfügbarkeit am Markt sind zwar erste Erfahrungen vorhanden, Langzeitergebnisse liegen aber noch keine vor.

2 Einsatzzweck / -gebiete

Als Einsatzgebiete bieten sich sowohl der Innen- als auch der Außenbereich an. Im Innenbereich wird thermisch modifiziertes Holz gerne wegen seiner Farbänderung mit seiner schönen dunklen Färbung als Tropenholzersatz verwendet. Durch die durchgängige Modifizierung ist es, im Gegensatz zu oberflächenbehandelten Hölzern, abschleifbar. Die erhöhte Dimensionsstabilität ist in Bereichen, wie bei Parkett und Fußbodenbelägen, ebenfalls positiv. Gerade in den vom Tourismus geprägten Alpenregionen wird thermisch modifiziertes Holz wegen seines Altholzcharakters für den hochwertigen Innenausbau speziell gewünscht. Durch seine Eigenschaften findet es vor allem Anwendung als Parkett, für Möbel, Saunen und Bekleidungen für Wand und Decke. Gegenstand zahlreicher Arbeiten ist die thermische Modifizierung von Holzwerkstoffen, die bisher aber noch nicht zu einer Umsetzung im industriellen Maßstab geführt haben. Ziel hierbei ist vor allem die Verbesserung der Dimensionsstabilität, da deren Einfluss auf die Eigenschaften des Werkstoffes ungleich höher als für Vollholz ist. Damit könnten Holzwerkstoffe in Bereichen mit häufigen Feuchtewechseln eingesetzt werden. Diese Verwendung ist bei normalen Holzwerkstoffen durch die starke Dickenquellung eingeschränkt.

Im Außenbereich kommt es vor allem wegen der verbesserten Dauerhaftigkeit und Dimensionsstabilität zum Einsatz und wird für Fassadenbekleidungen, Gartenmöbel, Türen und Fenster, Gar-

tenzäune und ähnliches verwendet. Direkter, dauerhafter Kontakt mit dem Erdreich sollte ohne weitere Schutzmaßnahmen vermieden werden. Thermisch modifiziertes Holz ist nicht für tragende und statisch beanspruchte Bauteile geeignet. Um dies zu ermöglichen wird die Kombination von thermischer Vergütung und Verdichtung untersucht. Dieser Kombinationswerkstoff soll für tragende Anwendungen im Ingenieurholzbau eingesetzt werden können.

Nach einer Studie der ETH Zürich findet TMT überwiegend Verwendung im Garten- und Landschaftsbau (52 %) und als Fassadenbekleidung (29 %). Eher gering ist die Verwendung im Innenausbau (7 %), Industriebau (3 %), Möbelbau (3 %), Saunabau (2 %) oder als Fenster und Türen (1 %).

3 Einflussfaktoren

Die Ausprägung verschiedener veränderter Produkteigenschaften hitzebehandelten Holzes hängen von Reaktionstemperatur und Reaktionsdauer, Wärmeleitmedium und Druckbedingungen des Hitzebehandlungsprozesses, sowie der Holzart und der Ausgangsfeuchte des behandelten Holzes ab und lassen sich durch die Prozessführung bis zu einem gewissen Grad steuern. Einige positiv bewertete Eigenschaften hitzebehandelten Holzes werden jedoch zum Teil nur bei gleichzeitiger Verschlechterung anderer wichtiger Produktparameter erzielt.

Bei kurzzeitiger, hydrothermischer Behandlung kommt es nur zu einer Änderung der Farbe.

4 Veränderung der materialtechnischen Eigenschaften

Bei stark erhöhten Prozesstemperaturen kann eine deutliche Steigerung der Dauerhaftigkeit gegen Pilzbefall erzielt werden, während der damit verbundene erhöhte Abbau, vor allem von Hemizellulosen im Holz, zu einer erhöhten Sprödigkeit des Materials und deutlich geringeren Festigkeiten führt. Weitere für die Verwendung relevante gegenläufige Eigenschaftsentwicklungen finden sich bei Härte und Dimensionsstabilität, die bei erhöhter Prozesstemperatur und -dauer ansteigen, aber mit steigenden Prozessparametern auch zu einer starken Abnahme der mechanischen Festigkeiten führen, was einen Einsatz im konstruktiven Bereich einschränkt.

4.1 Dimensionsstabilität

Durch die verschiedenen Hitzebehandlungsprozesse wird eine Verringerung des Quell- und Schwindverhaltens von Holz erreicht. In Abhängigkeit von den Prozessparametern der verschiedenen Verfahren und der behandelten Holzart wird eine Verbesserung der Dimensionsstabilität von 10 bis 40 % erreicht.

Die Fasersättigung lässt sich durch thermische Behandlung um bis zu 50 % reduzieren.

Die Wärmebehandlung verringert die Gleichgewichtsfeuchte des Holzes. Je nach Behandlung reduziert sich die Ausgleichsfeuchte etwa um die Hälfte.

Die verminderte Wasseraufnahmefähigkeit wird darauf zurückgeführt, dass vor allem die Hemizellulosen mit ihrem hohen Anteil an hydrophilen Hydroxyl-Gruppen bei der Wärmebehandlung abgebaut werden.

4.2 Dauerhaftigkeit

Die Verbesserung der Beständigkeit von thermisch modifiziertem Holz gegenüber Holz zerstörenden Pilzen beruht darauf, dass das Holz nach der Wärmebehandlung bedeutend weniger Hemizellulose enthält, die von den Pilzen abgebaut wird.

Die Dauerhaftigkeit von Holz nimmt bei einstufigen Hitzebehandlungsverfahren unter Wasser-

dampf mit steigender Reaktionstemperatur und Reaktionszeit zu.

Dies gilt auch für das Öl-Hitze-Verfahren. Wobei Kiefern-Splintholz bei diesem Verfahren gegenüber Braunfäule resistenter wird als Fichte. Die Dauerhaftigkeit kann über eine gesteuerte Erhöhung der Ölaufnahme weiter gesteigert werden. Eine verbesserte Pilzresistenz von hitzebehandelter Fichte ist gegenüber Weisfäule und verschiedenen Braunfäulepilzen gegeben.

Das mehrstufige Feuchte-Wärme-Druck-Verfahren (FWD- Verfahren) bewirkt trotz niedrigerer Reaktionstemperaturen als bei einstufigen Verfahren im gleichen Wärmeleitmedium eine höhere Dauerhaftigkeit aller behandelten Holzarten. Fichte profitiert dabei sehr deutlich von der Hitzebehandlung.

Durch die Hitzebehandlung lässt sich zwar die Dauerhaftigkeit von Holzproben von einer nicht widerstandsfähigen zu einer mäßig widerstandsfähigen Klasse modifizieren, jedoch unterscheidet sich die erreichte Widerstandsklasse in Abhängigkeit von der Pilzart. Die erreichte Verbesserung der Pilzresistenz reicht nicht aus, um hitzebehandeltes Holz ohne weitere Schutzmaßnahmen im Erdkontakt einzusetzen.

Modifiziertem Holz aus einstufigen drucklosen Hitzebehandlungsverfahren in Wasserdampfatmosphäre wird allgemein keine Dauerhaftigkeit bei Erdkontakt zugesprochen.

4.3 Verwitterungseigenschaften

Die durch die Hitzebehandlung hervorgerufene dunklere Farbgebung ist nicht UV beständig, so dass thermisch modifiziertes Holz im gleichen Maße wie unbehandeltes Holz vergraut. Für thermisch modifizierte Hölzer gilt generell, dass sie, wie unbehandeltes Natur belassenes Holz auch, ohne weitere Schutzbehandlung nicht lichtecht sind. Auch das oberflächliche Auftreten von Holz verfärbenden Pilzen ist möglich. Sollen diese Erscheinungen verhindert oder verzögert werden, muss ein geeigneter Oberflächenschutz aufgebracht werden.

4.4 Festigkeitseigenschaften

Mit zunehmender Behandlungsintensität vermindern sich die Festigkeitseigenschaften. Die Abnahme der Biegefestigkeit kann bis zu 50 % betragen, während sich der E-Modul kaum ändert. Es kommt auch zu einer Abnahme der Brinellhärte. Diese steht in Korrelation mit der Massenabnahme, ist aber im Bereich der industriell angewendeten Prozesse mit einer Massenabnahme im Bereich von 6 bis 10 % nicht so stark. Besonders hoch ist die Abnahme der dynamischen Festigkeit mit bis zu 60 % Reduzierung der Bruchschlagarbeit, wodurch eine Verwendung für tragende und aussteifende Teile ohne geeigneten Verwendbarkeitsnachweis ausscheidet.

4.5 Klebbarbarkeit

Bei Verleimungen mit Klebstoffen auf Wasserbasis wie z.B. Polyvinylacetat-Leime (PVAc) muss, aufgrund des veränderten Sorptionsverhaltens mit längeren Press- bzw. Aushärtungszeiten gearbeitet werden. Dabei gilt die Faustregel umso stärker das Holz behandelt wurde, desto länger sind die Trocknungszeiten. Dies kann mit der verminderten Wasseraufnahmefähigkeit hitzebehandelten Holzes erklärt werden. Aufgrund der erhöhten Sprödigkeit des Materials werden niedrigere Pressdrücke empfohlen.

Für Öl-Hitze behandelte Kiefer mit höherer Öl-Aufnahme führen nur modifizierte Leime zu guten Ergebnissen.

4.6 Wärmedurchlasswiderstand

Holz, das in Wasserdampf- oder Intergas-Atmosphäre hitzebehandelt wurde, hat unter anderem aufgrund des Masseverlustes, einen höheren

Wärmedurchlasswiderstand als Natur belassenes Holz. Aus dieser positiven Produkteigenschaft und der erhöhten Pilzresistenz von hitzebehandeltem Holz ergibt sich ein viel versprechendes Einsatzpotential im Bereich Fensterrahmen und Türen oder im Einzelfall auch im Niedrigenergie- und Passiv-Hausbau ab.

4.7 Änderung Masse / Volumen

Die Hitzebehandlung von Holz führt durch Abbau von Holzbestandteilen zu einem Masseverlust, der in Abhängigkeit von der Holzart, dem Behandlungsverfahren und den Prozessparametern in der Regel zwischen 6 und 10 % betragen kann. Für das Öl-Hitze Verfahren lässt sich ein möglicher Holzsubstanzverlust als Folge der Öl-Hitzebehandlung nicht genau bestimmen, da durch die physikalische Aufnahme von Öl während dieses Verfahrens das modifizierte Material insgesamt eine Massezunahme zwischen 50 und 70 % erfährt.

4.8 Farbänderung

Für alle Hitzeverfahren und Holzarten wird eine Verdunklung der Farbgebung mit steigender Reaktionstemperatur erreicht. Für diese Farbänderung sind so genannte chromophore Verbindungen verantwortlich, welche bei der chemischen Reaktion der Hitzebehandlung gebildet werden. Die veränderte Farbe kann von leichter Bräunung heller Holzarten über Schokoladebraun bis zu schwarzbrauner Verfärbung des Holzes führen. Die Verfärbung findet über den ganzen Querschnitt des Holzes statt. Im Innenbereich verändert sich TMT durch Lichteinwirkung in seiner Farbe. Während unbehandelte, helle Hölzer nachdunkeln führt Tageslicht bei TMT zu einem ausbleichen. Dies betrifft vor allem sehr dunkle, d.h. sehr stark behandelte Sortimente. Fußböden können mit einer lichtschutzmittelhaltigen Beschichtung versehen werden, die ein Ausbleichen deutlich vermindern kann.

4.9 Bearbeitbarkeit

Die Hitzebehandlung von Holz ist mit erhöhter Sprödigkeit verbunden. Diese Sprödigkeit führt einerseits dazu, dass das Material bei der Weiterbearbeitung stärker zum Ausreißen neigt als unbehandeltes Holz und andererseits der Holzstaub deutlich kleinere Partikel hat. Daher sind besonders scharfe Klingen der Bearbeitungsmaschinen erforderlich und zum Teil langsamere Vorschubgeschwindigkeiten beim Hobeln. Mit der Sprödigkeit geht auch ein verändertes Spaltverhalten einher. Mit verkürzten Standfestigkeiten der Bearbeitungsmaschinen ist nicht zu rechnen.

Es kann unter Umständen bei stoßartigen Belastungen zu Brüchen kommen, die bei unbehandeltem Holz so nicht zu erwarten sind.

4.10 Rissbildung

In geringem Umfang kann es zur Aufweitung vorhandener Risse kommen oder es können neue Risse insbesondere im Umfeld von Ästen auftreten. Holzarten höherer Dichte, vor allem Laubhölzer, neigen verstärkt zu Rissbildung. Risse haben ihre Ursache in inneren Spannungen, die bereits im Holz bestehen oder durch Vortrocknung oder Hitzebehandlung erzeugt werden. Diese Spannungen können bei Bewitterung durch Temperatur- und Feuchtewechsel erst später frei werden und in Gestalt von Rissen sichtbar werden. Verschiedene Praxisversuche mit bis zu 5-jähriger Bewitterung in der Fassadenanwendung haben aber gezeigt, dass TMT, aufgrund der erhöhten Dimensionsstabilität, eine geringe Neigung zur Rissbildung hat.

4.11 Mechanische Verbindungen

Abb. 2: Schraubenausziehversuche vorgebohrt (links) und nicht vorgebohrt (rechts)

Durch die erhöhte Sprödigkeit des hitzebehandelten Holzes kann der Schraubenauszugswiderstand verringert sein.

Durch dieselbe veränderte Holzeigenschaft erhöht sich die Neigung zur Spaltung, und folglich eine Gefährdung beim Nageln. Daher empfehlen einige Hersteller, der Aufgabe entsprechend angemessen dimensionierte Nägel und Schrauben zu verwenden und Schraubverbindungen vorzubohren. Zudem sollten die Schrauben nicht zu tief ins Holz versenkt werden, da das Material sehr spröde ist.

Wenn keine rostfreien Nägel verwendet werden kommt es zu verstärkter Korrosion, da der pH-Wert gegenüber unbehandeltem Holz reduziert ist.

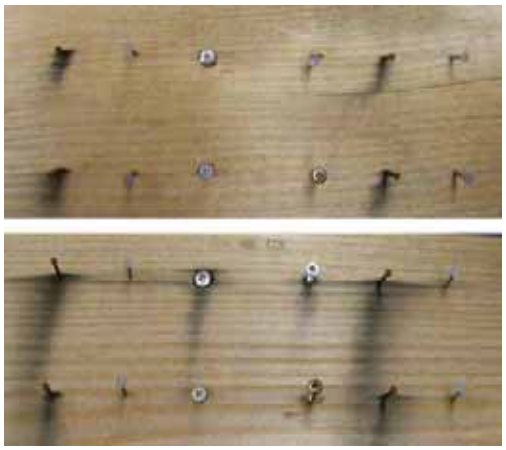


Abb. 3: Korrosion von Verbindungsmitteln bei unbehandeltem (oben) und behandeltem Holz (unten)

4.12 Geruchsbildung

Teilweise kann es zu einem rauchigen Geruch des Holzes kommen. Dieser vergeht aber mit der Zeit oder kann durch eine Oberflächenbeschichtung verhindert werden.

4.13 Oberflächenbeschichtungen

Um Vergrauung zu verhindern oder zu verzögern ist ein geeigneter Oberflächenschutz erforderlich. Für TMT gibt es verschiedene empfohlene Produkte im Handel. Anstrichsysteme, bestehend aus Grund-, Zwischen- und Endbeschichtung bieten den besten Schutz gegen Vergrauung. Bläue-, Schimmel- bzw. Algenbefall kann dadurch aber nicht verhindert werden.

5 Vorgang der Modifizierung

Die Parameter der verschiedenen Hitzebehandlungsverfahren unterscheiden sich zum Teil erheblich voneinander. Gemeinsam ist den kommerziell eingesetzten Verfahren, dass sie unter sehr sauerstoffarmen Bedingungen in mehr oder weniger geschlossenen Systemen durchgeführt werden.

Das Wachstum im Bereich der Thermoholzproduktion ist sehr groß und es kommen viele neue Produzenten auf dem europäischen Markt hinzu. Dadurch existiert eine Vielzahl weiterer Techniken zur thermischen Modifikation. Diese sind aber zumeist an eines der vier etablierten und hier aufgeführten Verfahren angelehnt.

Die derzeit führenden Verfahren können grob in vier Gruppen eingeteilt werden.

- einstufige Wasserdampf-Verfahren
- Feuchte-Wärme-Druck-Verfahren (FWD-Verfahren)
- Öl-Hitze-Verfahren
- Inertgas-Verfahren

6 Kurzbeschreibung der vier Verfahren

6.1 Einstufige Wasserdampf-Verfahren

Dieses einstufige Verfahren zur thermischen Modifikation von Vollholz wurde in den 1990er Jahren am Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus (VTT), dem Technischen Forschungszentrum von Finnland entwickelt und ist deshalb auch unter dem Namen VTT-Verfahren bekannt. Dieses Verfahren wird von der Finnish Thermowood Association (FTWA) und ihrer Mitgliedsunternehmen angewandt und unter der Marke Thermowood vertrieben. Daher wird dieses Verfahren manchmal auch als Thermowood-V erfahren bezeichnet. Die FTWA wurde im Jahr 2000 gegründet und ist ein Zusammenschluss von zwölf Thermowood-Produzenten und drei Hitzebehandlungs-Anlagenbauern. Der Prozess erfolgt in einer Hochtemperaturkammer in Wasserdampfatmosphäre und lässt sich in drei Hauptphasen unterteilen. Durch Einblasen von Wasserdampf als Schutzgas wird die Umgebungstemperatur so weit vertrieben, dass der Sauerstoffgehalt weniger als 3,5 % beträgt und somit eine oxidative Zersetzung des Holzes vermieden werden kann. In der Aufheizphase erfolgt die Erhöhung der Temperatur und das Trocknen bei hoher Temperatur. Mittels Wärme und Dampf steigt die Temperatur in der Kammer schnell auf 100°C. Danach wird die Temperatur langsam weiter auf 130°C erhöht. Dabei wird fast bis zu einer Holzfeuchte von 0% getrocknet. Während der zweiten Phase erfolgt die eigentliche Temperaturbehandlung. Nach dem Hochtemperaturtrocknen wird die Temperatur innerhalb der Kammer, mit heißem Wasserdampf auf 185 bis 215°C erhöht und mit dem Erreichen des notwendigen Niveaus auf dieser Temperatur über die Dauer von 2 bis 3 Stunden unverändert gehalten. Abschließend erfolgt die Abkühlung und Regulierung der Ausgleichsfeuchte. In dieser letzten Phase wird die Temperatur mit Hilfe von Wasserzugabe gesenkt. Wenn eine Temperatur von 80 bis 90°C erreicht ist, wird das Holz wieder befeuchtet um den Feuchtigkeitsgehalt auf ein Niveau von 4 bis 7% zu erhöhen. Der anfängliche Feuchtigkeitsgehalt hat keine besonderen Einfluss auf das Resultat der Wärmebehandlung. Es kann sowohl saftfrisches als auch getrocknetes Holz verwendet werden. Ebenso ist die Behandlung von Laub- und von Nadelhölzern möglich. Nachteilig bei diesem Verfahren ist die Aufweitung bereits vorhandener Risse und die Neubildung von Rissen, insbesondere im Umfeld von Ästen.

6.2 Feuchte-Wärme-Druck-Verfahren (FWD-Verfahren)

Das FWD- Verfahren wird auch als Plato-Verfahren bezeichnet. Der Name Plato entstand aus der Ableitung von „Provinding Lasting Advanced Timber Option“. Das Verfahren wurde in den 1980er Jahren von Mitarbeitern der Royal Dutch Shell in den Niederlanden entwickelt und baut auf den Grundlagen von Burmester auf.. Das unter hohem Druck arbeitende Verfahren basiert auf vier Prozessstufen. In der ersten Phase, Hydrothermolyse genannt, wird das Holz für 4 bis 5 Stunden bei 165 °C bis 185 °C unter sehr feuchten Bedingungen (Sattdampf oder in Wasser) behandelt. Dies geschieht unter hohem Druck in einem geschlossenen Kessel. In der anschließenden Trocknungsphase wird das Holz in einer konventionellen Trockenkammer über 3 bis 5 Tage auf die Zielholzfeuchte von 8 % heruntergetrocknet. Es folgt die Aushärtungsphase, in der das Holz erneut für 14 bis 16 Stunden auf 150 °C bis 190 °C aufgeheizt wird. Abschließend folgt die Klimatisierungs- bzw. Veredelungsstufe für 2 bis 3 Tage.

Als Ausgangsmaterial können sowohl saftfrische als auch kammergetrocknete Laub- und Nadelhölzer verwendet werden. Bereits getrocknetes Holz wird am Anfang der ersten Phase angefeuchtet. Das Holz ist nach der Hydrothermolyse leicht plastisch verformbar, so dass in diesem Prozess, durch das Einschalten eines Pressvorgangs

der noch feuchten Hölzer, komprimiertes Holz hergestellt werden kann. Thermisch vergütetes und verdichtetes Holz soll für tragende Anwendungen im Ingenieurholzbau eingesetzt werden können. Die Eignung dieses Kombinationswerkstoffes wird untersucht.

6.3 Öl-Hitze-Verfahren

Ende der 1990er Jahre entwickelte die Firma Menz-Holz zusammen mit der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft (BFH) das Öl-Hitze Verfahren. 2000 begann die industrielle Produktion. Die Kurzbezeichnung OHT ist vom englischen Oil-heat treatment abgeleitet. Beim Öl-Hitze-Verfahren wird das zu behandelnde Holz in einem Bad aus pflanzlichen Ölen erhitzt. Die Behandlung erfolgt vorwiegend drucklos im Temperaturbereich von 180°C bis 260°C. Die eigentliche Behandlungsdauer beträgt bis zu 4 Stunden, die gesamte Prozessdauer bis zu 18 Stunden. Durch das Ölbad wird ein vollständiger Luftabschluss bewirkt und damit oxidative Abbaureaktionen am Holz reduziert. Die während der Behandlung austretenden Gase verhindern weitestgehend die Aufnahme von Öl, so dass die Ölaufnahme – je nach Holzdimension – 20 bis 40 kg/m³ meist nicht übersteigt. Die Holzoberfläche ist daher nach der Behandlung trocken. Bei Bedarf kann die Ölaufnahme jedoch durch eine Veränderung der Prozessparameter erheblich gesteigert werden. Für die Öl-Hitzebehandlung wird technisch getrocknetes Laub- und Nadelholz verwendet.

Zusätzlich zu der thermischen Modifikation durch die Hitze dringt das Öl in die äußeren Zellen ein und bewirkt somit einen zusätzlichen Schutzeffekt, der das Holz hydrophob werden lässt.

6.4 Inertgas-Verfahren

Ein in Stickstoffatmosphäre arbeitender Hitzebehandlungsprozess wurde in den 1980er Jahren in Frankreich entwickelt und 1997 durch die New Option Wood SA (NOW) industriell umgesetzt. Bei diesem Verfahren wird, statt mit Wasserdampf oder Öl, mit Stickstoff unter erhöhtem Druck gearbeitet. Die einstufige thermische Modifikation erfolgt in einer Behandlungskammer mit einem Restsauerstoffgehalt von unter 2% und bei Temperaturen von 200 bis 260°C für bis zu 3 Stunden. Es können getrocknete Laub- und Nadelhölzer behandelt werden. Der Prozess ist auch bekannt als Retifikations- oder Torrefikationsprozess. Das thermisch modifizierte Holz wird auch als retifiziertes Holz angeboten.

7 Ökonomie

Die Herstellungskosten für thermisch modifiziertes Holz setzen sich zusammen aus der Anlageninvestition, den Rohstoff- und Prozesskosten, der Ausbeute und den Weiterbearbeitungskosten. Die Kosten von Hitzebehandlungsanlagen sind abhängig vom jeweiligen Verfahren und von der Kapazität der Anlage. Da bei allen Hitzebehandlungsverfahren unterschiedliche Holzarten eingesetzt werden können hängen die Herstellungskosten zum großen Teil von der eingesetzten Holzart sowie der Qualität und Dimension des Holzes ab. Eine gute Rohstoffqualität ist notwendig, da nur so die notwendigen Produktqualitäten erfüllt werden können. Die Prozesskosten variieren je nach Verfahren und sind abhängig von den Beschaffungskosten, wie auch den Rückgewinnungs- bzw. Entsorgungskosten des Wärmeleitmediums, der benötigten Energie, der Dauer der Behandlungs- und Aushärtungsphase sowie dem Zeitbedarf für Beschickung und Entladung und der Auslastung der Anlage. Eine geringere Auslastung führt zu höheren Preisen. Zudem sind die Prozesskosten von der behandelten Holzart abhängig, da Temperatur und Dauer angepasst werden. Die Ausbeute wird vor allem durch die Rohstoffqualität bestimmt. Höhere Weiterbearbeitungskosten gegenüber unbehandeltem Holz können sich vor allem durch die erhöhte Sprödig-

keit des Materials ergeben, was z.B. langsamere Vorschubgeschwindigkeiten beim Hobeln zur Folge hat.

8 Produktionskapazität

Seit Beginn der Thermoholzproduktion steigt die Kapazität in Europa kontinuierlich an. Dies hängt auch damit zusammen, dass ständig neue Firmen hinzukommen, die entweder unter Lizenz der großen Anbieter produzieren oder neue Verfahren entwickeln, welche an die etablierten Verfahren angelehnt sind.

In Deutschland gibt es neben der Menz Holz AG, welche das Öl-Hitze-Verfahren entwickelt hat, in der Zwischenzeit noch weitere Anbieter. Mit 6000 m³/a ist die Firma Thermoholz Spreewald GmbH, die seit 2005 produziert, momentan der größte deutsche Hersteller. Obwohl man sich im Vergleich zum Holzmarkt allgemein auf einem niedrigen Niveau bewegt, ist Thermoholz mit über 100 000 m³/a in Europa das Modifikationsverfahren mit dem größten Absatz, was sicherlich auch daran liegt, dass thermisch modifiziertes Holz am längsten am Markt vertreten ist. Im Verhältnis zum Holzmarkt allgemein muss auch beachtet werden, dass TMT ein veredeltes Holzprodukt ist und aufgrund seiner höheren Kosten nur für bestimmte Einsatzzwecke verwendet wird.

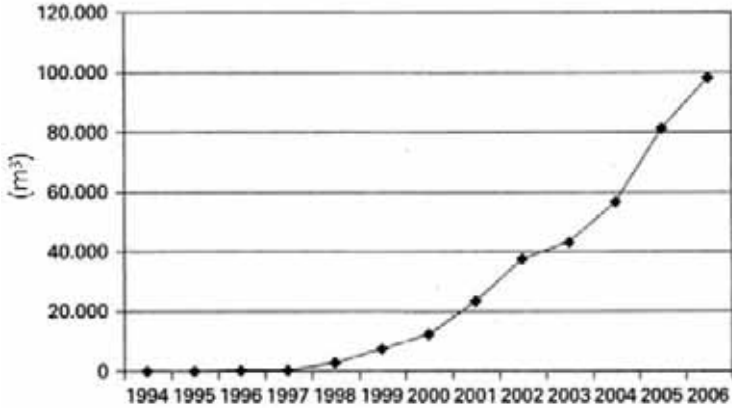


Abb. 4: Thermoholzproduktion in Europa

9 Ökologie

Bei der Hitzebehandlung von Holz kommt es zu einer teilweisen Auflösung von Bestandteilen der Zellwand. Diese Abbauprodukte entweichen als Gas und Kondensat. Damit diese nicht in die Umwelt gelangen und zu Geruchsbelästigungen führen werden sie kontrolliert verbrannt. Bei den Verfahren die Dampf einsetzen befinden sich organische Verbindungen und Extraktstoffe aus dem Holz im Abwasser. Das Abwasser kann in biologischen Kläranlagen gereinigt werden und stellt keine besonderen Anforderungen an die Abwasseraufbereitung dar.

Die Finnish Thermwood Association gibt für ihren Prozess an, dass der gesamte Energieverbrauch nur 25 % höher ausfällt als bei der herkömmlichen Holztrocknung, da die Energie hauptsächlich für die Trocknung des Holzes erforderlich ist, die ca. 80 % der verwendeten Wärmeenergie benötigt.

Die Entsorgung von thermisch modifiziertem Holz ist problemlos möglich, da dem Holz bei der Herstellung keine Stoffe zugesetzt werden. Bei der thermischen Verwertung entstehen ca. 30 % weniger Energie weil dem Holz ein großer Teil der energiereichen Bestandteile bei der Wärmebehandlung entzogen wurde.

10 Gesundheit

Während des Wärmebehandlungsprozesses werden dem Holz keine chemischen Zusätze beigegeben. Daher ist es gesundheitlich unbedenklich.

Der rauchige Geruch, den TMT am Anfang hat, vergeht nach einiger Zeit oder kann durch eine Beschichtung der Oberfläche verhindert werden. Er stammt hauptsächlich vom Furfural, das freigesetzt wird. Untersuchungen haben ergeben, dass das Gesamtvolumen der freigesetzten Emissionen von wärmebehandelter Kiefer nur einen Teil von unbehandelter ausmacht.

Bei der Bearbeitung entstehender Staub hat deutlich kleinere Partikel als Staub von unbehandeltem Holz. Daher sollte bei der Bearbeitung eine Schutzmaske getragen werden. Krebs erregende Verbindungen wurden aber keine festgestellt.

11 Normung

TMT ist bisher nicht in Normen berücksichtigt. Dies zeigte das INS-Projekt „Normung und Standardisierung von thermisch modifiziertem Holz", das 2006 vom IHD im Auftrag des DIN bearbeitet und im Rahmen des BMWi-Programms „Innovation mit Normen und Standards" (INS) gefördert wurde. Im Rahmen des Projektes wurden 134 Produkt- bzw. Anwendungsnormen sowie 120 Prüfnormen aus dem Holzbereich auf ihre Relevanz zu TMT und hinsichtlich kritischer Punkte und Defizite überprüft. Als Ergebnis wurden zahlreiche Hinweise für Normungsgremien erarbeitet, die bei der Überarbeitung oder Erstellung von Normen berücksichtigt werden können. Des weiteren wurden spezielle Prüfmethoden für TMT entwickelt, recherchiert bzw. vorgeschlagen.

Derzeit ist in Deutschland eine Verwendung von thermisch modifiziertem Holz für tragende und aussteifende Bauteile ohne geeigneten Verwendbarkeitsnachweis nicht zulässig. Dies ergibt sich insbesondere durch die in der Regel verringerte Tragfähigkeit und das veränderte Bruchverhalten von TMT gegenüber unbehandeltem Holz, sowie durch das Fehlen statistisch abgesicherter Werte für Berechnungen. Vor allem aber durch Forderungen aus dem Baurecht, da TMT ist nicht als geregeltes Bauprodukt anzusehen ist, weil seine Eigenschaften wesentlich von geregelten Bauprodukten (für das Bauwesen verwendbare Holzarten gemäß Bauregelliste A) abweichen.

Mit der europäischen technischen Spezifikation CEN/TS 15679 „Thermisch modifiziertes Holz – Definitionen und Eigenschaften" liegt nun ein erstes normatives Dokument für thermisch modifiziertes Holz vor. Die technische Spezifikation beinhaltet grundlegende Definitionen, geht auf wichtige Eigenschaften ein und zeigt auf, wie diese zu bestimmen sind.

12 Qualitätssicherung

Unabhängig von den eigenen Varianten der Qualitätssicherung und der Produktionskontrolle der Hersteller bestehen in Finnland, den Niederlanden und Deutschland spezielle Systeme zur Qualitätssicherung für die Herstellung wie auch die Produkte von thermisch modifiziertem Holz. In Deutschland wurde das „Gütezeichen TMT" entwickelt, welches von der Entwicklungs- und Prüflabor Holztechnologie GmbH (EPH) in Dresden vergeben wird.

Abb. 5: Gütezeichen TMT

Das Qualitätszeichen bezieht sich jeweils auf ein bestimmtes TMT-Sortiment. Die Vergabe erfolgt für die drei Verwendungsbereiche innen (interior), außen ohne Erdkontakt (exterior) und außen mit Erdkontakt (exteriorPlus). Für die Erteilung des Gütezeichens müssen bestimmte Mindestanforderungen erfüllt werden. Neben der Überprüfung physikalischer Eigenschaften müssen je nach Verwendungsbereich weitere Anforderungen erfüllt werden. Bei Verwendung in Innenräumen müssen die Anforderungen des AgBB-Schemas an die Emissionen erfüllt werden. Für den Außenbereich muss mindestens die Dauerhaftigkeitsklasse 3 gemäß EN 350-1 bei Verwendung ohne Erdkontakt bzw. Dauerhaftigkeitsklasse 2 bei Verwendung mit Erdkontakt erreicht werden. Die Qualität des Ausgangsmaterials und die Pro-

zessüberwachung muss durch den Hersteller im Rahmen seiner werkseigenen Produktionskontrolle abgesichert werden. Die Vergaberichtlinien sind auf die europäische technische Spezifikation für TMT abgestimmt. Somit ist das Qualitätszeichen europaweit anwendbar.

In Finnland haben die Mitglieder der Finnish Thermowood Association das System „Thermowood Production and Product Quality Control" etabliert. Schwerpunkte sind die Gütesortierung des Holzes sowie die Prozesskontrolle.

In den Niederlanden gibt es für Bauprodukte das KOMO-Zertifikat. Mit dem „National assessment directive for the KOMO pruduct certificate Timber modification" kann modifiziertes Holz zertifiziert werden. Im Gegensatz zu den Systemen in Deutschland und Finnland ist dieses Zertifikat nicht nur auf thermisch modifiziertes Holz beschränkt, sondern kann allgemein für modifiziertes Holz vergeben werden. Besonderes Augenmerk wird hier auf die Reproduzierbarkeit der Eigenschaftswerte für zertifizierte Produkte gelegt.

Quellen

[1] Bächle, F.: Eigenschaften und Verwendung von Thermoholz, Institut für Baustoffe der ETH Zürich, 2006
[2] Burmester, A.: Zur Dimensionsstabilisierung von Holz, Holz als Roh- und Werkstoff 33, Seite 333 – 335, Springer Verlag, Berlin, 1975
[3] Burmester, A.: Einfluss einer Wärme-Druckbehandlung halbtrockenen Holzes auf seine Formbeständigkeit, Holz als Roh- und Werkstoff 31, Seite 237 – 243, Springer Verlag, Berlin, 1973
[4] Die Plato-Technologie, Plato International BV, 2002
[5] Dreimann, A.: Betrachtungen zur Dauerhaftigkeit von Möbeln aus Sperrholz für den Außenbereich, Bachelor Thesis Kurzfassung, HAWK Hildesheim, 2007
[6] Großmann, C. M.: Marktchancen für hitzebehandeltes Holz in Deutschland: Eigenschaften, Einsatzmöglichkeiten, Verfügbarkeit und Marketing, Institut für Forstpolitik, Universität Freiburg, 2002
[7] Holzschutz durch Holzmodifizierung, Sachverständigenbüro für Holzschutz, 2007
[8] Krause, A.: Neue Materialien – neue Chancen für Holzfenster?, Institut für Holzbilogie und Holztechnologie, Göttingen, 2007
[9] Militz, H.: Neuartige Verfahren der Holzmodifizierung für den Fenster- und Fassadenbau, ift Rosenheim, 2003
[10] Militz, H.: Holzmodifizierung – Alternative Schutz- und Behandlungsverfahren, 22. Holzschutztagung der DGFH, Göttingen, 2000
[11] Militz, H.: Übersichtsbericht – Acetyliertes Holz, Institut für Holzbiologie und Holztechnologie, Göttingen, 2001
[12] Modifiziertes Holz – Eigenschaften und Märkte, Kurzfassung, Institut für Holzforschung, BOKU Wien, 2002
[13] Paul, W.: Thermische Modifizierung von Spanmaterial und Holzwerkstoffplatten zur Verbesserung ausgewählter Eigenschaften, Dissertation, Fakultät für Mathematik, Informatik und Naturwissenschaften, Universität Hamburg, 2006
[14] Scheiding, W.: Begriffsdefinition TMT, Thermoholz, Merkblatt, Institut für Holztechnologie Dresden gGmbH, 2007
[15] Scheiding, W.: Beständigkeit der Farbtöne von TMT, Merkblatt, Institut für Holztechnologie Dresden gGmbH, 2007
[16] Scheiding, W.: Kurzinformation zu thermisch modifiziertem Buchenholz, Institut für Holztechnologie Dresden gGmbH, 2007
[17] Scheiding, W.: Verwendbarkeit thermisch modifizierter Hölzer für tragende und aus-

steifende Bauteile, Institut für Holztechnologie Dresden gGmbH, 2006

[18] Scheiding, W.: Normung und Qualitätssicherung von thermisch modifizierten Hölzern, Institut für Holztechnologie Dresden gGmbH, 2007

[19] Teischinger, A.: Modifiziertes Holz, Institut für Holzforschung, BOKU Wien, 2003

[20] Richter, R.: Neue Materialien und Beschichtungen für den Oberflächenschutz, Empa, Abteilung Holz, Dübendorf 2005

[21] Vergaberichtlinien für das Qualitätszeichen TMT, Institut für Holztechnologie Dresden gGmbH

[22] Welzbacher, C. H.: Verhalten von nach neuen thermischen Modifikationsverfahren behandelter Fichte und Kiefer unter besonderer Berücksichtigung der Dauerhaftigkeit gegenüber Holz zerstörenden Mikroorganismen, Dissertation, Fakultät für Mathematik, Informatik und Naturwissenschaften, Universität Hamburg, 2007

[23] Wepner, F.: Produktinnovationen durch Holzmodifizierung, Institut für Holzbiologie und Holztechnologie, Göttingen, 2005

Normen

DIN CEN/TS 15679:2008-03
Thermisch modifiziertes Holz – Definitionen und Eigenschaften; Deutsche Fassung

Linkliste

www.tmt.ihd-dresden.de
Internetseite des Instituts für Holztechnologie Dresden gGmbH Informationen und Merkblätter über TMT

8.2 Modifiziertes Holz
Modifikation mit holzzersetzenden Pilzen

1 Allgemeines

Bei der Modifikation von Holz mit holzzersetzenden Pilzen handelt es sich um ein Verfahren zur biologischen Modifizierung von Holz. Durch den Einsatz holzzersetzender Pilze wird diese Art der Modifikation auch als mykologische Modifikation bezeichnet. Ziel ist das Erreichen einer besseren Imprägnierbarkeit bestimmter Holzarten. Deshalb handelt es sich nicht um eine Modifikation im eigentlichen Sinne, sondern die Behandlung stellt lediglich einen Verfahrensschritt bei der Imprägnierung dar. Fichte und Tanne machen den größten Anteil sowohl beim Waldbestand, als auch in der Verarbeitung zu Bauholz aus. Das Holz dieser Bäume eignet sich durch seine guten Festigkeitseigenschaften besonders als Bauholz. Allerdings ist es im unbehandelten Zustand nicht sehr dauerhaft. Erschwerend kommt hinzu, dass sich das Holz, aufgrund seines anatomischen Aufbaus, nur unzureichend mit Holzschutzmitteln tränken lässt. Eine Vorbehandlung durch eine Bohr- und Schlitzperforation bringt zwar ein verbessertes Eindringverhalten mit sich, es wird jedoch keine durchgängige Imprägnierung erzielt. Diese Voraussetzungen schränken den Einsatz der beiden Holzarten, zum Beispiel als Bauholz im Außenbereich, massiv ein.

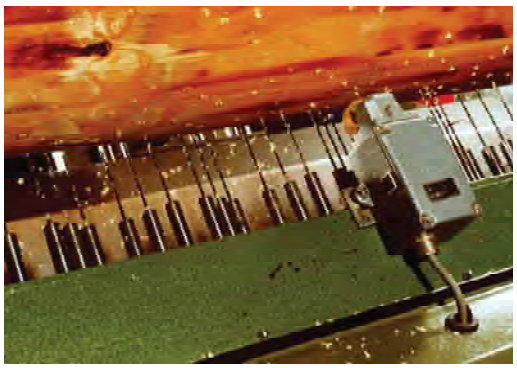


Abb. 1: Bohrperforation [3]

Um diese negative Eigenschaft zu verändern macht man sich einen „Schädling“ zu Nutze. Pilze sind dafür bekannt, dass sie Holz zersetzen. Die verschiedenen Pilzarten tun dies auf unterschiedliche Weise. Diese negative Eigenschaft der Pilze kann jedoch, wenn sie gezielt eingesetzt wird, positive Veränderungen mit sich bringen. Die Holz abbauende Wirkung der „Schädlinge“ wird zweckentfremdet. Als „Nützlinge“ werden sie eingesetzt, um bestimmte Holzeigenschaften gezielt zu verbessern.

Abb. 2: Imprägniertes Nadelholz nicht vorbehandelt (links) und mit Bohrperforation (rechts) [3]

Abb. 3: Physisporinus vitreus (Wässriger Porling) [3]

Um die Imprägnierbarkeit von Fichten- und Tannenholz zu verbessern wird die Behandlung von Holz mit dem Weißfäuleerreger Physisporinus vitreus (Wässriger Porling) untersucht. Verantwortlich für die schlechte Imprägnierbarkeit dieser Holzarten sind vor allem die im getrockneten Holz „verschlossenen“ Hoftüpfel, bei denen der mittlere Teil der Tüpfelmembran zu einem so genannten Torus verdickt. Die Hoftüpfel dienen im lebenden Baum als Verbindungswege für Flüssigkeiten zwischen aneinandergrenzenden Zellen.

Durch den Weißfäuleerreger wird vorwiegend eine partielle bzw. völlige Auflösung der Tüpfelkomponenten erreicht. Dies führt zu einer Verbesserung der Durchlässigkeit des Holzes.

Im Laufe der Jahre sind unterschiedliche biotechnische Versuche unternommen worden, um die Wirkung des Tüpfelverschlusses im Fichtenholz rückgängig zu machen. Eine Erhöhung der Wegsamkeit des Fichtenholzes konnte mit dem alleinigen Einsatz von Enzymen nicht erreicht werden. Bisher wurde keine industrielle Anwendung erfolgreich umgesetzt. Im Gegensatz zu Bakterien und Enzymen bietet der Einsatz holzzersetzender Pilze, im Zusammenhang mit der gezielten Verbesserung der Wegsamkeit, wesentliche Vorteile. Der Abbau der Tori durch die enzymatische Wirkung von Weißfäuleerregern wurde 1987 erstmalig von Tsuneda beschrieben. Das Verfahren soll als Alternative und Verfahrensverbesserung für bisher in der Holzschutzpraxis eingesetzte mechanische Vorbehandlungen wie die Bohrperforation dienen.

2 Einsatzgebiete

Das Haupteinsatzgebiet dieses Verfahrens soll nach erfolgreicher Umsetzung die Verbesserung der Aufnahmefähigkeit, Verteilung und Eindringtiefe von Imprägniermitteln in Nadelhölzern sein und als Alternative und Verfahrensverbesserung für bisher in der Holzschutzpraxis eingesetzte mechanische Vorbehandlungen, wie Bohrperforation dienen.

3 Physikalische Einflussfaktoren

Das Verfahren ist auf die Behandlung von Fichten- und Tannenholz ausgelegt und wird für diese Holzarten weiterentwickelt. Die Behandlung von Vollholz und Schnittholz ist möglich.

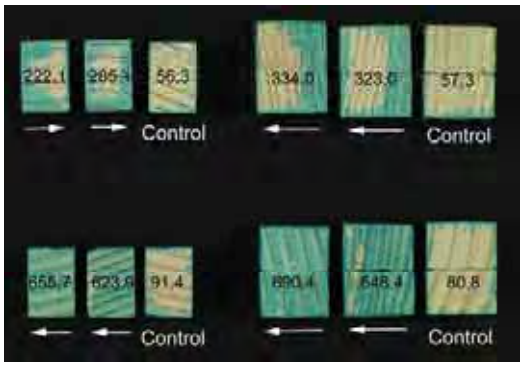


Abb. 4: Untersuchung der Tränkbarkeit an behandelten und Kontrollproben Fichte (obere Reihe) und Tanne (untere Reihe) [3]

4 Veränderung der materialtechnischen Eigenschaften

4.1 Verbesserung der Wegsamkeit

Nach einer Inkubationszeit von 6 Wochen wurde eine Zunahme der Tränkbarkeit von 300 bis 400 % bei Fichtenkernholzproben und 500 bis 600 % bei Tannenkernholzproben erreicht, ohne nennenswerte Masseverluste zu verursachen. Die Kernholzproben der Tanne waren homogen und über den ganzen Querschnitt verbessert. An den Kernholzproben von Fichte konnte zum Teil nur eine heterogene Verbesserung festgestellt werden, welche auf die einseitige Besiedelung der Holzproben durch das Pilzmyzel während der Inkubationszeit zurückzuführen ist. Der enzymatische Abbau der Tüpfelmembranen durch Weißfäuleerreger ist hervorragend geeignet um die Wegsamkeit des Kernholzes zu erhöhen und das Eindringen von fungizid ausgestatteten Grundierungen und Lasuren für die Oberflächenbehandlung zu verbessern.

4.2 Oberflächenbehandlung

Es wurden Tests mit verschiedenen Oberflächenbehandlungsmitteln durchgeführt, die im Tauch- oder Streichverfahren aufgebracht wurden. Dafür wurden die Hölzer 28 Tage mit dem Weißfäuleerreger vorbehandelt. Es zeigten sich keine Unterschiede sowohl bei der Aufnahmemenge der

Oberflächenbehandlungsmittel, als auch bei der Eindringtiefe zwischen behandelten und unbehandelten Proben. Bei den behandelten Proben waren zwischen der direkt mit Pilzen behandelten Vorderseite und der Rückseite auch keine Unterschiede erkennbar. Das Eindringverhalten ist vom verwendeten Oberflächenbehandlungsmittel abhängig. Die Eindringtiefe zwischen Tauch- und Streichverfahren ist gleich.

Eine verbesserte Dauerhaftigkeit wird nicht durch eine bessere quantitative Aufnahme der Anstrichsysteme sondern durch eine Verbesserung der Verankerung der Oberflächenbeschichtung erreicht.

4.3 Biologische Wirksamkeit von konventionellen Oberflächenanstrichen gegen Bläue- und Schimmelpilze

6 Anstrichsysteme wurden nach DIN EN 152.1 jeweils sowohl ohne, als auch mit 6-wöchiger Vorkonditionierung durch den Weißfäuleerreger auf Kiefernsplintholz und zusätzlich auf Fichtenholz geprüft.

Bei unbehandelten Fichtenkernholzproben zeigte sich über den ganzen Querschnitt eine schwache und unregelmäßige Verblauung. Im Gegensatz dazu konnte unabhängig vom Anstrichsystem an den pilzvorbehandelten Fichtenkernholzproben eine deutliche, bläuefreie Zone nachgewiesen werden. Wasserlösliche Anstrichsysteme auf vorbehandeltem Fichtenkernholz zeigten ein deutlich besseres Eindringverhalten.

4.4 Schlagbiegeversuch

Zur Überprüfung der Festigkeit wurde Fichten- und Tannenkernholz mit unterschiedlichen Inkubationszeiten im Schlagbiegeversuch getestet.

Nach 6 Wochen Vorbehandlung wurden in allen Holzproben nur geringfügige Masseverluste mit weniger als 1 % verzeichnet. Es kam zu keinen signifikanten Festigkeitsverlusten bei Fichte. Bei der Tanne konnte jedoch eine signifikante Minderung der Festigkeit verzeichnet werden. Die Festigkeitsabnahme dürfte in Zusammenhang mit der schnelleren und homogeneren Besiedelung des Tannenholzes durch den Weißfäuleerreger stehen.

Nach 12 und 18 Wochen konnten an beiden Holzarten moderate Masseverluste festgestellt werden. Diese gingen mit einer deutlichen Minderung der Festigkeit einher. Nach 18 Wochen betrugen die Festigkeitsverluste 43 und 62 %, bei Masseverlusten zwischen 5 und 10 %.

Ein im Vergleich dazu eingesetzter Braunfäuleerreger verursachte nach 18 Wochen drastische Masse- und Festigkeitsverluste. Die Masseverluste lagen zwischen 18 und 23 %, der Festigkeitsverlust betrug sogar bis zu 94 %.

Ein Nachteil bei der Anwendung von holzzersetzenden Pilzen für biotechnische Zwecke besteht darin, dass bei zu langen Inkubationszeiten die Festigkeit im Holz nachteilig verändert werden kann.

5 Vorgang

Die Hyphen (Pilzfäden) von Weißfäuleerregern können das Splint- und Kernholz gleichmäßig und schnell besiedeln. Auffälligstes Merkmal des Holzzersetzungsmusters von Physisporinus vitreus, an natürlich wie künstlich infiziertem Holz, ist die bereits im Frühstadium der Holzzersetzung starke Zerstörung der Hoftüpfel zwischen den Tracheiden. Die Hoftüpfel dienen im lebenden Baum dem Flüssigkeitsaustausch zwischen dem Festigungs- und Wassertransportgewebe, den Tracheiden, und dem Speichergewebe der Holzstrahlen, den Parenchymzellen. Bei der Bildung von Kernholz verkrusten die Hoftüpfel, während sie im Splintholz bei der Trocknung durch die Druckänderung von Holz verschlossen werden.

Durch diese beiden Vorgänge wird der Wassertransport zwischen benachbarten Tracheiden stark erschwert. Dies hat zur Folge, dass selbst nach einer Vakuum-Druckimprägnierung nur sehr geringe Eindringtiefen erreicht werden. Durch eine biotechnische Vorbehandlung des Holzes mit Physisporinus vitreus wird eine partielle bzw. völlige Auflösung der Hoftüpfel erreicht, da die Hyphen des Weißfäuleerregers bevorzugt die lignifizierten und inkrustrierten Tüpfelmembranen im Kernholz abbauen und somit eine Verbesserung der Permeabilität des Holzes erreicht wird.

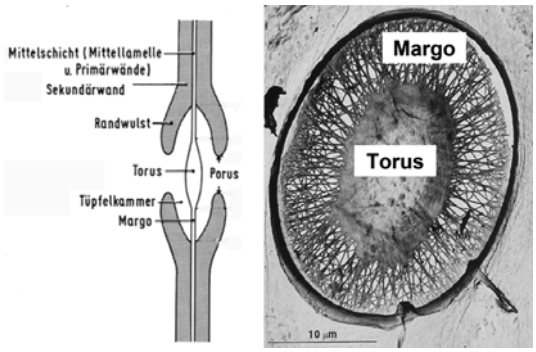


Abb. 5: Schematische Darstellung [2] und Schnitt durch Hoftüpfel [3]

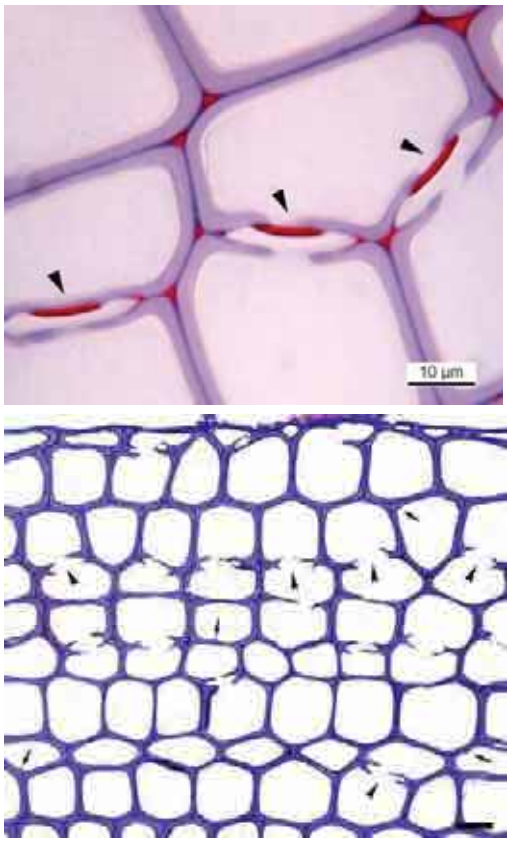


Abb. 6: Verschlossene (oben) und abgebaute Hoftüpfel (unten) [3]

Die erhöhte Tränkbarkeit von Fichten- und Tannenkernholz nach Vorbehandlung steht in Korrelation mit dem Abbau der Tori in den Tracheiden und Kreuzungsfeldtüpfeln im Holzstrahlparenchym. Dabei findet ein kontrollierter Abbauprozess statt. Da nur die Hoftüpfel abgebaut werden und keine elementaren Zellwandkomponenten, kommt es nicht zu einer signifikanten Minderung der Schlagbiegefestigkeit. Der Weißfäuleerreger kann nach der Behandlung im Holz überdauern. Daher muss das Wachstum des Pilzes nach der Behandlung mittels eines Fungizids oder durch Dampfsterilisation abgetötet werden.

6 Produktion

Die Erfahrungen die in diesem Projekt gemacht wurden beziehen sich auf den Einsatz im Labor. Da die Ergebnisse recht viel versprechend waren, soll das Verfahren zur weiteren Optimierung in einer Pilotanlage weiterentwickelt werden und zielt auf eine verkürzte Expositionszeit und homogenere Besiedelung des Holzes ab. Bei einer erfolgreichen Umsetzung im industriellen Maßstab könnte eine Vielzahl von Behandlungs- und Veredelungsprozessen für Fichtenholz effizienter und wertschöpfender gestaltet werden und die wirtschaftliche Nutzung dieser wichtigen Baumart maßgeblich verbessert werden.

7 Patent

Auf Grund der gemachten Ergebnisse und Schlussfolgerungen des Schlussberichts wurde ein Antrag auf Erteilung eines Patents beim Deutschen Patentamt eingereicht.

Quellen

[1] Denzler, L.: Pilze verbessern das Klangholz für den Geigenbau, Neue Züricher Zeitung, 15.06.2005

[2] Schwarze, F.; Richter, K.: Behandlung von Fichten- und Tannenkernholz mit *Physisporinus vitreus* zur Verbesserung der Wegsamkeit, Schlussbericht, Fond zur Förderung der Wald- und Holzforschung, 2006

[3] Schwarze, F.: Biotechnologische Verfahren machen Fichten- und Tannenholz besser nutzbar, EMPA Abteilung Holz, 2007

[4] Schwarze, F.: Pilze machen Fichten- und Tannenholz besser nutzbar, Jahresbericht EMPA, Dübendorf, 2007

8.2 Modifiziertes Holz
DNA Modifikation von Bäumen

1 Allgemeines

Bäume und Büsche weisen im Vergleich zu den meisten anderen wirtschaftlich genutzten Pflanzen eine extrem lange Lebensdauer auf. Damit verbunden ist auch die Eigenschaft, dass sie erst in einem gewissen Alter blühen und fruchten. Züchtungserfolge mit konventionellen Methoden lassen sich deshalb nur langfristig erzielen. Oft ist es erst nach Jahrzehnten möglich zu erkennen, ob ein herangezogener Baum die gewünschten Eigenschaften aufweist. Dies bedeutet für den Versuch Einfluss auf die Holzeigenschaften zu nehmen einen hohen Kosten- und Zeitaufwand in Forschung und Entwicklung.

Bäume als ortsfeste und langlebige Organismen müssen über viele Jahre mit unterschiedlichen biotischen und abiotischen Umweltbedingungen umgehen, ohne diesen räumlich ausweichen zu können. Dies können unter anderem potentielle Schädigungen durch holzzerstörende Pilze und Insekten, Trockenheit bzw. Toleranzen gegen Temperaturschwankungen, belastete Böden (durch Schwermetall, hohen Salzgehalt, etc.), Stürme oder auch Spätfröste sein. Bäume sind somit in besonderem Maße auf eine hohe Anpassungsfähigkeit angewiesen. Eine Möglichkeit, die Anpassungsfähigkeit zu verbessern oder zu beschleunigen, könnte die DNA-Technik sein.

Ziele der DNA-Modifikation sind Veränderungen des Genmaterials der Bäume im Hinblick auf ein schnelles Wachstum und damit eine Steigerung der Holzmasse, eine Verbesserung der Holzqualität, Resistenzen gegen Schädlinge und Pflanzenkrankheiten, Robustheit und Dauerhaftigkeit. Weitere Ziele sind Herbizidresistenzen und Toleranzen gegenüber bestimmten Umweltfaktoren, wie erhöhten Salzgehalt im Boden, Dürre, Überflutung, Kälte, etc.

Im Hinblick auf die Steigerung der Biomasseproduktion und Veränderungen der Holzstruktur konzentriert sich die Forschung im Wesentlichen auf die Ligninzusammensetzung und den Ligningehalt des Holzes, was insbesondere für die Papierindustrie interessant ist, da zur Papierherstellung das Lignin aufwendig herausgelöst werden muss.

Um schnell Erfolge zu erzielen, sind insbesondere schnell wachsende Gehölze, wie etwa die Pappel, von besonderem Interesse. In nur einem Jahr können sie bis zu vier Meter höher werden. Das macht sie als Lieferanten für nachwachsende Rohstoffe interessant. Insbesondere als Rohstoff für die Papierherstellung und als klimafreundlicher und kostengünstiger Brennstoff gewinnt sie zunehmend an Bedeutung. Ein weiterer Vorteil schnell wachsender Bäume ist außerdem die Fähigkeit, viel CO_2 zu binden. Diese Eigenschaften machen die Pappel besonders interessant für die Wirtschaft, was eine verstärkte Forschungsintensität zu Folge hat. Die Pappel ist nicht zuletzt deshalb der erste Baum, dessen Genom vollständig entschlüsselt wurde.

Das Genom der Waldbäume ist mit das komplexeste unter allen Lebewesen, viele Eigenschaften können nur mittels Transfers multipler Gene verbessert werden, hier steht die Wissenschaft jedoch noch ganz am Anfang.

Bei der Freisetzung von transgenen (d.h. genetisch veränderten) Bäumen und Büschen müssen vor allem deren zum Teil extrem lange Lebensdauer, die zum Teil sehr große Fernausbreitung von Pollen und Samen, die weit verbreitete Eigenschaft mit anderen Arten zu bastardieren und die Tatsache, dass Wälder sehr komplexe Ökosysteme mit vielfältigen Wechselwirkungen sind, berücksichtigt werden. Bei Freisetzungen von transgenen Gehölzen besteht über sehr lange Zeiträume die Möglichkeit, dass die eingebauten Genkonstrukte weiterverbreitet werden.

2 Modifikationen

Die wesentlichen Modifikationen mit denen sich die Gentechnik derzeit auseinandersetzt sind die Veränderung des Ligningehaltes und die Verbesserung der Schädlingsresistenz. Auch zur Sanierung von belasteten Böden könnten die transgenen Bäume eine Hilfe sein.

2.1 Lignin

Das größte industrielle Interesse und damit die größte finanzielle Ausstattung für die Holzforschung im Bereich der DNA-Modifikation besteht an der Veränderung des Ligningehaltes, was für die Anwendung im Bauwesen aber nur wenig interessant ist.

Den Ligninen kommen zwei wichtige Funktionen zu, zum einen als Festigungs- bzw. Stabilisierungselement in den sekundären Zellwänden der Holzfasern und des Leitungsgewebes und somit der Stabilisierung der Pflanze, zum anderen die Abwehr von krankheitserregenden Organismen, den sogenannten Pathogenen. Bei der Papierherstellung muss das Lignin aus den Pflanzenfasern durch Kochen in Sulfitlaugen herausgelöst werden, um die reinen Zellulosefasern zu gewinnen. Die Ligninentfernung stellt einen hohen Kostenfaktor dar und ist außerdem ein stark umweltbelastendes Verfahren, so dass die Papier- und Zellstoffindustrie stark an ligninarmem Holz interessiert ist.

Eine Modifikation des Ligningehaltes bringt aber nicht nur Vorteile mit sich, da Veränderungen im Ligningehalt oder in der Ligninzusammensetzung dramatische Folgewirkungen haben können, die bisher noch nicht abgeschätzt werden können. Zum einen ist zu bedenken, dass ligninärmere Bäume, bedingt durch die geringeren Stabilisierungselemente, stärker windwurfgefährdet sind, zum anderen ist auch eine höhere Pathogenanfälligkeit zu befürchten.

2.2 Schädlingsresistenz

Für alle Bereiche der Holzverwendung, also auch für die Verwendung im Bauwesen, interessant ist die Verbesserung der Schädlingsresistenz der Bäume bzw. des Holzes.

Durch Insektenfraß können im Forstbereich große Schäden entstehen. Plantagenwirtschaft begünstigt zudem die rasche Vermehrung von Schädlingen. Mit Hilfe der Transformation eines vielfach in der Gentechnik verwendeten Bodenbakteriums, des „Bacillus thuringiensis“ (Bt), das ein für Fraßinsekten giftiges Kristallprotein bildet, konnte mittlerweile auf mehrere Bäume erfolgreich eine Resistenz gegen Insektenfraß übertragen werden. Da das Bakterium als biologisches Schädlingsbekämpfungsmittel eingesetzt wird und erst im Darm bestimmter Fraßinsekten in die giftige Variante umgewandelt wird, geht man davon aus, dass es für den Menschen harmlos ist.

Die transgen erzielte Eigenschaft von Pflanzen, bestimmte Gifte zu produzieren, die eine Resistenz gegenüber Schadinsekten bewirkt, birgt jedoch insbesondere bei Gehölzen die Gefahr der parallelen Entwicklung von giftresistenten Typen des Schadinsektes. Angesichts des hohen Lebensalters von Gehölzen und der raschen Generationenabfolge der Schadinsekten (meist mehrere in einem Jahr) erhöht sich hier die Wahrscheinlichkeit einer Anpassung der Insekten. Bei Versuchen in China mit transgenen Bäumen zeigten sich an den Bäumen nach einiger Zeit sogar Fraßschäden von Insekten, die bis dahin keine bedeutenden Schäden verursacht hatten, da man mit dem Fremdgen in den Hormonhaushalt der Pappeln eingegriffen hatte. Eine vollständige Schädlingsresistenz ist z.Z. somit wohl noch nicht möglich, vielmehr findet lediglich eine Art Austausch der für den Baum schädlichen Insekten statt.

2.3 Altlastensanierung

Eine weitere Anwendungsmöglichkeit von transgenen Bäumen ist die Sanierung von Böden, die mit Schwermetallen oder organischen Schadstoffen belastet sind (sog. Phytosanierung).

Glutathion spielt beim Schutz der Pflanze gegen verschiedene Stress- und Umweltfaktoren eine zentrale Rolle. Es kann toxische Verbindungen über chemische Reaktionen "entgiften". Transgene Pappeln mit erhöhter Glutathion-Konzentration haben in Gewächshaus-Untersuchungen ein großes Potenzial für die Aufnahme und Entgiftung von Schwermetallen und Pestiziden gezeigt. Es zeigte sich, dass gentechnisch veränderte Pappeln innerhalb eines Monats bis zu 15 Prozent des eingesetzten Cadmiums aufnahmen. Bei anschließend durchgeführte Freilanduntersuchungen an Standorten mit unterschiedlicher Schwermetallbelastung in Deutschland und Russland zeigte sich, dass sich die transgenen Pappeln mit erhöhter Glutathion-Konzentration über drei Vegetationsperioden bei extrem unterschiedlichen Klimabedingungen und geringen bis sehr hohen Schwermetallbelastungen als stabil erwiesen. Sie zeigten bei der Phytosanierung jedoch nur auf den stark belasteten Flächen und im Jugendstadium gegenüber dem Wildtyp einen Vorteil. Dies verdeutlicht, dass das Entgiftungssystem der transgenen Pappeln nur bei Bedarf aktiviert wird, d.h. wenn die Böden hoch belastet sind.

3 Forschung

Die Pappel ist die erste Baumart, deren Genom bekannt ist und die somit gentechnisch verändert werden kann. Sie ist darüber hinaus der Baum mit den meisten Freisetzungsversuchen weltweit. In China werden seit 2002 gentechnisch veränderte, insektenresistente Bt-Pappeln zur Wiederaufforstung großer Flächen eingesetzt. Auch in Europa steht die schnell wachsende Pappel vor einer Renaissance. Sie liefert nachwachsende Rohstoffe für die Papierindustrie und gewinnt als klimafreundlicher und kostengünstiger Brennstoff zunehmend an Bedeutung. Damit wird auch die Pappelzüchtung wieder interessant. Die Gentechnik könnte dabei eine wichtige Rolle spielen.

Die Forschung mit transgenen Bäumen steht noch am Anfang und viele Risiken konnten noch nicht abschließend geklärt werden. Ein Risiko stellt der vertikale Gentransfer, also die Übertragung der eingeführten Gene in die nächste Generation dar. Sehr viele Bäume werden durch den Wind bestäubt, vielfach werden auch die Samen von vielen Baumarten durch den Wind transportiert. Für die Pappel trifft beides zu. In der Regel geht zwar der größte Teil des Pollenniederschlages in der Nähe der Ausgangsquelle nieder, bei Kiefern kann man allerdings noch in 300 m Entfernung von der Ausgangsquelle große Pollenmengen finden. Je nach Wetterlage können die Pollen außerdem in sehr hohe Luftschichten gelangen, so dass unter bestimmten Wetterbedingungen auch eine Verbreitung über mehrere hundert Kilometer ohne weiteres möglich ist. Da sehr viele Bäume und Büsche eine sehr starke Tendenz haben, mit anderen Arten zu hybridisieren, ist die Gefahr eines vertikalen Gentransfers besonders groß. Um diesen erfolgreich zu verhindern, wird derzeit bei verschiedenen Arten versucht, durch gentechnische Veränderungen männliche und/oder weibliche Sterilität zu erzeugen, die Pflanzen dürfen entweder gar nicht blühen oder keine fertilen Blüten ausbilden. Eine Gefahr besteht jedoch in der Instabilität der Gene, da bei Bäumen zum Teil schon nach relativ kurzen Zeiträumen Instabilitäten festgestellt werden konnten.

Eine weitere Möglichkeit, den vertikalen Gentransfer zu verhindern, könnte sein, nur die Chloroplasten-DNA zu verändern. Diese wird in der Regel nur über den Mutterbaum bzw. –strauch vererbt. Bei unseren Nadelbäume ist diese Möglichkeit allerdings nicht gegeben, da bei ihnen die

Chloroplasten-DNA über die väterliche Linie vererbt wird. Je nach Nutzungsziel wäre es auch denkbar, die Bewirtschaftung von transgenen Bäumen nur über die Jugendphase hinweg zu betreiben, so dass die Bäume gar nicht zum Blühen kommen. Allerdings können transgene Veränderungen auch ungewünschte „Nebenwirkungen" nach sich ziehen, was gegebenenfalls auch bedeuten könnte, dass es zu einem früheren Eintritt der Bäume in die fruchtbare Phase kommt, was bei Pappeln schon beobachtet werden konnte.

Die Gefahr eines horizontalen Gentransfers ist, glaubt man aktuellen Forschungen, deutlich geringer, als die des vertikale Gentransfers. Zwar gehen fast alle Gehölze eine intensive Symbiose mit im Boden lebenden Pilzen ein und bilden mit diesen zusammen eine sogenannte Mykorrhiza aus, dennoch zeigten untersuchte Pilze von transgenen Pappeln im Vergleich zum Wildtyp überraschenderweise nur geringe Unterschiede, obwohl die transgenen Pappeln bezüglich Aussehen etc. starke Veränderungen aufwiesen. Auch wenn die Pilze vielfach nicht wirtsspezifisch sind, mit verschiedenen Gehölzarten zusammenleben und zum Teil auch sehr unterschiedliche Standorte besiedeln können, scheint die Gefahr recht gering zu sein, Gene von veränderten Pappeln in Wildtypen zu übertragen. Untersuchungen dazu sind noch nicht abgeschlossen.

4 Zusammenfassung

Ebenso, wie die Gentechnik in der Agrarwirtschaft umstritten ist, bietet auch die Verbreitung von gentechnisch veränderten Bäumen die Grundlage zahlreicher Diskussionen. Zwar könnten transgene Bäume zur schnellen Wiederaufforstung genutzt werden, da aufgrund der rasanten Abholzung der Wälder zur Gewinnung von Ackerland und für die Papierherstellung diese dringend notwendig geworden sind, dennoch sind solche Projekte durchaus kritisch zu betrachten. Insbesondere, weil Großplantagen als Ausgleichsmaßnahmen für CO_2-Emissionen von Industriestaaten zum Emissionsrechtehandel „missbraucht" werden könnten. Auch Firmen wie Toyota oder Shell besitzen eigene Biotechnologiezentren, in denen an Bäumen geforscht wird, die z.B. mehr CO_2 aufnehmen sollen – dadurch könnten die Konzerne den Emissionshandel effektiver nutzen.

Ein weiteres Problem ist, dass, im Gegensatz zu landwirtschaftlichen Kulturen, Bäume über viele Jahre im Ökosystem verbleiben und ihr Erbgut z.T. über Hunderte von Kilometern verbreiten können. Die Auskreuzungsgefahr steigt daher um ein Vielfaches.

Die Tatsache, dass bisher noch keine dauerhaft sterilen Bäume erzeugt werden konnten, muss schließlich (vorerst) das „Killerkriterium" für die zur Freisetzung transgener Bäume sein, da ein Gentransfer nicht ausgeschlossen werden kann.

Dem gegenüber stehen die Möglichkeiten der üblichen Selektionszüchtung zur Einflussnahme auf die Holzeigenschaften, welche aber einer starken Ergebnisstreuung unterliegen und insbesondere bei Pflanzen mit langen Lebenszyklen wie den meisten Bäumen mit langwierigsten Entwicklungsprozessen verbunden sind.

Auf der UN-Konferenz zur biologischen Vielfalt 2008 haben alle Länder Afrikas einen Antrag auf ein Moratorium von gentechnisch veränderten Bäumen gestellt, da die Risiken noch nicht abschätzbar sind. Kanada hingegen hat sich vehement gegen ein solches Moratorium gestellt. Dies zeigt auch das Potential, das reiche Industrienationen in der genetischen Veränderung von Bäumen und oftmals auch dem damit verbunden Emissionshandel sehen.

In Deutschland sind generell Forschungen, welche mit der gentechnischen Veränderung von Or-

ganismen zu tun haben politisch und gesellschaftlich starker Kritik und Voreingenommenheit ausgesetzt. Hinzu kommen starke Einschränkungen bei der Freisetzung gentechnisch Veränderter Pflanzen, was in der Folge eine effektive Forschung auf diesem Gebiet nahezu ausschließt. Die weitestgehenden Entwicklungen auf diesem Gebiet kommen derzeit aus Kanada und den USA.

Abb. 1: Genetische Horrorvision für den deutschen Wald ?! (Cartoon: Wolfgang Horsch)

Quellen

[1] Interview mit Matthias Fladung, bioSicherheit
[2] „Transgene Gehölze in der Forst- und Landwirtschaft“, Gentechnik-Nachrichten Spezial 7 (Juni 2001); Öko-Institut e.V.

Linkliste

www.biosicherheit.de
www.oeko.de

9 Holzwerkstoffe, Verbundkonstruktionen
Inhaltsverzeichnis

9.1 Holzwerkstoffe

Zukunft der Holzwerkstoffe – Holzwerkstoffe haben Zukunft! S. 655
Konstruktive Holzfaserplatten S. 659
DendroLight – leichte Massivholzplatte S. 665
Wabenplatten S. 669

9.2 Verbundkonstruktionen, Materialkombinationen

Konzepte für textile Bewehrungen in der Holzkonstruktion S. 675
Textilverstärkte Formholzrohre S. 687
Charakterisierung der Verbundfestigkeit von textilbewehrtem Holz S. 693
Holz-Beton-Verbund S. 699
Holz-Beton-Platten mit Klebeverbund S. 705
Holz-Beton-Verbund Systeme S. 711
Straßenbrücken in Holz-Beton-Verbundbauweise S. 715
Holz-Beton-Verbundträger im Straßenbrückenbau S. 719
Holz-Stahlfaserbeton-Verbundsystem S. 727
Wandverbundquerschnitte S. 735

9 Holzwerkstoffe, Verbundkonstruktionen
Einleitung

Holzwerkstoffe

Mit dem Sammelbegriff Holzwerkstoffe werden verschiedene plattenförmige und stabförmige Produkte bezeichnet, die durch Zerlegen des Holzes und anschließendes Zusammenfügen entstehen, meist unter Zugabe von organischen oder mineralischen Bindemitteln. Gelegentlich werden im Zusammenhang mit Holzwerkstoffen auch Benennungen wie "Neue Holzwerkstoffe" oder "Engineered Wood Products" verwendet. Diese Bezeichnungen sollen darauf hinweisen, dass im Vergleich zu den alt bekannten Produkten wie Spanplatten und Sperrholzplatten insbesondere die jüngeren Holzwerkstoffe wie zum Beispiel Furnierschicht- und -streifenholz, Langspanholz aber auch Verbundquerschnitte usw. gemeint sind. Mit der Bezeichnung „Engineered Wood Products“ soll verdeutlicht werden, dass der Begriffsinhalt erweitert wird auf alle Produkte, die im Gegensatz zum klassischen Vollholz durch eine technische Bearbeitung vergütet und in ihren Eigenschaften homogenisiert wurden.

Während die aus Spänen und Fasern hergestellten Holzwerkstoffe in der Regel niedrigere Festigkeiten als Massivholz aufweisen, können bei den aus Furnieren oder Brettern hergestellten Holzwerkstoffen deutlich höhere Festigkeiten als beim Massivholz erreicht werden. Durch gezielte Anordnung der einzelnen Holzbestandteile kann zusätzlich die Belastbarkeit in einer bestimmten Richtung beeinflusst werden.

Europa lohnt sich langfristig

Auch im Bereich der Holzwerkstoffindustrie hält der Trend zur Entwicklung von Systemlösungen an. Neben einer Beschleunigung der Verarbeitung – nach dem Motto „Zeit ist Geld“ – sind Anwendungssicherheit und Dauerhaftigkeit gefragt. Diese Kernaussagen trifft der Beitrag „Zukunft der Holzwerkstoffe – Holzwerkstoffe haben Zukunft“ (Jana Sprockhoff). Danach haben die Holzwerkstoffe mit ihrem Leistungsprofil alle Voraussetzung für eine erfolgreiche Zukunft. Dies betrifft das Marktsegment des mehrgeschossigen Bauens ebenso wie den Gewerbebau oder das Bauen in Erdbebengebieten. Den Engpass einer weiteren Markterschließung sieht die Autorin eher im Bereich der anwendungsbezogenen Forschung sowie der Normung und Gesetzgebung; hier müssten Holzindustrie und Forschung weiterhin ihre Ressourcen bündeln, um den Planern und Verarbeitern mit Blick auf den EUROCODE und die EU-Bauproduktenrichtlinie schnellstmöglich standardisierte, einzelnachweisfreie Lösungen anbieten zu können. Die Erfahrung der letzten fünf Jahre seitens der Industrie zeige, dass der europäische Weg zur Erlangung von Prüf- und Klassifizierungsberichten sowie von Zulassungen zwar aufwendig und teuer sei, sich aber mittel- und langfristig lohne.

Im Trend: Leichte und stabile Platten

Wenn Ikea Interesse an einem Produkt oder einer Herstellungsweise bekundet, dann horcht die Fachwelt meistens auf. So äußerte der Hersteller von Mitnahmemöbeln unlängst, dass das Standard-Regal „Billy“ mit seinen 36 kg einige Kilogramm zu schwer sei, um vom Kunden problemlos mit einer Hand nach Hause transportiert werden zu können. Daher hat der Möbelhersteller die bereits in den 1950er Jahren verwendete Wabenplatte wiederentdeckt, wie aus dem Beitrag „Wabenplatten“ (Institut für Holzbau) hervorgeht. Das Konstruktionsprinzip entspricht dem eines dreischichtigen Sandwichaufbaus, bestehend aus zwei Decklagen und einer Zwischenschicht aus Papier oder Karton. Vor allem für Möbel und den Innenausbau wird dieses Material konstruktiv und optisch in Zukunft wieder interessanter werden.

Einen leichten Holzwerkstoff für den Bereich des konstruktiven Holzbaus beschreibt der Beitrag „DendroLight – leichte Massivholzplatte“ (Johann Berger, Johannes Gaisbauer). Die ebenfalls drei-

schichtig aufgebaute Platte besteht aus einer zellenartig aufgebauten Vollholzmittelschicht mit zwei Decklagen. Die Decklagen können je nach Anwendungsbereich aus Dünnspan-, Massivholz-, Sperrholz-, Kunststoff- oder Faserplatten bestehen. Die Mittellage wird aus Seitenware oder auch schlechter Stammhauptware erzeugt, die einseitig eingesägt zu stehenden Lamellenkämmen verarbeitet werden. Die Bretter der Mittelschicht sind um 45° geneigt, wodurch die Produktion vereinfacht wird, ohne die Festigkeit zu reduzieren. Geeignet sind fast sämtliche Holzarten, hauptsächlich wird aufgrund der guten Marktverfügbarkeit jedoch Fichte verwendet. Entwickelt wurde das Bauelement in Österreich, zuerst 2004 für die Ski-Industrie, ein Jahr später für den Baubereich. Mittlerweile nachgewiesen sind seine guten Dauerstandfestigkeiten zusammen mit sehr guten Festigkeiten, ein guter Brandwiderstand sowie eine hohe Wärmedämmung.

DendroLight, ein Beispiel der aktuellen Holzwerkstoffentwicklung

Vom Stab zur Fläche

Ein großes Potenzial für eine steigende Holzverwendung findet sich auch beim Brettsperrholz. Der Beitrag „Konstruieren mit Brettsperrholz“ (Jens Jamnitzky) wurde vor allem für den Tragwerkplaner geschrieben, der neben dem generellen Umgang mit diesen verklebten Vollholzelementen auch Details für die Anschlüsse der Wand an die Decke oder das Fundament an die Hand bekommt. Aufgrund der relativ hohen Masse besitzen Vollholzelemente neben dem Schallschutz große Vorteile beim sommerlichen Wärmeschutz. Neben der Möglichkeit, Raumluftfeuchtigkeit in größerer Menge zu puffern, lassen sich mit relativ geringem Aufwand luft- und winddichte Gebäudehüllen schaffen.

Einen Überblick über eine mittlerweile gut bekannte Holzwerkstoff-Gruppe gibt der Beitrag „Holzfaserplatten“ (Norbert Rüther). Ihr hohes zukünftiges Potenzial findet sich vor allem in dem umfassenden Rohdichtebereich von 45 kg/m^3 bis über 1000 kg/m^3. Daraus resultieren auch die mannigfaltigen Eigenschaften der Platten, deren Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften, Wärmeleitfähigkeit und Diffusionsoffenheit sehr gut mit der jeweiligen Rohdichte korrelieren. Unterschieden werden die leichteren Holzfaserplatten, die im Bereich der Dämmung eingesetzt werden (vgl. Kapitel 11), und die mitteldichten bis harten Holzfaserplatten für den konstruktiven Einsatz.

Interessant für die Zukunft wird sein, dass sich die Fasern vor der Plattenfertigung so behandeln lassen, dass sich komplett andere Eigenschaften ergeben. Der Beitrag weist auf Versuche des Wilhelm-Klauditz-Instituts hin, wonach eine behandelte Platte zusammen mit einer unbehandelten Referenzplatte einem massiven Wechselklima ausgesetzt wurde; trotz der hohen Feuchtebeanspruchung konnte bei der im Vorfeld behandelten Faserplatte nahezu keine Dickenquellung beobachtet werden, während die Referenzplatte eine Quellung quer zur Fläche von etwa 20 % aufwies. Besonders herausragend ist, dass die Modifizierung der Fasern in einem ökologisch unbedenklichen Verfahren durchgeführt werden konnte, so dass sich in Zukunft viele weitere Möglichkeiten der Anwendbarkeit ergeben könnten.

Verbundkonstruktionen, Verbundwerkstoffe

Nachfolgend sind als Verbundkonstruktionen und Materialkombinationen all jene Produkte zusammengefasst, bei denen aus Holz in der Kombination mit anderen Baustoffen ein neues Anwendungsprodukt entsteht, die verwendeten Baustoffe aber nach wie vor getrennt erkennbar bleiben. So ergibt sich beispielsweise beim Holz-Beton-Verbund zwar ein zusammen wirkendes Produktsystem, die einzelnen Materialschichten aus Beton oben und Holz unten bleiben als solche erkennbar.

Im Gegensatz zu den beschriebenen Verbundkonstruktionen bzw. Materialkombinationen bilden bei Verbundwerkstoffen die enthaltenen Materialen einen neuen homogenen Werkstoff, dessen Stoffkomponenten nicht mehr ohne weiteres trennbar oder ablesbar sind. Die Entwicklung von Baustoffen wie Holzbeton oder thermoplastische Holzverbundwerkstoffe hat sich in den letzten Jahren stark beschleunigt. Diese Baustoffe eröffnen dem Holz neue Möglichkeiten der Bearbeitung und der Anwendung. So können zum Beispiel die Holzfasern im Verbund mit thermoplastischen Bindemitteln in ursprünglich Kunststoff verarbeitenden Maschinen verarbeitet werden und als stranggepresste Profile in einer für Holz gänzlich neuen Form zur Anwendung kommen.

Wirtschaftliche Holz-Beton-Verbindungen

Die Anzahl an Bauwerken, bei denen in den letzten Jahren die Verbindung von Holz und Beton zum Einsatz kam, ist rapide gestiegen. Die Beiträge „Holz-Beton-Verbund“ (Leander Bathon, Oliver Bletz) sowie „Straßenbrücken in Holz-Beton-Verbundbauweise“ (Antje Simon, Karl Tautenstrauch) zeigen die Anwendungsbereiche dieser Verbundbauweise. Diese liegen vor allem bei der Sanierung von Holzdecken sowie beim Neubau von Geschossdecken, Flachdächer oder Brücken. Der auf Biegung beanspruchte Verbund besteht aus einer oben liegenden Druckzone (Beton) und einer unten liegenden Zugzone (Holz).

Blockverleimter Brettschichtholzträger für eine Holz-Beton-Brücke mit Dübelleisten als Verbindungsmittel

Holzseitig liegt dabei eine ausgesprochen hohe Materialvielfalt vor, so können neben Vollholz auch Konstruktionsvollholz, Duo- und Triobalken eingesetzt werden, aber auch Brettschicht-, Brettsperr- oder Furnierschichtholz. Die großen Vorteile dieser Bauart liegen u.a. in den Sanierungsmöglichen bestehender Holzdecken, deren Tragfähigkeit und Gebrauchsfähigkeit durch Einbringen einer Betonschicht beträchtlich erhöht wird. Vergleichsrechnungen der Forschungsarbeiten von Bathon/Bletz zeigen, dass bei einer Holz-Beton-Verbunddecke trotz des höheren Deckeneigengewichts (durch Einbringen der Betonschicht) im Vergleich zur ursprünglichen Holzdecke eine bis zu 400 % erhöhte Tragfähigkeit vorliegt. Gleichzeitig wird die Steifigkeit der Deckenkonstruktion sowie ihr Schallschutzvermögen durch die Einbringung der zusätzlichen Masse erhöht. Legt man vergleichbare Eigenschaften zugrunde, sind Holz-Beton-Decken im Neubaubereich oft wirtschaftlicher herzustellen als reine Holz- oder Betondecken.

Formschluss ohne Verbindungsmittel

Untersuchungen zum Last-Verformungsverhalten von Holz-Beton-Verbundkonstruktionen haben

weiterhin gezeigt, dass durch einen zusätzlichen Formschluss die notwendige Verbundfestigkeit zwischen Holz und Beton wesentlich erhöht werden kann. Üblicherweise werden vor dem Einbringen des Betons Verbindungsmittel aus Metall (Schrauben, Bolzen, Flachstahl u.ä.) im Holz befestigt. Der Beitrag „Holz-Stahlfaserbeton-Verbundsystem“ (Andreas Heiduschke, B. Kasal) zeigt eine Möglichkeit, wie auf diese Verbindungsmittel verzichtet werden kann.

Zum einen wird betonseitig so genannter Stahlfaserbeton eingesetzt, dessen 30 mm lange Stahlfasern zu einer Erhöhung der Zugfestigkeit führt. Dies ermöglicht den Verbund von Holz und Beton allein durch deren Formschluss zu realisieren. Zum anderen wird eine Verbundwirkung erreicht durch zylindrische Ausnehmungen im Holzteil, in die der faserverstärkte Frischbeton einfließt und nach dem Aushärten eine Verzahnung der Druck- und Zugzone bildet. Diese Verzahnung ist ausreichend, um einen dauerhaften und schubfesten Verbund zu gewährleisten. Diese Methode lässt sich sowohl bei neuen als auch bei bestehenden Gebäuden einsetzen. Die Verbindung mit Beton hat für das Holz auch den Vorteil, dass es beim Abriss des Gebäudes problemlos weiterverwendet oder einer thermischen Nutzung zugeführt werden kann (da kein Eintrag von Giftstoffen während der Herstellung bzw. Nutzungsphase).

Sandwichelemente

Eine weitere viel versprechende Verbundkonstruktion bilden die Sandwichelemente. Diese erfreuen sich immer größerer Beliebtheit, da sie rationell hergestellt und den Anforderungen entsprechend gestaltet werden können. Im Holzbau sind bereits Sandwichelemente für lastabtragende Wände im Markt erhältlich, wobei nahezu alle Systeme einen Kern aus Hartschaum – wie Polystyrol oder Polyurethan – aufweisen. Dabei haben Dämmungen aus Holzfasern ebenfalls hervorragende Eigenschaften. Der Beitrag „Wandverbundquerschnitte“ (Norbert Rüther) untersucht Wandverbundelemente, bei denen überwiegend Holzwerkstoffe zum Einsatz kommen.

Als Deckschichten wurden dabei sowohl OSB als auch Gipsfaserplatten verwendet, in den Kern wurden Holzfaserdämmplatten mit unterschiedlichen Rohdichten eingebracht. Dabei erwiesen sich solche Deckschichten vorteilhaft, die sowohl hohe Druck- und Zugfestigkeiten aufweisen als auch eine möglichst eingeschränkte Längenänderung bei Feuchte- und Temperaturänderungen. Da der dämmende Kern des Sandwichs ebenfalls tragende Aufgaben zu übernehmen hat, muss er eine ausreichende Festigkeit und Steifigkeit aufweisen. Da Festigkeit verbunden mit der Rohdichte der Platten umgekehrt proportional zur Wärmeleitfähigkeit ist, galt es einen Kompromiss zu finden, der bei einer Rohdichte von etwa 250 kg/m^3 liegt. Insgesamt ist diese Sandwichbauweise eine ernst zu nehmende Alternative zum meist verwendeten Holzrahmenbau, vor allem im industriellen Bereich wie der Fertighausindustrie.

Textile Fasern ertüchtigen Holz

Statische Unterstützung durch einen anderen Werkstoff erfährt der Baustoff Holz nicht nur durch Beton und Glas, auch textile Fasern können als Bewehrung von Holzträgern dienen. Gerade bei größeren Holzträgern – wie bei Brettschichtholz-Trägern größerer Hallentragwerke – findet sich eine Schwachstelle auf der Unterseite der Hölzer, da hier die wirkenden (Zug-) Kräfte zumeist am höchsten sind. Der Beitrag „Charakterisierung der Verbundfestigkeit von textilbewehrtem Holz unter Berücksichtigung von Witterungsfaktoren“ (Robert Putzger, Peer Haller) geht auf die Haltbarkeit verschiedener Textilverstärkungen ein, deren Dauerhaftigkeit bei Witterungseinfluss sehr verschieden sein kann. Die noch nicht abgeschlossenen Untersuchungen zeigen, dass auch hier ein wachsendes Potenzial für Holz als Baustoff zu finden sein wird.

9.1 Holzwerkstoffe
Zukunft der Holzwerkstoffe – Holzwerkstoffe haben Zukunft!

Jana Sprockhoff

1 Allgemeines

„Mit Holz dem Klimawandel entgegnen“ heißt eine 2006 veröffentlichte Publikation der European Panel Federation (Verband der europäischen Holzwerkstoffhersteller). In guter verständlicher und informativer Form erklärt sie die Vorteile von Holz als

- nachwachsende Ressource (bei nachhaltiger Forstwirtschaft),
- Ressource zur stoffliche Wiederverwertung (Kaskadennutzung),
- Klima- und Sozialfaktor in Waldflächen,
- umweltfreundliche, CO_2-neutrale Energiequelle für die thermische Verwertung,
- Werkstoff, der die Sinne anspricht.

Damit wären schon die wichtigsten Argumente für Holz- und Holzwerkstoffe benannt und man könnte sich entspannt zurücklehnen und einmal mehr „Holz ist Klasse“ ausrufen. Doch nur zu bekannt sind uns die Lebenszykluskurven von Produkten – die weisen am Ende nach unten – und das auch bei einem so hervorragenden Werkstoff wie Holz. Denn letzten Endes ist das Holz zumeist der Rohstoff, nicht das fertige Produkt. Das muss sich wie alle anderen Produkte auch täglich auf dem Markt mit Vorteil- und Nutzen-Argumenten bei den Verwendern behaupten, muss sich an verändernde Gegebenheiten anpassen, die aus neuen Bedürfnissen der Endverbraucher, Umwelt und Vorgaben der Gesetzgeber resultieren. Das gelingt durch die Verbindung von Werkstoff, Forschung und Entwicklung sowie ingenieurtechnischem Know-how – es bleibt also viel zu tun – auch in der Zukunft.

2 Die wichtigsten Trends

Im Jahr 2008 wurden in Deutschland etwa 10,5 Mio. m³ Spanplatten, ca. 3,5 Mio. m³ Faserplatten und etwa 1,2 Mio. m³ OSB gefertigt. Hinzu kommen ca. 260.000 m³ Sperrhölzer. Damit ist die deutsche Holzwerkstoffindustrie ein bedeutsamer Teil der Holzkette. Holzwerkstoffe sind aus dem Bauwesen, der Möbelindustrie, dem Innenausbau, dem Messebau, der Verpackung und vielen anderen Bereichen fast nicht weg zu denken. Aber auch in der Holzwerkstoffbranche entscheidet ein hohes Maß an Innovationskraft über den weiteren Erfolg. Aus Sicht der Autorin dominieren folgende Themen auch weiterhin die Entwicklungstrends:

- Ressourcen,
- Design,
- Dauerhaftigkeit / Dimensionsstabilität unter Feuchteeinwirkung,
- Innenraumluft / Umwelt,
- Anwendungseffizienz.

2.1 Einsparung und Schonung der (nachwachsende) Ressourcen

Verstärkt durch Entwicklungen von Möbeldesigns, die große Plattendicken fordern und die Nachteile von Holzwerkstoffplatten mit >650-800 kg/m³ Rohdichte offensichtlich machen, wird sich die Suche nach Technologielösungen weiter fortsetzen.

Entwicklungen wie

- Leichtbau-Platten wie EUROLIGHT® (Wabenkern-Technologie)
- Gewichtsreduktion durch Mehrschicht / Sandwich oder Armierungen,
- Leichtbauplatten aus lamellierten Sägewerks-Nebenprodukten wie Seitenware,
- Gewichtsreduktion durch Additive (Einbau leichter Partikel/Hohlraumbildner)

sind noch nicht ausgereizt.

Richtig erfolgreich können diese Produkte jedoch nur sein, wenn parallel die anwendungstechnische Entwicklung für Verarbeitungslösungen (Verbindungsmittel, Beschläge, Bekantung) Schritt hält.

Das letzte Jahrzehnt war in der Holzwerkstoffindustrie von enormen Investitionen in allen Produktbereichen hinsichtlich Kapazitätserweiterung und Technologie–Neuentwicklung (Herstellung / Umwelttechnologie) gekennzeichnet.

Mit dem Wettbewerb ums Holz werden sich Wissenschaft und Industrie erneut auch Zellulosefasern /-partikel liefernden Ressourcen zuwenden, die bisher aufgrund technologischer Probleme ungenutzt geblieben sind. Die Bandbreite reicht da von Riesengras, Schnellumtriebsbaumarten bis zu den Resten ausgepresster Zitronen.

Für Bauprodukte ist Gewichtsreduktion immer wieder ein Thema, wobei im Kanon von Dauerhaftigkeit, Tragfähigkeit und Brandverhalten ebenfalls noch einige Nüsse zu knacken sind.

Hier können aus Projekten, die sich mit dem flächigen bzw. dreidimensionalen Werkstoffverbund Holz / Beton, Holz / Metall, Holz / Textil befassen, neue Lösungen im Bau und anderen Bereichen erwartet werden. (s. Kap. 9.2 „Verbundkonstruktionen“)

2.2 Witterungs- und Alterungsbeständigkeit

Die BAU 2009 hat es bestätigt – Holz im Feucht- und Außenbereich ist nach wie vor ein Trendthema.

Neben Fragen der optischen Gestaltung (Farben, Oberflächen, Formate) ist der Blick der Entwickler auf den Verbraucherwunsch nach Umwelt- und Gesundheitsschutz und die Vermeidung vorbeugender Holzschutzmaßnahmen - wo es sinnvoll baulich möglich ist - gerichtet.

Die Weiterentwicklung von Verfahren wie

- Acetylierung von Holz (s. Kap. 8.2 „Modifiziertes Holz“),
- Weiterentwicklung des Leistungsprofils von Wood-Plastic-Composites (WPC),
- thermische Behandlung (Thermowood®) zur Verbesserung von Alterungsbeständigkeit und Resistenz (s. Kap. 8.2 „Modifiziertes Holz“),
- sowie der Reduzierung der Dickenquellung zur Verbesserung der Formstabilität durch hydrophobierende Additive
- sowie neuartige Beschichtungen

sind auch weiterhin Entwicklungsschwerpunkte.

2.3 Holz und Holzwerkstoffe mit Design-Anspruch

Im Bereich des Möbel- und Innenraumdesigns setzten Holzwerkstoffe immer wieder neue Trends. Neben den Designs (Farbe, Dekor, Struktur, Haptik) wird vor allem an der Optimierung der Trägerplatten und deren Oberflächenqualität gearbeitet. Ziel sind Werkstoffe für neue Beschichtungstechnologien:

- emissionsarme Beschichtungstechnologien (z.B. Pulverlack, ESH),
- Direktdruckverfahren mit hoher Farbbrillianz und Nachbildung haptischer Effekte,
- Digital-Direktdruck mit trendigen Design-Effekten,
- Hochglanz als hoch beanspruchbare Lack bzw. Laminat- oder Folienoberfläche auch im Arbeitsflächenbereich,
- Pulverlacke, die auf beliebig dreidimensionale Flächen aufgebracht werden können und keine Zugabe leitfähig machender Additive in die Trägerplatte erfordern,
- Verbesserung des Brandverhaltens als Voraussetzung für die Verwendung im öffentlichen Raum.

2.4 Weitere Reduktion von Emissionen

Mit der nicht unumstrittenen Neueinstufung des Formaldehyd im Jahr 2004 durch die IARC-Behörde der Weltgesundheitsorganisation (WHO) wurde bei den Leim- und Holwerkstoffherstellern sowie den Prüf- und Forschungsinstituten erneut einen Entwicklungsschub in Gang gesetzt.

Neben dem Trend Formaldehydvernetzte Bindemittel durch PMDI-Leim zu ersetzen (vorrangig im Bereich der tragenden Bauprodukte für Nutzungsklasse 2) wird an der Optimierung etablierter Bindemittel weiter geforscht. Noch kann technologisch und mengenmäßig nicht auf formaldehydhaltige Bindemitteln verzichtet werden. Jedoch gibt es bereits für die Herstellung eines emissionsarmen Leimes auf Basis von Soja ein US-Patent. Es ist zu ahnen, dass es die Gewinnung von Biomasse für Leim im Wettbewerb mit Bio-Energieträgern und Nahrungsmitteln schwer haben wird.

Dennoch - emissionsfreie und wirtschaftliche Alternativen zum PMDI (gerne auch kalt klebend) würden auf breites Interesse stoßen.

Verwirrend ist die Situation allerdings für die Hersteller geworden, da hier einzelne Länder und Organisationen parallel mit viel Druck neue Standards zur Prüfung und Zertifizierung installiert haben. Neben bekannten Emissionsklassen wie E1 (EN 13986 – Holzwerkstoffe für das Bauwesen) und mittlerweile auch bekanntem japanischem F****- Standard müssen sich Hersteller mit dem amerikanischen CARB- sowie dem europäischen EPF-S-Standard auseinandersetzten. Das bindet viele Ressourcen und es bleibt zu wünschen, dass die Beteiligten in Zeiten weltweiten Warenverkehrs in absehbarer Zeit ein (globales) vereinheitlichtes System finden.

Im Zuge der Erarbeitung von Regelwerken zur Verbesserung der Innenraumluftqualität ergeben sich für Holz und Holzwerkstoffe neue Anforderungen. Gesetzliche Regelwerke zur Energieeinsparung und Luftdichtheit der hoch gedämmten Gebäudehülle verschärfen die Anforderungen.

Mit seinen natürlichen Inhaltstoffen beinhaltet das Holz auch leicht flüchtige Substanzen (VOC's). Deren Wirkmechanismus auf Wohlbefinden und Gesundheit des Menschen sowie Verfahrenstechniken zur Reduktion von VOC-Emissionen sind aktuell und zukünftig Forschungsgegenstand der Holzwirtschaft und Prüfinstitute.

Wichtige neue Erkenntnisse sind aus laufenden Forschungsprojekten zu erwarten. Die Thematik ist bei der Vielzahl der zu betrachtenden Substanzen und Substanzgemische äußerst komplex. Ein ganzheitlicher Lösungsansatz, der Produkt und Gebrauchssituation berücksichtigt und vor allem für Planer und Gebäudenutzer handhabbar ist, sollte angestrebt werden.

Dann steht einer weiterhin erfolgreichen Entwicklung des Baustoffs Holz nichts im Wege, wo auch gerade die Januar 2009 publizierte Studie „Öko-Pot – Ökologische Potentiale der Holznutzung" die Sinnhaftigkeit einer steigenden Verwendung des Werkstoffs Holz aufgezeigt hat.
(www.oekopot.de).

2.5 Anwendungstechnik und Effizienz – „Vom Produkt zum System"

Die enorm gewachsenen Schnittholzkapazitäten in Deutschland, Österreich und der Schweiz haben zu einer vielfältigen Entwicklung von Massivholz-Produkten und Systemlösungen beigetragen.

Die Entwickler von Balkenschichtholz, Brettsperrholz inklusive Bau-Systemlösungen, Holz-Beton-Verbund-Elementen und Brettstapel-Bauweisen arbeiten an der weiteren Optimierung der Gebrauchseigenschaften.

Auch im Bereich der Holzwerkstoffe hält der Trend zur Entwicklung von Systemlösungen an.

Neben einer Beschleunigung der Verarbeitung – „Zeit ist Geld" – sind Anwendungssicherheit und Dauerhaftigkeit gefragt.

Die Situation insbesondere im Wohnungsbau (Einfamilienhaus) drängt zur Erschließung neuer Marktsegmente (mehrgeschossige Holzbauten, Holzbau in Erdbebengebieten, Gesellschafts- und Gewerbebau).

Holzwerkstoffe haben mit ihrem Leistungsprofil alle Voraussetzungen für eine erfolgreiche Entwicklung in diesem Bereich.

Eine weiterhin erfolgreiche Zukunft für Holz- und Holzwerkstoffe setzt voraus, dass neben der Produkt- und Systementwicklung auch in der anwendungsbezogenen Forschung sowie der Normung und Gesetzgebung aktiv mitgearbeitet wird.

Holzindustrie und Forschung müssen weiterhin ihre Ressourcen bündeln, um den Planern und Verarbeitern mit Blick auf EUROCODE und EU-Bauproduktenrichtlinie schnellstmöglich standardisierte einzelnachweisfreie Lösungen anzubieten, wie es bisher zum Beispiel DIN 4102-4: 2001 „Brandverhalten von Bauteilen“ oder DIN 1052-3: 1988 – „Holzbau“ konnten.

Denn die Erfahrung der letzten fünf Jahre zeigt: Der europäische Weg zur Erlangung von Prüf- und Klassifizierungsberichten und Zulassungen ist aufwendig und teuer – aber er lohnt sich.

Quellen

[1] „Mit Holz dem Klimawandel entgegnen“ 2006, Publikation der European Panel Federation (Verband der europäischen Holzwerkstoffhersteller).
[2] Stellungnahme des BfR vom 29.11.2004 „Formaldehyd – gefährlicher als bisher angenommen?“
[3] Entwurf zur Holzwerkstoffbroschüre des VHI und HAF (Publikation geplant 2009)

9.1 Holzwerkstoffe
Konstruktive Holzfaserplatten

Norbert Rüther

1 Allgemeines

Die Familie der Holzfaserplatten zählt zur großen Gruppe der Holzwerkstoffe und stellt innerhalb dieser Gruppe die wahrscheinlich größte und vielfältigste Familie dar. Holzfaserplatten werden als einzige Holzwerkstoffe mit einer Rohdichte von ca. 45 kg/m³ bis über 1000 kg/m³ hergestellt. So umfassend der Rohdichtebereich ist, so mannigfaltig sind die Eigenschaften, wobei viele Eigenschaften, wie z.B. Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften, Wärmeleitfähig- und Diffusionseigenschaften sehr gut mit der Rohdichte korrelieren.

Alle Holzwerkstoffe sind Ingenieursprodukte, die mit den Eigenschaften hergestellt werden können, die der jeweilige Anwendungsbereich verlangt. Aufgrund der besonders umfangreichen Gestaltungsmöglichkeiten bei den Holzfaserplatten, sind auch deren Anwendungsgebiete vielfältig:

Dämmung
WF nach DIN 13171; Anwendungsgebiete nach DIN 4108: Dach/Decke DAD, DAA, DZ, DI, DEO, DES, Wand WAB, WAA, WAP, WH, WI, WTH, WTR,

Konstruktiv
Rohdichtebereiche nach DIN EN 622: HB, MBL, HBH, UL-MDF, L-MDF, MDF, SB
Anwendungsgebiete nach DIN EN 622: H, E, LA, LS, HLA1 und 2, HLS1 und 2,

Das Kürzel bei den konstruktiven Platten nach DIN EN 622 bedeutet beispielhaft Folgendes:

HB-E = harte Platte (hardboard)– Anwendung im Außenbereich (external)

UL-MDF = Ultraleichte MDF

MBH-HLS = schwere mittelharte Platte (medium-density board, heavy) – Anwendung tragend im Feuchtbereich (humidity, load)

Im konstruktiven Bereich sind neben den Normplatten zudem noch Platten mit einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung (abZ) im Markt erhältlich. Diese werden in der Regel übergreifend mit bautechnischer MDF bezeichnet und finden überwiegend im klassischen Holztafelbau Verwendung.

Zudem gibt es noch vielfältige Werksnormen von großen Möbelherstellern, in denen zudem noch diverse Eigenschaften für den Möbelbau definiert sind.

In diesem Artikel wird ausschließlich auf die konstruktiven Holzfaserplatten eingegangen. Dämmungen werden an anderer Stelle behandelt. Die Übergänge zwischen Dämmung und konstruktiver Anwendung sind jedoch wiederum fließend, da auch konstruktive Holzfaserplatten dämmen und Dämmplatten tragen können. So sind z.B. die Dämmungen in den Wärmedämmverbundsystemen durch Eigengewicht und Wind mechanisch beansprucht, so dass diese problemlos beiden Bereichen zugeordnet werden können. Diese Produkte fallen jedoch in den Anwendungsbereich WAP nach DIN 4108, müssen somit Anforderungen nach DIN EN 13171 erfüllen und gelten als Dämmstoffe. Somit werden im Folgenden die durch diese Normen gesetzten Grenzen übernommen.

2 Konstruktive Holzfaserplatten

2.1 Materialeigenschaften

2.1.1 Mechanische Eigenschaften

Konstruktive Holzfaserplatten werden gemäß DIN EN 622 nach ihrer Fertigungstechnik, Rohdichte, Feuchtebeständigkeit und Festigkeit eingeteilt (Tab. 1).

Tab. 1: Einteilung von Holzfaserplatten gemäß DIN EN 622

	Nicht tragend				Tragend		Hoch belastbar	
	Trockenbereich		Feucht-bereich	Außen-bereich	Trockenbereich	Feucht-bereich	Trocken-bereich	Feucht-bereich
	Leichte Verklei-dung	- Innen-ausbau						
harte	HB		HB-H	HB-E	HB-LA	HB-HLA1		HB-HLA2
mittelharte	MBL (light)	MBH (heavy)	MBL-H MBH-H	MBL-E MBH-E	MBH-LA1	MBH-HLS1	MBH-LA2	MBH-HLS2
mittel-dichte	L-MDF UL-MDF	MDF	MDF-H MDF-RWH L-MDF-H		MDF-LA	MDF-HLS		
poröse	SB		SB-H	SB-E	SB-LS	SB-HLS		

Es sind jedoch nicht alle in DIN EN 622 genannten Produkte in Deutschland im Baubereich verwendbar. Die Verwendbarkeit und somit die baurechtliche Anwendbarkeit wird für die Normprodukte über DIN 1052 geregelt. Hier sind im Anhang F der Norm die charakteristischen Materialeigenschaften für die Plattentypen HB.HLA2 und MBH.LA2 aufgeführt (Tab. 2).

Tab. 2: Rechenwerte für die charakteristischen Festigkeits- und Steifigkeitskennwerte für Faserplatten der technischen Klassen HB.HLA2 und MBH.LA2 nach DIN EN 13986: 2002-09 (aus DIN 1052)

	1	2	3	4	5
1	Technische Klasse	HB.HLA2 (harte Platten)		MBH.LA2 (mittelharte Platten)	
2	Nenndicke der Platten in mm	> 3,5 bis 5,5	> 5,5	<= 10	>10
Festigkeitskennwerte in N/mm²					
Plattenbeanspruchung					
3	Biegung $f_{m,k}$	35	32	17	15
4	Druck $f_{c,90,k}$	12		8	
5	Schub $f_{v,k}$	3	2,5	0,3	0,25
Scheibenbeanspruchung					
6	Biegung $f_{m,k}$	26	23	9	8
7	Zug $f_{t,k}$				
8	Druck $f_{c,k}$	27	24		
9	Schub $f_{v,k}$	18	16	5,5	4,5
Steifigkeitskennwerte in N/mm²					
Plattenbeanspruchung					
10	Elastizitätsmodul E_{mean}	4800	4600	3100	2900
11	Schubmodul G_{mean}	200		100	
Scheibenbeanspruchung					
12	Elastizitätsmodul E_{mean}	4800	4600	3100	2900
13	Schubmodul G_{mean}	2000	1900	1300	1200
Rohdichtekennwerte in kg/m³					
14	Rohdichte ρ_k	850	800	650	600

Tab. 3: Rechenwerte für Modifikations- und Verformungsbeiwerte (aus DIN 1052)

Nutzungsklasse		1	2
Modifikationsbeiwerte			
HB.HLA2	ständig	0,30	0,20
	lang	0,45	0,30
	mittel	0,65	0,45
	kurz	0,85	0,60
	sehr kurz	1,10	0,80
MBH.LA2	ständig	0,20	nicht erlaubt
	lang	0,40	
	mittel	0,60	
	kurz	0,80	
	sehr kurz	1,10	
Verformungsbeiwerte			
HB.HLA2		2,25	3,00
MBH.LA2		3,00	nicht erlaubt

Alle Holzfaserplatten sind relativ empfindlich gegenüber dauerhafter Belastung und gleichzeitiger Feuchteeinwirkung. Diese Eigenschaft wird durch die relativ niedrigen Modifikationsbeiwerte berücksichtigt. So ist z.B. für Holzfaserplatten des Typs MBH.LA2 selbst in Nutzungsklasse 1, jedoch bei ständiger Lasteinwirkung, ein Modifikationsbeiwert von k_{mod} = 0,20 anzusetzen. Vollholz oder Sperrholz ist unter gleichen Bedingungen mit einem Modifikationsbeiwert von k_{mod} = 0,60 zu berücksichtigen. Die in DIN 1052 im Anhang F aufgeführten Modifikations- und Verformungsbeiwerte für Faserplatten gibt Tab. 3 wieder.

Die Materialeigenschaften der Faserplatten mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung sind in der Regel in der Größenordung der Normplatten des Typs MBH.LA2. Die tatsächlichen Werte müssen den jeweils gültigen allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen entnommen werden.

2.1.2 Bauphysikalische Eigenschaften

Allen Faserplatten gemein ist, dass sie gegenüber der Diffusion von Wasserdampf einen relativ geringen Widerstand bieten. Der sogenannte μ-Wert korreliert jedoch auch wiederum stark mit der Plattenrohdichte. Da es Faserplatten in nahezu allen Rohdichten gibt, sind bei diesen Platten die Beziehungen zwischen Rohdichte und μ-Wert relativ gut bekannt. Abb. 1 zeigt beispielhaft die Abhängigkeit des μ-Wertes von der Plattenrohdichte bei einem Faserplattentyp. Während der untere Grenzwert des μ-Wertes gegen 1 tendiert, beträgt der obere zurzeit bekannte Grenzwert etwa 70.

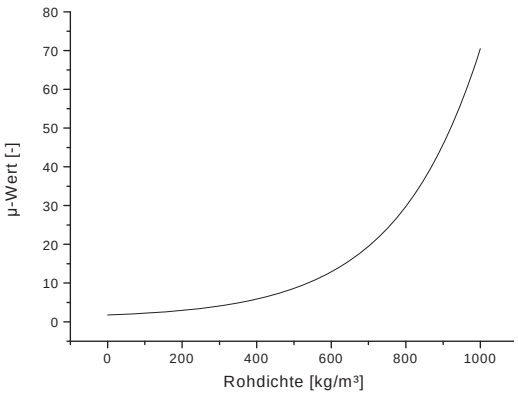


Abb. 1: μ-Werte von Faserplatten und interpretierte Exponentialfunktion in Abhängigkeit von der Rohdichte [WKI]

Im Baubereich mit Anforderungen an die Eigenschaften hinsichtlich des Widerstandes gegenüber Wasserdampfdiffusion finden vorrangig Fa-

serplatten mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung Verwendung. Diese sind alle mit einem μ-Wert um ca. 10 bis 15 relativ diffusionsoffen. Der praktische Schwankungsbereich ist dabei aus baupraktischer Sicht auch weitestgehend unrelevant.

Vorgenanntes gilt sinngemäß auch für die Wärmeleitfähigkeit. Die üblichen Faserplatten für den Holzhausbau weisen bei einer Rohdichte zwischen ca. 550 und 650 kg/m³ eine Wärmeleitfähigkeit von 0,09 bis 0,11 W/mK auf. Bei den schweren Platten mit einer Rohdichte zwischen 800 und 1000 kg/m³ beträgt die Wärmeleitfähigkeit etwa 0,13 bis 0,17 W/mK.

2.2 Anwendungsgebiete

Wie aus den aufgeführten Materialeigenschaften ersichtlich ist, ist der vorrangige Anwendungsbereich der der Aussteifung von Rahmentragwerken. Diese Anwendung ist auch schon aus dem Möbelbau bekannt, wo die Rückwand aus „Hartfaserpatten“ dafür sorgt, dass der Möbelkorpus ausgesteift wird. Da alle Holzfaserplatten ein zähelastisches und kein sprödes Tragverhalten aufweisen, sind sie als Bauprodukte sehr beliebt. Die Tatsache, dass Faserplatten jedoch ein relativ ausgeprägtes Kriechverhalten haben, schränkt die Anwendbarkeit unter Plattenbeanspruchung wiederum ein.

Wahrscheinlich mehr als 90 % aller konstruktiven Holzfaserplatten werden als äußere, hinterlüftete Beplankung von Dach- und Wandtafeln im klassischen Holztafel- oder Holzrahmenbau verwendet (Abb. 2). Die sehr gute Kombination zwischen bauphysikalischen und mechanischen Eigenschaften machen sie für diesen Einsatzbereich ideal.

Ein weiterer Anwendungsbereich ist in der industriellen Fertigung von Doppel-T-Trägern aus Holz (I-Joists). Zwischen die beiden Gurte aus Vollholz wird ein Steg aus Holzwerkstoffen eingeklebt. Wegen der sehr guten Eigenschaften von Faserplatten auf Schubbeanspruchungen, werden die Stege häufig aus dünnen (ca. 6 bis 8 mm dick) Hartfaserplatten hergestellt (Abb. 3).

Abb. 2: Klassischer Anwendungsbereich einer konstruktiven Holzfaserplatte, hier als hinterlüftete äußere Wandbeplankung im Holzbau (im Foto noch ohne Fassade) [WKI]

Abb. 3: Hartfaserplatten als hoch belastbarer Steg in Doppel-T-Trägern aus Holz [Steico]

Weitere konstruktive Anwendungen sind der Schalungsbau (Betonschalung) und sehr häufig auch der Theaterbau, die jedoch beide nicht mehr zum klassischen Holzbau zählen und somit in der Regel auch nicht in den Statistiken erfasst werden, so dass es keine verlässlichen Zahlen über die Menge der in diesen Bereichen verwendeten Platten gibt. In beiden Anwendungsbereichen werden in der Regel dünne Hartfaserplatten als Verbrauchsmaterial verwendet, da sie auf-

grund ihres Preis-Leistungsverhältnisses anderen dünnen Holzwerkstoffen wie z.B. Sperrholz gegenüber klar im Vorteil sind.

3 Ausblick

Holzfaserplatten bieten ein nahezu unüberschaubares Potential an Entwicklungen. Alleine die Tatsache, dass nahezu der gesamte Rohdichtebereich zwischen ca. 40 kg/m³ und über 1000kg/m³ gefertigt werden kann, lässt erahnen, wie viele Möglichkeiten der ingenieurmäßigen Fertigung gegeben sind. Die Fasern können vor der Plattenfertigung zudem noch eingefärbt, acetyliert oder irgendwie anders behandelt werden, so dass sich komplett andere Eigenschaften ergeben. Abb. 4 zeigt beispielsweise besondere Faserplatten, die im Technikum des Fraunhofer WKI hergestellt worden sind. Die Platte links in der Abbildung ist massiv mit klimatischen Wechseln (Wasserlagerung und Trocknung) beansprucht worden – die Platte rechts in der Abbildung ist unbeansprucht. Es ist trotz der massiven Feuchtebeanspruchung nahezu keine Dickenquellung oder sonstige Veränderung zu erkennen. In Abb. 5 ist vergleichend dazu eine Faserplatte (Anwendung als Fassadenplatte – Typ HB.HLA2) gezeigt, die den gleichen Beanspruchungen unterzogen wurde. Obwohl der Typ HB.HLA2 den am stärksten beanspruchbaren Plattentyp darstellt, quillt sie um ein wesentliches mehr, als die in Abb. 4 gezeigte Platte, deren Fasern vor der Plattenherstellung einem besonderen Verfahren unterzogen wurden. Besonders herausragend ist, dass die Modifizierung der Fasern auch mit ökologisch unbedenklichen Verfahren durchgeführt werden kann, so dass sich in Zukunft viele weitere Möglichkeiten der Anwendbarkeit ergeben können.

Abb. 4: Faserplatten mit besonderer Behandlung der Fasern vor (rechts) und nach (links) extremer klimatischer Beanspruchung [WKI]

Abb. 5: Faserplatten des Typs HB.HLA2 vor (rechts) und nach (links) extremer klimatischer Beanspruchung [WKI]

Quellen

[1] Informationsdienst Holz – holzbau handbuch Reihe 3, Teil 3, Folge 3

[2] Informationsdienst Holz – holzbau handbuch Reihe 4, Teil 5, Folge 2

[3] Informationsdienst Holz – holzbau handbuch Reihe 3, Teil 4, Folge 1

[4] Informationsdienst Holz – holzbau handbuch Reihe 4, Teil 5, Folge 2

[5] Herlyn, J.W.; Rüther, N.: Gefährdung von Holzkonstruktionen bei Verzicht auf wasserableitende Schichten in Außenwänden ohne vorbeugenden chemischen Holzschutz nach DIN 68800-2. Abschlussbericht 2006. Fraunhofer IRB-Verlag

[6] Herlyn J.W., Kessel M., Rüther N. und Schönhoff T. „Verbundquerschnitte aus Holzwerkstoffen für lastabtragende Wände“ Schlussbericht des Forschungsvorhabens 2004

[7] Herlyn, J.W.; Rüther, N.: Ermittlung des Gefährdungsrisikos von Holzaußenbauteilen mit Plattenwerkstoffen infolge Schwind- und Quellverformungen anhand praxisnaher Untersuchungen. Abschlussbericht 2007. Fraunhofer IRB-Verlag

[8] DIN 1052: ab Ausgabe 2004 Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken

[9] DIN 622 Teile 1 bis 5 Faserplatten - Anforderungen

[10] Schlussbericht „Neue Einsatzmöglichkeiten von Holzfaserdämmplatten im Holzbau“. VDI/VDE-IT Verbundprojekt Nr. IN-5027. Fraunhofer WKI und Universität Karlsruhe. Dezember 2008.

9.1 Holzwerkstoffe
DendroLight – leichte Massivholzplatte

Johann Berger

1 Einleitung

Die DendroLight Massivholzplatte ist eine neue Innovation im Bereich der plattenförmigen Holzwerkstoffe. „Dendrolight" setzt sich aus den Wörtern déndros = Baum (aus dem Griechischen) und light = leicht (aus dem Englischen) zusammen. Frei übersetzt bedeutet Dendrolight also der „leichte Baum".

Bereits 2004 wurde diese neuartige Stirn-Längsholzverklebung für die Ski Industrie entwickelt und ein Jahr später auf Leichtbauplatten übertragen.

Abb. 1: neuartige Stirn-Längsholzverklebung

Auch wenn stirnseitige Verklebungen in der Praxis und Fachkreisen der Holztechnologie als nicht mechanisch belastbar gelten, so haben mechanische Prüfungen gezeigt, dass die Klebeverbindung zwischen Deck- und Mittelschicht eine hohe Festigkeit aufweist, was möglicherweise auf die Ausbildung einer „Kehlnaht" aus Klebstoff zurückzuführen ist. Diese Erkenntnisse sind unter Umständen auch auf andere Anwendungen übertrag- und nutzbar.

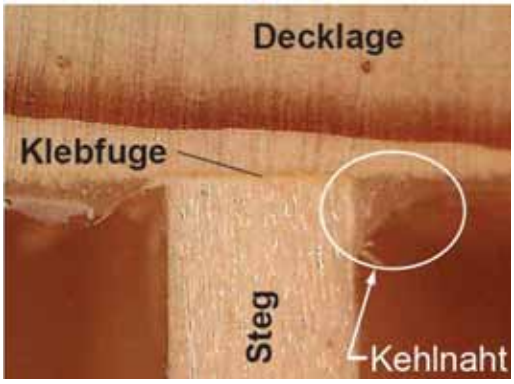


Abb. 2: Stirnseitige Klebefuge für die Verbindung Mittelschicht – Deckschicht

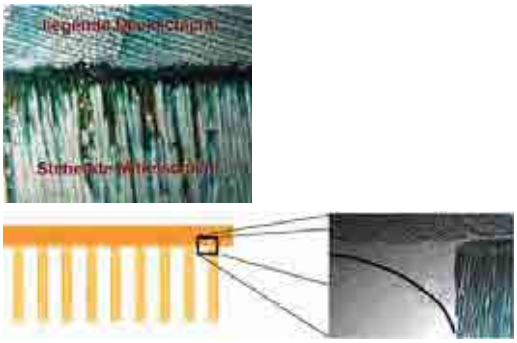


Abb. 3: mikroskopische Darstellung der stirnseitige Klebefuge (oben), Ausbildung der „Kehlnaht" (unten, rechts)

Die dreischichtig aufgebaute Platte besteht aus einer zellenartig aufgebauten Vollholzmittelschicht mit zwei Decklagen. Die Decklagen sind variabel, je nach Anwendungsbereich. Diese können z.B. Dünnspan, Massivholz, Sperrholz, Kunststoff, Faserplatten, etc. sein. Die Mittellage wird aus Seitenware oder auch schlechter Hauptware erzeugt, die einseitig eingesägt zu stehenden Lammellenkämmen verarbeitet werden. Die Bretter der Mittelschicht sind um 45° geneigt, wodurch die Produktion vereinfacht wird, ohne die Festigkeit zu reduzieren. Dazu sind sämtliche Holzarten (Nadel- oder Laubholz) geeignet, hauptsächlich wird jedoch auf Grund der besten Marktverfügbarkeit Fichte verwendet.

Durch diese Verarbeitung erfährt der eingesetzte Rohstoff Holz eine höhere Wertschöpfung zu einem innovativem Hightech Werkstoff.

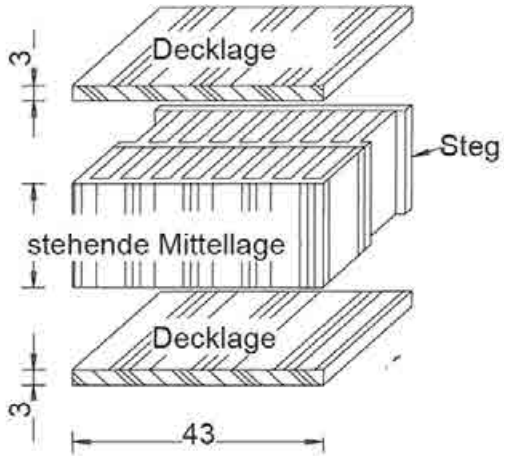


Abb. 4: Schema der einzelnen Lagen

Abb. 5: DendroLight

Auch Holzfehler, wie Bux, Bläue, Braunfäule (nagelfest), Astigkeit der Rohware können ohne Probleme verarbeitet werden. Die Innovation liegt in der Anordnung der Mittellage und in der Idee, aus einem Sägenebenprodukt (Seitenware) einen hochwertigen Hightech Baustoff für zahlreiche Verwendungsmöglichkeiten zu produzieren. Bei der Produktion der Mittellage fallen zusätzlich noch ca. 50 % des Rohstoffeinsatzes als Reststoff – trockene Sägespäne an. Diese können stofflich (z.B. Spanplatte, Pellets oder Brickets) oder thermisch (z.B. Energie und Strom) verwertet werden. Eine Innovation nach dem Prinzip der Kreislaufwirtschaft.

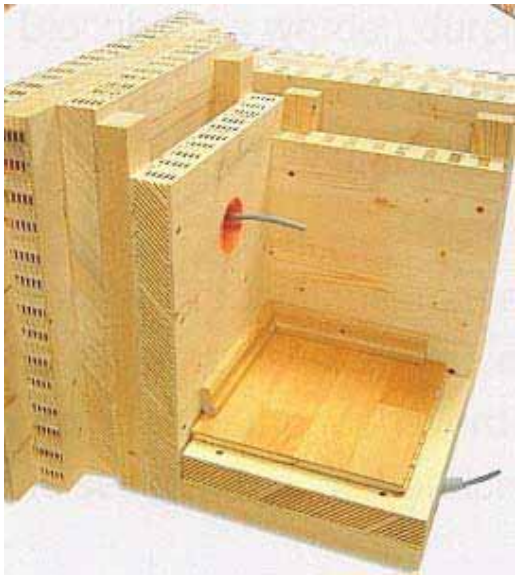


Abb. 6: fertiges DendroLight - Bauelement

2 Eigenschaften

Durch den verleimten Aufbau der DendroLight Platten sind diese ebenso verarbeitbar wie Massivholz (sägen, nagelbar, schraubbar) und weisen auch bei wechselnden Klimaverhältnissen eine hohe Dimensionsstabilität auf.

2.1 Festigkeit

Die DendroLight- Platten zeigen sehr gute Festigkeitseigenschaften, die vergleichbar mit Sperrholz sind. Die Biegesteifigkeit liegt mit 8000 N/mm² im Bereich von Sperrholz und auch die Biegefestigkeit von 28 N/mm² ist vergleichbar mit C24 Brettschichtlamellen.

Durch die spezielle Konstruktion der Mittellage ist eine sehr hohe Energieaufnahme möglich, was das Bruchverhalten der Platten stark verbessert.

Die Querzugsfestigkeit beträgt ca. 2,5 N/mm² (4- bis 5-mal soviel wie Spanplatte), die Schubfestigkeit liegt im Bereich einer OSB oder Sperrholz-

platte, wobei eine DendroLight Platte eine deutlich geringere Dichte (ca. 250 – 300 kg/m³ - was 40 – 50 % einer massiven Fichte bzw. ca. 45 % von OSB oder Sperrholz entspricht) besitzt. Das sehr gute Schubverhalten zeigt, dass die stirnseitige Verklebung moderner Kleber deutlich leistungsfähiger ist, als angenommen. Zudem ist der Klebstoffanteil ist mit < 4 % deutlich geringer als bei vielen anderen Holzwerkstoffen.

Kriechversuche über mehrere Monaten zeigten, analog zu Massivholz, sehr gute Kriecheigenschaften.

2.2 Bauphysikalische Eigenschaften

Durch die geringere Dichte ergibt sich im Vergleich zu massiven Werkstoffen eine sehr gute Wärmedämmung. und

Auch die Brandbeständigkeit der DendroLight Platten ist sehr gut. Bei einer Plattendicke von 50 mm wird bereits ohne Brandschutzmittel die Feuerwiderstandsklasse F30 erreicht, mit Brandschutzmittel sogar F60. Durch den Hohlkammeraufbau ist das einbringen von Brandschutzmitteln oder auch Fungiziden einfach möglich.

3 Anwendungen

Bei der innovativen Mittellage können unterschiedliche Decklagen verwendet werden. Ob Massivholz, Spanplatte, Faser-, Sperrholz oder auch andere Materialien wie Glas und Metall. Diese Variabilität öffnet ein weites Spektrum der Anwendung.

Anwendungsbereiche sind zum Beispiel:

- Möbelbau, Regalsysteme, Palettenlager:
  Gewichtsersparnis (ca. 1/3 von Spanplatte), Reduktion von Transportkosten, Einsatzmöglichkeiten im Do- it- yourself Bereich.
- Innenausbau, Türen, Wandelemente, Deckenelemente, Fußbodenkonstruktionen:
  geringes Gewicht, hohe Wärmedämmung, guter Brandwiderstand, hohe Energieaufnahme bei Zerstörung
- Fahrzeugbau (Zug/LKW), Schiffsbau:
  gute Wärmedämmung, geringes Gewicht, hohe Energieaufnahme bei Zerstörung, gute Witterungsbeständigkeit und hohe mechanische Kennwerte
- Tragende Bauteile, Fertigteilhaus, Wandelemente:
  gute Dauerstandfestigkeiten, sehr gute Festigkeiten, guter Brandwiderstand und hohe Wärmedämmung

4 DendroLight für den Einsatz in Katastrophengebieten

Zahlreiche Katastrophenfälle in den letzten Jahren haben die dringende Notwendigkeit von rasch, sicher, billig, und einfach zu errichtenden Gebäuden und Wohneinheiten gezeigt. Dies zeigt auch die aktuelle Auseinandersetzung der Holzforschung mit dieser Thematik.

Die Errichtung von Gebäuden in herkömmlicher Bauweise (Stein, Ziegel, Beton, Holz) beinhalten hohe Kosten und große logistische Probleme.

Abb. 7

Ziel der zu entwickelnden Bauelemente war eine einfache Logistik, geringe Produktionskosten und sehr kurze Produktionsdauer sowie die Möglichkeit der Lagerung von zerlegten Einheiten. Außerdem sollte durch ein geringes Gewicht der gesamten Einheit sowie der Einzelteile (max. 120 kg pro Element), und die Montage von Hand ohne Montagegeräte auch durch ungelernte Kräfte eine Möglichkeit geschaffen werden, innerhalb

weniger Stunden Notunterkünfte zu errichten. Durch eine hohe Dauerhaftigkeit, gute Wärmedämmung, einfache Bearbeitbarkeit, Erdbebensicherheit und Klimabeständigkeit sind die Elemente universell einsetzbar.

4.1 Mobile Emergency Unit – Grundeinheiten

Die Mobile Emergency Unit (MEU) besteht aus einer 20 m² Wohn- bzw. Grundeinheit mit 2,60 m Raumhöhe (Gesamthöhe inkl. Dach 3,80 m) die beliebig erweiterbar ist (jeweils in Schritten von 20 m²). Die Elemente ermöglichen eine weitgehend variable Innen- und Außengestaltung (Fensterdurchbrüche, Türen, Innenwände).

Durch das geringe Verpackungsvolumen (<10 m³) und ein Gesamtgewicht der MEU von ca. 2,5t, inkl. der Fundamente (die gesamte Gebäudeeinheit ruht auf 9 Porenbeton-Steinen) und Bodenverankerung, ist es möglich, 6 Grundeinheiten in einem EURO-Normkontainer zu transportieren.

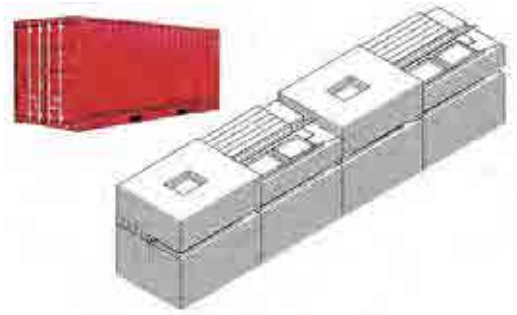


Abb. 8: Transport

Die 20 m² große Gebäudeeinheit (4x5m) besteht aus 2,60 x 2,05 m großen Grundelementen aus 75 mm starken DendroLight- Platten. So ergeben sich ca. 105 m² Platten pro Gebäudeeinheit. Durch die Produktion aus Ganzplattenformaten (5,6 x 2,1 m) entsteht ein minimaler Verschnitt. Insgesamt besteht die Konstruktion (exkl. Kleinteile) aus ca. 110 Einzelteilen.

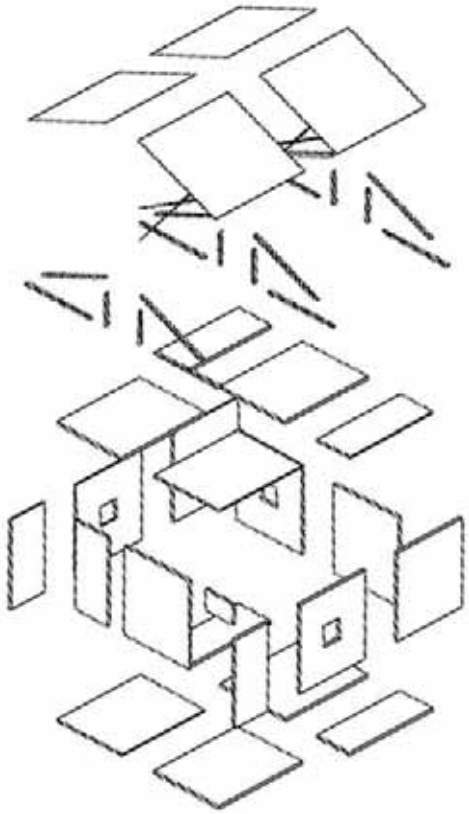


Abb. 9: Einzelteile für eine Grundeinheit

Eine weitere, geometrisch ausgefallene Bauart von Notunterkünften unter der Verwendung von DendroLight-Massivholzplatten ist mit einer preisgekrönten Arbeit aus dem Studentenwettbewerb „Zukunft Holz“ in Kapitel 1.2 dokumentiert.

9.1 Holzwerkstoffe
Wabenplatten

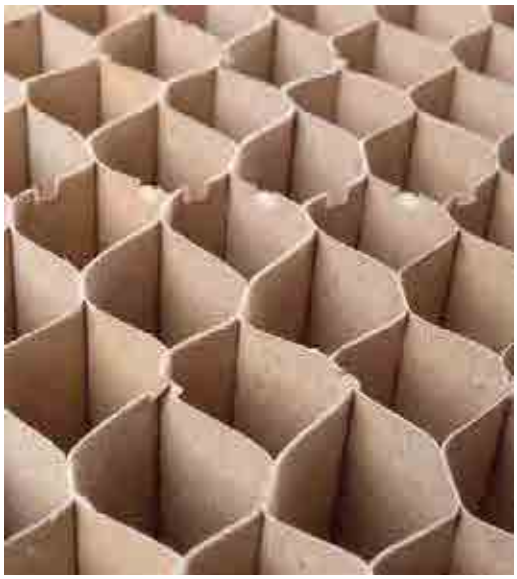


Abb. 1: Papierwabe [1]

1 Allgemeines

Der Leichtbau hat sich als technische Disziplin aus dem Bereich der Luft- und Raumfahrt entwickelt. Aus funktionalen und ökonomischen Gründen muss Gewicht reduziert werden, ohne die Tragfähigkeit, die Steifigkeit oder andere Funktionen der Konstruktion einzuschränken.

Knapper werdende Rohstoffvorkommen und somit auch steigende Preise werden in Zukunft dem Leichtbau als Konstruktionsprinzip zunehmend wirtschaftliche Vorteile einräumen.

Die erhöhte, gesellschaftlich bedingte Mobilität, verlangt nach umzugskompatibel gestalteten Möbeln. Im Bausektor haben leichte Produkte Vorteile hinsichtlich Transport, Verarbeitungsfreundlichkeit und nicht zuletzt statisch z.B. im Bauen im Bestand, wo die mögliche Lasteinleitung in bestehende Gebäude begrenzt ist.

Die Wabenplatte an sich ist keine neue Entwicklung, denn sie wird schon seit Jahrzehnten in der Türenindustrie eingesetzt, und selbst in der Möbelindustrie ist sie noch aus einer Zeit bekannt, als die Spanplatte noch nicht zu ihrem Siegeszug angetreten war. So wurden in den 50er und 60er Jahren Serienmöbel zum Teil nicht mehr aus der sonst üblichen Tischlerplatte gefertigt, sondern aus Sandwichmaterialien. Diese hatten damals schon Papierwabenfüllungen, oder ein hohler Kern wurde durch sporadisch eingesetzte Massivholzleisten unterstützt. Zu der Zeit bestand ein großer Mangel an Baurohstoffen, und die Preise für Holz waren entsprechend hoch. Über die resultierende Materialeinsparung konnten die Kosten gesenkt werden.

Es sind die Mitnahmemöbelhersteller, allen voran IKEA, die die Wabenplatte, kombiniert mit einem internen umlaufenden Rahmen, als so genanntes „Board-on-Frame“-Verfahren für sich wiederentdeckt haben. Neben den geringeren Materialkosten bei großen Materialstärken, den niedrigeren Transport- und Verpackungskosten, spielen hier auch unter ökologischen Aspekten nutzbare Marketingvorteile eine Rolle.

2 Aufbau

Das Konstruktionsprinzip der Wabenplatten entspricht dem eines dreischichtigen Sandwichaufbaus bestehend aus den beiden Decklagen, die paarweise die tragende Struktur bilden und aus entsprechend festem und steifem Material sind, und der Zwischenschicht, dem Kern, der die Aufgabe übernimmt, die Decklagen zu stützen, Querkräfte aufzunehmen und vor allem mit hohem spezifischen Volumen und kleinem spezifischen Gewicht für einen großen Abstand der Decklagen zu sorgen.

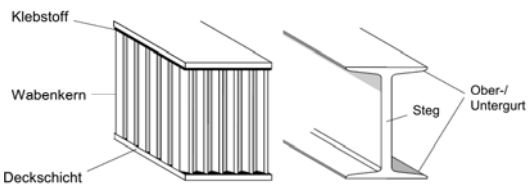


Abb. 2: Vergleich Wabenplatte mit T-Träger [2]

Eine Sandwichstruktur wirkt statisch wie ein Doppel-T-Träger. Die Deckschichten entsprechen den Gurten, sie übertragen die unter Biegebeanspruchung auftretenden Zug- und Druckspannungen. Die Kernschicht nimmt, entsprechend dem Steg des Doppel-T-Trägers, die Schubbeanspruchungen und die Biegequerkräfte auf. Damit werden in einer Sandwichbauweise verschiedene Materialien nach ihren spezifischen Eigenschaften sinnvoll kombiniert.

Das Spektrum der Anwendungen, in denen Wabenplatten zum Einsatz kommen, ist vielfältig. Dementsprechend groß ist die Bandbreite der Materialien und Zellstrukturen, die den Wabenkern bilden. Die Form der Zellen muss dabei nicht unbedingt an die von Bienen angelegten Honig-Waben erinnern. Die Zellen können quadratisch, rechteckig, dreieckig, gewellt oder sogar rund sein, bilden aber immer eine Fläche aus sich wiederholenden, identischen Strukturen. Als Materialien kommen je nach Einsatzort und Beanspruchung Metalle, Kunststoffe, Keramiken oder Papier zum Einsatz.

2.1 Deckschicht

Als Decklagen für Wabenplatten kommen verschiedene Materialien zum Einsatz. Je nach Zweck und Belastung der Platten reicht die Spanne von plattenförmigen dünnen Holzwerkstoffen, Furnieren, dicken Papierlagen bis hin zu HPL-Dekorlaminaten. Die meisten Wabenplatten sind mit dünnen Holzwerkstoffen als Decklagen versehen. Waren es in den Anfängen der Wabenplatten in den dreißiger Jahren des letzten Jahrhunderts meist dünne Sperrholzplatten, so sind es heute entweder Dünnspan- oder MDF/HDF-Platten. Als Decklage für Wabenplatten werden sie meist in einem Bereich von 3 mm bis 8 mm Dicke eingesetzt. Entscheidend für die Auswahl des Materials ist die zu erwartende Belastung der Wabenplatte und deren Beschichtung bzw. Oberflächenbehandlung.

Die Decklagen bedingen mit ihren Festigkeiten die Eigenschaften der Wabenplatte. Bei geringen Decklagenstärken kommt es auf ein optimales Zusammenspiel zwischen Wabenkern und Decklagen an. Je geringer die Festigkeiten der Decklagen, desto größer muss die Unterstützung durch die Waben sein. Da Wabenplatten im Möbelbau meist weitmaschige Wabenkerne besitzen, müssen die Decklagen ein Mindestmaß an Biege- und Stoßfestigkeit besitzen, um die geringe Unterstützung der Waben auszugleichen. Im Hinblick auf Verankerung von Verbindungselementen und Beschlägen ist eine hohe Querzugfestigkeit des Decklagenmaterials von großer Wichtigkeit.

Bei den derzeit eingesetzten Wabenplatten für den Möbelbau wird in der Regel nur noch zwischen Dünnspannplatten und HDF/MDF-Platten ausgewählt. Dabei werden alle Wabenplatten, die direkt lackiert werden aus HDF/MDF-Platten hergestellt. Wabenplatten, die mit Furnier, HPL oder Folien beschichtet werden, können auch, bei leichter Abnahme der Festigkeiten, aus Dünnspanplatten produziert werden. Vorteil ist dann der geringere Preis. Bei statisch nicht belasteten Bauteilen wie Türfüllungen oder Verkleidungen können die Waben auch direkt mit HPL- Dekorschichtstoffen oder starken Papieren beschichtet werden.

2.2 Wabenkern

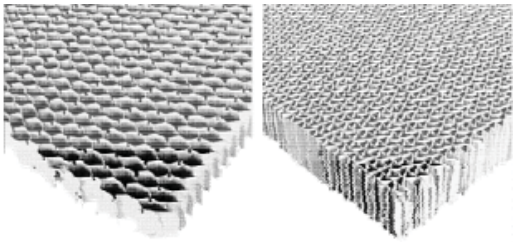


Abb. 3: Endlos-Honigwaben (Honicel) (links), Wellstegeinlage (SWAP) (rechts) [2]

Im Bereich der Wabenkerne gibt es zahlreiche Materialien und Strukturen, die im Laufe der Zeit

entwickelt wurden. Das erste Patent zur Herstellung von Kraftpapier-Waben ist das Budwig Patent, das 1905 in Deutschland angemeldet wurde. In den dreißiger Jahren wurden einfache Papierwaben erstmals in Möbeln eingesetzt, die dort mit dünnen Sperrhölzern oder Furnieren beplankt waren. Erst nach dem zweiten Weltkrieg folgte die Entwicklung von Wabenmaterialien aus Aluminium und Kunstoffen, die dann vornehmlich in der Luft- und Raumfahrt eingesetzt wurden. Für Anwendungen in der Möbelindustrie kommt abgesehen von Spezialanwendungen weiterhin nur Papier als Wabenmaterial zum Einsatz. Im Bereich der Papierwaben gibt es zwei verschiedene Systeme, die sich bezüglich ihrer Herstellung als auch ihrer Eigenschaften stark unterscheiden. Es ist einmal die aus Zimmertüren seit Jahrzehnten bekannte Endlos-Wabe mit klassischer hexagonaler Zellform sowie die Wellstegeinlagen mit einer sinusförmigen Wabe.

Herstellung Wellstegeinlage

Die Wellstegeinlage wird aus einseitig beschichteten Wellpappen hergestellt. Diese bestehen aus der eigentlichen Welle, einer Papierbahn, die mit Hilfe von gezähnten Doppelwalzen ihre charakteristische Welle erhält, und einer Absperrung aus einem hochfesten Liner. Als Papierrohstoff wird Recyclingpapier verwendet. Die einzelnen Pappbögen werden auf der Seite der Absperrung beleimt und dann übereinander angeordnet und zu einem Block verpresst. Von diesem Block können dann die Wellstegeinlagen in der gewünschten Stärke vom Stirnende her abgetrennt werden.

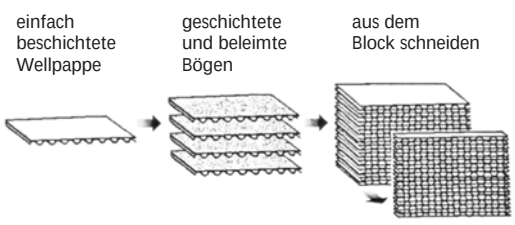


Abb. 4: Herstellung von Wellstegeinlagen [2]

Bei Verwendung von Standard Wellpappen ergibt sich eine Zellgröße von 5 mm. Der führende Hersteller dieser Wellstegeinlagen bietet diese in Formaten bis 3050 mm Länge und 1250 mm Breite an. Die Stärke kann beliebig zwischen 6 bis 95 mm gewählt werden. Bei Verwendung eines Papiers mit 115 g/m², liegt das Gewicht bei ca. 85 g/m² pro Millimeter Dicke.

Außer im Möbelbereich wird dieses Material noch für Displays im Messe-, Laden- und Kulissenbau, als Verpackungsmaterial in Form von Paletten und Schutzbehältern und als Kernmaterial für Verkleidungsteile im Automobilbereich verwendet.

Herstellung Endlos-Honigwaben

Wie die Wellstegeinlage, werden auch die Endlos-Honigwaben aus günstigem Recyclingpapier hergestellt. Dazu wird ein Klebstoff, Wasserglas oder PVAc-Leim in mehreren Linien auf eine Papierbahn aufgebracht. Der Abstand der Klebstofflinien bestimmt dabei die spätere Zellgröße. Anschließend werden mehrere Blätter von dieser Papierbahn versetzt übereinander zu einem Stapel verleimt. Die Stapel werden dann in Streifen geschnitten. Die Streifenbreite entspricht dabei der gewünschten Höhe des Wabenmaterials. Schließlich werden die streifenförmigen Stapel um 90° gedreht und zu einer Endlosmatte miteinander verleimt.

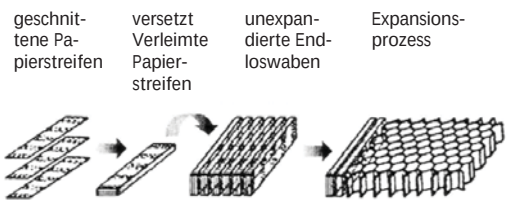


Abb. 5: Herstellung von Endlos-Honigwaben [2]

Die Endloswaben werden in der Regel auf Paletten platzsparend verpackt, so dass sich ca. 30.000 m² Wabenmatte auf einem LKW trans-

portieren lassen. Erst beim Kunden wird die Wabenmatte expandiert, wodurch die typische hexagonale Form der Zellen entsteht. Die expandierte Matte durchläuft dann eine Trockenstufe, in der das Papier auf ca. 3 % Feuchte getrocknet wird. Durch die Wärmeeinwirkung werden Spannungen, die durch das Auseinanderziehen der Waben entstanden sind, abgebaut. Dadurch wird die Wabenmatte in dieser expandierten Form fixiert.

Endlos-Honigwaben sind in verschiedenen Abmessungen und unterschiedlichen Zellweiten zu beziehen. Die minimale Zellgröße und Wabenhöhe liegt dabei gewöhnlich bei 10 mm. Das Verleimen und Schneiden wird bei kleineren Größen zu zeit- und damit kostenaufwändig. Die Stärke des Wabenmaterials kann zwischen 10 mm und 100 mm frei gewählt werden. Zellgröße und Grammatur des Papiers richten sich nach dem Verwendungszweck und der zu erwartenden Belastung. Die Zellweiten liegen zwischen 10 mm und 30 mm und können sowohl aus 140 g/m², als auch 170 g/m² schwerem Papier hergestellt werden. Für jeden Wabentyp ergeben sich damit unterschiedliche Festigkeiten und auch Raumgewichte. Für waagerecht angeordnete Möbelteile werden Zellweiten von 15 mm bis 21 mm empfohlen, für stehende Teile Zellweiten von 25 mm bis 30 mm (Honicel).

Für Wabenplatten mit internem Rahmen werden ausschließlich Endlos-Honig-Waben eingesetzt. Sie haben verglichen mit Wellstegeinlagen entscheidende Vorteile beim Preis, sind aufgrund ihrer größeren Zellgrößen wesentlich leichter und die Transportkosten sind geringer.

3 Klebstoffe

Der Klebstoff dient dazu, Decklagen und Kernschicht schub- und zugfest miteinander zu verbinden. Die hauptsächlich auf Abreißen gefährdete Verbindung zwischen Wabenkern und Decklagen verlangt einen Klebstoff, der in der Lage ist, Kehlnähte auszubilden.

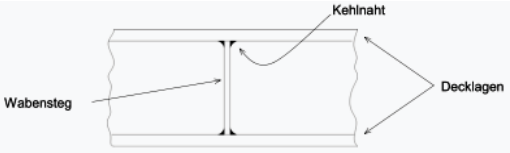


Abb. 6: Ausbildung einer Kehlnaht [2]

Kommt es nicht zur Ausbildung einer Kehlnaht, besteht die Klebefläche einzig aus der geringen Oberfläche des Wabensteges. Aus diesem Grund werden in vielen Fällen die Waben an ihrer Oberfläche aufgeraut bzw. gestaucht, um die effektive Fläche zu vergrößern. Problematisch bei der Verleimung zum Sandwich ist immer die Klebeverbindung zur oberen Decklage. Die Viskosität des Klebstoffs darf nicht zu gering sein, andernfalls läuft er durch die Schwerkraft an den Wabenstegen hinab und steht der Verklebung nicht mehr zur Verfügung. Für die Herstellung von Wabenplatten im Möbelbau werden in den meisten Fällen einer der drei Klebstoffarten eingesetzt:

- Dispersionsklebstoffe, z.B. Polyvinylacetat (PVAc)
- Polykondensationsklebstoffe, z.B. Harnstoff-Formaldehydharz-Klebstoffe (UF)
- Polyadditionsklebstoffe, reaktive Polyurethan-Schmelzklebstoffe (PUR).

Die Beleimung kann je nach verwendetem Leim ganz unterschiedlich gestaltet sein. Herkömmliche Anlagen arbeiten mit PVAc-Leimen oder UF-Harzen. In diesem Fall werden die Decklagen beleimt. Der Leimauftrag geschieht in der Regel durch Walzenauftragsmaschinen. Bei Einsatz von PUR-Hotmelts in modernen hochautomatisierten Anlagen, wird der Klebstoff direkt auf die Wabenmatte aufgegeben, entweder durch einen Walzen- oder Düsenauftrag. [2]

4 Bekantung von Leichtbauplatten

Mit dem weichen Kern stellen Wabenplatten hohe Anforderungen an die Bekantung, da verhindert werden muss, dass die aufgebrachten Kanten eingedrückt werden können.

4.1 Wabenplatten mit Riegel

Abb. 8: Nachträglich eingeleimter Riegel [3]

Es werden zwei Varianten unterschieden. Einleimung des Riegels bei der Plattenherstellung und das nachträgliche Einleimen von Riegeln nach der Konfektionierung. Alle Arten von Kanten können aufgebracht werden. Dieses Verfahren ist zurzeit im Möbelbau gebräuchlich und wirtschaftlich. Ab einer Wabenplattendicke von ca. 25 mm – 30mm in Verbindung mit einer Deckschichtstärke von 4 mm (Spanplatte), ist die Wabenplatte ökonomisch konkurrenzfähig mit einer entsprechenden Vollspanplatte.

4.2 Dickkante

Abb. 9: Dickkante bei riegellosen Platten [3]

Riegellose Wabenplatten mit einer Deckschichtstärke von 8 mm können direkt und ohne zusätzliche Unterstützung mit Dickkanten ab 2 mm Stärke auf Standardmaschinen aufgebracht werden. Alternativ ist eine Stützkante möglich. Eine ausreichende Stabilität ist bei Wabenplatten bis 100 mm Stärke gegeben.

4.3 Stützkante

Abb. 9: Stützkante bei riegellosen Platten [3]

Bei Deckschichten $\leq$ 4 mm sind weitere unterstützende Maßnahmen für die Bekantung notwendig. Das Einleimen einer Stützkante erhöht die Belastbarkeit der Kante und ermöglicht den Einsatz von Dekorkanten $\leq$ 0,5 mm. Es sind automatisierte Fertigungsverfahren anwendbar, welche Stützkante und Dekorkante in einem Arbeitsschritt aufbringen. Max. Plattenstärke je nach Verfahren zwischen 60 mm und 100 mm.

4.4 Extruderkante

Abb. 10: Extruderkante, EXKA Verfahren [3]

Bei diesem Verfahren der Homag AG wird ein Kunststoffgranulat in den Hohlraum eingebracht. Anschließend wird die Kante plangefräst. Dieses Verfahren ist auch bei Aluminiumdeckschichten anwendbar und erzeugt eine mechanisch hoch beanspruchbare Kante ohne Stoßfuge.

5 Verbindungstechnik

Essentielle Bedeutung im Bereich der Leichtbauplatten hat die Beschlags- und Verbindungstechnik. Speziell bei riegellosen Platten und abnehmenden Deckschichtstärken funktionieren die aus der Möbelkonstruktion mit Vollspanplatten bekannten Verbindungstechniken nicht mehr. Inzwischen stehen, ob mit oder ohne Riegel und

für unterschiedliche Deckschichtstärken, entsprechende Verbindungsmittel zur Verfügung.

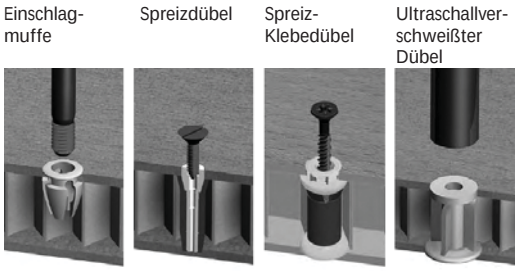


Abb. 11: Dübelarten [3]

5.1 Platten mit Riegel

Bei Leichtbauplatten mit Riegeln werden Standardbeschläge und Standardverbindungsmittel verwendet. Die Lage der Beschläge wird durch die Riegel vorgegeben und muss somit bei der Konfektion berücksichtigt werden. Verbindungstechnisch ist dieser Typ von der Möbelindustrie einfach zu handhaben, da hier auch Nuten (z.B. für Schrankrückwände) eingefräst werden können. Die Verbindungsmittel sind kostengünstig und schnell zu verarbeiten und entsprechen dem gängigen Standard.

5.2 Riegellose Platten, Deckschicht 8 mm

Bei Deckschichtstärken von 8 mm können ebenfalls Standardbeschläge eingesetzt werden. Die Festigkeit ist abhängig von der Verklebung zwischen Deckschicht und Wabe bzw. der Festigkeit der Deckschicht, da die Beschläge hier nur in einer Schicht befestigt werden. Allen riegellosen Platten gemein ist der Vorteil der konstruktionsunabhängigen und somit freien Positionierung der allerdings aufwändigeren Verbindungen und Beschläge.

5.3 Riegellose Platten, Deckschicht 4 mm

Für Verbindungen mit geringen Belastungen sind Einschlagmuffen erhältlich, die lediglich in einer Deckschicht befestigt werden. Für höhere Belastungen werden Spreiz- und Klebedübel verwendet, welche eine Verbindung zwischen beiden Deckschichten herstellen und somit höhere Auszugsfestigkeiten gewährleisten. Die Belastungsgrenze dieser Dübelsysteme ist mit denen von Direktbefestigungsschrauben in Vollspanplatten vergleichbar.

5.4 Riegellose Platten, Deckschicht < 4 mm

Beide Deckschichten müssen benutzt werden. Beim Einsatz von Klebedübeln gelangt der Klebstoff an die obere und untere Deckschicht und verbindet beide zu einer stabilen Konstruktion, die sowohl Zug- als auch Druckkräfte aufnehmen kann. Der von der Firma Hettich entwickelte hettinject Dübel ist für Deckschichtstärken bis 1,5 mm geprüft.

Eine weitere Verbindungsmöglichkeit ist das WoodWelding©, bei dem Kunststoffmuffen mittels Ultraschall mit der Leichtbauplatte verschweißt werden. Geeignet für Deckschichten ab 3mm.

Tab. 1: maschinelle Verarbeitungsmöglichkeiten der Befestigungsmittel in Wabenplatten

Beschlagbefestigungssarten	manuell	maschinell
Konventionelle Befestigungsmittel, Platten mit Riegel	X	X
Modifizierte Beschläge mit Spezialschrauben	X	X
Spreizdübel (Einschlagmuffen)	X	-
Spreizdübel	X	X
Spreiz- / Klebedübel	X	X
Klebedübel	X	X
Ultraschallverschweißter Dübel	-	X

Quellen

[1] EGGER Holzwerkstoffe GmbH & Co. KG
[2] Wabenplatten für den Möbelbau, 2005, Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft + Universität Hamburg Zentrum Holzwirtschaft, Jan Poppensieker, Heiko Thömen
[3] HOMAG Holzbearbeitungssysteme AG, 72296 Schopfloch, www.homag.de

9.2 Verbundkonstruktionen, Materialkombinationen
Konzepte für textile Bewehrungen in der Holzkonstruktion

Peer Haller

1 Allgemein

Dieser Beitrag betrachtet zunächst die Entwicklung von Holzkonstruktionen als Ergebnis des gesellschaftlichen und technologischen Wandels und greift die Nachteile von Holz wie Anisotropie, Verbinden und Dauerhaftigkeit auf.

Technische Fasern und Textilien stellen eine universelle Technologie dar, mit der diese Nachteile in tragenden Anwendungen beseitigt werden können.

Querzug- und Schubfestigkeit des Holzes sind sehr gering. Es werden form- und beanspruchungsgerechte Textilien zur Bewehrung in verschiedenen konstruktiven Kontexten untersucht. Ein besonderer Schwerpunkt liegt auf der Materialeffizienz, die bei der Transformation des Stammholzes in tragende Querschnitte verloren geht. Es wird gezeigt, dass der Verschnitt im Sägewerk und die im Holzbau vorherrschenden Vollquerschnitte im Gegensatz zu Profilen einen hohen Holzverbrauch bedingen. Ein neues Konzept, welches Holz als zelluläres Material auffasst, das in einem thermo-hygromechanischen Prozess die Formung abwickelbarer Profile aus massiven Holzplatten ermöglicht, führt zu deutlichen Materialeinsparungen.

2 Einführung

Holz ist der älteste Baustoff. Abbildung 1 zeigt seine Entwicklung an Hand herausragender Holzkonstruktionen über einen kurzen Zeitraum von etwa 250 Jahren. Obgleich der Bau- und Werkstoff Holz über die betrachtete Zeit unverändert bleibt, hat sich die Konstruktion vom Zimmererhandwerk zum heutigen Ingenieurholzbau in hohem Maße verändert. Zwei Kräfte bewirken diese Veränderung. Einerseits ist sie durch die Werkzeuge und Methoden der Ausführung bestimmt, andererseits treten im Laufe der Zeit neue bauliche Herausforderungen in Erscheinung, welche die Ansprüche und Anforderungen an die Konstruktion verändern.

Abb. 1: Entwicklung der Holzkonstruktion seit 1750 (Jahreszahlen auf die Dekade gerundet)

Der schweizerische Zimmermann Ulrich Grubenmann [1] erbaute im Jahr 1756 eine Brücke aus Kantholz über den Rhein bei Schaffhausen. Mit einfachen Werkzeugen und wenig Verbindungsmitteln aus Eisen konnte die Konstruktion gefertigt und gefügt werden. Der Amerikaner Thompson S. Brown entwarf etwa ein Jahrhundert später die Erie-Cascade- Eisenbahnbrücke. Die Form der Brücke ist nun stark verändert, bedingt durch die Fortschritte bei der Berechnung des Bogens. Howard Hughes musste sich mit dem Bau eines Großflugzeuges neuen Herausforderungen stellen, was nur mit Hilfe geeigneter Kleber gelang, und das elegante Schalendach der EXPO-Weltausstellung im Jahre 2000 in Hannover schließlich hätte ohne den Einsatz von Computern zum Berechnen, Zeichnen und Darstellen nicht realisiert werden können [3], [4]. Vor dem Hintergrund dieser Entwicklung kann ein Ende dieses Entwicklungsprozesses kaum in ernst zunehmender Weise angezweifelt werden. Die treibenden Kräfte - Technologie, Wissen und neue Anforderungen - wirken nach wie vor, ja im Gegenteil, die technologischen Neuerungen und die Anforderungen, die das Bauen an die heutige Zeit stellt, sind um-

fangreicher denn je und bergen Keime der Innovation. Eine Prognose des Bauens mit Holz ist schwer zu formulieren. Es scheint jedoch, dass heutiges Bauen in immer stärkerem Maße vom Gedanken der Nachhaltigkeit in einer globalen Weltwirtschaft bestimmt wird, in der Rohstoffe und fossile Energien begrenzt sind. Das Wachstum der Bevölkerung, ökonomische Ungleichheit zwischen Industrie- und Entwicklungsländern und der Ausstoß von Treibhausgasen wie Kohlendioxid, die eine Erwärmung der Atmosphäre wahrscheinlich machen, bilden den sozio-ökonomischen Handlungsrahmen der Politik. Daher müssen Forschung und Entwicklung nach neue Ansätzen in diesem Szenario suchen, in denen Wald und Innovation eine wachsende Bedeutung zukommt.

3 Wald und nachwachsende Rohstoffe für eine nachhaltige Entwicklung

Wälder stellen eine Ressource dar, deren jährliches Stoffaufkommen weltweit dasjenige der Industrie übertrifft. Die gesamte Biomasse wird auf etwa 50 Mia Tonnen pro Jahr geschätzt, die zum überwiegenden Teil in Wäldern in Form von Wurzeln, Stämmen, Ästen und Blattwerk produziert wird [5]. Darüber hinaus besteht durch seine chemische Zusammensetzung über die Photosynthese ein Bezug zum Treibhausgas Kohlendioxid. Die Voraussetzung hierfür, Wasser und Sonne, steht auch kommenden Generationen reichlich zur Verfügung. Wälder und Holzprodukte stellen eine globale Senke für Kohlendioxid dar, welches der Baum vorher der Atmosphäre entzogen hat, und das wiederum nach der Verrottung bzw. Entsorgung freigesetzt wird, so dass die Gesamtbilanz neutral ist. Wälder sind nicht nur einer der größten, sondern auch einer der billigsten Stoffproduzenten der Erde, und es ist schwer einzusehen, dass ein Rohstoff, der auf etwa einem Drittel der Fläche der Erde mit Hilfe von Sonnenenergie nachwächst, von Materialien preislich unterboten werden kann, zu deren Herstellung sehr viel Kapital und Energie aus fossilen Rohstoffen benötigt wird. Ein wesentlicher Grund hierfür ist, dass der Wald nicht als Stoff- sondern als Querschnittsproduzent betrachtet wird. Dieser Aspekt wird später noch genauer beleuchtet.

Darüber hinaus müssen die wesentlichen Nachteile des Baustoffes Holz benannt werden, die der technischen Verwendung entgegenstehen und Vorschläge gemacht werden, in welcher Weise diese behoben werden können. Insbesondere handelt es sich dabei um:

1. Das geringe Festigkeitsspektrum im Vergleich zu anderen Strukturwerkstoffen.
2. Die Richtungsabhängigkeit oder Anisotropie
3. Die geringe Dauerhaftigkeit bewitterter Bauteile.

4 Festigkeit von Holz und Pressholz

Festigkeit und Steifigkeit spielen eine herausragende Rolle bei tragenden Anwendungen. Um den Anforderungen an tragende Baustoffe gerecht zu werden, wird die Festigkeit von Holz für bautechnische Anwendungen apparativ sortiert. In der Tat zeigen Rund- und Schnittholz ungefähr einen Faktor von 5 und 2 bezüglich der Festigkeit beziehungsweise der Steifigkeit.

Verglichen mit anderen Baustoffen weisen die Festigkeitsklassen von Schnitt- und Brettschichtholz ein Verhältnis von 1,7 zwischen der höchsten und der geringsten Klasse auf mit einer Stufung von etwa 1,3.

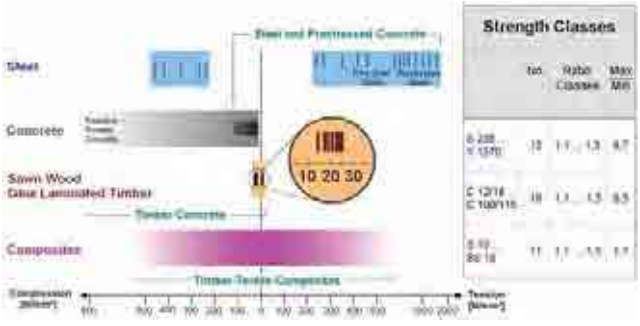


Abb. 2: Festigkeitsklassen von Baustoffen

Untersuchungen zur Holzqualität belegen, dass Festigkeit und Steifigkeit längs zur Faser entscheidend von der Dichte abhängen. Die Unterschiede zwischen einzelnen Holzarten – etwa Balsa verglichen mit Tropenholz oder der reinen Zellwand – belaufen sich auf etwa eine Zehnerpotenz. Die Sortierung von Nadelholz erfolgt in einem schmalen Bereich zwischen 380 und 500 kg/m³. Der Vergleich von Bauholz mit faserparallelem, astfreiem Holz fördert nochmals einen Faktor 2 – 3 zutage, so dass das Festigkeitspotenzial reichlich mehr als eine Zehnerpotenz beträgt.

Es ist allgemein bekannt, dass Holz, insbesondere Laubholz, bei etwa 140°C einer Verdichtung quer zur Faser unterzogen werden kann [8]. Heute wird zum Beispiel Kunstharzpressholz in geringen Mengen aus Furnieren für technische Anwendungen wie etwa elektrischen Anlagen oder dem Transport hergestellt. Voraussetzung hierfür ist das poröse Zellgefüge, das mit einem Druck von etwa 5 MPa zusammengepresst werden kann, nachdem das Lignin thermisch erweicht wurde.

Beim Pressen erhöhen sich Festigkeit und Steifigkeit proportional zur Dichte; grob gesprochen um einen Faktor 2 - 3 für heimisches Nadelholz (Abb. 3 und 4) [9].

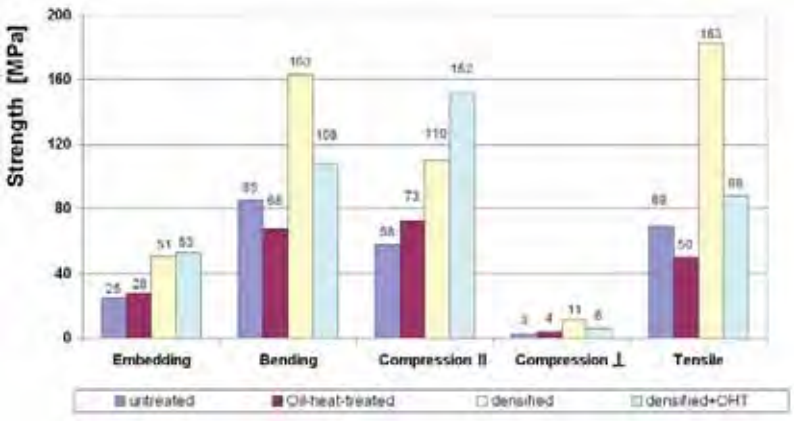


Abb. 3: Festigkeit von Fichte und verdichteter Fichte und Öl-Hitze-Behandlung

Abb. 4: Nadelschnittholz (oben links), gleicher Querschnitt verdichtet (oben rechts bzw. unten)

Abbildung 3 fasst die Festigkeiten des Fichtepressholzes zusammen, welches optional noch ölhitzebehandelt werden kann, um es gegenüber Verrottung dauerhaft zu schützen [10]. Verdichtung in Querrichtung behält die Anisotropie bei und verstärkt den Grad der Richtungsabhängigkeit sogar. Die konstruktiv wichtige Querdruckfestigkeit profitiert in hohem Maße von der Verdichtung.

5 Vorbetrachtungen über Holzquerschnitte

Neben den mechanischen Eigenschaften des Holzes ist die strukturelle und wirtschaftliche Leistungsfähigkeit des Querschnittes wichtig, dessen Herstellung durch traditionelle Bearbeitungsverfahren bestimmt wird [11].

Strukturbauteile übertragen Kräfte und Momente unter Berücksichtigung der Gebrauchstauglichkeit. Dies erfolgt durch ein Produkt aus zwei Faktoren: der Festigkeit, die linear in die Berechnung eingeht und der Geometrie, die sich in der Potenz auswirkt. Auf diese Weise kann die Bemessung tragender Bauteile durch die Vergrößerung des Querschnittes weit wirkungsvoller erfolgen als durch die Wahl einer höheren Festigkeitsklasse.

Standardisierte Querschnitte aus Metall und Kunststoff erzielen hohe Flächenmomente bei geringem Flächeninhalt, was eine sparsame Verwendung des Materials bedeutet. Das Selbstverständnis des runden und rechteckigen Vollquer-

schnitts verstellt den Blick auf dessen geringe Materialeffizienz. In dieser Hinsicht zeigt der Vergleich zwischen Holzquerschnitten mit technischen Profilen ein Verhältnis von 1:15, das sich einerseits aus den Verlusten im Sägewerk und andererseits durch das geringe Flächenmoment des Vollquerschnitts gegenüber dem Profil zusammensetzt (Abb. 5 und 6).

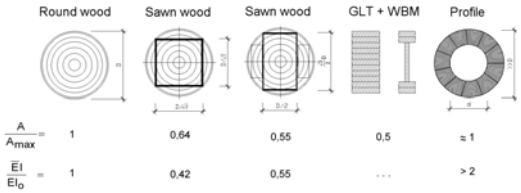


Abb. 5: Vergleich der Flächenmomente und Ausbeute im Sägewerk (A_{max} and EI_o bezogen auf Rohholz, Steigerung der Steifigkeit durch Verdichten berücksichtigt)

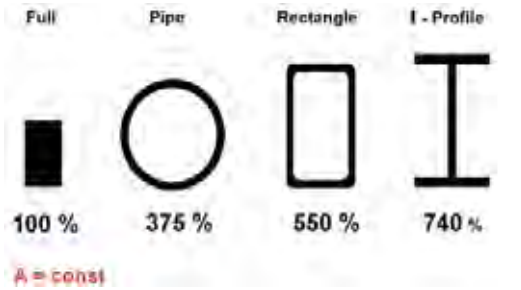


Abb. 6: Vergleich des Flächenmomentes des rechteckigen Vollquerschnitts mit Profilen gleichen Flächeninhalts

Mit anderen Worten, die Wettbewerbsfähigkeit des Rohstoffes ist ausgezeichnet, sie geht jedoch bei der Transformation des Rohholzes in Querschnitte verloren.

Demzufolge muss ein technischer Querschnitt drei Bedingungen erfüllen:

1. Er darf in Längs- und Querrichtung nicht durch die Baummaße begrenzt werden.
2. Er muss effizient sein, das heißt ein großes Flächenmoment bei kleinem Flächeninhalt aufweisen
3. Er muss in einem preiswerten Massenproduktionsverfahren hergestellt werden können.

Schnittholz erfüllt die Bedingung 1 und 2 nicht, Leimholz nicht die Punkte 2 und 3, so dass erst das im Anschluss vorgestellte Formholz (Abb. 7 und 8), welches auf einer neuen Betrachtungsweise des Holzes als zelluläres Material beruht, alle drei Bedingungen erfüllt.

Abb. 7: Formholzring aus verdichtetem Rundholz

Abb. 8: Formholzrohr aus massiver Pressholzplatte

6 Holz als zelluläres Material

Holz sei ein leicht zu bearbeitendes Material ist eine weit verbreitete Meinung. Das Gegenteil trifft jedoch zu! In der Tat kann Holz mit wenig Kraft und Energie leicht gesägt, gehobelt, gefräst und geschliffen werden, die spannende Materialbearbeitung ist aber im Vergleich zu spanlosen Herstelltechnologien wie Walzen, Gießen, Formen, Tiefziehen, Strangpressen etc. weit weniger wirtschaftlich. Voraussetzung für diese Verfahren ist die Verformbarkeit des Materials, die mit Hilfe von Wärme noch gesteigert werden kann. Holz ist sehr spröde bei einer Bruchdehnung von etwa 1%. Sie fällt ein bis zwei Zehnerpotenzen geringer aus als jene von Metallen oder Kunststoffen.

Ist Holz tatsächlich so spröde? Im letzten Abschnitt wurde darauf hingewiesen, dass Holz unter Wärme und Druck um etwa 50 % quer zur Faser verdichtet werden kann, was mit einer Faltung der Zellwände einhergeht. Von nicht geringerer Bedeutung ist die Tatsache, dass die Verdichtung bei geeignetem Prozessregime wieder rückgängig gemacht und fixiert werden kann, so dass unter diesen Bedingungen nunmehr eine Bruchdehnung von 100 % vorhanden ist, was eine Erhöhung um zwei Zehnerpotenzen darstellt. Die Zellstruktur des Holzes fördert eine neue Betrachtungsweise als "schaumstoffartiges" Material, das nun in der Tat leicht bearbeitet werden kann [12]. Nadel- und Laubholz mittlerer Dichte sind gleichermaßen hierzu geeignet.

Heimisches Nadelholz weist ein Porenvolumen von etwa 60 % auf [13]. Ausgehend von diesen Überlegungen wurden am Institut für Stahl- und Holzbau massive Platten aus verdichteter Fichte hergestellt, die danach wiederum unter Wärme und Feuchtigkeit zu Profilen geformt wurden, wobei die Faltung der Zellwände wieder rückgängig gemacht wird (Abb. 9 und 10). Der Krümmungsradius des Profils hängt von der vorherigen Verdichtung ab. Bei einer Verdichtung von 50 % darf die Größe des inneren Krümmungsradius die Wanddicke des Profils nicht unterschreiten. Im Prinzip sind auf diese Weise alle abwickelbaren Formen in beliebiger Länge und Querabmessung herstellbar.

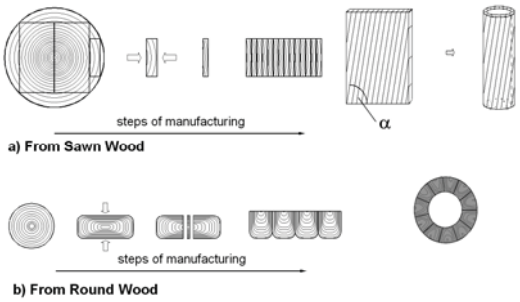


Abb. 9: Herstellung von Formholzrohren aus Rund- und Schnittholz

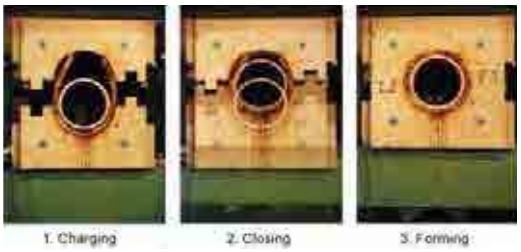


Abb. 10: Herstellung des Formholzrohrs in der Form

Auf diese Weise wird die Ressourcenproduktivität von Holz und damit die Wettbewerbsfähigkeit beträchtlich verbessert. Abbildung 7 zeigt einen Formholzring, der nach diesem Verfahren aus Rundholz hergestellt wurde. Die Ausbeute des Rohholzes beträgt nahezu 100 %. Zusammen mit der effizienten Anordnung im Profil ergeben sich Materialeinsparungen von bis zu 70 %!

7 Holz-Textil-Verbunde

Die Faser ist ein erfolgreiches Prinzip zur Übertragung von Kräften in der Natur, das in der Technik erfolgreich auf Faserverbundwerkstoffe übertragen wurde, deren Festigkeit und Steifigkeit höher als bei legierten Stählen sind bei weniger als einem Drittel des Gewichts [14].

Der hohe Preis zwingt den Konstrukteur zu Material sparender Verwendung. Faserverbundwerkstoffe werden eingesetzt, wo hohe Beanspruchungen bei geringem Gewicht auf kleinem Raum übertragen werden müssen. Trotz wirtschaftlicher Hürden dringen Faserverbundwerkstoffe in das Bauwesen ein, und es ist anzunehmen, dass insbesondere Materialien künftig davon profitieren, die sinnvolle Verbünde mit diesen Werkstoffen eingehen können.

Dieser Verbund schafft Synergien. Das Holz profitiert von den herausragenden mechanischen Eigenschaften und der Dauerhaftigkeit des Komposits sowie der Möglichkeit der beanspruchungsgerechten Orientierung der Fasern; die Faserverbundwerkstoffe gewinnen durch den geringen Preis sowie der Schönheit und Umweltfreundlichkeit des Holzes. Darüber hinaus steift das dicke Formholzrohr die dünne Bewehrung aus und verhindert somit deren Ausbeulen.

Faserverstärkte Laminate werden heute im großen Umfang zur bautechnischen Instandsetzung und Verstärkung verwendet. Wenn man zur besseren Handhabung auf fertige Laminate verzichtet, müssen lose Fäden oder Textilien untereinander zu ebenen oder räumlichen Flächengebilden fixiert werden. Die Herstellung derartiger textiler Strukturen ist Gegenstand der Textiltechnik.

Textilien können hinsichtlich ihrer Struktur eingeteilt werden [15]. Technische Begriffe wie Gewebe, multiaxiales Gelege oder Gestricke kennzeichnen Verlauf und Bindung der Fäden und damit die mechanischen Eigenschaften des Komposites. Um eine hohe Steifigkeit zu erzielen, muss ein gestreckter Faserverlauf angestrebt werden. Gewebe und Gestricke hingegen weisen einen welligen Verlauf von Fäden und Maschen auf.

Die Orientierung der Fasern in biaxial verstärkten Gestricken, Gesticken oder multiaxialen Gelegen erlaubt eine beanspruchungsgerechte Verstärkung. Gelege weisen sich durch hohe Steifigkeit auf, sind jedoch im Gegensatz zu Gestricken nicht drapierbar. Gestricke weisen leicht verschiebliche Maschen auf und haben daher eine gute Drapierbarkeit, so dass diese sich zur Bewehrung räumlicher Strukturen eignen (Abb. 11 und 12). Die Integration gereckter Hochleistungsfäden in die Maschen schafft zusätzliche Steifigkeit, so dass räumliche Gestricke auch zur Verstärkung tragender Anwendungen geeignet sind.

Abb. 11: Dreidimensionale Gestrickverstärkung eines Verbindungsstückes aus gebogener Buche

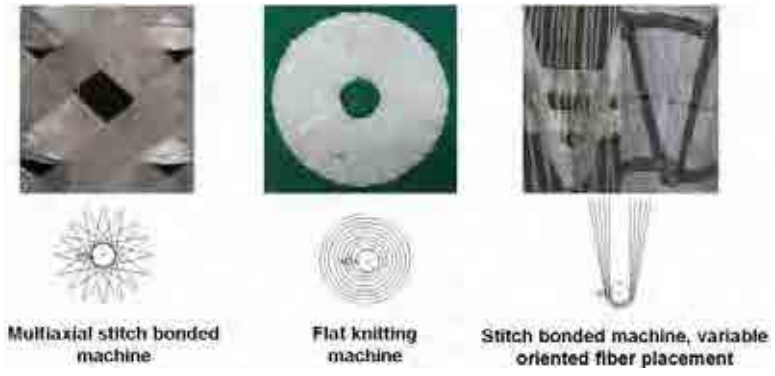


Abb. 12: Beispiele beanspruchungsgerechter Textilien zur Verstärkung stabförmiger Verbindungen

8 Beispiel – Form- und beanspruchungsgerechte Textilien in der Holzkonstruktion

Das Tragverhalten von Holzkonstruktionen wird häufig von der Verbindung bestimmt, deren Verhalten durch Schlupf, Steifigkeit, Traglast und Duktilität gekennzeichnet ist. Leistungsfähigkeit, Wirtschaftlichkeit und ästhetisches Erscheinungsbild von Holzkonstruktionen sind eng mit der Verbindungstechnik verknüpft.

Heutige Holzkonstruktionen verwenden meist stabförmige Verbindungsmittel, welche die Verbindungstechniken des Zimmererhandwerks ersetzt haben.

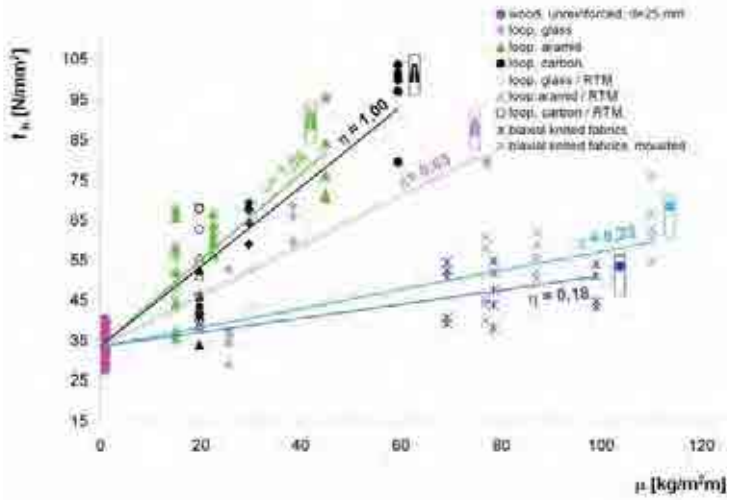


Abb. 13: Lochleibungsfestigkeit von Fichte mit maßgeschneiderten Textilien

Verbindungen von Holz mit stabförmigen Verbindungsmitteln versagen häufig infolge geringer Schub- und Querzugfestigkeit. Das Ergebnis ist ein spröder Bruch bei geringer Traglast. Daher muss die Last durch mehrere Verbindungsmittel übertragen werden unter Einhaltung von Rand-, End-, und Zwischenabständen [7]. Eine weitere Möglichkeit das Tragverhalten der Verbindung zu verbessern, besteht in der Verstärkung des Verbindungsbereiches, wobei die geringe Schub- und Querfestigkeit kompensiert wird. Auf diese Weise sieht sich die Konstruktion der Anisotropie gegenüber, deren Probleme mit Hilfe technischer Fasern und Textilien umfassend gelöst werden können.

Die Ermittlung der Lochleibungsfestigkeit und Bettungssteifigkeit stabförmiger Verbindungsmittel erfolgt in einem Versuch gemäß DIN EN 383. Beide Kennwerte werden in hohem Maße durch die textile Bewehrung günstig beeinflusst.

Beispiele maßgeschneiderter Textilien für stabförmige Verbindungsmittel sind in Abbildung 12 dargestellt. Diese textilen Strukturen wurden mit unterschiedlichen Verfahren der Textiltechnik hergestellt. Der Stern, die Spirale und die Schlaufe eignen sich jeweils in Hinblick auf Kosten, Duktilität und Festigkeit.

Die Lochleibungskennwerte parallel zur Faser wurden an Hand von Proben mit einer Abmessung von 450 x 110 mm und einer Dicke von 10 und 30 mm. Die textilen Bewehrungsstrukturen wurden in Glas, Aramid und Kohle ausgeführt. Die Verhältniszahl μ wurde definiert als textiles Flächengewicht bezogen auf eine Fläche von 310 x 110 mm und die Dicke der Probe. Der Anstieg der Ausgleichsgeraden ausgehend von der Lochleibungsfestigkeit unbewehrter Proben kann in diesem Diagramm als Maß für die Effizienz der Bewehrung betrachtet werden [16] (Abb. 13).

9 Neue Ansätze in der Verbindungstechnik

Der Entwurf von Verbindungen ist untrennbar verknüpft mit der Form des Querschnitts. Das Zimmererhandwerk verfügt über ein umfassendes Repertoire an Verbindungen für Schnittholzquerschnitte, die meist druckbeansprucht sind und bei mäßigen Traglasten spröde versagen.

Leim- und Dübelverbindungen des Ingenieurholzbaus umgehen diese Nachteile. Da der Vollquerschnitt nur eine geringe Oberfläche bezogen auf die Querschnittsfläche aufweist, muss dieses Ver-

hältnis durch zusätzliche Schnitte zur Aufnahme der Stahlbleche vergrößert werden [3].

Die Verwendung von Formholzprofilen, die im vorherigen Abschnitt beschrieben wurden, führt zu anderen Lösungen (Abb. 14). Das große Verhältnis von Oberfläche und Flächeninhalt wirkt sich günstig auf das Verbinden aus. Für Formholzprofile muss ein neues Verbindungskonzept herangezogen werden, das darin bestehen kann, einen massiven Kern in die lichte Weite des Rohres einzuführen, der in der anspruchsvollen Architektur nach dem Vorbild des Möbelbaus aus gebogenem und verleimtem Buchenholz bestehen kann (Abb. 11). Diese Art des Fügens weist Analogien mit Baumverzweigungen auf. Diese haben keine einspringenden Ecken, an denen sich hohe Spannungskonzentrationen ausbilden könnten. Darüber hinaus ist der Querschnittsverlauf dem Biegemoment angepasst; je höher das Moment, desto größer der Querschnitt besonders am Ansatz. Und schließlich ist der Faserverlauf der Beanspruchung optimal angepasst. Dieses Prinzip wird erfolgreich zur Optimierung mechanischer Teile angewandt [17].

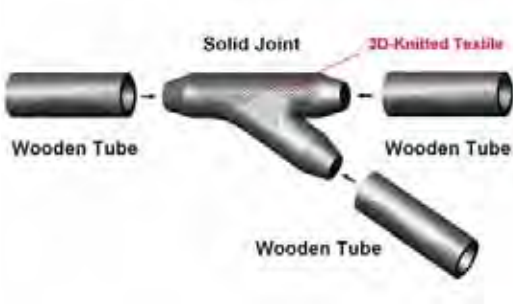


Abb. 14: Verbindungskonzept Formholzrohr-Verbindungsstück aus gebogener Buche

Infolge des Krümmungsradius kann die Verzweigung Querzugspannungen aufweisen. Abb. 11 zeigt die Bewehrung des massiven Verbindungsstückes mit Hilfe räumlicher Gestricke, deren Steifigkeit durch ein- oder biaxiale Verstärkungsfäden oder durch Recken der Maschen erhöht werden kann.

10 Verbundfestigkeit und Dauerhaftigkeit von Holz-Textil-Verbunden

Der Holz-Textil-Verbund erhöht nicht nur Schub- und Querzugfestigkeit sondern schützt das Holz auch gegenüber der Witterung (Abb. 15). Laminat und Verbund mit der Holzoberfläche entstehen durch Aufbringen eines geeigneten Harzes auf die textile Bewehrung. Alle Bestandteile des Verbundes und die Grenzschichten zwischen Holz, Faser und Matrix sind physikalischen, mechanischen und chemischen Einflüssen ausgesetzt, welche die Verbundfestigkeit und Dauerhaftigkeit tangieren (Abb. 17). Um die hohe Festigkeit und Steifigkeit der Fasern oder große textile Flächengewichte nutzen zu können, ist es erforderlich, eine guten Verbund zu erzielen und diesen über die gesamte Lebensdauer der Bauteile zu gewährleisten.

Abb. 15: Beispiele gewebeverstärkter Formholzrohre: Kohlefaser (links), unbewehrt (Mitte), Glasfaser (rechts)

Tab. 1: Bruchenergie für Modus I und II

Specimens	DCB (Mode I)		TENF (Mode II)	
	Max force [N]	Fracture energy [Nm/m^2]	Max force [N]	Fracture energy [Nm/m^2]
Spurce, massive wood	232 (12)	179 (11)	1815 (15)	737 (28)
Epoxy, no textile	223 (11)	185 (10)	1464 (17)	485 (26)
Unsat. polyester, no textile	207 (4)	215 (14)	1928 (7)	870 (22)
Epoxy with glass fabric	270 (23)	235 (39)	1817 (12)	988 (25)
Epoxy with textile-complex	310 (19)	284 (33)	2169 (3)	923 (37)
Unsat. Polyester with glass fabric	252 (13)	247 (17)	1859 (9)	1128 (19)
Epoxy with aramid fabirc	288 (16)	258 (27)	1836 (8)	686 (38)

Coefficient of variation (COV in %)

Tab. 2: Ergebnisse der Schälversuche nach Auslagerung in verschiedenen Klimaten

Peel force			Reference				3 years outdoor exposure			UV = 500 h radiation			UV = 1000 h radiation		
Fibre	Textile	Weight [g/m²]	EP	UP	UP + Pr.	PUR	EP	UP+Pr.	PUR	EP	UP + Pr.	PUR	EP	UP + Pr.	PUR
Flax	Fabric	320	++	– –	++	++	–	– –		++	++			++	
Glass	Fabric	300	+	–	○	++	Strong weath- ered		+	+	○	++	○	○	++
Carbon	Fabric	245	–	– –	○	+	– –	–	○	○	○	○	–	–	–
Aramid	Fabric	170	○	–	+	+	+	+	○	++	+	–	+	○	–
Hybrid	Fabric	205	○	– –	+	++	–	–	+	○	○	○	○	○	
Failure models															
Flax	Fabric	320	RoW	RoT	Mix	RoW	Mix	RoT		Mix	RoW			Mix	
Glass	Fabric	300	Mix	RoT	Mix	Mix	Strong weath- ered		RoW	Mix	RoW	RoW	Mix	RoW	RoW
Carbon	Fabric	245	Mix	Mix	RoW	RoW	RoT	RoW	RoW	Mix	RoW	RoW	RoT	RoW	RoW
Aramid	Fabric	170	RoW	Mix	RoW	RoW	RoW	RoW	RoW	RoW	RoW	RoW	RoW	RoW	RoW
Hybrid	Fabric	205	RoT	RoT	Mix	RoW	RoT	Mix	RoW	RoT	RoW	RoW	Mix	Mix	

Symbol of peel force: – –: 0–3 N/cm; –: 3–6 N/cm; ○: 6–9 N/cm; +: 9–12 N/cm; ++: over 12 N/cm

Symbol of failure modes: RoT: Resin on Textile (Failure between Wood and Resin); RoW: Resin on Wood (Failure between Resin and Textile); Mix: Resin on Textile and Wood (mixed Failure Mode)

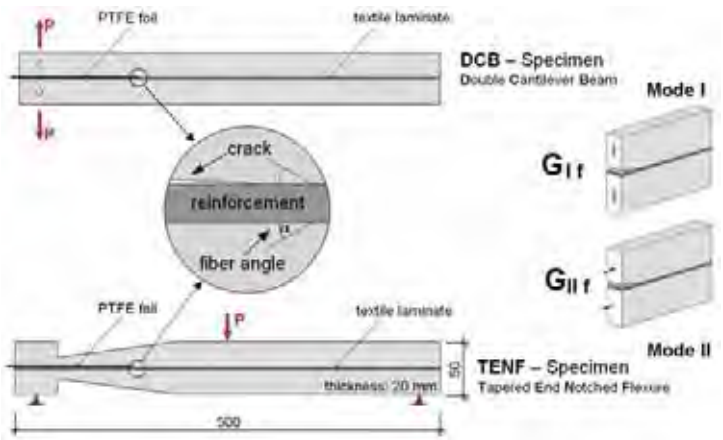


Abb. 16: a) und b) Bruchmechanische Proben für Modus I und II nach Aicher et al.

Abb. 17: Beanspruchung von Holz-Textil-Verbunden nach der Bewitterung

Zwei Versuchsmethoden [18], [19] wurden herangezogen, um die Verbundfestigkeit von Holz-Textil-Verbunden und deren zeitliche Veränderung zu ermitteln. Schälversuche nach ASTM D 3167 dienen zur Bestimmung der Verbundfestigkeit verschiedener Verbundsysteme gegenüber Witterungseinflüssen und nach künstlicher Bewitterung.

Bruchmechanische Versuche nach Empfehlungen von RILEM TC-133 [20] wurden zur Bestimmung der Bruchenergie des Modus I und II jeweils mit Hilfe von Proben vom Typ DCB (double cantilever beam) und von TENF (tapered end-notched flexure) durchgeführt (Abb. 16). Als Matrices wurde das Epoxid EP LN-1 und das ungesättigte Polyester Vicovoss i 25 B mit dem Polyurethan Primer VOSSCHEMIE G4 verwendet, die jeweils als Zwei-Komponenten-System vorliegen. Folgende Textilien wurden als Bewehrung verwendet: Glasgewebe 200 g/m², uniaxiales Glasgelege 540 g/m² und Aramidgewebe 170 g/m².

Die Proben wurden mit einer Faserneigung von ungefähr 3° ausgeführt, um den Rissfortschritt in der Verbundfuge zu halten. Die Versuchswerte der Bruchenergie sind in Tabelle 1 und 2 aufgeführt.

11 Zusammenfassung

Der Baustoff Holz weist neben vielen Vorzügen einige Nachteile aus, denen die Tragwerksplanung systematisch begegnen muss. Mechanische und biologische Eigenschaften des Holzes können in weitem Umfang durch thermo-mechanische Verfahren verbessert werden.

Die Materialeffizienz der Holzkonstruktion ist entscheidend für die Wettbewerbsfähigkeit. Es wurde gezeigt, dass jene infolge des hohen Verschnitts im Sägewerk und der Verwendung von Vollquerschnitten im Vergleich zu technischen Materialien sehr gering ist und ein Zusammenhang mit den eingeschränkten Produktionsverfahren besteht, die sich auf spannende Bearbeitung beschränken. In diesem Beitrag wird das Formen von Profilen vorgestellt, dem ein neues Konzept zugrunde liegt, das Holz als zelluläres Material betrachtet, das unter Wärme, Druck und Feuchtigkeit verdichtet und geformt werden kann. Beträchtliche Materialeinsparungen von bis zu 70% können auf diese Weise realisiert werden.

Die geringe Schub- und Querzugfestigkeit des Holzes ist limitierender Faktor in der Holzkonstruktion. Zahlreiche Alternativen im Umgang mit der Anisotropie haben zu einem unübersichtlichen Spezialwissen geführt. Technische Fasern und Textilien sind neue Materialien mit hoher Akzeptanz im Ingenieurwesen. Sie können universell im Holzbau eingesetzt werden, um dessen Nachteilen wie vor allem Anisotropie, Verbinden und Dauerhaftigkeit zu begegnen.

Form- und beanspruchungsgerechte Textilien machen Gebrauch von Hochleistungsfasern. Der Verbund von Formholzprofilen mit technischen Fasern und Textilien schafft Synergien, bei welchen das Holz von der Festigkeit und Steifigkeit, der Orientierung sowie der Dauerhaftigkeit der Fasern und Textilien profitieren und diese wiederum durch den geringen Preis, der Umweltfreundlichkeit und den ästhetischen Vorzügen des Holzes.

Das Traglastverhalten textilbewehrter Verbindungen und Bauteilen ist hinsichtlich Festigkeit, Steifigkeit und Duktilität deutlich besser und ermutigt zu weiterführenden Untersuchungen und Entwicklungen. Die äußere Beschichtung stellt einen wirksamen Schutz vor der Witterung dar.

Quellen

[1] Killer, J.; Die Bauwerke der Baumeister Grubenmann; Lignum/Baufachverlag; 4. Auflage 1998

[2] Zimmer, P.; Die Konstruktionsgeschichte hölzerner Brücken zwischen 1750 und 1850; Interner Forschungsbericht; Fakultät Architektur der TU Dresden, 2002

[3] Herzog, Th.; Natterer, J.; Schweitzer, R.; Volz, M.; Winter, W.; Holzbauatlas; Edition DETAIL; Inst. f. internationale Architektur-Dokumentation, München; Vierte Auflage, neu bearbeitet, 2003

[4] Herzog, T. (Hrsg.); Expodach – Roof Structure at the World Exhibition Hanover 2000; Prestel, Munic, London, New York, 2000

[5] Steinlin, H.; The world's forests – Ecological and economical problems; in: Les constructions en bois, Cycle d'études postgrades 1994-95, IBOIS, EPF Lausanne

[6] Sell, J.; Eigenschaften und Kenngrößen von Holzarten; Baufachverlag AG Zürich; 1989

[7] DIN 1052; Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken; Sonderdruck, Beuth Verlag GmbH, DIN 1052:2004-08

[8] Kollmann, F.; Kuenzi, E.; Stamm, A.; Principles of Wood Science and Technology, Vol. 1 and 2; Springer Verlag, Berlin; 1975

[9] Haller, P.; Wehsener, J.; Festigkeitsuntersuchungen an Fichtenpressholz, Holz als Roh- und Werkstoff, Volume 62, Number 6, 2004, pp. 452-454

[10] Welzbacher, C. R.; Rapp, A. O.; Haller, P.; Wehsener, J.; Biological and mechanical properties of densified and thermally modified Norway spruce; In: Proceedings of Second European Conference on Wood Modification, Göttingen, Germany, 2005

[11] Lohmann, U.; Holz Handbuch, DRW-Verlag, 4. Auflage 1990/1993

[12] Gibson, L.; Ashby, M.; Cellular solids – Structure and Properties; 2nd edition; Cambridge Solid State Science Series; Cambridge University Press, 1997

[13] Wagenführ, R.; Scheiber, Chr.; Holzatlas; 3. Auflage, VEB Fachbuchverlag Leipzig, 1989

[14] Gay, D.; Matériaux composites; 3rd edition; édition Hermès, Paris; 1991

[15] Offermann, P.; Abdkader, A.; Engler, Th.; Schierz, M.; Grundlagen textiler Bewehrungsstrukturen zur Verstärkung bestehender Bauwerke; Research Report of SFB 528 „Textile reinforcement in civil engineering"; Faculty of Civil Engineering; Dresden University; 2002, pp. 25-74

[16] Haller, P.; Birk, T.; Putzger, R.; Physikalische und mechanische Untersuchungen an textilbewehrtem Holz und Holzbauteilen; Research Report of SFB 528 „Textile reinforcement in civil engineering"; Faculty of Civil Engineering; Dresden University; 2002, pp. 283-322

[17] Mattheck, C.; Engineering Components Grow like Trees; Research report KfK 4648; Kernforschungszentrum Karlsruhe; 1989

[18] Haller, P.; Putzger, R.; Fracture energy in mode I and mode II of reinforced wood; in: Abstract book, 11th International Conference on Fracture, Turin, Italy, March 20-25, 2005; p. 1224

[19] Aicher, S.; Gustafsson, J. (ed.); Haller, P.; Petersson, H.; Fracture mechanics models for strength analysis of timber beams with a hole or a notch – A report of RILEM TC-133; Structural Mechanics, LTH, Sweden, 2002

[20] Aicher, S.; Boström, L.; Gierl, M.; Kretschmann, D.; Valentin, G.; Determination of Fracture Energy of Wood in Mode II; RILEM TC 133 Report; SP Swedish National Testing and Research Institute; SP Report 1997:13

9.2 Verbundkonstruktionen, Materialkombinationen
Textilverstärkte Formholzrohre

Peer Haller, Ralf Menzel

1 Einleitung

Im Bauwesen dominieren seit Jahren der Stahlbeton- und Stahlbau die tragenden Konstruktionen, insbesondere dort, wo Tragfähigkeits- und Dauerhaftigkeitsdefizite des Holzes kompensiert werden müssen. Eine Auseinandersetzung mit diesen Gegebenheiten führt daher zu der Frage, wie die Vorzüge von Holz gezielter genutzt, seine Einsatzfelder vergrößert und nicht zuletzt seine Wertschöpfung verbessert werden können. Es wird daher ein Ansatz verfolgt,

(1) Holz im tragenden Bauteilquerschnitt beanspruchungsgerecht anzuordnen;
(2) die Anwendbarkeit von Holz im Bauwesen durch Bereitstellung höhere Festigkeits- und Steifigkeitswerte auszudehnen;
(3) durch Verbund mit technischen Textilien die statischen und funktionellen Eigenschaften zu verbessern.

2 Herstellung textilbewehrter Formholzrohre

2.1 Thermomechanische Verdichtung von Holz

Als poröser zellulärer Festkörper lässt sich Holz in einem definierten Wärme- und Feuchtebereich ähnlich wie ein Schwamm zusammendrücken. Je nach Porengehalt – bei Nadelholz beträgt das Porenvolumen etwa 60% – ist demzufolge eine Verdichtung des Materials in dieser Größenordnung möglich. Das bedeutet z.B. bei einem Verdichtungsgrad von 50 % für den Ausgangsquerschnitt eine Halbierung seines Volumens, zugleich erhöhen sich mechanische Eigenschaften wie Festigkeiten, Steifigkeiten oder Dichte etwa um den Faktor 2 (Abb. 1).

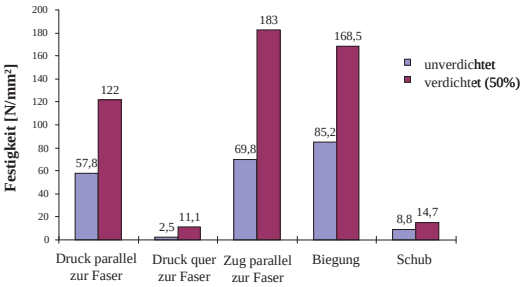


Abb. 1: Vergleich der Bruchfestigkeiten von unverdichtetem und verdichtetem Fichtenholz [1]

2.2 Formung der Rohre

Im verdichteten Material verbleibt ein großes Potential für weitere Umformungen. Als Ausgangsmaterial eignen sich Bohlen oder Kanthölzer, auch Rundhölzer sind prinzipiell für das Verdichten geeignet [2]. Die Presshölzer werden zu einer Platte verleimt, die sich unter erneuter Wärme- und Feuchtigkeitszufuhr vergleichbar mit einem zuvor zusammen geschobenen Fächer formen und fixieren lässt (Abb. 2).

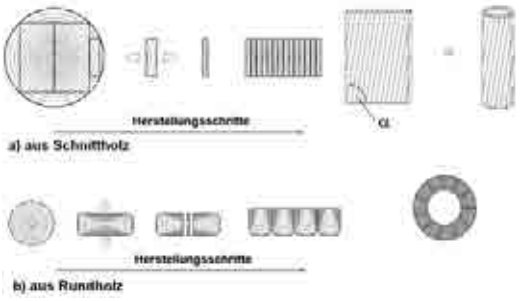


Abb. 2: Prinzipielle Schritte der Plattenherstellung und Rohrformung

Mit dieser patentierten Technologie [3] lassen sich Rohre als auch andere offene oder geschlossene prismatische Querschnitte formen. Als Fachbezeichnung wurde der Begriff Formholz eingeführt.

2.3 Bewehrung von Formholzrohren

Mit Wickel- und Laminierverfahren lassen sich Bauteile mit technischen Textilien ummanteln (Abb. 3). Hierfür eignen sich beispielsweise Glas-, Aramid- oder Kohlefasern, deren Verbund durch eine Matrix aus synthetischem Harz realisiert wird (Abb. 4). Man spricht auch von faserverstärkten Kunststoffen (FVK), wobei vor allem Glasfasern wegen ihres geringen Preises bei hoher mechanischer Festigkeit wirtschaftlich sind.

Abb. 3: Wickelmaschine mit eingespanntem Formholzrohr

Abb. 4: Formholzrohre mit Kohlefaserbewehrung, unbewehrt und lackierter Glasfaserbewehrung (von links nach rechts)

Durch gezielte Anordnung der textilen Fäden, z.B. als Gewebe oder Gelege, werden die Eigenschaften des Endproduktes beeinflusst. Mit speziellen Textilmaschinen ist es möglich, die Fäden in gewünschte Richtungen zu orientieren, so dass zwischen uni-, bi- und triaxialen Strukturen unterschieden wird. Auf dem Bauteil können mehrere Lagen eines Gewebes oder Geleges appliziert werden.

Die textile Bewehrung erschließt weitere Tragreserven der Formholzrohre. Zudem können Eigen-, Schwind- und Quellbeanspruchungen aufgefangen und weitere funktionelle Eigenschaften positiv beeinflusst werden.

2.4 Leistungsfähigkeit von Rohrquerschnitten

Der Einschnitt von Baumstämmen im Sägewerk zu Kanthölzern, Brettern usw. ist nicht nur mit hohen Materialverlusten verbunden, sondern führt auch zu Vollquerschnitten, die aus statischer Sicht wenig leistungsfähig sind [4]. Insbesondere bei Biege- und Druckbeanspruchung werden hohe Flächenträgheitsmomente benötigt. Statisch günstige Kasten- oder I-Profile werden im Holzbau gegenwärtig durch aufwändiges Zusammenfügen von Schnittholz und Holzwerkstoffen hergestellt.

In einer 2002 vorgenommenen internen Studie des Instituts für Stahl- und Holzbau der TU Dresden wurden marktübliche Preise von Stützen unterschiedlicher Materialien verglichen (Abb. 5). Für die gewählten Druckkräfte und eine Knicklänge von 3 Metern wurden dazu statisch erforderliche Rohrquerschnitte für Stahl bzw. quadratische Querschnitte für C 24 und GL 28 ermittelt. Bei Beton wurde eine quadratische Stütze mit 30 cm Seitenlänge und lastabhängigem Bewehrungsgrad zugrunde gelegt.

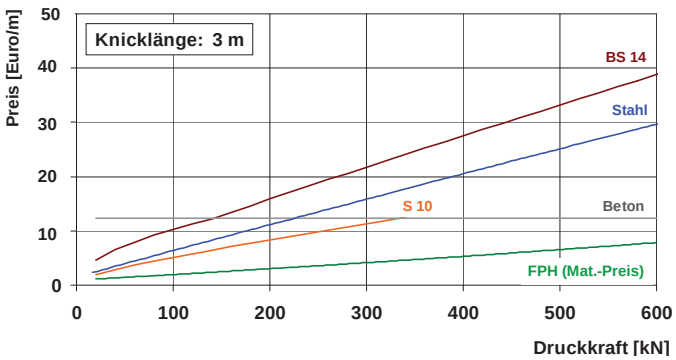


Abb. 5: Herstellungskosten von Stützen

Für Formprofilholzrohre (FPH) wurden lediglich Materialpreise verwendet, da keine Angaben über Herstellungskosten unter industriellen Fertigungsbedingungen vorliegen. Trotzdem dürfte die Grafik deutlich machen, dass Formholz gegenüber Stahl und Brettschichtholz ein hohes wirtschaftliches Potential besitzt.

Rohrquerschnitte besitzen gegenüber flächengleichen Kanthölzern mit praxisnahen Abmessungen etwa zwei- bis vierfache Flächenträgheitsmomente. Bei Knickbeanspruchung kann sich die Schlankheit günstigstenfalls halbieren, so dass schlanke Stützen nach DIN 1052: 2004-08 entsprechend der Knickbeiwerte k_c mit einer etwa dreimal höheren Knickfestigkeit bemessen werden dürfen.

2.5 Druckversuche

Am Institut für Stahl- und Holzbau der TU Dresden wurde die Tragfähigkeit von insgesamt 6 bewehrten und unbewehrten Rohrstützen aus Fichten-Formholz mit Durchmessern von 27,5 cm, Wandstärken von 1,8 cm sowie Längen von 2,45 m überprüft (Abb. 6). Die Stützen waren am oberen Ende mit einer gelenkig gelagerten Druckplatte versehen, der Stützenfuß entsprach einer nachgiebigen Einspannung. Als Bewehrung kam bidirektionales Glasseidengewebe (E-Glas) der Fa. VOSS-Chemie mit einem Flächengewicht von 160 g/m² zum Einsatz. Es wurde 3-lagig unter Verwendung von Epoxydharz LN-1 mittels Handlaminierung aufgebracht.

Abb. 6: Druckversuche an unbewehrten und bewehrten (rechtes Bild) Formholzrohren

Für die unbewehrten Stützen wurde eine durchschnittliche Bruchspannung von 36,7 N/mm² ermittelt, wobei sprödes Versagen mit großflächigen Bruchstücken auftrat. Versagensursache waren hohe Querzugspannungen in Ringrichtung. Die bewehrten Rohrstützen zeigten dagegen ein duktileres Verhalten und die Traglast erhöhte sich um ca. 40 %.

Eine Auswertung des Verformungsverhaltens [5] ergab, dass es bei den unbewehrten Stützen zu einer Ovalisierung des Querschnittes kam (Abb. 7), währenddessen die Querschnittsform der bewehrten Stützen weitestgehend erhalten blieb. Die äußere Bewehrung verhindert demnach lokales Ausbeulen und sprödes Versagen.

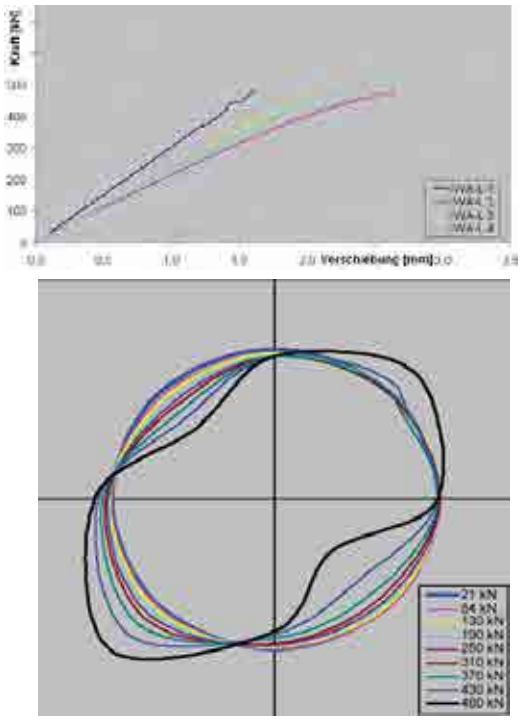


Abb. 7: Kraft-Verschiebungs-Diagramm in Längsrichtung und Querschnittsverformung (stark überhöht dargestellt) einer unbewehrten Formholzrohrstütze (l= 2,45 m, t= 1,8 cm, D= 27,5 cm)

2.6 Bemessungsansätze

Die vorangegangenen Ausführungen haben gezeigt, dass der Einsatz von Formholzrohren für baupraktische Anwendungen zweckmäßigerweise unter Einbeziehung einer äußeren textilen Bewehrung erfolgen sollte. Die Tragfähigkeit wird von verschiedenen Faktoren beeinflusst und führt bei der Rohrdimensionierung zu einer wesentlich komplexeren Herangehensweise als bei normalen Schnittholzquerschnitten.

- Für die Festlegung eines günstigen Verbundquerschnittes aus Formholz und Bewehrung sind der Verdichtungsgrad, die Wandstärke des Formholzes sowie Material und Art des Laminates zu berücksichtigen
- Der minimal realisierbare Krümmungsradius des Rohrquerschnittes hängt vom Verdichtungsgrad und der Wandstärke ab, da eine Dehnung der äußeren Randfasern über das Niveau des unverdichteten Holzes hinaus auszuschließen ist
- Geeignete Ausrichtung der Bewehrung, um die Verstärkungswirkung in Umfangs- und Längsrichtung sowie ggf. in lokalen Bereichen gezielt zu steuern
- Berücksichtigung des Aufbringverfahrens des Laminates; dies ist nicht nur ein Kostenfaktor, sondern beeinflusst wesentlich den statisch relevanten Faservolumengehalt

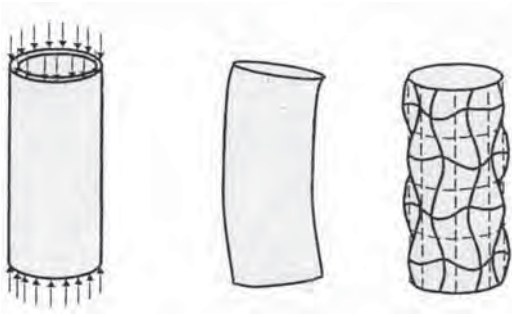


Abb. 8: Axialbelastetes Rohr als Knickfigur und mit „schachbrettartiger“ Beulverformung [6]

Die Tragfähigkeit von mehrschichtigen Zylinderschalen ergibt sich nach [6] einerseits aus den durch das Material aufnehmbaren Längsdruck- bzw. Knickspannungen, andererseits führt eine geringe Wanddicke des Profils zu lokalen Beulbeanspruchungen, die in der Holzbaunorm nicht geregelt sind. Wesentlich ist hierbei das Verhältnis von Krümmungsradius zu Wanddicke. Zudem ist von hohen Querzug- und Schubbeanspruchungen auszugehen, wie das Bruchbild der unverstärkten Prüfkörper zeigte. Für die bemessungsseitige Erfassung dieses komplexen Beanspruchungszustandes sind weitere Untersuchungen notwendig.

3 Einflussfaktoren auf die Entwicklung und Anwendung von Formholzprofilen

Formholzquerschnitte in Verbindung mit einer geeigneten Bewehrung aus FVK sind aus statischer Sicht vorzugsweise als hoch belastbare Stützen einsetzbar. Hier stoßen die erforderlichen Abmessungen herkömmlicher Schnitt- oder Rundholzquerschnitte an ihre Grenzen oder werden unwirtschaftlich.

Im Gegensatz zu Vollquerschnitten ist Formholz aber wesentlich empfindlicher gegenüber Rissen, die beispielsweise durch Querzug-, Schub- oder Torsionsbeanspuchungen bzw. Feuchte- und Temperaturbelastungen hervorgerufen werden können. Die Bewehrung dient daher sowohl der Vermeidung tragfähigkeitsmindernder Risse als auch dem Schutz vor abiotischen Einwirkungen.

Die geringen Wandstärken und der Hohlraum der Rohre sind auch hinsichtlich des Brandschutzes wesentliche, nicht zu vernachlässigende Aspekte. Hierzu müssen weitere Untersuchungen durchgeführt und ggf. Schutzmaßnahmen diskutiert werden.

Der Einsatz von Formholzprofilen im Hochbau setzt die Verfügbarkeit einfacher Verbindungsmittel für Knotenpunkte und Anschlüsse voraus. Dazu sind Konstruktionslösungen zu erarbeiten.

Weiteres Entwicklungspotential besteht in der Verwendung anderer Holzarten. Fichtenholz ist zwar sehr preiswert, aber speziellen Holzarten in der Formbarkeit unterlegen. Auch die Eignung von schnellwüchsigem Holz, wie z.B. Pappelholz, ist weiter zu verfolgen.

4 Fazit und Ausblick

Aus wirtschaftlichen und ökologischen Gründen ist es ein Gebot der Zeit, durch Einführung innovativer Produkte und Technologien die bisherigen Einsatzgebiete von Holz auszubauen und neue Märkte zu erschließen. Die Verdichtung und Formung von Fichtenholz kombiniert mit einer äußeren textilen Bewehrung stellt dafür einen viel versprechenden Ansatz dar.

Formholzprofile sind auf Grund ihrer Querschnittsgeometrie statisch sinnvoll und sehr tragfähig. Von der Verbundwirkung mit sehr zugfesten Glas- oder Kohlefasern profitiert nicht nur das geformte Holz, sondern auch der faserverstärkte Kunststoff, welcher gegen Ausbeulen stabilisiert wird. Zur komplexen Beurteilung des Tragverhaltens druckbeanspruchter Formholzrohre sind weitere experimentelle Untersuchungen mit Prüfkörpern unterschiedlicher Längen, Abmessungen und Bewehrungsgrade erforderlich. Spezielle Materialkennwerte sind an Kleinproben zu verifizieren. Das Brandverhalten und das Langzeitverhalten unter Witterungseinflüssen sind wichtige noch zu bearbeitende Themen, um den praktischen Einsatz nachzuweisen bzw. zu beschränken.

Die Verwendung anderer Holzarten und von Naturfasern ist technologisch möglich und besitzt Entwicklungspotential. Neben der Verwendung im Bauwesen dürfte Formholz auch für den Leicht- und Anlagenbau sowie für nicht tragende Teile wie Möbel oder Ausbauelemente interessant sein, zumal eine äußere Bewehrung auch zur Verbesserung von Gebrauchseigenschaften führt.

Quellen

[1] Haller, P. und Wehsener, J.: Entwicklung innovativer Verbindungen aus Pressholz und Glasfaserarmierung für den Ingenieurholzbau. Abschlussbericht des AiF-Vorhabens Nr. 11164 B / Dresden 2000. (Hrsg.) Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart.

[2] Schrepfer, V.: Technik der Verdichtung von Fichtenrundholz. ETH Zürich. Holz-Zentralblatt Nr. 122 vom 10.10.97.

[3] „Profil aus Holz und Verfahren zu seiner Herstellung“; Patent-Nr.: 02745122.8-2316-DE0202030 der TU Dresden vom 30.05.2002.

[4] Haller, P.: Vom Baum zum Bau oder die Quadratur des Kreises. Proceedings der 11. Internationalen Tagung „Stoffliche Verwertung nachwachsender Rohstoffe“, 14.-15.10.2004 Chemnitz.

[5] Birk, T., Cabi, L.: Druckversuche an Formprofilholzrohren. Interner Bericht des Instituts für Stahl- und Holzbau der TU Dresden 2005.

[6] Weaver, P. M.: Design of laminated composite cylindrical shells under axial compression. Composites Part B: Engineering, 31 (2000), pp. 669-679.

9.2 Verbundkonstruktionen, Materialkombinationen

Charakterisierung der Verbundfestigkeit von textilbewehrtem Holz unter Berücksichtigung von Witterungsfaktoren

Robert Putzger, Peer Haller

1 Überblick und Einleitung

Der Haftverbund zwischen Holz und Textil ist, wie in Abb. 1 schematisch dargestellt, einer komplexen Beanspruchung ausgesetzt. Besonders bei Anwendungen im Außenbereich sind zusätzlich zu den mechanischen Beanspruchungen auch Witterungseinflüsse zu berücksichtigen.

Die Untersuchungen zur Verbundfestigkeit insbesondere zur Dauerhaftigkeit greifen neben den Schälversuchen auch auf bruchmechanische Versuche zurück. Dies ist möglich, da die Untersuchungen zur Bruchmechanik im Modus I und II, entsprechend den Empfehlungen von RILEM TC-133 ein stabiles Risswachstum auch für textile Zwischenschichten bestätigt haben [1]. Die Übersicht in Abb. 2 zeigt zusammenfassend noch einmal die mit beiden Versuchsmethoden bestimmten Kennwerte.

	Dichte [g/cm³]	Zugfestigkeit [N/mm²]	E-Modul [kN/mm²]	Bruchdehnung [%]	Temperaturausdehnung [10⁻⁶/K]	Feuchtigkeitsaufnahme [%]
Faser (trocken)						
Leinen	1,53	1100	50	3,0	10	10
Hanf	1,50	800	30	2,0	30	10
E-Glas	2,56	2500	73	4,0	5,0	0
Aramidfaser HM	1,45	3000	125	2,0	-3,0	3,5
Kohlefaser HM	1,80	3000	400	0,6	-1,0	0
Vollholz (EC 5: ≥ 10)	0,38	14	11	1,0	3,0	> 10
Harz / Matrix (ausgehärtet)						
Epoxid (EP)	1,2	80	3,5	5,0	50	
ungesät. Polyester (UP)	1,2	60	4,0	2,0	80	0,1
Polyurethan (PUR)	1,2	40	10	> 50	150	
Laminat (60 % Faservol.)						
GFK (E-Glas Gewebe 200 g/m² EP-Harz)	1,8	200	12	2	8,0	0,8

Abb. 1: Wechselwirkung des Haftverbundes mit seiner Umwelt und Eigenschaften der eingesetzten Materialien

Die hier vorgestellten Ergebnisse basieren auf Untersuchungen zur Dauerhaftigkeit von textilverstärkten Schälproben. Die Exposition der Probekörper erfolgte sowohl in der Freibewitterung als auch im Global-UV-Schrank bei künstlicher Bewitterung mit getrennter und kombinierter Beanspruchung ausgewählter Bewitterungsfaktoren.

Ein Vergleich der Ergebnisse zeigt schnell, dass zum Beispiel die Freibewitterung gegenüber der künstlichen Bewitterung mit intensiver UV-Bestrahlung die wesentlich schärfere Beanspruchung darstellt. Bei einer Vielzahl von Proben konnten bereits im Bewitterungsgestell Ablöseerscheinungen beobachtet werden. Dies gilt besonders für die Glasfaser- und transluzenten Bewehrungen, welche ohne wetterfesten Schlusslack hergestellt wurden. Dagegen sind Laminate aus Kohle- oder Aramid-Fasern sowie aus natürlichen Fasern nach Augenscheinnahme auch nach einer längeren Bewitterung intakt.

Die Bewitterungsversuche belegen, dass nicht nur das Laminat, sondern sämtliche der Witterung ausgesetzte Oberflächen des Holzes mit einer abschließenden Oberflächenbeschichtung behandelt werden müssen. In Abhängigkeit von der Klebstoffmatrix ist ein Schlusslack (Topcoat) auf Epoxid- oder Polyesterbasis allseitig auf die der Witterung ausgesetzten Bauteile aufzutragen und regelmäßig zu warten.

2 Material

Die Probekörper für die Schälversuche wurden aus gehobelten Fichtenholzbrettern mit einer durchschnittlichen Holzfeuchte von 9 % hergestellt. Die Holzbrettchen für die Freibewitterung hatten eine Geometrie von 375 x 100 x 20 mm. Die Probekörper für die künstliche Bewitterung waren aus Gründen der begrenzten Prüfraumabmessungen mit 50 mm nur halb so breit.

Als Bettungsmatrix für die Textilien aus natürlichen und synthetischen, organischen und anorganischen Fasern wurden mehrere, im Kunststoff- und Holzbau übliche Kleber eingesetzt. Die Übersicht in Abb. 1 zeigt für die in den Versuchen eingesetzten Fasern und Matrices einige ausgewählte Materialeigenschaften.

3 Herstellung der Probekörper

Die Probekörper der Schälversuche wurden mit dem Handlaminier- sowie einzelne Versuchsserien mit dem RTM- oder mit dem Vakuumverfahren hergestellt. Bei dem Vakuumverfahren wird im Gegensatz zum RTM-Verfahren das Textil von Hand „nass in nass“ auf das Holz aufgetragen. Im Anschluss an das Laminieren härtet das Harz unter Anlegen eines Vakuums aus.

Die in den Versuchen standardmäßig eingesetzten Matrix Produkte Epoxid- Harz LN-1, ungesättigtes Polyesterharz i25B und im Besonderen das Polyurethan Harz Helimpur 700T sind auf Grund ihrer Konsistenz für das RTM-Verfahren eher ungeeignet. Diese Harze wurden aber zur besseren Vergleichbarkeit mit den von Hand laminierten Versuchsreihen beibehalten.

4 Beanspruchung der Probekörper

Die Probekörper für die Freibewitterung wurden auf einem Versuchsfeld bei Dresden, bestehend aus 30 Bewitterungsständern nach DIN 53166, der Witterung ausgesetzt. Dabei wirken sämtliche Umweltfaktoren wie zum Beispiel:

- Wasser (Wasserdampf, Niederschlags- und Kondenswasser)
- Globalstrahlung der Sonne (energiereiche UV-Strahlung)
- Frost-Tauwechsel oder extreme Temperaturen im Sommer und Winter
- im Niederschlag gelöste Schadstoffe

auf die Probekörper ein.

In den Versuchsreihen zur künstlichen Bewitterung wurden folgende Beanspruchungskombinationen untersucht:

1) Zyklus UV-Strahlung (8 Stunden UV-Bestrahlung, 0,5 Stunde Pause)
2) Zyklus Klima (4 Stunden UV-Bestrahlung, 1 Stunde Beregnung, 3 Stunden feucht-warmes Raumklima)

Die Bewitterung der Schälproben erfolgt in einem Gerät der Firma Weiss Umwelttechnik GmbH (Typ UV200). Das erzeugte Spektrum der UV-Strahlung deckt dabei die Wellenlängen 290 nm bis 450 nm ab. Je nach Versuchsreihe betrug die Gesamtdauer der UV-Bestrahlung bis zu 1000 Stunden beziehungsweise bis zu 2000 Stunden bei Beanspruchung durch den Klimazyklus.

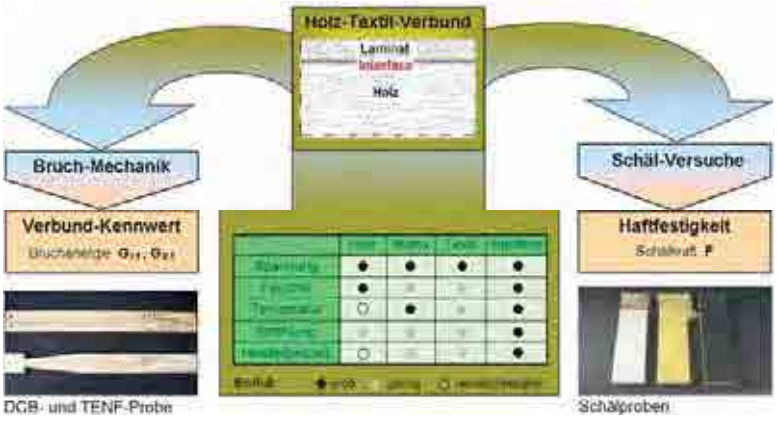


Abb. 2: Testmethoden zur Charakterisierung des Holz-Textil-Verbundes

5 Prüfung der Probekörper

Nach der Bewitterung werden die textilbewehrten Holzbrettchen im Schälversuch nach ASTM D 3167 in einer Zugmaschine (Zwick Z250) geprüft. Das Laminat wird dabei, wie in Abb. 3 gezeigt, über eine Vorrichtung, bestehend aus 3 Walzen, abgeschält. Die dazu erforderliche Zugkraft wird über einen Gesamtschälweg von ca. 300 mm aller 0,5 s aufgezeichnet, wobei für die Mittelwertbildung der Schälkraft die ersten und die letzten 25 mm Schälung nicht berücksichtigt werden.

Die gemessene Schälkraft wird anschließend auf die Probenbreite bezogen, um für die weitere Auswertung einen geeigneten Vergleichswert zu erhalten. Die Prüfung erfolgt weggesteuert mit einer Geschwindigkeit von 50 mm/min.

Die Ergebnisse der Schälversuche dienen hauptsächlich der vergleichenden Einschätzung von Verbundarten und ihren Beanspruchungen. Eine alleinige Schälbeanspruchung tritt bei der Lastabtragung von textilbewehrten Holzkonstruktionen selten auf.

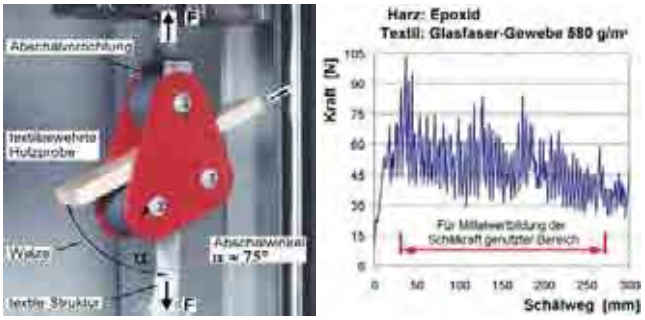


Abb. 3: Prüfung einer Schälprobe mit der Zugmaschine

Abb. 4: Beanspruchung der Schälproben

6 Ergebnisse

Es wurden insgesamt über 1200 Schälproben mit Verbunden hergestellt, die sich hinsichtlich ihrer Bestandteile in den Faserarten und der eingesetzten Leime zum Teil stark unterscheiden. Davon befinden sich aktuell ca. 400 Proben in der Freibewitterung und 800 Probekörper wurden im Schälversuch geprüft. Von den geprüften Proben dienen 300 Stück als unbewitterte Referenzproben. Von ca. 100 Proben liegen nach 3 Jahren Exposition erste Ergebnisse aus der Freibewitterung vor. Über 400 Proben wurden nach einer künstlichen Bewitterung im Global-UV-Testgerät geprüft.

Der Probenumfang liegt je nach Versuchsreihe zwischen 5 und 15 Probekörpern, wobei einzelne Proben auf Grund ihres starken Verwitterungszustandes oder eines gerissenen Textils bzw. Laminates von der Auswertung ausgeschlossen werden mussten.

Tabelle 1 enthält für ausgewählte Versuchsreihen neben der Schälkraft auch die beim Schälvorgang beobachtete Versagensart. Zwischen beiden Versuchsdaten besteht eine Abhängigkeit, so dass eine genaue Betrachtung der Versagensart in der Grenzschicht von Bedeutung ist. Dazu ist aus makroskopischer Sichtweise eine stärkere Differenzierung der Grenzschicht in zwei Versagensebenen Holz-Matrix und Matrix-Textil notwendig.

Bei einem Versagen der Grenzschicht Holz-Matrix haftet der Leim überwiegend am abgeschälten Textil (abgekürzt LaT: Leim auf Textil, Abb. 5 links). Teilweise kommt es zur Abspaltung oberflächennaher Holzfasern. Das Versagen der Grenzschicht zwischen Holz und Laminat führt zu vergleichsweise geringen Schälkräften bei großen Streuungen der Versuchsergebnisse.

Abb. 5: Versagensarten von CFK-Schälproben nach 3 Jahren Freibewitterung, links: Leim auf Textil (LaT), rechts: Leim auf Holz (LaH)

Anders verhält es sich bei einem Versagen der Grenzschicht zwischen Leim und Textil. In diesem Fall löst sich das Textil von der Matrix, so dass ein Großteil des Leimes auf der Holzoberfläche haften bleibt (abgekürzt LaH: Leim auf Holz, Abb. 5 rechts). Dieses Versagen führt zu hohen Schälkräften bei vergleichsweise geringen Streuungen der Versuchsergebnisse. Das Bruchbild der Versagensart LaH ist charakteristisch für ein Laminat mit einer Klebstoffmatrix aus Polyurethan- oder ungesättigtem Polyester-Harz in Verbindung mit einem Haftvermittler. Eine Abhängigkeit vom verwendeten Textil oder der Faserart konnte dabei nicht beobachtet werden.

Beide betrachteten Versagensarten können als Adhäsionsbruch interpretiert werden, da der Schälvorgang jeweils in der Grenzschicht zweier Verbundmaterialien erfolgt. Besonders beim Schälvorgang von Laminaten mit einer Epoxid-Harz Matrix traten beide Versagensarten zusammen auf (abgekürzt: Mix).

Wie die in Tabelle 1 verwendeten Symbole gibt auch die in Abb. 6 dargestellte Trendlinie eine Orientierung zur Beurteilung des Schälverhaltens bzw. der Verbundqualität. Aus den Versuchsdaten ist zu erkennen, dass zum Beispiel das textile Flächengewicht oder eine Bewitterung durch reine UV-Bestrahlung nur einen geringen Einfluss auf die Schälkraft und die Dauerhaftigkeit der Probekörper ausüben.

Die Prüfung von unbewitterten Referenzproben mit Laminaten aus Naturfasern führte zu hohen Schälkräften. Dagegen konnten mit Laminaten aus hochfesten Kohle- oder Aramid-Geweben nur durchschnittliche Schälkräfte erzielt werden.

Schälversuche an unbewitterten Referenzproben, die mit dem Vakuumverfahren hergestellt wurden, zeigten im Vergleich zu Proben, welche mit dem Handlaminierverfahren hergestellt wurden, keine Verbesserung der Haftfestigkeit. Das Vakuumverfahren bewirkt in erster Linie einen höheren Faser-Volumen Gehalt des Laminates und weniger eine bessere Verbundqualität zwischen Holz und Laminat.

Nach ca. 3,5 Jahren wurde ein Teil der Proben aus der Freibewitterung im Schälversuch geprüft und ein unterschiedlicher Einfluss der Witterung auf die Haftfestigkeit der Laminate beobachtet. Laminate aus Kohle- und Aramid-Gewebe zeigten eine vergleichsweise geringe Abnahme der Schälkraft. Anders verhalten sich Laminate aus Natur- und Glasfasern. Diese Faserarten sind in Kombination mit einer Klebstoffmatrix aus Epoxid- oder Polyesterharz sehr witterungsanfällig und zeigten schon nach ca. 1,5 Jahren deutlich sichtbare Alterungserscheinungen. Das Laminat dieser Versuchskörper, insbesondere von transparenten Glasfaserlaminaten, löste sich stellenweise bereits selbständig vom Holz. Unabhängig vom verwendeten Textil zeigten Laminate aus Polyurethan hohe Haftfestigkeiten.

Grundsätzlich konnte nach 3 Jahren Freibewitterung nach in Augenscheinnahme bei allen Laminaten eine deutliche Änderung des Erscheinungsbildes festgestellt werden, wie auch die Probenfotos in Abb. 4 belegen. Neben Farbveränderungen konnte Erosion an der Laminatoberfläche beobachtet werden, so dass das Textil stellenweise direkt der Witterung ausgesetzt war. Feuchteaufnahme über die unbehandelten Oberflächen der

Probekörper führte neben Verfärbungen auch zum Quellen des Holzes. Aufgrund der einseitigen Beschichtung wölbte sich das Holz und der Holz-Textilverbund wurde neben den Witterungsfaktoren zusätzlich mechanisch beansprucht. Um einer Wasseraufnahme an den Stirn- und Rückseiten vorzubeugen, erhielten Proben nachfolgender Versuchsserien neben der textilen Verstärkung an der Oberfläche zusätzlich eine allseitige abschließende Beschichtung.

Dieses so genannte Topcoating ist ein Wetterschutzlack auf Epoxid- oder Polyesterbasis, welches zusätzlich mit Farbpasten eingefärbt werden kann. So zeigten weiß oder schwarz angefärbte Coatings auf einem Laminat aus UP-Harz und Glasfaser Gewebe nach 1500 Stunden Klimabeanspruchung um ein Drittel höhere Schälkräfte. Bei Epoxid-Harz Laminaten konnte kein messbarer Unterschied der Haftfestigkeit im Vergleich zu transparenten Coatings festgestellt werden

Tab. 1: Schälkraft und Versagensart textiler Bewehrungen (ohne Topcoating)

Schälkraft			Referenz				3 Jahre Freibewitterung				UV=500 h Bestrahlung				UV=1000 h Bestrahlung			
Faser	Flächengewicht	[g/m²]	EP	UP	UP-HV	PUR	EP	UP-HV	PUR		EP	UP-HV	PUR		EP	UP-HV	PUR	
Fläche	Gewebe	320	++	++	++	++	-	-			++	++				++		
Glas	Gewebe	300	+	++	o	++			+		+	o	++		o	o	++	
Kohle	Gewebe	245	-	++	o	+		-	++		o	o	o		-	-	-	
Aramid	Gewebe	170	o	-	+	+	+	+	o		++	+	-		+	o	-	
Hybrid	Gewebe	305	o	-	+	++	-	-	+		o	o	o		o	o		

Symbank für Schälkraft: -- 0 bis 3 N/cm; - 3 bis 6 N/cm; o 6 bis 9 N/cm; + 9 bis 12 N/cm; ++ > 12 N/cm

Versagensart			Referenz				3 Jahre Freibewitterung				UV=500 h Bestrahlung				UV=1000 h Bestrahlung			
Faser	Flächengewicht	[g/m²]	EP	UP	UP-HV	PUR	EP	UP-HV	PUR		EP	UP-HV	PUR		EP	UP-HV	PUR	
Fläche	Gewebe	320	LaH	LaT	Mix	LaH	Mix	LaT			Mix	LaH				Mix		
Glas	Gewebe	300	Mix	LaT	Mix	Mix	stark verwittert		LaH		Mix	LaH	LaH		Mix	LaH	LaH	
Kohle	Gewebe	245	Mix	Mix	LaH	LaH	LaT	LaH	LaH		Mix	LaH	LaH		LaT	LaH	LaH	
Aramid	Gewebe	170	LaH	Mix	LaH	LaH	LaH	LaH	LaH		LaH	LaH	LaH		LaH	LaH	LaH	
Hybrid	Gewebe	305	LaT	LaT	Mix	LaH	LaT	Mix	LaH		LaT	LaH	LaH		Mix	Mix		

Symbolik für Versagensart: LaT: Leim haftet auf Textil; LaH: Leim haftet auf Holz; Mix: Leim haftet auf Textil und Holz

7 Schälproben aus Global-UV-Testgerät

Die UV-Strahlung übt eine physikalische Wirkung auf die polymere Matrix aus, was unter anderem ein Nachhärten und eine damit verbundene höhere Sprödigkeit der Harzmatrix zur Folge hat.

Dies belegen auch Versuche an Laminaten, welche 24 Stunden bei 70 °C in der Temperaturkammer nachbehandelt wurden.

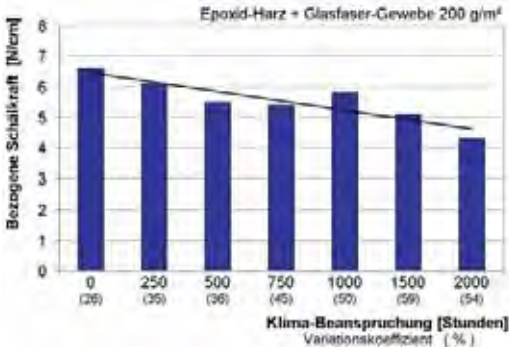


Abb. 6: Schälkraft nach 0 bis 2000 Stunden Klima-Beanspruchung

Diese Proben zeigten im Vergleich zu den Referenzproben eine Abnahme der Schälkraft nach intensiver UV-Bestrahlung. Bei Proben ohne Temperung konnte über den untersuchten Zeitraum von 1000 h kein systematischer Einfluss auf die Schälkraft erkannt werden.

An allen mit UV-Strahlung beanspruchten Probekörpern wurden schon nach kurzer Expositionszeit äußerliche Veränderungen wie Eintrübung der Matrix oder Dunkelfärbung angrenzender Holzschichten beobachtet.

8 Schlussfolgerungen und Ausblick

Für zahlreiche Verbundarten und Bewitterungsbeanspruchungen wurden Schälversuche durchgeführt. Die Interpretation der Ergebnisse erweist sich angesichts der natürlichen Streuungen und der mit anhaltender Bewitterung ebenfalls zunehmenden Variationskoeffizienten (Abb. 6) als schwierig, so dass das umfangreiche und weiterhin wachsende Datenmaterial mit Hilfe statistischer Methoden ausgewertet werden muss.

Nach einer künstlichen Bewitterung durch reine UV-Bestrahlung konnte kein eindeutiger Einfluss auf das Verbundverhalten abgeleitet werden. Die Versuche aus einer Kombination der UV-Strahlung mit künstlicher Beregnung und hoher Luftfeuchte zeigten dagegen bereits nach kurzer Beanspruchungsdauer einen schädigenden Einfluss auf den Holz-Textil-Verbund.

Schälproben die im Vakuumverfahren hergestellt wurden, befinden sich aktuell noch in der Freibewitterung. Eine Beurteilung des Bewitterungsverhaltens und damit der Dauerhaftigkeit dieses im Leichtbau bewehrten Herstellungsverfahrens steht dadurch noch aus.

Unter Berücksichtigung der zahlreichen Materialien ermöglicht das umfangreiche Versuchsprogramm die Auswirkungen der Witterungsfaktoren auf den Holz-Textilverbund detailliert zu erfassen. Die gewonnenen Versuchsdaten bilden zugleich eine gute Grundlage für die Verifikation nummersicher Simulationen und können damit zukünftig langwierige Versuche zur Dauerhaftigkeit vereinfachen.

Quellen

[1] Haller, P; Birk, T.; Putzger, R.: Physikalische und mechanische Untersuchungen an textilbewehrtem Holz und Holzbauteilen. Technische Universität Dresden: Eigenverlag, 2002 – Arbeitsbericht des SFB 528, S. 283-322

[2] Creemers, J.; de Meijer, M.; Zimmermann, T.; Sell, J.: Influence of Climatic Factors on the Weathering of Coated Wood. In: Holz als Roh- und Werkstoff. 60 (2002), Nr. 6, S. 411-420

9.2 Verbundkonstruktionen, Materialkombinationen
Holz-Beton-Verbund

Leander Bathon, Oliver Bletz

1 Allgemeines

Die Anzahl an Bauwerken, bei denen in den letzten Jahren Holz-Beton-Verbundkonstruktionen zum Einsatz gekommen sind, ist rapide gestiegen. Anwendungsbeispiele finden sich vor allem bei der Sanierung von Holzdecken sowie beim Neubau von Geschossdecken, Flachdächern, Massivdächern, Wänden oder Brücken. Für einige Verbindungsmittel liegen allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen vor. Zudem existieren vielfältige wissenschaftliche Forschungserkenntnisse.

2 Technische Prinzipien

Bei der Holz-Beton-Verbundbauweise wird ein Holzquerschnitt mit einer flächigen Betonschicht zu einem Verbundquerschnitt verbunden. Holzseitig liegt dabei eine ausgesprochene Materialvielfalt vor. In Abhängigkeit der Planungsvorgaben können Querschnitte aus KVH, Vollholz, Duobalken, Triobalken, Brettschichtholz, Brettsperrholz, Brettstapel oder Furnierschichtholz eingesetzt werden. Als Verbindungsmittel werden z.B. verwendet:

- aus dem Holzbau bekannte Verbindungsmittel wie Schrauben, Bolzen, Nagelplatten oder eingeklebte Gewindestangen,
- Spezialbauteile aus Stahl wie auf Stahlplatten aufgeschweißte Kopfbolzendübel (System Tecnaria), massive Flacheisen (Flachstahlschlösser) oder eingeklebte Streckmetalle (HBV-Schubverbinder),
- Kerven, Einschnitte oder Versätze im Holzquerschnitt.

Die Systemkennwerte für die Schubtragfähigkeit und den Verschiebungsmodul von Verbindungssystemen (als Basis für statische Berechnungen) müssen im Vorfeld durch Versuche ermittelt werden. Bei Verbindungssystemen mit vorliegender allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung sind diese im Rahmen von Zulassungsversuchen bereits ermittelt worden und in den Zulassungen hinterlegt.

Tab. 1: Verbindungssysteme mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung

Z.-Nummer	Verbindungssystem
Z-9.1-331	EW-Holz-Beton-Verbundelement
Z-9.1-342	SFS Verbundschraube
Z-9.1-445	Timco II Verbundschraube
Z-9.1-473	Brettstapel-Beton-Verbunddecke mit Flachstahlschlössern
Z-9.1-474	Dennert Holz-Beton-Verbundelement
Z-9.1-557	HBV-System mit eingeklebtem HBV-Schubverbinder
Z-9.1-603	TCC Schrauben
Z-9.1-648	Würth ASSY VG plus Schraube

Weiterhin werden in den allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen die Anwendbarkeiten der einzelnen Verbindungssysteme geregelt (z.B. Bauteile, Holzarten, Betongüten, etc). Tabelle 1 nennt die in Deutschland bauaufsichtlich zugelassenen Verbindungssysteme im Holz-Beton-Verbundbau.

Sofern keine Kerven oder Versätze als Verbindungsmittel eingesetzt werden, wird betonseitig der aus dem Holz herausragende Teil der eingesetzten Verbindungsmittel im gegossenen Frischbeton verankert. Ein Beton, der mindestens der Druckfestigkeitsklasse C20/25 entsprechen muss, darf eingesetzt werden. Eine Risse verteilende Mattenbewehrung sowie ggf. zusätzliche Bewehrungsquerschnitte (zur Aufnahme von Zugspannungen) werden in der Betonplatte angeordnet. Die Dicke des Betonquerschnitts beträgt in Abhängigkeit der äußeren Randbedingungen (Lasten, Stützweite, Schallschutzanforderungen, Deckensteifigkeit, Schwingungsverhalten) in der Regel zwischen 6 cm und 20 cm. Zwischen Holz und Beton wird zum Schutz des Holzes in der Regel ein Feuchtigkeitsschutz (z.B. Folie, Pappe, Imprägnierung, Papier) angeordnet. Auf eine ausreichende Überlappung und Verbindung (z.B.

Kleben, Schweißen) der einzelnen Bahnen ist zu achten.

Aus statischer Sicht bewirkt der Verbund der beiden Teilquerschnitte Holz und Beton eine Aufteilung der äußeren Beanspruchungen auf beide Querschnitte. Bei biegebeanspruchten Bauteilen übernehmen in der Regel die Holzquerschnitte die auftretenden Zugspannungen, während der Beton in der Druckzone angeordnet ist. Die zwischen den Teilquerschnitten angeordneten Verbindungsmittel stellen zum einen die Verbindung der Teilquerschnitte her, zum anderen übertragen sie die auftretenden Schubkräfte zwischen Holz und Beton.

3 Holz-Beton-Verbund aus der Sicht der Forschung

Die Holz-Beton-Verbundbauweise kann inzwischen auf eine recht beachtliche Geschichte zurückblicken. Die ersten Untersuchungen, die Werkstoffe Holz und Beton in einem Verbundbauteil miteinander zu verbinden, sind in den 1920er und 1930er Jahren ausgeführt worden (Patentanmeldung durch O. Schaub). Den Durchbruch der Holz-Beton-Verbundbauweise bewirkte dieses Patent jedoch nicht. Stattdessen geriet die Holz-Beton-Verbundbauweise in den folgenden Jahren weitgehend in Vergessenheit. Erst seit den 1980er Jahren wird die Holz-Beton-Verbundbauweise wieder zunehmend erforscht. Forschungsschwerpunkte waren und sind dabei u.a.:

- Untersuchung und Entwicklung geeigneter Verbindungsmittel zwischen Holz und Beton. Zusammenstellungen finden sich z.B. in [1] und [2] .
- Ermittlung der Ermüdungsfestigkeit der Verbindungsmittel für die Anwendung im Brückenbau.
- Verwendung spezieller Betone (z.B. Stahlfaserbeton, Leichtbeton, ultrahochfester Beton oder selbstverdichtender Beton). Zudem liegen Untersuchungen mit speziellen Deckschichten vor, wie z.B. mit Calciumsulfatestrich oder mit Polymerbeton.
- Untersuchung des Langzeittragverhaltens von Holz-Beton-Verbundkonstruktionen unter Berücksichtigung des unterschiedlichen Kriech- und Schwindverhaltens von Holz und Beton.
- Herleitung und Evaluierung von Berechnungs- und Modellierungsansätzen (γ-Verfahren nach DIN 1052:2008, analytische Lösung über Differentialgleichungen, Differenzenverfahren, Schubanalogie nach DIN 1052:2008, Stabwerksmodellierungen, numerische Modellierungen nach der Finite Elemente Methode)
- Ermittlung der bauphysikalischen Eigenschaften (Brandverhalten, Schallschutz, Wärmeschutz, Dampfdiffusion, Schwingungsverhalten, Verlauf der Ausgleichsfeuchte innerhalb des Holzquerschnitts)
- Entwicklung von Energie- und Strom erzeugenden Holz-Beton-Verbundbauteilen durch Nutzung der Solarthermie und der Photovoltaik.

Wie deutlich wird, sind mit der Zeit vielfältige Aspekte im Bereich der Holz-Beton-Verbundforschung thematisiert worden. In der Summe führten diese Forschungsaktivitäten zu einem Wissensstand, der es heute ermöglicht, die Holz-Beton-Verbundbauweise guten Gewissens in der Baupraxis einzusetzen. Dennoch besteht in einigen Themengebieten noch Forschungsbedarf für die Zukunft.

4 Anwendungsgebiete

4.1 Ertüchtigung von Holzdecken

In den letzten Jahren wurden für die Ertüchtigung von bestehenden Holzdecken innovative Verfahren und Systeme entwickelt, die inzwischen konkurrenzfähige Alternativen für die gängigen Standardverfahren darstellen. Eines dieser Verfahren ist der Holz-Beton-Verbund. Dabei wird auf das bestehende Holztragwerk eine Betonschicht aufgebracht und über speziell einge-

brachte Verbindungsmittel der Verbund zwischen diesen beiden Werkstoffen hergestellt.

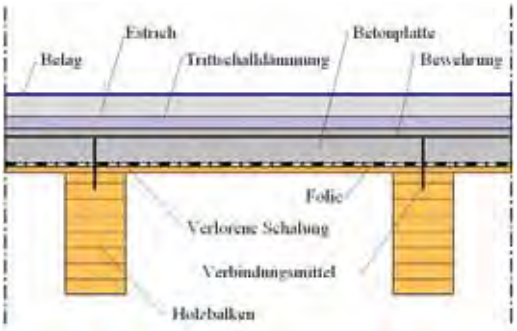


Abb. 1: Holz-Beton-Verbund zur Ertüchtigung von Holzbalkendecken

Durch die Herstellung des Verbundes zwischen den Werkstoffen Holz und Beton wirkt der Beton nicht nur als das Tragwerk beanspruchende Auflast – wie es z.B. bei Sanierungen in Trockenbauweise üblich ist – sondern bewirkt eine Erhöhung der Tragfähig- und Gebrauchstauglichkeit der Decke, die im wesentlichen vom Wirkungsgrad des eingesetzten Verbindungsmittels abhängig ist. Vergleichsberechnungen zeigen, dass bei einer Holz-Beton-Verbunddecke trotz des höheren Deckeneigengewichts (durch die Einbringung der Betonschicht) im Vergleich zur ursprünglichen Holzdecke eine bis zu 400% erhöhte Tragfähigkeit vorliegt. Gleichzeitig wird die Steifigkeit der Deckenkonstruktion erhöht, was zu geringeren Deckendurchbiegungen und reduzierter Schwingungsanfälligkeit führt. Durch die Einbringung zusätzlicher Masse in die Deckenkonstruktion wird zudem der Schallschutz erhöht. Die durch die Betonplatte kreierte Deckenscheibe sorgt für eine zusätzliche Aussteifung des Gebäudes.

4.2 Neubau von Holz-Beton-Verbunddecken

Im Bereich des Deckenneubaus haben Holz-Beton-Verbunddecken die Palette an Deckenvarianten in Holzbauweise erweitert. Holz-Beton-Verbunddecken vereinigen grundsätzlich die positiven Eigenschaften der massiven Stahlbetondecken mit den Vorteilen von reinen Holzdecken. Folgende Eigenschaften und Charakteristika besitzen Holz-Beton-Verbunddecken im Allgemeinen:

- Deckenelemente mit sehr hohem Vorfertigungsgrad möglich
- kurze Bauzeiten, da Rohbau der Decke = Ausbau der Decke
- freie Raumgestaltung durch freie Deckenspannweiten bis 15 m
- wirtschaftlichere Systemansätze im Vergleich zu Deckensystemen aus Stahlbeton oder reinen Holzdecken bei vergleichbarem Ausführungsniveau
- Vielseitigkeit bei statischen Systemansätzen (Einfeldsysteme, Mehrfeldsysteme, Kragarmsysteme)
- Deckenansichten mit natürlicher Ästhetik und Gestaltungsvielfalt
- hervorragende Bauphysik der Decke in Bezug auf Schwingungsverhalten, Brandschutz, Rauchdichtigkeit, Luftschall- und Trittschallschutz
- hohe Systemsteifigkeit und -festigkeit durch integrierten Beton
- aussteifende Wirkung durch Betonplatte (Scheibenwirkung)
- hohe Biegesteifigkeit mit nur geringen Deckenverformungen
- geringeres Eigengewicht im Vergleich zu massiven Stahlbetondecken
- optimales Ausnutzen der spezifischen Werkstoffeigenschaften (Holz: Zugkräfte, Beton: Druckkräfte)
- Sicherheit im Bruchzustand durch duktile Verbindungsmittel

Drei grundsätzliche Ausführungsvarianten für Neubaudecken in Holz-Beton-Verbundbauweise sind denkbar (in Bezug auf den Vorfertigungsgrad).

- Variante 1: Vorgefertigte Holzelemente in Verbindung mit auf der Baustelle aufgebrachtem Ortbeton
- Variante 2: Vorgefertigte Holzelemente in Verbindung mit im Werk aufgebrachter Betonschicht
- Variante 3: Vorgefertigte Holzelemente in Verbindung mit vorgefertigten Stahlbetonelementen

Abb. 2: HBV-Fertigteil als Deckenelement

4.3 Neubau von Wänden und Dächern in Holz-Beton-Verbundbauweise

Neben statischen und konstruktiven Anforderungen infolge der zu überbrückenden Spannweite und des gewählten Tragwerks werden an diese Bauteile insbesondere funktionelle und bauphysikalische Anforderungen gestellt. Die Eigenschaften, die Wände und Dächer in Holz-Beton-Verbundbauweise aufweisen müssen, um den auftretenden Beanspruchungen entgegenzuwirken, lassen sich i.A. unter den Schlagwörtern Regensperre, Wind- und Luftdichtigkeit, Wärme-, Kälte- und Schallschutz, Wärmespeicherkapazität und Raumakustik zusammenfassen.

Abb. 3: HBV-Massivdach

Wand- und Dachkonstruktionen in Holz-Beton-Verbundbauweise sind in der Regel voll- oder teilvorgefertigt und können auf der Baustelle schnell und leicht verlegt werden. Im Fall der Vollvorfertigung von Dachelementen bedarf es zur Ausbildung von Dachscheiben einer Kopplung der einzelnen Dachelemente. Im Fall der Teilvorfertigung von Dachelementen, bei der nur die Holzelemente vorproduziert werden und die Ortbetonschicht auf der Baustelle aufgebracht wird, übernimmt die gegossene Betonplatte bereits die Funktion der Dachscheibe. Folgende statische, konstruktive und bauphysikalische Aspekte liegen bei Wänden und Dächern in Holz-Beton-Verbundbauweise vor:

- Für Wände in Holz-Beton-Verbundbauweise mit der innen liegenden Betonscheibe und den außen angeordneten Holzrippen können grundsätzlich die im Holzbau bewährten Dämmsysteme (Dämmstoffplatten, Einblasdämmstoffe) verwendet werden.
- Durch die Möglichkeit der direkten Auflagerung von HBV-Dächern auf Stahlbeton- oder Mauerwerkswänden über die oberseitige Betonplatte lässt sich auf einfache Art und Weise die geforderte Wind- und Luftdichtigkeit der Gebäudehülle sicherstellen.
- Durch Verwendung von Stahlbeton als Teil der Tragstruktur wird die Masse der Konstruktion

erhöht und somit der Luftschallschutz verbessert.
- Die schwere Stahlbetonplatte besitzt ein großes Wärmespeichervermögen. Sie wirkt sich regulierend auf den Wärmehaushalt in angrenzenden Räumen aus (sommerlicher Wärmeschutz und winterlicher Kälteschutz).
- Herkömmliche aus dem Massivbau und dem Holzbau bewährte Dachaufbauten und Abdichtungssysteme für Dächer stellen einen ausreichenden Wärme- und Regenschutz her.
- Spezielle Dachaufbauten mit unterseitig angeordneten Akustikelementen bewirken eine gute Raumakustik.
- Durch bauteilintegrierte Solarthermie- und Photovoltaiksysteme besteht die Möglichkeit zur Gewinnung von Energie- und Strom.

Abb. 4: Modell eines HBV-Daches mit integrierter Solarthermie und Photovoltaik

4.4 Neubau von Holz-Beton-Verbundbrücken

Bei Brückenkonstruktionen werden die gestalterischen Vorzüge des Holzbaus mit den aus dem Holz-Beton-Verbundbau resultierenden Vorteilen bezüglich der Tragfähigkeit, der Gebrauchstauglichkeit und des Holzschutzkonzeptes kombiniert. Bei Holz-Beton-Verbundbrücken werden von der Betonplatte im Allgemeinen mehrere Funktionen gleichzeitig übernommen. Die oben liegende Betonplatte wird als Fahrbahn genutzt. Durch die Einbindung in das Verbundtragwerk – über die schubsteife Verbindung mit dem Holz – wird sie zum Lastabtrag herangezogen. Eine Querlastverteilung ist innerhalb der Betonplatte leicht herstellbar. Durch die seitliche Auskragung schützt die Betonplatte die Holzkonstruktion vor direkter Bewitterung. Die eingesetzten Holzquerschnitte übernehmen ihrerseits im Wesentlichen Funktionen hinsichtlich der Tragfähigkeit, der Ästhetik und der Natürlichkeit. Durch die Anordnung in der Zugzone übernimmt der Holzquerschnitt hierbei einen wesentlichen Anteil der auftretenden Zugspannungen, wobei Bewehrungszulagen in der Betonplatte reduziert werden können. Als Ganzes verringern sich durch den Hybridansatz auftretende Verformungen, die Schwingungsanfälligkeit sowie die Konstruktionshöhe der Brücke. Für Holz-Beton-Verbundbrücken liegen aus der Vergangenheit einige eindrucksvolle Ausführungsbeispiele vor.

Abb. 5: Unidobrücke bei Wien

5 Fazit

Die seit den 1980er Jahren an verschiedenen europäischen Forschungseinrichtungen intensiv erforschte Holz-Beton-Verbundbauweise hat den Sprung zur etablierten Bauweise geschafft. Für einige Verbindungssysteme liegen seit geraumer Zeit allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen vor. Die Vorteile, die durch Holz-Beton-Verbundkonstruktionen erzielt werden können, sind vielfältig; sie betreffen die Bereiche Tragfähigkeit und Ge-

brauchstauglichkeit in gleichem Maße wie die Aspekte der Bauphysik (Schallschutz, Schwingungsverhalten, Brandschutz). Die Bauweise wird erfolgreich bei Decken-, Wand, und Dachelementen im Hochbau sowie im Brückenbau eingesetzt. Sie gehört zum Stand der Technik.

Literatur

[1] Cecotti, A. (1995): „Holz-Beton-Verbundkonstruktionen“, in: Informationsdienst Holz, Holzbauwerke nach Eurocode 5, Bauteile, Konstruktionen, Details, STEP 2, E13, Düsseldorf, Fachverlag Holz der Arge Holz

[2] König, Holschemacher, Dehn (2004): „Holz-Beton-Verbund, Innovationen im Bauwesen, Beiträge aus Praxis und Wissenschaft“, Bauwerk Verlag

Zahlreiche weitere Literaturquellen sind z.B. zu finden unter www.bauchfachinformation.de Stichwort „Holz-Beton-Verbund“

Linkliste

www.holzbetonverbund.info
www.dennert.de
www.groeber.de
www.hbv-systeme.de
www.lignotrend.de
www.sfslocher.biz
www.tecnaria.com
www.timco.de
www.tccintegral.com
www.würth.de

9.2 Kleber, Bindemittel
Holz-Beton-Platten mit Klebeverbund

Maurice Brunner, Marco Schnüriger, Michael Roemer

In einem Projekt an der Berner Fachhochschule wurden Holz und Beton erfolgreich kraftschlüssig miteinander verklebt. Damit erhalten die klassischen mechanischen Verbindungen Konkurrenz von einer Methode, welche die Holzfaser nicht durchtrennt und ohne Schlupf die Steifigkeit verbessert. In der ersten Projektphase wurde die Herstellungstechnik des "Nass-in-Nass-Verfahrens" untersucht und optimiert. Die "Beton-Einbauzeit" - respektive die Zeitspanne zwischen dem Mischen des Klebstoffes und dem Gießen des Betons - hat sich als entscheidender Parameter herausgestellt. In der zweiten Projektphase wurden mehrere Holz-Beton-Platten mit Klebeverbund hergestellt und auf Biegung geprüft.

1 Einführung

In Europa gewinnen Holz-Beton-Verbunddecken generell an Beliebtheit, weil sie gegenüber konventionellen Holzdecken den Schutz gegen Brand und Schall erheblich verbessern und Schwingungsprobleme entschärfen. Statisch übernimmt der Beton die Biegedruckkräfte, während das Holz auf Biegezug beansprucht wird. Bisher werden für die Erreichung der Verbundwirkung zwischen Holz und Beton mechanische Verbindungsmittel – Schubverbinder, Schrauben, Bolzen oder Betonkeile in Holzvertiefungen (Kerven) - eingesetzt. Eine Einleitung der Schubkräfte kann jedoch auch durch den Einsatz von Klebemitteln erreicht werden. Dadurch werden die Schubkräfte gleichmässig über die ganze Fläche verteilt und Kraftkonzentrationen um die mechanischen Verbindungsmittel vermieden. Der schlupffreie Verbund führt zu einer höheren Biegesteifigkeit und somit zu einer Reduktion der Durchbiegung. Zudem ist die Klebefuge wasserdicht.

Erste Marktanalysen für den Holz-Beton-Klebeverbund sind günstig: durch das Wegfallen verschiedener Arbeitsgänge können die Kosten gegenüber der Anwendung mechanischer Verbindungsmittel gesenkt werden.

Grundsätzlich sind verschiedene Produkte wie z.B. Deckensysteme, Brückenkonstruktionen oder Wandelemente möglich. An der Berner Fachhochschule, Architektur, Holz und Bau (BFH-AHB) wurde eine Machbarkeitsstudie durchgeführt. Der flüssige Beton wurde auf den noch nassen Klebstoff gegossen und die Holz-Beton-Platten mit Klebeverbund wurden auf Biegung geprüft. Die meisten Prüfkörper versagten bei den erwarteten Belastungen, allerdings versagte bei einigen Prüfkörpern der Verbund vorzeitig. Die Prüfungen wurden im Rahmen der COST-Aktion C12 in Zusammenarbeit mit Forschungs- und Industriepartnern durchgeführt (EMPA, Schilliger AG, Küng AG, SIKA AG).

2 Experimentelle Untersuchung an Holz-Beton-Platten mit Klebeverbund

2.1 Projektplan

Das Projekt wurde in 4 Hauptphasen unterteilt:

I. Abklärung der optimalen Herstellungsbedingungen, speziell hinsichtlich vorzeitigen Verbundversagens. Verschiedene Parameter wurden bei der Herstellung von kleinen Holz-Beton-Prüfkörpern berücksichtigt, die visuell und experimentell analysiert wurden.
II. Die in der 1. Projektphase optimierten Parameter wurden verwendet, um grosse Holz-Beton-Platten mit Klebeverbund herzustellen und zu prüfen. Wichtig war dabei die Abklärung, ob die Gefahr des vorzeitigen Verbundversagens tatsächlich abgewendet wurde.
III. Untersuchung der Tragfähigkeit bei reduzierter Klebefläche, Anwendung als Plattenbalken (Abbildung 1) und als nicht vollständig verklebte HBV-Platte mit Leitungsöffnungen im Beton (Abbildung 2).
IV. Abklärung des Einflusses der Klebefuge auf das Kriechverhalten.

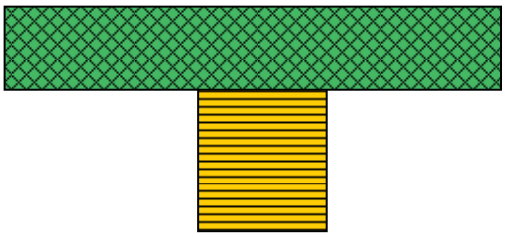


Abb. 1: Plattenbalken

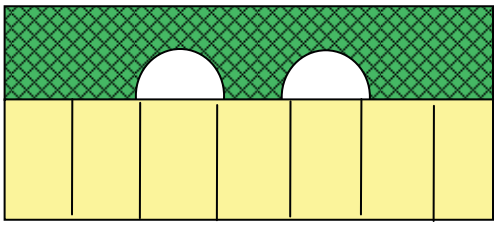


Abb. 2: Plattenelement mit Öffnungen im Beton

2.2 Optimierung der Herstellungsparameter

Zunächst wurden verschiedene Parameter evaluiert, die einen Einfluss auf das mögliche Verdrängen des Klebstoffes haben könnten. Die Prüfkörper wurden unter Berücksichtigung folgender Parameter hergestellt.

- Nicht veränderte Parameter:
  1. Fallhöhe des Frischbetons: 50 cm
  2. Klebstoffmenge: 925 g/m2
  3. Holz: Dreischichtplatte 30mm, C24, vom gleichen Hersteller
- Variablen:
  1. Beton: Normalbeton C25/30 und SCC
  2. (Selbstverdichtender Beton)
  3. Betondicken: 8 cm, 16 cm, 24 cm
  4. Zeitspanne zwischen Klebstoffapplikation und Betongießen: 15 min und 90 min
  5. Klebstoff: Zweikomponenten Epoxid der
  6. SIKA AG.

Abbildung 3 zeigt die Herstellung: Die Stahlschalung wurde auf die Holzplatte fixiert. Für die einfachere Erkennung wurde der sonst farblose Klebstoff rot eingefärbt. Nach der Applikation des Klebstoffes auf die Holzoberfläche wurde – nach Abwarten der Einbauzeit – der Beton gegossen. Nach dem Härten des Betons wurden die Prüfkörper in kleinere Teile für die verschiedenen Untersuchungen gesägt (Abb. 4 und 5).

Abb. 3: Herstellung der Prüfkörper, um die Herstellungsparameter zu optimieren.

Abb. 4: Erhärtete Prüfkörper

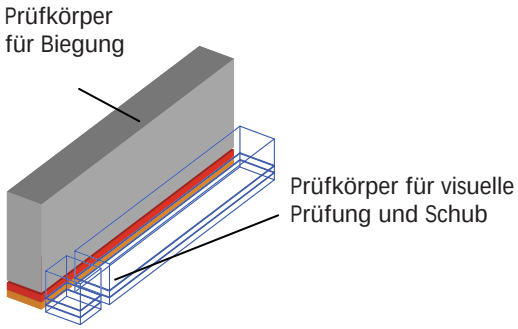


Abb. 5: Aufteilen der Prüfköper

Die Prüfkörper wurden sorgfältig visuell untersucht. Die wichtigsten Befunde waren:

- Der Klebstoff wurde an den Eingießstellen des Betons markant verdrängt.

– Sowohl bei Normalbeton C25/30 als auch bei SCC war die Verdrängung des Klebstoffes bei einer Einbauzeit von 15 min markant grösser, als bei 90 min (Abb. 6).

Abb. 6: Bei längerer Einbauzeit wurde der Klebstoff weniger verdrängt!

Die kleinen Prüfkörper wurden auf Biegung und Schub geprüft. Während die Biegeversuche wegen der grossen Streuung der Resultate keine klaren Aussagen ermöglichten, zeigten die Schubversuche (Abb. 7), dass mit Normalbeton die höhere Schubfestigkeit erreicht wird. Die visuelle Untersuchung der gebrochenen Prüfkörper zeigte, dass beim Normalbeton die Bruchlinie durch den Beton ging, während beim SCC oft die Klebefuge versagte. Möglicherweise gibt es eine chemische Reaktion zwischen dem Klebstoff und den Zusätzen des SCC. Die zwei wichtigsten Herstellungsparameter sind identifiziert worden. Erstens die Betonsorte: Mit Normalbeton wird der bessere Verbund erreicht. Zweitens ist es besser, erst 90 Minuten nach der Klebstoffapplikation den Beton zu gießen.

Abb. 7: Schubversagen der Klebefuge, lokale Verdrängung des Klebstoffes beim Betonieren

3 Grossversuche auf Biegung

Optimierte Herstellungsparameter wurden für die Herstellung aller Prüfkörper eingesetzt:

- Beton: C25/30, 90 min Wartezeit zwischen Klebstoffapplikation und Betongießen
- Holz: GL24, horizontal gelegt als Platte
- Klebstoff: Zweikomponenten SIKA- Epoxid-Klebstoff

Verschiedene Abmessungen des Betons und des Holzes wurden getestet. Bei einer Betonschicht von 80 mm wurden zwei Holzdicken von 36 mm und 120 mm verwendet. Bei einer Betonschicht von 240 mm wurden Holzdicken von 120 mm und 350 mm verwendet. Die Ergebnisse der Biegeversuche sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Die gemessenen Bruchlasten entsprachen weitgehend den Erwartungen. Bis zum Bruch konnte keine relative Verschiebung des Betons gegenüber dem Holzträger festgestellt werden, was ei-

ne starre und funktionierende Verklebung bestätigt.

4 Platten mit reduzierter Klebefläche

Durch die im Verhältnis zum Holz reduzierte Betonbreite wird in Längsrichtung Platz für die Leitungsführung geschaffen. Mit den zusätzlichen Öffnungen quer zur Längsrichtung, Serie PQ, können somit Leitungen in beide Richtungen geführt werden. Die Elemente der Serie PL erlauben die Führung von mehreren Leitungen in Längsrichtung (Abb. 8).

Abb. 8: Prüfkörper vor den Betonierarbeiten. Links die Prüfkörper der Serie PQ mit quer verlaufenden Kanälen; rechts die Prüfkörper der Serie PL mit längs verlaufenden Kanälen

Tabelle 1: Ergebnisse der Biegeversuche der Platten mit vollflächiger Verklebung

Serie	Theoretisches Bruchmoment kNm	Experimentelles Bruchmoment kNm	Bruchursache
Beton: 80mm Holz: 120mm	108.0	103.0 (-6.4%)	Beton auf Druck
Beton: 80mm Holz: 36mm	30.0	31.9 (+6.3%)	Holz auf Zug
Beton: 240mm Holz: 350mm	525.5	444.8 (-15.3%)	Beton auf Schub
Beton: 240mm Holz: 120mm	183.0	201.7 (+9.8%)	Beton auf Schub

Die Ergebnisse der Biegeversuche sind in Tabelle 2 zusammengefasst. Die gemessenen Bruchlasten der Serien PL und PQ entsprachen den erwarteten Rechnungswerten.

Tab. 2: Ergebnisse der Biegeversuche der Platten mit reduzierter Klebefläche

Serie	Theoretisches Bruchmoment kNm	Experimentelles Bruchmoment kNm	Bruchursache
PL (Leitungen längs) Beton: 80mm, Holz: 120mm	81.0	80.4 (-0.7%)	Beton auf Druck
PQ (Leitungen quer) Beton: 80mm, Holz: 120mm	64.0	74.8 (+16.9%)	Beton auf Schub und Druck

Zwei Verbundbalken wurden mit Betonklötzen belastet und die Deformation über mehrere Jahre beobachtet. Die Messungen sind noch im Gang. Die Ergebnisse zeigen eine Kriechdeformation, die vergleichbar ist mit der eines konventionellen Holz-Beton-Verbundelements mit starrem Klebeverbund. Dies ist ein wichtiger Hinweis, dass die Klebefuge keine grössere Kriechdeformation aufweist.

5 Schlussfolgerungen

Die Versuchsergebnisse bestätigen das Potential des Klebeverbundes für Holz-Beton-Verbundtragelemente. In der 1. Projektphase wurden die Herstellungsparameter dahingehend optimiert, dass ein geeigneter Zweikomponeten- Epoxid-Klebstoff ausgewählt wurde und das Betongießen erst 90 min nach der Klebstoffapplikation erfolgen soll. In der 2. Projektphase wurden Großversuche mit Holz-Beton-Platten mit Klebeverbund durchgeführt. Sowohl Platten mit vollflächiger Verklebung wie auch mit ca. 50 % Verklebung wurden getestet. Die gemessenen Bruchlasten entsprachen weitgehend den berechneten Werten, und bis zum Bruch konnte keine relative Verschiebung des Betons gegenüber dem Holzträger festgestellt werden, was eine starre und funktionierende Verklebung bestätigt.

Auf Basis der beschriebenen Untersuchungen wäre im weiteren Vorgehen der Bau eines Pilotprojektes ein nächster wichtiger Schritt hin zur Praxiseinführung.

Quellen

[1] Blass H.J, Schlager M.: Trag- und Verformungsverhalten von Holz-Beton-Verbundkonstruktionen, Bauen mit Holz, Hefte 5 und 6, 1996.

[2] Brunner M., Gerber C.: Holz-Beton-Verbunddecken mit Klebeverbindung, 31. SAH-Fortbildungskurs Weinfelden, 1999.

[3] Brunner M., Schnüriger M., Römer M.: Timber-concrete-composites with an adhesive connector (wet on wet process), RILEM, Materials and Structures, 2006.

[4] Gisel Peter: Holz-Beton-Verbund-Elemente: alternative Anwendungen mit Klebesystemen, Diplomarbeit der SH-Holz, 1997.

[5] Kenel A.: Zur Berechnung von Holz-Beton-Verbundkonstruktionen, Forschungs- und Arbeitsbericht, EMPA-Dübendorf, 1999

[6] Kuhlmann U., Gerold M., Schänzlin J.: Brettstapel-Beton-Verbund - Berücksichtigung von Kriechen und Schwinden, Bauingenieur 77, 6/2000, S. 281-288

[7] Kuhlmann, U.; Gerold, M. und Schänzlin, J.: Trag- und Verformungsverhalten von Brettstapel-Beton-Verbunddecken, Bauingenieur, Band 77, Januar 2002, S. 22-34

[8] Natterer J., Hoeft M: Zum Tragverhalten von Holz-Beton-Verbundkonstruktionen, Forschungsbericht CERS Nr. 1345, IBOIS, EPFL, 1987.

9.2 Verbundkonstruktionen, Materialkombinationen
Holz-Beton-Verbund Systeme

Rainer Bahmer

1 Holz-Beton-Verbund mit eingeklebten Streckmetallen

In diesem Beitrag wird ein innovatives Holz-Beton-Verbundsystem vorgestellt, das sich aus einem Holzquerschnitt, einer Betonplatte und einem Streckmetall (HBV-Schubverbinder) zusammensetzt. Der HBV-Schubverbinder ist zur einen Hälfte in den Holzquerschnitt eingeklebt, zur anderen Hälfte in die Betonplatte einbetoniert und verbindet auf diese Weise die beiden Querschnitte. Das HBV-System mit eingeklebten Schubverbindern ist bauaufsichtlich zugelassen (Z-9.1-557), einfach herzustellen, äußerst ökonomisch und erreicht nahezu volle Verbundwirkung bei gleichzeitig duktilem Verhalten.

Das Verbundsystem setzt dort an, wo die bisherigen Verbundsysteme (Schrauben, Dübel, Aussparungen im Holz) an ihre Grenzen stoßen, denn der HBV-Schubverbinder als neueste Entwicklung im Bereich der Holz-Beton-Verbindungsmittel hebt sich grundsätzlich von der Palette punktförmiger Verbindungsmittel ab: er wird in eine über die Länge des Holzquerschnitts eingeschlitzte Nut kontinuierlich eingeklebt. Der Moderator „Stahl" kann sehr fein auf die Festigkeiten der beiden Materialien „Holz" und „Beton" abgestimmt werden. Der relativ große Schlupf, der bei den punktförmigen Verbindungsmitteln zwischen Holz und Beton auftritt, wird durch die Klebeverbindung und den kontinuierlichen Lasteintrag aufgehoben. Entsprechend liegt der Verschiebungsmodul, der die Effektivität des Verbindungsmittels beschreibt, im Vergleich zu den punktförmigen Verbindungssystemen um ein Vielfaches höher. Gemäß allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung Z.9.1-557 kann für einen HBV-Schubverbinder mit einer Streifenlänge von 100 cm ein Verschiebungsmodul K_{ser} zum Zeitpunkt t = 0 von 825 kN/mm sowie eine charakteristische Schubtragfähigkeit T_k von 160 kN angesetzt werden.

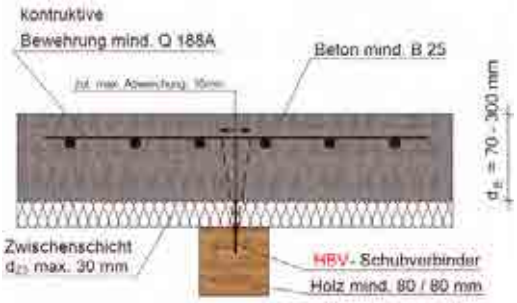


Abb. 1: Holz-Beton-Verbundsystem mit eingeklebten HBV-Schubverbindern

2 Anwendungsgebiete für die Holz-Beton-Verbundbauweise

Die Einsatzmöglichkeiten der Holz-Beton-Verbundbauweise sind im wesentlichen abhängig vom Potential des Verbindungsmittels. Je leistungsstärker die Verbundwirkung zwischen den Werkstoffen Holz und Beton ist, d.h. je starrer der Verbund hergestellt wird, desto größer ist das Einsatzgebiet. Relativ weiche Verbindungen werden vor allem in der Sanierung bestehender Balkendecken bei relativ geringen Spannweiten angewandt, während steifere Verbindungsmittel auch bei größeren Spannweiten im Geschossdeckenneubau- bzw. Fertigteilbereich Anwendung finden.

Beim Holz-Beton-Verbundsystem mit eingeklebten HBV-Schubverbindern sind grundsätzlich weitgespannte und hochbelastete Tragkonstruktionen mit Spannweiten von 15 m und mehr ausführbar. Die Beschränkung der Holz-Beton-Verbundbauweise auf einfache statische Einfeldsysteme ist aufgehoben; auch komplexere statische Systeme, wie Durchlauf- oder Kragsysteme sind mit dem HBV-System ausführbar. Weiterhin bieten sich neue Anwendungsgebiete außerhalb des Geschossdeckenbaus an, z.B. bei Wänden, Dächern oder Brücken.

3 HBV-Systemkonstruktionen in der Baupraxis

Der eingeklebte HBV-Schubverbinder als Verbindungsmittel bei Holz-Beton-Verbundlösungen wird in der Praxis in diversen Anwendungen eingesetzt. Im Folgenden werden einzelne Einsatzmöglichkeiten und Konstruktionen vorgestellt:

3.1 HBV-Sanierungssystem

Das HBV-Sanierungssystem wird bei erforderlichen Ertüchtigungen von Holzbalkendecken eingesetzt. Es bedient sich des vorhandenen Balkentragwerks; die bestehende, oftmals bauhistorisch wertvolle Bausubstanz bleibt erhalten und wird weiterhin genutzt. Die ins Holz eingeklebten HBV-Schubverbinder ermöglichen das schubsteife Verbinden der Werkstoffe Holz und Beton, wodurch die im Vergleich zur bestehenden Holzdecke bzw. zu einer herkömmlichen Ertüchtigung in Trockenbauweise deutlich verbesserten Eigenschaften in den Bereichen Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit – Reduzierung der Durchbiegungen um bis zu 70 % – realisiert werden. Durch die Holz-Beton-Verbundbauweise wird ein kompletter Abbruch der alten Holzdecken bzw. das Erstellen aufwendiger, neuer Deckenkonstruktionen aus Beton vermieden. Unter bestimmten Vorraussetzungen werden die Auflagerlasten nicht höher, die Fundamente müssen nicht verstärkt werden.

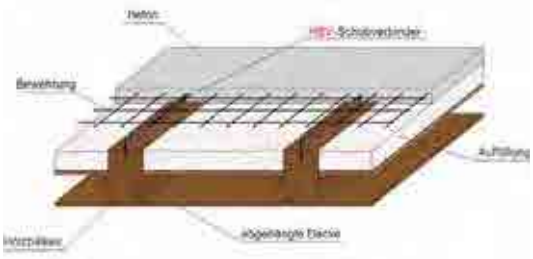


Abb. 2: HBV-Sanierungssystem

3.2 HBV-Balkendecke

Die HBV–Balkendecke wurde mit dem Ziel entwickelt, eine sichtbare Holzbalkendecke herstellen zu können, die bei gleichen statischen Kapazitäten annähernd die gleichen bauphysikalischen Eigenschaften wie eine Stahlbetondecke aufweisen kann (d.h. eine geringe Schwingungsanfälligkeit und einen guten Schallschutz). Gleichzeitig besitzt die HBV-Balkendecke im Vergleich zur Stahlbetondecke jedoch ein verringertes Eigengewicht und somit eine reduzierte Verformungsanfälligkeit.

Abb. 3: HBV-Balkendecke

3.3 HBV-Rippendecke

Die HBV–Rippendecke besteht aus einer oben liegenden Betonplatte sowie unten liegenden, im Raster angeordneten Holzbalken. Die Deckenelemente werden im Werk komplett vorgefertigt und lassen sich auf der Baustelle schnell und leicht verlegen. Die Kopplung der einzelnen Elemente zum Erzielen der Scheibenwirkung geschieht über das Ausbetonieren von speziellen Vergusstaschen. Die Betonoberseite der HBV–Rippendecke ist belagsfertig. Auf das Glätten oder Bearbeiten der Oberfläche in einem weiteren Arbeitsgang kann verzichtet werden. Die Auflagerung der HBV–Rippendecke kann über den Holzbalken oder auch über die oben liegende Betonplatte erfolgen. Installationsleitungen werden zwischen den Holzrippen verlegt. Im Wandbereich sind die Holzrippen bei Auflagerung über die Betonplatte zurückgestellt, um die Installationsleitungen vorbeiführen zu können. Die HBV–Rippendecke sollte mit einer federnd abgehäng-

ten Unterdecke geschlossen werden, um Vorteile hinsichtlich des Schallschutzes (entkoppelte Ebene) nutzen zu können.

Abb. 4: HBV-Rippendecke

3.4 HBV-Kastendecke

Eine interessante Lösung für weit gespannte Deckentragwerke in Holz-Beton-Verbundbauweise stellt die HBV-Kastendecke dar. Die HBV-Kastendecke ist eine Weiterentwicklung der HBV-Balkendecke, aufgewertet durch ein an der Unterseite angebrachtes statisch wirksames Zugband. Das Bewehren und Betonieren der HBV-Kastendecke erfolgen in der Regel auf der Baustelle. Es besteht jedoch auch die Möglichkeit, die HBV-Kastendecke bereits im Werk zu betonieren und als Fertigteil auf die Baustelle zu bringen.

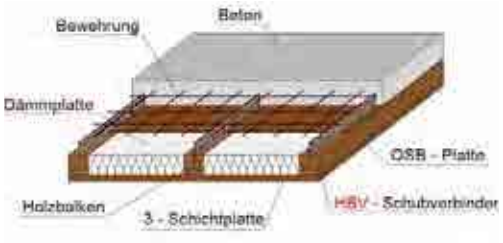


Abb. 5: HBV-Kastendecke

3.5 HBV-Plattendecke

Seit etwa fünfzehn Jahren werden Flachdecken aus Brettschichtholz oder Brettsperrholz in Gebäuden aus Holz aber auch in Massivbauweise erfolgreich eingesetzt. Bei einem direkten Vergleich zwischen reiner Massivholzdecke und Stahlbetondecke hinsichtlich Kosten und Bauphysik schneidet die Holzdecke deutlich schlechter ab. Die Wettbewerbsfähigkeit wird erst durch die Hybridbauweise erreicht.

Bei der HBV-Plattendecke werden in die flach liegenden, massiven Holzelemente aus Brettschichtholz oder Brettsperrholz nach den statischen Erfordernissen die HBV-Schubverbinder werkseitig eingeklebt. Die Feuchtigkeitssperre für den Schutz des Holzes wird ebenso im Werk aufgebracht wie eine Lasierung der Holzoberfläche. Auf der Baustelle lassen sich die auf diese Weise vorgefertigten, großformatigen Bauteile schnell verlegen. Bewehren und Betonieren der HBV–Plattendecke erfolgen auf der Baustelle.

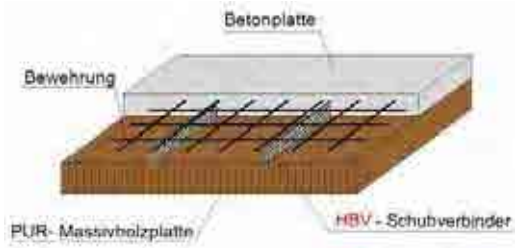


Abb. 6: HBV-Plattendecke

3.6 HBV-Akustikdecke

Als Sonderausführung kann die HBV-Akustikdecke angesehen werden. Hierbei werden die HBV-Schubverbinder in die Stege von vorgefertigten Akustikdeckenelementen eingeklebt. Wesentliche Vorteile der HBV-Akustikdecke liegen neben den bekannten Vorzügen bezüglich der Raumakustik in der freien Gestaltbarkeit der Unteransicht, wodurch auch exklusive Ansichten, z.B. in Weißtanne, ausgeführt werden können.

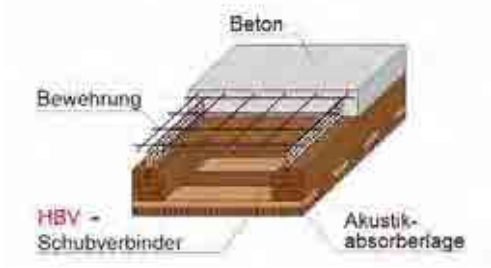


Abb. 7: HBV-Akustikdecke

3.7 Weitere Anwendungen

Neben geraden Bauteilen wurden in der Vergangenheit auch gekrümmte Bauteile in Holz-Beton-

Verbundbauweise ausgeführt. Abb. 8 zeigt exemplarisch ein Carport mit einer gekrümmten Holz-Beton-Verbunddachkonstruktion.

Abb. 8: HBV-Carport

Mit dem Holz-Beton-Verbundsystem mit eingeklebten HBV-Schubverbindern wurden auch Wand- und Brückenkonstruktionen erstellt.

Abb. 9: HBV-Wände in einer Wohnanlage in der Schweiz [Holzbau Gröber GmbH]

Die HBV-Wand und das HBV-Dach bieten bauphysikalische Vorteile: Massespeicher innen – Wärmedämmung außen, besserer Schallschutz in exponierten Lagen wie Flughäfen oder Autobahnen.

Auch für Brückenkonstruktionen jeglicher Art ist der Holz-Beton-Verbund ideal: Die Betonplatte bildet das Dach für das zu schützende Holz. Die statischen Nachweise für die Holzbauteile können somit in der Nutzungsklasse 2 geführt werden.

Abb. 10: Die Unidobrücke in Österreich

Hohe architektonische Ansprüche können mit Sonderlösungen auch bei Dächern erfüllt werden.

Abb. 11: HBV-Unterzug in einem Golfclub

4 Ausblick

Die Erfolgsgeschichte der HBV-Decken begann mit einer über 10 m frei gespannten HBV-Plattendecke in einem Bürogebäude im Jahr 2001. Für die unterschiedlichsten Anforderungen von Architekten, Unternehmen, Bauherren und Ingenieuren wurden neue Varianten entwickelt, getestet und ausgeführt. HBV-Konstruktionen wurden mehrfach auch in der Schweiz, Österreich, Luxemburg, Norwegen, Italien und den USA erstellt. Interessante Projekte sind aus dem osteuropäischen Raum zu erwarten.

(Wenn nicht anders vermerkt, alle Abbildungen TiComTec GmbH.)

9.2 Verbundkonstruktionen, Materialkombinationen
Straßenbrücken in Holz-Beton-Verbundbauweise

Antje Simon, Karl Rautenstrauch

1 Einleitung

Der Einsatz von Holz als Haupttragelement beim Bau von Straßenbrücken ist in Deutschland von untergeordneter Bedeutung. Massiv- und Stahlverbundbauweisen dominieren das Baugeschehen. Interessante Zukunftsperspektiven für den Holzbrückenbau eröffnen sich durch die Anwendung der im Hochbau entwickelten Holz-Beton-Verbundbauweise im Brückenbau.

Im Rahmen eines Forschungsvorhabens [1] wurde das Trag- und Verformungsverhalten von Straßenbrücken in Holz-Beton-Verbundbauweise detailliert untersucht. Dabei standen differenzierte Parameteranalysen sowie die Entwicklung eines geeigneten Verbundelementes im Vordergrund.

Ziel des Forschungsvorhabens war es, die wissenschaftlich-technischen Grundlagen für einen innovativen, neuartigen Prototyp von Holz-Beton-Verbund-Brückenkonstruktionen zu erarbeiten. Die baupraktische Umsetzung im Brückenbau erforderte die Klärung der prinzipiellen Anwendbarkeit und der Konkurrenzfähigkeit der neuen Hybridbauweise im Vergleich zu konventionellen Beton- und Stahlverbundbrücken.

2 Aspekte der Planung und Technik

Ein Brückenüberbau in Holz-Beton-Verbundbauweise besteht aus einer Betonfahrbahnplatte, die mit den darunter angeordneten Holzhauptträgern nachgiebig verbunden ist (Abb. 1).

Die Anwendung dieser Hybridbauweise ist besonders für die Errichtung von Einfeldbrücken interessant. Im Einfeldbauwerk werden die Teilquerschnitte entsprechend ihrer positiven Festigkeitseigenschaften beansprucht, da bei diesen der Beton in der Druckzone und das Holz in der Zugzone des Verbundquerschnittes angeordnet sind. Holz-Beton-Verbundbrücken bieten im Vergleich zu reinen Holz- oder Massivbrücken wesentliche Vorteile.

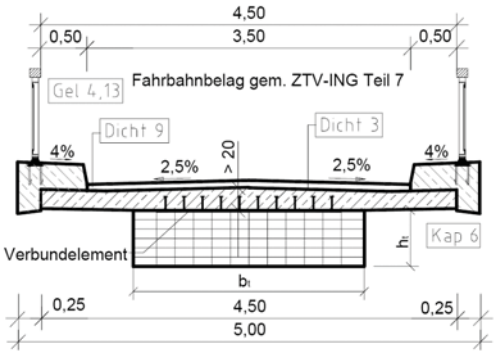


Abb. 1: Querschnitt einer Holz-Beton-Verbundbrücke (Einspurige Wirtschaftswegüberführung)

Abb. 2: Blockverleimter Brettschichtholzträger mit dem Verbundelement Dübelleiste

Neben den aus dem Hochbau bekannten Vorteilen der hohen Tragfähigkeit bei geringer Bauteilhöhe, der guten Lastquerverteilung und einfachen Scheibenausbildung zur Bauwerksstabilisierung ergeben sich für den Brückenbau zusätzliche Vorteile hinsichtlich der konstruktiven Ausbildung. Im Betonbrückenbau bewährte Anschlussdetails für Schrammborde, Geländer, Fahrbahnübergänge und die Ausführung der bituminösen Abdichtung können ohne zusätzlichen Planungsaufwand übernommen werden. Im Vergleich zu normalen Holzüberbauten bietet die Betonplatte infolge ihrer großen Steifigkeit in Holz-Beton-

Verbundbrücken zusätzlich Vorteile bei der Abtragung horizontaler Lasten aus Bremsen und Seitenstoß. Zudem stellt die Betonfahrbahnplatte einen idealen konstruktiven Holzschutz für die Brettschichtholzkonstruktion dar.

Deutliche Vorteile von Holz-Beton-Verbundstraßenbrücken liegen im geringen Eigengewicht der Hauptträger und dem hohen Vorfertigungsgrad. Bei Einsatz von Betonfertigteilen können kurze Montage- und Sperrzeiten erreicht werden, weshalb sich Holz-Beton-Verbundbrücken insbesondere für die Überführung von Wirtschaftswegen über stark frequentierte Bundesautobahnen, Bundesfernstraßen und Strecken der DB AG eignen.

Der wissenschaftlich-innovative Charakter des Forschungsprojektes bestand in der Adaption der Holz-Beton-Verbundbauweise vom Hochbau auf den Brückenbau. Im Rahmen einer Weiterentwicklung der Hybridbauweise wurden u.a. die Problematiken der Verbundfuge und des Langzeittragverhaltens detailliert untersucht.

Zur Schubübertragung in der Verbundfuge wurde das Verbundelement Dübelleiste entwickelt. Dieses Element besteht aus einem im Holz eingelassenen Flachstahlstreifen mit betonseitig aufgeschweißten Kopfbolzendübeln. Zur Kraftübertragung werden bewährte Prinzipien des Stahlverbundbaus und des Holzbaus genutzt.

In Auswertung umfangreicher Versuchsserien zum Kurzzeit-, Langzeit- und Verhalten unter dynamischer Beanspruchung sowie zusätzlich durchgeführter rechnerischer Simulationen konnte eingeschätzt werden, dass das Verbundelement Dübelleiste eine hohe Steifigkeit und Tragfähigkeit besitzt und daher für den Einsatz im Hybridbrückenbau hervorragend geeignet ist.

Anhand einer umfangreichen Parameterstudie konnte zudem nachgewiesen werden, dass Holz-Beton-Verbundbrücken eine technisch konkurrenzfähige, ökologische Alternative zu herkömmlichen Massivbrücken darstellen. Die Hybridbrücken sind tragfähiger und dauerhafter als einfache Holzdeckbrücken.

Die Ergebnisse des Forschungsprojektes wurden im Jahr 2008 mit dem Bau einer Pilotbrücke in beispielgebender Weise in der Praxis umgesetzt. In der Gemeinde Wippra im Bundesland Sachsen-Anhalt entstand mit der Birkbergbrücke über die Wipper die erste, basierend auf den Einwirkungsklassen nach DIN Fachbericht 101 für Schwerlastverkehr konzipierte, Straßenbrücke Deutschlands in Holz-Beton-Verbundbauweise (Abb.3).

Abb. 3: Birkbergbrücke Wippra

3 Ökologische Aspekte

In Holz-Beton-Verbundbrücken werden im Vergleich zu herkömmlichen Massivbrücken die wesentlichen Haupttragelemente des Brückenquerschnitts größtenteils durch den ökologischen Baustoff Holz substituiert. Im Vergleich zu den bisher international errichteten Hybridbrücken erweist sich bei denjenigen mit blockverleimten Holzhauptträgern der massive, mengenmäßig erhöhte Einsatz von Holz als ökologischer Vorteil. Diese Konstruktionsart zielt auf eine deutliche Steigerung der bisher im Verkehrsbrückenbau eingesetzten Holzmengen ab.

Am Ende der Lebensdauer der Brücke kann das Holz dem natürlichen Stoffkreislauf zugeführt werden (thermische Verwertung – gebundenes CO_2 wird wieder frei). Holz ist ein Plusenergieprodukt!

Die für das Recycling notwendige einfache Trennbarkeit der verschiedenen Materialien ist bei blockverleimten Hybridbrücken mit Dübelleisten gegeben. Der zu Beginn der Lebensdauer vorhandene adhäsive Verbund in der Kontaktfläche zwischen Holz und Beton wird im Laufe der Zeit durch die unterschiedlichen Deformationen unter variablem Klima aufgehoben. Eine die Recyclierbarkeit erschwerende Vermischung der Materialien ist nicht vorhanden.

Die Überbauplatte aus Beton, sowie die Betonkappen können als Betonrecyclingmaterial aufbereitet werden. Im Vergleich zu herkömmlichen Massivbrücken fällt dieses Material in wesentlich geringerem Umfang an, da die Konstruktion so optimiert ist, dass der Querschnittsanteil des Holzes im Gesamtquerschnitt sehr hoch, der Betonanteil jedoch auf das statisch notwendige Minimum reduziert ist.

4 Ökonomische Aspekte

Fast die Hälfte aller Brücken in Deutschland liegt im Stützweitenbereich zwischen 5 und 30 m. Die im Rahmen des Forschungsprojektes durchgeführten Analysen ergaben, dass die Errichtung von Straßenbrücken in Holz-Beton-Verbundbauweise im Stützweitenbereich zwischen 10 m und 30 m unter Berücksichtigung statisch-konstruktiver und wirtschaftlicher Aspekte sinnvoll und konkurrenzfähig ist. Mit der Entwicklung der Holz-Beton-Verbundbauweise im Straßenbrückenbau wird also einerseits der Holzeinsatz in diesem Bausektor überhaupt initiiert, zum anderen besteht ein immenses, neues Marktpotential sowohl für den Holzabsatz als auch für das Holzbaugewerbe.

Der Einsatz der großformatigen massiven Blockträger erhöht den Holzabsatz im Vergleich zu den bisher üblichen Brettschichtholzkonstruktionen erheblich. In ökonomischer Hinsicht vorteilhaft erweist sich bei dieser Hybridbauweise zudem, dass der immer teurer werdende Stahl durch einen einheimischen, in ausreichenden Mengen verfügbaren, ökologischen Baustoff substituiert wird. Wenn es gelingt, die Holz-Beton-Verbundbauweise auf dem Brückenbaumarkt als gleichwertig zu den bisher üblichen Massivbauweisen zu etablieren, besteht in dieser Bauweise ein enormes Entwicklungspotential für die einheimische Forst- und Holzwirtschaft.

Durch den idealen konstruktiven Holzschutz kann mit einer langen Lebensdauer der Holz-Beton-Verbundbrücken gerechnet werden. Australische Forschungsergebnisse beweisen, dass sich die Lebensdauer einer Holz-Beton-Verbundbrücke im Vergleich zu einer ungeschützten Holzbrücke verdoppelt bis verdreifacht.

Aktuelle Studien zeigen zudem, dass die Wartungs- und Instandhaltungskosten für geschützte Holzbrücken nicht höher sind als diejenigen für massive Brücken. Durch den bei Holz-Beton-Verbundbrücken vorhandenen hervorragenden konstruktiven Holzschutz sind folglich auch keine höheren Instandhaltungskosten zu erwarten als für vergleichbare Betonbrücken

5 Rechtliche Aspekte

In Deutschland scheiterte die praktische Umsetzung von Straßenbrücken in Holz-Beton-Verbundbauweise bisher daran, dass keine bauaufsichtlichen Zulassungen für geeignete Verbindungsmittel existieren. Die derzeit zugelassenen Verbindungsmittel für Holz-Beton-Verbundkonstruktionen sind aufgrund zu geringer Steifigkeitskennwerte und Traglasten für die Anwendung im Brückenbau ungeeignet. Holz-Beton-Verbundbrücken können in Deutschland derzeit nur mit einer Zustimmung im Einzelfall errichtet werden, woraus ein erheblicher Wettbewerbsnachteil resultiert.

Das mit der Birkbergbrücke verwirklichte Pilotprojekt soll dazu beitragen, potentielle Auftraggeber von den Vorteilen der innovativen Holz-Beton-Verbundbauweise zu überzeugen und Vorurteile bzw. Bedenken abzubauen. Eine bauaufsichtliche Regelung wird angestrebt, um die baupraktische Umsetzung zu erleichtern.

6 Zusammenfassung

Die Entwicklung von Straßenbrücken in Holz-Beton-Verbundbauweise stellt eine Innovation im Brückenbau dar.

Zur Etablierung der Holz-Beton-Verbundbauweise im Brückenbau erfolgte im Rahmen eines Forschungsvorhabens eine detaillierte Analyse des Trag- und Verformungsverhaltens solcher hybrider Straßenbrücken. Um die Anwendung der Holz-Beton-Verbundbauweise in der Brückenbaupraxis zu erleichtern, wurden Berechnungsmethoden und Konstruktionsrichtlinien, wie sie für Stahlbeton- sowie Stahlverbundbrücken bereits seit langem existieren, erarbeitet. Mit den Ergebnissen der Arbeit ist es möglich, für eine zu überbrückende Stützweite die optimale Konstruktionshöhe zu ermitteln sowie eine geeignete Materialauswahl für den Beton, das Holz und das Verbindungselement zu treffen.

Neben der Erarbeitung statisch-konstruktiver Lösungen stand die Entwicklung eines geeigneten Verbundelementes für den Straßenbrückenbau im Vordergrund.

Der bei diesem neuen Hybridbrückentyp realisierte massive Einsatz von Holz ist ein wesentlicher Schritt auf dem Weg zum umweltbewussten, nachhaltigen Straßenbrückenbau.

Mit der Verwirklichung des Pilotprojektes der Birkbergbrücke wurden die innovative Idee und der ökologische Vorteil dieser Hybridkonstruktionen dokumentiert und damit ein wichtiger Beitrag geleistet, um zukünftig Holz-Beton-Verbundbrücken als moderne Systemlösungen für den Verkehrswegebau zu etablieren.

Quellen

Eine umfangreiche Zusammenstellung weiterführender Literatur zum Thema enthalten die folgenden Veröffentlichungen:

[1] Rautenstrauch, K.; Simon, A.: Weiterentwicklung der Holz-Beton-Verbundbauweise unter Einsatz von blockverleimten Brettschichtholzquerschnitten bei Straßenbrücken, AIF-Forschungsvorhaben 14275 BR, 2008

[2] Simon, A.: Analyse zum Trag- und Verformungsverhalten von Straßenbrücken in Holz-Beton-Verbundbauweise. Dissertation, Bauhaus- Universität Weimar, 2008

9.2 Verbundkonstruktionen, Materialkombinationen
Holz-Beton-Verbundträger im Straßenbrückenbau: experimentelle Ermittlung der Ermüdungsfestigkeit

Ulrike Kuhlmann, Pietro Aldi

1 Einleitung

Die bisher sehr wenig erforschten und praktisch unbekannten Ermüdungsfestigkeitswerte der Verbundfuge stellen ein Hindernis zur Verbreitung der Holz-Beton-Verbundbauweise für gewöhnliche Straßenbrücken (im Allgemeinen und besonders in Deutschland) dar. Laut verbindlichen Belastungsmodellen des DIN FB 101 [1] sind jedoch Ermüdungsnachweise in der Planungsphase einer Brücke unbedingt zu führen. Ziel dieses Forschungsvorhabens ist das Ermüdungsverhalten der Verbundfuge in Holz-Beton-Verbund-Trägern zu untersuchen und eine erste Wöhlerlinie für geeignete Verbindungstechniken zu ermitteln, um die Anwendung der Holz-Beton-Verbundbauweise für Brücken kleiner und mittlerer Spannweite voranzubringen.

Abb. 1a: Uusisalmi Bridge (Finnland) Belastungstest [2]

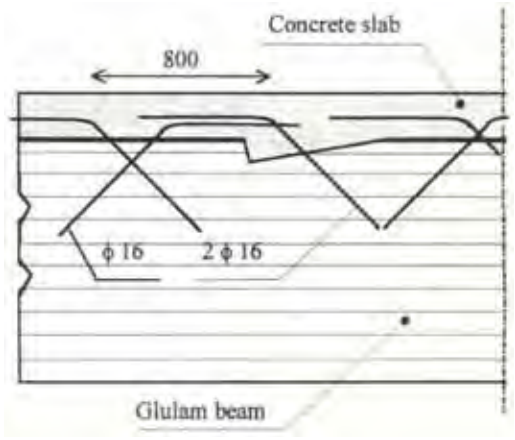


Abb. 1b: Uusisalmi Bridge Verbindungsdetails [2]

Abb. 1c: Uusisalmi Bridge (Finnland) Verbindungsdetails [2]

2 Verbindungsmöglichkeiten für HBV-Brücken

2.1 Allgemeines

Eine ursprüngliche Verbindungsmöglichkeit zwischen Holz und Beton war die Anwendung von Gewindestäben, die im Holzteil befestigt wurden. Die Übertragung der Schubkraft durch die Holz-Beton-Verbundfuge wurde von diesen stählernen Stäben, nach dem Erhärten des Betons, gewährleistet. Bei dieser Methode sind die stiftförmigen Verbindungsmittel vorwiegend auf Biegung und Schub beansprucht und versagen duktil. Eine Änderung in der geometrischen Anordnung der Verbindungsmittel stellt eine Verbesserung dieses Systems dar. Werden die Stahlstäbe unter einer Neigung von 45° (bezüglich der Verbundfuge) eingebracht, sind diese vorwiegend durch Zug- und Druckkräfte beansprucht. In manchen Veröffentlichungen wird dieses Verbindungsmittel als „X - Connector“ beschrieben [3]. Diese geometrische Anordnung führt zu vergleichweisen hohen Tragfähigkeitswerten der Verbundfuge. Eine andere Möglichkeit zur Herstellung eines wirksamen Verbundes kann durch das Ausfräsen von Kerven in den Holzträger erfolgen. Die Schubkräfte werden dann unmittelbar über die Kontaktfläche an

der Kervenflanke weitergeleitet. Mit dieser Methode sind hohe Steifigkeitswerte erreichbar, das Versagen kann jedoch schlagartig und spröde erfolgen. Aus diesem Grund wurde eine Kombination von diesen beiden Systemen vorgeschlagen, und in einigen HBV-Brücken (mit bis zu 42 m Spannweite und 11 m Breite) verwendet [4].

2.2 Ermüdungsfestigkeit von HBV-Strukturen

In einigen Veröffentlichungen wird das Thema der Tragfähigkeit und der Steifigkeit der erwähnten Verbindungsmöglichkeiten betrachtet, aber nur in wenigen Literaturstellen sind Angaben über die Ermüdungseigenschaften von Holz-Beton-Verbund-Trägern enthalten. Die experimentellen Ergebnisse der vorliegenden Scherversuche werden im Folgendem zusammengefasst. In [3] werden einige Ermüdungsversuche von asymmetrischen Holz-Beton-Scherkörpern mit „X-connectors“ präsentiert. Eingeklebte Bewehrungsstäbe mit Durchmesser von 20 mm wurden als Verbindungsmittel zwischen Brettschichtholz der Festigkeitsklasse L40 (dies entspricht eine Festigkeitsklasse GL32 nach [5]) und Beton (C40) eingesetzt. Es wurden zwei verschiedene Klebstoffe verwendet und drei unterschiedliche geometrische Anordnungen gewählt, um die bestmögliche Lösung für eine Anwendung im Brückenbau herauszufinden. Insgesamt wurden 4 unterschiedliche Prüfkörper mit verschiedenen aufgebrachten Lastwechsel (zwischen 10^6 und $2{,}1 \cdot 10^6$) untersucht. In [6] sind Ergebnisse von Ermüdungsversuchen an symmetrischen Scherkörper enthalten. Die Holzteile dieser Prüfkörper wurden zusätzlich mit Faserverbundkunststoff verstärkt und mit eingeklebten Bewehrungsstäben senkrecht zur Faser versehen. Als Klebstoff wurde ein Epoxidharz verwendet. Es wurden drei Prüfkörper mit $2{,}0 \cdot 10^6$ Lastwechsel belastet. Die wichtigsten Versuchsergebnisse sind in der Tab. 1 dargestellt. Keiner von den hier aufgelisteten Versuchen hat infolge Ermüdungsbeanspruchung versagt. Die Prüfkörper wurden mit mehr als 10^6 Lastwechsel belastet (teilweise mit mehr als $2{,}0 \cdot 10^6$) und es wurde kein Bruchzustand erreicht. Dies wurde wahrscheinlich von der verhältnismäßig kleinen maximalen Kraft (F_{max}/F_{ult}= 0,17 …0,27) oder von dem relativ großen Kräfteverhältnis „R“ (R= 0,17…0,43) verursacht.

Tab. 1: Ergebnisse von Ermüdungstest ([3], [6], [7])

Literaturquelle	Serie	Anzahl Prüfkörper	Maximale Kraft F_{max}	Kräfteverhältnis $R = F_{min}/F_{max}$	aufgebrachte Lastwechsel
[3]	X_p	1	$0.27 \cdot F_{ult}$	0.06	$1.0 \cdot 10^6$
	X_v	1	$0.23 \cdot F_{ult}$	0.06	$2.1 \cdot 10^6$
	VN	1	$0.17 \cdot F_{ult}$	0.06	$1.2 \cdot 10^6$
	XN	1	$0.17 \cdot F_{ult}$	0.06	$1.7 \cdot 10^6$
[6]		3	$0.44 \cdot F_{ult}$	0.43	$> 2.0 \cdot 10^6$
[7]	S	2	$0.35 \cdot F_{ult}$	0.17	$> 2.0 \cdot 10^6$
	K	2	$0.35 \cdot F_{ult}$	0.17	$> 2.0 \cdot 10^6$
	X	2	$0.35 \cdot F_{ult}$	0.17	$> 2.0 \cdot 10^6$

3 Versuchsprogramm

3.1 Allgemeines

Um die Bestimmung der Ermüdungsfestigkeit von typischen Holz-Beton-Verbindungsmitteln und von ganzen Holz-Beton-Verbundträgern zu erreichen, wird das Verhalten von unterschiedlichen Verbundmöglichkeiten erforscht. Zwei unterschiedliche Verbindungsmöglichkeiten wurden, auf der Grundlage von in der Literatur vorhandenen Untersuchungen, ausgewählt zur Ausbildung der Verbundprüfkörper. Maßgebend für die Auswahl waren die Werte der Tragfähigkeit und der Steifigkeit, die sich für eine Anwendung im Straßenbrückenbau am besten eignen.

Die erste Verbindungsmöglichkeit stellt die Anwendung von im Holzteil ausgefrästen Kerven dar, die nach dem Betonieren und Abbinden des Frischbetons eine wirksame Schubverbindung zwischen Holz und Beton darstellt. Die zweite untersuchte Möglichkeit besteht in der Anwendung von sogenannten „X-Verbindern“ (kreuzweise eingeklebte Bewehrungsstäbe).

In der ersten Phase der Untersuchungen wurden statische Versuche zur Ermittlung von Referenzwerten durchgeführt. Diese Versuche dienten der Bestimmung eines Tragfähigkeitsmittelwerts für die jeweils eingesetzten Verbindungsmittel. Zudem wurden Mittelwerte des Anfangsverschiebungsmoduls nach [8] ermittelt und mit Werten aus der Literatur verglichen. In einer zweiten Phase des Forschungsprojektes wurden Ermüdungsversuche an Scherkörpern durchgeführt. Ziel war hier die Ermittlung von Wöhlerlinien für die untersuchten Holz-Beton-Verbindungen.

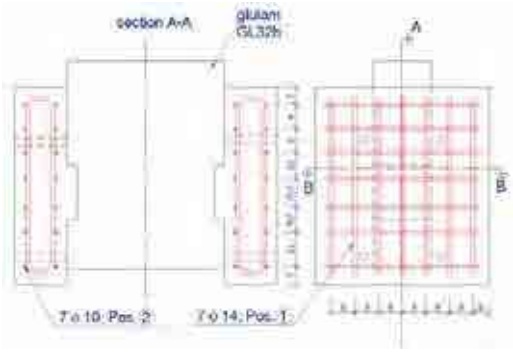


Abb. 2a

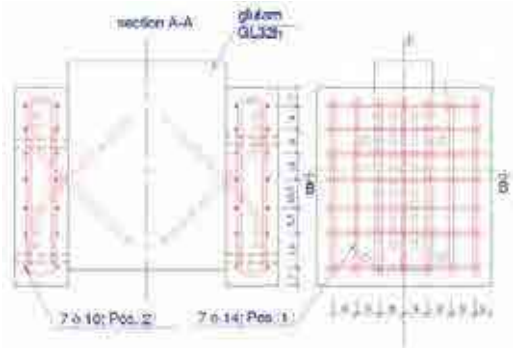


Abb. 2a und 2b: Geometrie der Prüfkörper für die Push–Out–Tests

3.2 Materialeigenschaften

Für die Holzteile wurde Brettschichtholz der Festigkeitsklasse GL32h verwendet. Für Betonteile kam ein Beton mit der Betongüte C30/37 zum Einsatz. Für die eingeklebten stiftförmigen Verbindungsmittel der Serie „X – Verbinder“ wurde die Verwendung von Stäben aus BSt 500 S mit Nenndurchmesser d = 16 mm vorgesehen.

3.3 Referenzversuche an Scherkörper

Die Ermittlung von Orientierungswerten der Tragfähigkeit und der Anfangssteifigkeit der Verbindungsmittel ist notwendige Grundlage für die nachfolgenden Schwellendruck-Ermüdungstests. Zwei gleiche äußere Stahlbetonbauteile simulierten die Betonplatte der Brücke und ein mittlerer Holzträger simulierte einen Ausschnitt des Tragwerks, in dem die Verbindungsmittel angeordnet

sind. Die äußeren Abmessungen sind in Abb. 2a (Serie „N“) bzw. Abb. 2b (Serie „D“) dargestellt. Die Geometrie der Versuchskörper wurde so gewählt, dass die tatsächliche Situation einer Brücke möglichst gut wiedergegeben ist. Insgesamt wurden 6 Versuche zur Ermittlung der Referenzeigenschaften der Verbundfuge durchgeführt (3x2 = 6 Versuchskörper mit zwei unterschiedlichen Verbindungsmittel). Die Lasteinleitung erfolgte mittig mit einem Prüfzylinder an der Oberkante des Holzteils. Somit wirkte die Kraft parallel zur Faserrichtung. Um die relative Verschiebung zwischen Holz und Beton zu bestimmen, wurden 6 induktive Wegaufnehmer auf jeder Seite des Versuchskörpers aufgebracht (Abb. 3). Zwei im oberen Bereich des Prüfkörpers, zwei im Bereich der Verbindungsmittel und zwei in unterem Bereich. Mit dieser Anordnung wurde es möglich, eventuelle Unterschiede bei der relativen Verschiebung zwischen Holz und Beton in vertikaler Richtung zu bestimmen.

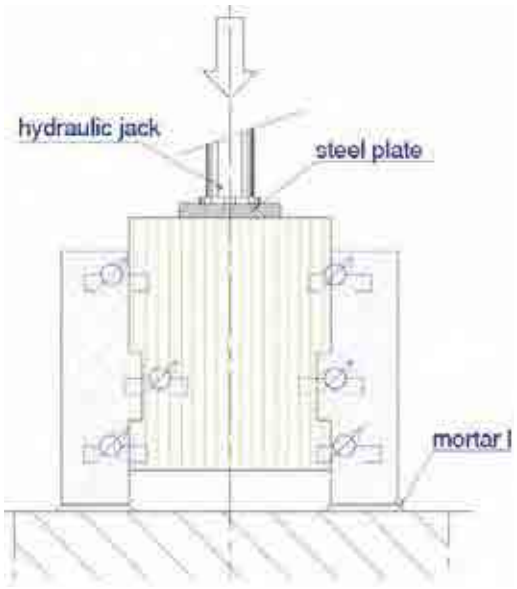


Abb. 3a: Schematische Darstellung von Versuchsaufbau und Messeinrichtung

Abb. 3b: Versuchsaufbau und Messeinrichtung

4 Ermüdungsversuche

4.1 Allgemeines

Nach der Durchführung der Referenzversuche wurden insgesamt 18 Scherkörper unter Schwellendruck (Schwingversuch) bis zum Versagen mit drei unterschiedlichen Lastniveaus belastet, um die Wöhlerlinie für die zwei Verbindungsmöglichkeiten zu bestimmen.

4.2 Belastung

Die Schwingversuche wurden kraftgesteuert gefahren. Die Intensität der Belastung wurde zwischen den in Tab. 2 angegebenen Maximal- und Minimalwerten der Kraft variiert. Die Form der harmonischen Belastung war eine Sinuswelle, mit einer Frequenz von 2,5 Hz. Es wurden lediglich Druckkräfte aufgebracht; eine Wechselbeanspruchung wurde hier nicht weiter untersucht. Um eine Wöhlerlinie mit einer ausreichenden Genauigkeit ermitteln zu können, wurden 3 unterschiedliche Kraftamplituden ΔF untersucht; für jedes dieser Lastniveaus wurden mindestens 3 Versuche durchgeführt. Die Verhältniszahlen R wurden so gewählt, dass die größtmögliche Steigung

Tab. 2: Belastungswerte der Schwingversuche

Bezeichnung Prüfkörper	F_{max}	F_{min}	Kraftbereich $(F_{max} - F_{min})$	Kräfteverhältnis $R = F_{max}/F_{min}$	Anzahl Prüfkörper
N4,N5,N6	$0.75 \cdot F_{ult}$	$0.075 \cdot F_{ult}$	$0.675 \cdot F_{ult}$	0.1	3
D5,D6,D7					3
N7,N8,N9	$0.5 \cdot F_{ult}$	$0.05 \cdot F_{ult}$	$0.45 \cdot F_{ult}$	0.1	3
D8,D9,D10					3
N10,N11,N12	$0.42 \cdot F_{ult}$	$0.042 \cdot F_{ult}$	$0.375 \cdot F_{ult}$	0.1	3
D11,D12,D13	$0.28 \cdot F_{ult}$	$0.028 \cdot F_{ult}$	$0.252 \cdot F_{ult}$		3

der Wöhlerlinie bei einer Druck-Druck-Beanspruchung erreicht wurde [9], [10]. Somit konnte davon ausgegangen werden, dass die größtmögliche Schädigung in den Materialien auftrat. Die in Tab. 2 enthaltenen Werte wurden in Abhängigkeit der in den Referenzversuchen bestimmten statischen Traglasten gewählt (F_{ult}).

5 Erreichte Ergebnisse

5.1 Statische Referenztests

In Abb. 4a ist der typische Verlauf der Kraft-Schlupf-Kurve für das untersuchte Verbindungsmittel Kerve dargestellt. In diesem Diagramm sind die Werte aller auf dem Prüfkörper „N2" aufgebrachten Wegaufnehmer (12 Stück) dargestellt. Abb. 4b zeigt ein Foto eines Prüfkörpers mit der Kerve am Ende des Versuchs vorhanden, in dem die gebrochenen Brettschichtholzteile zu beobachten sind. Während der ganzen Reihe der Versuche wurde immer das gleiche mechanische Verhalten beobachtet. Nach einer kurzen Phase mit kontinuierlicher Aufbringung der Verschiebung an die Oberkante des Prüfkörpers trat das Versagen ein.

Dies wurde von der Ausbildung und plötzlicher Ausbreitung eines Risses zwischen der oberen Flanke der Kerve und der Oberkante des Holzes verursacht. Diese Schub-Bruchfläche ist zunächst an einer Seite des Scherkörpers entstanden und fast gleichzeitig wurde das gleiche Phänomen

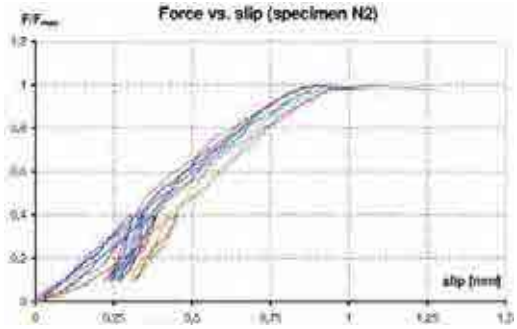


Abb. 4a: Kraft–Schlupf–Kurve (Kerve)

Abb. 4b: Bruchbild (Holz auf Abscheren)

auch auf der anderen Seite beobachtet. Man konnte nur eine sehr kleine relative Verschiebung zwischen Holz und Beton mit den Wegaufnehmer messen, ehe der Prüfkörper spröde versagte. Dies deutet eine sehr hohe Steifigkeit dieses Verbindungsmittelstyps an. Nicht nur die Versagensmechanismen, sondern auch die gemessenen Tragfähigkeitswerte aller untersuchten Referenzversuche lagen eng aneinander.

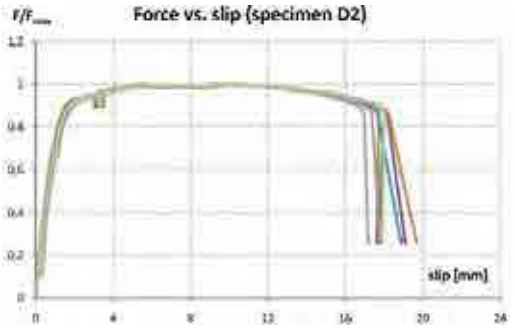


Abb. 5a: Ergebnisse von Referenztest mit X–Verbinder. Kraft–Schlupf–Kurve

Abb. 5b: Ergebnisse von Referenzversuche mit X–Verbinder, Bewehrungsstahlversagen

Ein sehr duktiles Verhalten wurde bei dem anderen getesteten Verbindungstyp (X-Verbinder) festgestellt. Die zugehörige aufgenommene Kraft-Schlupf-Kurve ist in Abb. 5a beispielhaft dargestellt. Die Versagensursache war das Erreichen der Traglast der auf Zug beanspruchten eingeleimten Bewehrungstäbe (Abb. 5b). Es wurde kein Bruch des für die Einklebung der Bewehrungsstangen verwendeten Epoxy-Harzes, der Holzfaser oder des Betons beobachtet. Die Steifigkeitswerte der Verbindung lagen bei allen Referenzversuchen sehr eng zusammen. Die gemessene Steifigkeit dieses Verbindungsmittels betrug etwa die Hälfte des Steifigkeitswerts der Kerve. Auch in diesem Fall konnte man eine geringe Streuung der Tragfähigkeitswerte feststellen.

5.2 Ermüdungsscherversuche

Ein typisches Diagramm des Schlupfverlaufs gegen die Anzahl der aufgebrachten Lastwechsel ist in Abb. 9 dargestellt. Für die Ermüdungsfestigkeitstests wurden 4 Wegaufnehmer in der Mitte der Kerve (bzw. in der Höhe der Kreuzungspunkt der eingeleimten Bewehrungsstäbe) verwendet, deshalb wurden 4 Kurven in Abb. 6a aufgezeichnet. Hierbei sind die maximalen Werte des Schlupfes, entsprechend der korrespondierenden höchsten angreifenden Kraft, dargestellt. Die Anfangswerte der relativen Holz-Beton-Verschiebung entsprechen dem elastischen Kurzzeitverhalten der beanspruchten Materialien. Nach einer Anfangsphase, die von einer relativ raschen Entwicklung des Schlupfs charakterisiert war, nahmen die Verschiebungswerte, bis zu ungefähr $1{,}7 \cdot 10^6$ Lastwechsel, konstant zu. Unmittelbar vor dem Versagen nehmen die Werte der relativen Verschiebung, auf der Seite der Ausbreitung des Risses, sehr schnell zu, während, auf der anderen Seite, die Schlupfwerte praktisch konstant blieben. Man konnte den gleichen Versagensmechanismus wie bei den statischen Referenzversuchen beobachten. Ein Bild des gerissenen Prüfkörpers (nach der Vollendung des Ermüdungsversuche) ist in Abb. 6b gezeigt.

Der gleiche Mechanismus wie bei den Referenzversuchen stellt die Bruchursache auch für den X-Verbinder dar: Die auf Zug beanspruchten Bewehrungsstäbe versagten ohne eine sichtbare Schädigung weder im Holz noch im Beton oder im Epoxy-Harz. Der Unterschied zu den statischen Versuchen liegt jedoch darin, dass ein sprödes Verhalten bei den Ermüdungstests beobachtet wurde, ohne jegliche Vorzeichen von einsetzendem Bruch. In Gegensatz dazu hatte eine lange

duktile Verformungsphase während der statischen Experimente stattgefunden.

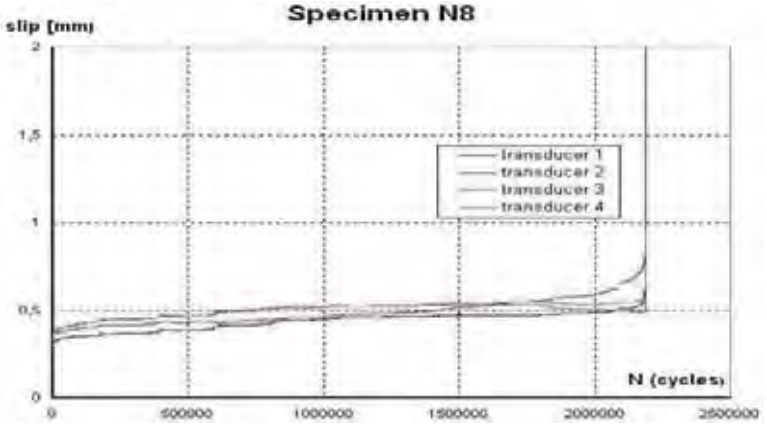


Abb. 6a: Schädigungskurve (Prüfkörper N8)

Abb. 6b: Schubversagen des Holzes (Prüfkörper Nr. 8)

In Abb. 7 ist eine vorläufige Wöhlerlinie des Verbindungsmittels Kerve basierend auf den Ergebnissen von 12 Push–Out-Versuche gezeichnet. Bei der Ermittlung der Steigung wurden auch die Ergebnisse der statischen Referenzversuche berücksichtigt. Einer der getesteten Prüfkörper erwies sich als Durchläufer: Nach etwa $6{,}4 \cdot 10^6$ Lastwechsel wurde der Versuch mit einem sichtbaren Riss aber ohne Versagen abgebrochen.

In diesem Fall wurde die Resttragfähigkeit des Prüfkörpers ermittelt: Keine wesentliche Differenz zwischen den Referenzwerten und der Tragfähigkeit nach mehr als $6{,}0 \cdot 10^6$ aufgebrachte Lastwechsel wurde festgestellt.

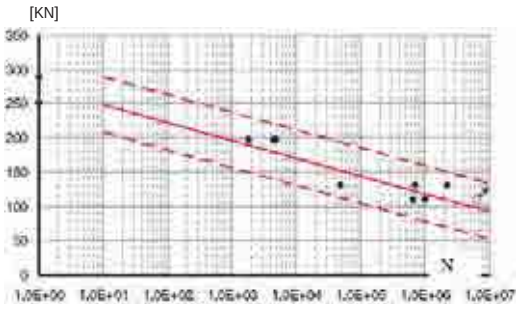


Abb. 7: Wöhlerlinie der Kerve (Push–Out)

6 Versuche an gesamten Trägern

In einer weiteren Phase des Projektes werden Versuche an gesamten Trägern durchgeführt, um durch den Push-Out-Test bestimmten Werten der Ermüdungsfestigkeit zu verifizieren. Um das Verhalten der Fuge zu untersuchen, werden Träger mit einer relativ kleinen Spannweite gewählt. Das Ziel dieser Tests ist die Ermüdungsfestigkeit der Verbundfuge zu betrachten, in denjenigen Bereichen eines statisches System, die große Werte der Querkraft beansprucht sind. Die Versuchseinrichtung entspricht einem Drei-Punkt- Biegeversuch.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Nur in sehr wenigen Veröffentlichungen ist die Ermüdungsfestigkeit von Holz – Beton –Verbundträgern systematisch erforscht. In keiner der erwähnten Arbeiten wurde von einem Ermüdungs-

versagen der untersuchten Prüfkörper berichtet. Dies hängt vermutlich von der verwendeten kleinen maximalen Kraft und vom gewählten großen Kräfteverhältnis ab. Darüber hinaus sind keine Wöhlerlinien oder andere analytischen Methoden vorhanden, um die Lebensdauer von Holz-Beton-Tragwerken unter Wechsellast zu bestimmen. Um eine minimale aber ausreichende Anzahl von Versuchsergebnisse zu erhalten, wurde eine Reihe von symmetrischen Scherversuchen unter Druck-Druck-Schwellenbeanspruchung durchgeführt. Eine erste vorläufige Wöhlerlinie wurde auf der Basis der beobachteten Ermüdungsversagen für die untersuchten Verbindungsmittel bestimmt. Dabei wurde das Kräfteverhältnis so gewählt, dass die größtmögliche Schädigung in den Prüfkörpern auftrat. Weitere Untersuchungen an gesamten Holz–Beton–Verbundträgern sind aber notwendig um die bisher erreichten Ergebnisse zu validieren.

Danksagung

Die hier vorgestellten Untersuchungen wurden durch die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V. (AiF) aus Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit (BMWA) durchgeführt. Die Deutsche Gesellschaft für Holzforschung e.V. (DGfH) hat die Arbeiten fachlich und organisiert begleitet. Den Förderern sei für die Unterstützung recht herzlich gedankt.

Quellen

[1] DIN FB 101: Einwirkungen auf Brücken. DIN Deutsche Institut für Normung e. V., 2003

[2] Jutila, A.; Mäkipuro, R.; Salokangas, L.: Testing a Wood - Concrete Composite Bridge. In: Structural Engineering International 7 (1997), S. 275-277

[3] Tommola, J. ; Salokangas, L. ; Jutila, A.: Wood- Concrete Composite Bridges: Tests on Shear Connectors / Helsinki University of Technology, Laboratory of Bridge Engineering. Nordic Timber Bridge ‚Project, 1999. Forschungsbericht

[4] Rantakokko, T.; Salokangas, L.: Design of the Vihantasalmi Bridge, Finland. In: Structural Engineering International, IABSE 10 (2000), S. 150-152

[5] DIN 1052: Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau. DIN - Deutsche Institut für Normung e.V., 2004

[6] Davids, W.G.; Dagher, H.J.; Sanchez, O.; Weaver, C.: Bridge with Composite Concrete Deck and Glued Laminated Girders Stengthened with Fiber-Reinforced-Polymer / Advanced Engineered Wood Composites Center - University of Maine. 2005. Forschungsbericht

[7] Döhrer, A.; Rautenstrauch, K.: Connectors for timber-concrete composite-bridges. In: Proceedings of CIB - W18, 2006 Florence. Florence- Italy, August 2006. Paper N± 39-7-3

[8] DIN EN 26891: Holzbauwerke - Verbindungen mit mechanischen Verbindungsmitteln Allgemeine Grundsätze für die Ermittlung der Tragfähigkeit und des Verformungsverhaltens. DIN - Deutsche Institut für Normung e.V., 1991

[9] DIN 1074: Holzbrücken. DIN - Deutsche Institut für Normung e. V., 2005

[10] Mohr, B.: Zur Interaktion der Einflüsse aus Dauerstands- und Ermüdungsbeanspruchung im Ingenieurholzbau, Berichte aus dem Konstruktiven Ingenieurbau. Technische Universität München, Diss., 2001

[11] Kuhlmann, U.; Aldi, P.: Ermüdungsfestigkeit von Holz-Beton-Verbundträgern im Straßenbrückenbau. Forschungsvorhaben AiF 15052 N (in Vorbereitung)

9.2 Verbundkonstruktionen Materialkombinationen
Holz-Stahlfaserbeton-Verbundsystem

Andreas Heiduschke, Bo Kasal

1 Einleitung

Auf Biegung beanspruchte Verbundbauteile mit einer Druckzone aus Beton und einer Zugzone aus Holz weisen ein gutes Trag-Verformungsverhalten auf. Dies ist auf die effiziente Nutzung der Materialeigenschaften zurückzuführen. Bedingung ist ein möglichst starrer Verbund beider Materialien, Holz und Beton, welcher die Aufnahme der interlaminaren Schubspannungen ermöglicht.

Nahezu alle Holz-Beton-Verbundsysteme (HBV) basieren auf der Verwendung von mechanischen Verbindungsmitteln (z.B. Gewindestäbe, Kopfbolzen, Dübel, Nägel), mit denen ein nachgiebiger Verbund erzielt wird [1, 2]. Von Vorteil ist die schnelle und einfache Montage der ins Holz eingeschraubten oder eingeschlagenen Verbindungsmittel. Nachteilig ist die relativ geringe Schubsteifigkeit des Verbundes sowie die hohe Anzahl der benötigten Verbindungsmittel. Häufig eingesetzt werden deshalb Verbindungstechniken bei denen der Verbund durch Kombination von mechanischen Verbindungsmitteln und profilierten Kontaktflächen (z.B. Einschnitte, Kerven oder Bohrungen im Holz) erreicht wird.

Untersuchungen zum Last-Verformungsverhalten dieser Holz-Beton-Verbunddecken von Gutkowski [3] haben gezeigt, dass durch den zusätzlichen Formschluss die Verbundfestigkeit zwischen Holz und Beton wesentlich erhöht wird. Werner [4] beschreibt eine Holz-Beton-Verbunddecke mit schubfestem Verbund, welcher mittels bewehrter Betonnocken und profilierter Kopfbolzen bzw. Winkelhaken erfolgt. Die beim Betonieren geformten Nocken wirken wie Einlassdübel, welche mittels der Kopfbolzen am Holzbauteil gegen Herausziehen gesichert sind und ein Abscheren der Betonnocken verhindern. Ein ähnlicher Ansatz wird von Glaser [5] verfolgt, der das Trag- und Verformungsverhalten von Polymerbeton- und Konsol-Nocken untersucht hat. Auf Grundlage von umfangreichen Kurzzeit- und Langzeit-Scherversuchen wurden Nachweisverfahren erarbeitet bzw. das Kriechverhalten der Schubverbindungsmittel bestimmt.

Stahlfaserbeton ist ein Material das sich durch große Duktilität, sowohl bei Druck- als auch bei Zugbeanspruchung, auszeichnet. Die Stahldrahtfasern verbessern die Betoneigenschaften insbesondere in Bezug auf Biegezugfestigkeit, Scherfestigkeit, Ermüdungsbeständigkeit und Verminderung der Schwindspannungen. Die Zug- und Scherfestigkeit des Materials ist insbesondere für zug- bzw. schubbeanspruchte Bereiche interessant, in denen eine Einlage von Betonstahlbewehrung große Mühe bereitet und mit entsprechenden Kosten verbunden ist. Die in diesem Beitrag vorgestellten Versuchsergebnisse bezüglich eines HBV-Systems mit stahlfaserverstärkten Betonnocken basieren auf einer Forschungsarbeit der Autoren [6]. Zur Bestimmung des Last-Verformungs-Verhaltens wurden Tastversuche durchgeführt die lediglich Tendenzen und Potentiale der stahlfaserverstärkten Schubverbinder aufzeigen können. Zwischenzeitlich haben sich die Forschungsaktivitäten auf diesem Gebiet deutlich erhöht. Detaillierte Informationen bez. des Tragverhaltens von Holz-Stahlfaserbeton-Verbunddecken einschließlich erster Anwendungen sind [7],[8] zu entnehmen.

In einem Beitrag von Heller [9] werden die grundsätzlichen Parameter bei der Anwendung von Holz-Beton-Verbundkonstruktionen erläutert und ausführlich diskutiert. Schwerpunkt seines Beitrags ist, ähnlich wie in [8], ein HBV-System mit selbstbohrenden Vollgewindeschrauben und Stahlfaserbeton zur Ertüchtigung alter Holzbalkendecken. Analysiert werden die unterschiedlichen Ansätze für Langzeiteinwirkungen (Schwinden, Kriechen) in der gegenwärtigen Praxis sowie neuere Forschungsergebnisse. Ziel des Einsatzes

von Stahlfaserbeton ist, auf herkömmliche Stab- oder Mattenbewehrung zur Rissbreitenbegrenzung zu verzichten [10], um somit möglichst filigrane Betonplatten mit entsprechend geringem Eigengewicht fertigen zu können. Dies ist derzeit noch mit einer Zustimmung im Einzelfall verbunden.

Als schubsteif gelten geklebte Verbindungen [11], die eine lineare Dehnungsverteilung über die Querschnittshöhe zur Folge haben. Das „HBV-System mit eingeklebten HBV-Schubverbindern" besitzt bereits eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (Z.9.1-667) und wird in der Praxis häufig eingesetzt.

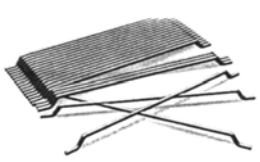
2 Das Verbundsystem

Stahlfaserverstärkter Beton ist eine hochfeste Mixtur aus Beton und Stahldrahtfasern. Die Stahldrähte haben einen Durchmesser von 0,3 – 1 mm und eine Länge von 20 - 100 mm (Abb. in Tab. 1). Der Faservolumenanteil beträgt etwa 1 % - 3 %. Die Fasermenge ist dabei auf die Festigkeit des Betons und den Herstellungsprozess abzustimmen, da dieser zum einen die Orientierung der Fasern beeinflusst und zum anderen ein zu hoher Fasergehalt die Verarbeitbarkeit des Betons verschlechtert.

Die Zug- und Scherfestigkeit der Mixtur resultiert aus der Zugfestigkeit der Einzelfasern von mindestens 1000 N/mm^2. Die über den gesamten Querschnitt gleichmäßig verteilten Stahldrahtfasern führen zu einem homogeneren Material mit erhöhter Duktilität [12]. Die Zusammensetzung des in den Versuchen verwendeten Betons ist Tab. 1 zu entnehmen.

Stahlfaserbeton ist ein Baustoff, der mit Hilfe beigemengter Stahlfasern eine rechnerisch ansetzbare Zugfestigkeit erhält und zudem ein elastoplastisches Materialverhalten aufweist. Dies ermöglicht, den Verbund von Holz und Beton allein durch deren Formschluss zu realisieren; auf zusätzliche Bewehrung oder die Verwendung mechanischer Verbindungsmittel soll verzichtet werden.

Tab. 1: Rezeptur des Stahlfaserbetons

Mischung	[kg/m^3]	Dramix Stahlfasern
Zementart - Portland Zement Typ III	645	
Zuschläge - Kies (Größtkorn 9,5 mm)	654	
- Sand	749	
Wasser	110	
Mikrosilica Slurry 970S	207	
Superplasticizer AVAD100	14	
30/50 Dramix Stahlfasern (Volumenanteil der Stahlfasern 1,5%, Länge 30 mm, Durchmesser 0,6 mm)	121	

Die Verbundwirkung wird durch zylindrische Ausnehmungen im Holzbauteil erreicht, in die der faserverstärkte Frischbeton einfließt und nach dem Aushärten eine Verzahnung der Druck- und Zugzone bildet. Diese Verzahnung ist ausreichend, um einen dauerhaften und schubfesten Verbund zu gewährleisten. Die Scherfestigkeit der so geformten Betonnocken ist besonders wichtig in Systemen mit begrenzter Kontaktfläche zur Schubkraftübertragung (z.B. in Plattenbalkendecken).

In Tab. 2 werden die Materialeigenschaften des Stahlfaserbetons denen herkömmlicher Betone gegenübergestellt. Mit einer im Versuch ermittelten Spaltzugfestigkeit von etwa 12 – 16 N/mm^2 liegen die Festigkeiten deutlich über denen des Normalbetons [13], [14], [15]. Die charakteristischen Biegezug- $f_{ctk,fl}$ und Scherfestigkeit τ_c liegt je nach Betongüte, Fasertyp und Faservolumenanteil bei ca. 5 N/mm^2. Die Zugfestigkeit f_{ctk} bei ca. 2,6 N/mm^2 [16].

Tab. 2: Parameter von herkömmlichem und stahlfaserverstärktem Beton

Festigkeitsklasse/Bezeichnung	C20/25 (ENV 206)	Stahlfaserbeton
Dichte ρ [kg/m^3]	2400	2500
Druckfestigkeit $f_{c,k}$ [N/mm^2]	20	~ 25 (1) 123 (1)
Zugfestigkeit f_{ctm} [N/mm^2]	2,2	~ 2,6 (2) (11-16 (2))
E-Modul E_{cm} [N/mm^2]	30000	30500 (2)

(1) die Druckfestigkeit des stahlfaserverstärkten Betons wurde nach ISO 4012 an Zylindern ermittelt
(2) der Literatur entnommene Versuchswerte [13, 14, 15]
(3) der Literatur entnommene charakteristische Werte [16]

3 Versuchsdurchführung

In ersten mechanischen Prüfungen wurde das Trag-Verformungsverhalten des Verbundsystems ermittelt. Dazu wurden Blockscherversuche an separaten Verbindungen und Biegeversuche an Einfeldträgern durchgeführt. Die Untersuchungen haben aufgrund der geringen Probenanzahl vorerst nur orientierenden Charakter.

3.1 Blockscherversuche

Das Last-Verschiebungsverhalten und die Scherfestigkeiten der Verbindungen wurden an Blockscherprobekörpern bestimmt. Der Versuchsaufbau der Blockscherversuche ist in Abb. 1a schematisch dargestellt. Das verwendete Kiefernholz hatte eine Rohdichte von 450 kg/m^3 und eine mittlere Holzfeuchte von 12%. In die Holzblöcke wurden zylindrische Ausnehmungen mit einem Durchmesser von 50 und 100 mm gefräst. Je Charge wurden jeweils zwei Probekörper geprüft. Die Last wurde weggesteuert mit einer konstanten Belastungsgeschwindigkeit von 3 mm/min aufgebracht. Die vertikalen Verschiebungen der Holz- sowie der Betonschicht wurden mittels induktiven Wegaufnehmern aufgezeichnet und daraus die Relativ-Verschiebung der Schichten bestimmt.

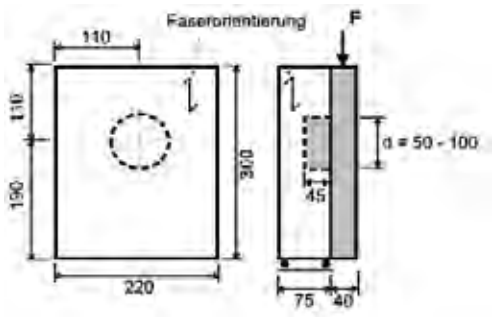


Abb. 1a: Blockscherprobekörper mit Nockendurchmessern von d = 50 oder 100 mm

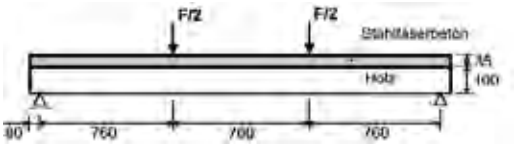


Abb. 1b: Vier-Punkt-Biegeversuch incl. Anordnung der Bohrlöcher im Bauteil

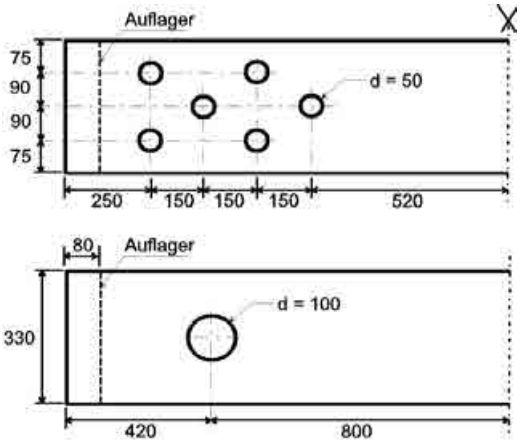


Abb. 1c: Anordnung der Bohrlöcher im Bauteil

3.2 Biegeversuche an Einfeldträgern

Vertikal aneinandergeleimte Brettlamellen aus Kiefernholz bildeten die Zugzone der Biegeträger. Die Brettlamellen (25 x 100 mm) wurden mittels Phenolharz verleimt. Vor dem Bohren der Ausnehmungen wurde der mittlere E-Modul der Schichtholzträger im Biegeversuch zu 12200 N/mm^2 ermittelt. Die Anordnung der Bohrlöcher ist der Abb. 1c zu entnehmen.

Nach dem Aufbringen und Aushärten der 35 mm starken Betonschicht wurden die beiden Einfeldträger im Vier-Punkt-Biegeversuch geprüft (Abb. 1b). Bei diesem Versuch ist die Schubspannungsverteilung über die Randbereiche konstant. Die Verformungen des Bauteils wurden in Trägermitte und den Lasteinleitungspunkten aufgezeichnet.

4 Versuchsergebnisse

4.1 Blockscherversuche

Abb. 2 zeigt die aufgezeichneten Kraft-Relativverschiebungs-Kurven für verschiedene Nockendurchmesser.

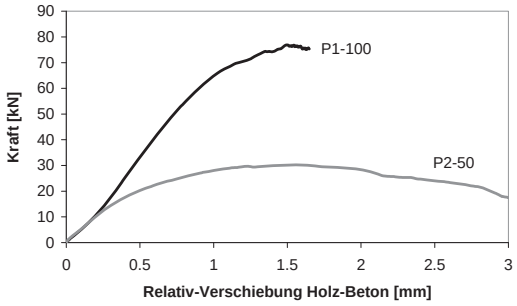


Abb. 2 Last-Verschiebungs-Kurven der Blockscherversuche (P2-50 und P1-100)

Der anhand der Versuchsdaten ermittelte Verschiebungsmodul bildet die Grundlage zur Berechnung der Verformungen von nachgiebig miteinander verbundenen Bauteilen (nach DIN 1052: 2004-08). Der Anfangs-Verschiebungsmodul K_i entspricht dem Sekantenmodul bei 40% der Traglast der Verbindung und K_{ser} dem Anstieg zwischen 10 % und 40 % der Last-Verschiebungs-Kurve (DIN EN 383: 1993). Die in den Versuchen ermittelten Traglasten der Betonnocken und deren Verschiebungsmodule sind in Tab. 3 zusammengefasst.

Auf Grund des formschlüssigen Verbunds von Holz und Beton werden hohe Verschiebungsmodule erzielt. Mit einer mittleren Scherfestigkeit von 11,8 N/mm^2 erreichten die Nocken etwa der Scherfestigkeit des Faserbetons (siehe Tab. 2). Probe P2-50 zeigt zwar eine gute Duktilität, die Traglast ist mit 30,3 kN jedoch relativ gering. Für die praktische Anwendung ist es deshalb sinnvoll Nocken mit größeren Scherflächen zu verwenden, die entsprechend höhere Traglasten erzielen. Bezüglich der Nockengeometrie besteht noch Optimierungsbedarf [5]. Abb. 3 zeigt die abgescherte Betonnocke der Probe P2-50.

Tab. 3: Traglast und Verschiebungsmodule der Betonnocken

Nockendurchmesser d [mm]	Traglast F_{max} [kN]		Verschiebungsmodul K_i (K_{ser}) [kN/mm]	
	P1	**P2**	**P1**	**P2**
50	19,1 (1)	30,3	50,0 (56,6)	47,7 (54,8)
100	76,9	96,2(2)	71,4 (75,1)	72,7 (77,8)

(1) starke Verdrehung des Probekörpers aus der Belastungsebene infolge exzentrischer Lasteinleitung
(2) Limit der Prüfmaschine überschritten

Ein Lochleibungsversagen des Holzes an der Kontaktfläche zur Betonnocke wurde nicht beobachtet. Bei Annahme einer Lochleibungsfestigkeit von etwa 20 N/mm^2, sollten erste plastische Verformungen im Holz bei ca. 45 kN (d= 50 mm) bzw. 90 kN (d= 100 mm) auftreten (DIN 1052:2004-08).

Abb. 3: Typisches Versagensbild der Blockscherversuche (P2-50)

Biegeversuche an Einfeldträgern

Abb. 4 zeigt die Last-Durchbiegungs-Diagramme der Verbundträger. Dargestellt ist (a) das Last-Verformungsverhalten des Trägers mit zwölf Verbindungsmitteln d=50 mm und (b) für zwei Nocken mit d=100 mm. Aufgrund der großen Verbindungsmittelanzahl und des damit verbundenen quantitativ größten Nockenquerschnitts, ist (a) das biegesteifere System. In beiden Fällen ist ein signifikanter Abfall der Traglast bei Durchbiegungen von 12 bis 20 mm zu beobachten. Danach ist ein erneuter Anstieg der Traglast mit einer geringeren, jedoch konstanten, Steifigkeit zu verzeichnen. Der finale Bruch war durch ein plötzliches Versagen des Holzes in der Biegezugzone gekennzeichnet.

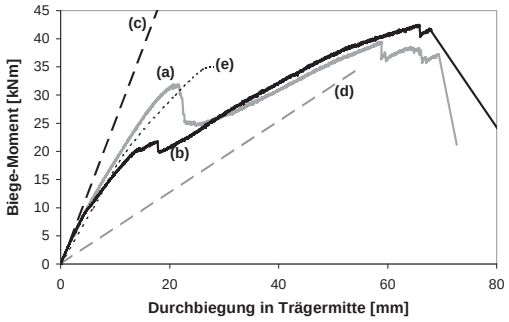


Abb. 4 Last-Durchbiegungs-Kurven der Einfeldträger:
(a) Nockendurchmesser 12x d=50
(b) Nockendurchmesser 2x d=100
(c) voller Verbund
(d) ohne Verbund
(e) nachgiebiger Verbund

Um den Wirkungsgrad des Verbundes bestimmen zu können, wurden drei FE-Modelle generiert. Dies sind Modelle der Träger unter Annahme eines (c) vollständigen, (d) ohne und (e) mit nachgiebigem Verbund. Der nachgiebige Verbund wurde mittels nichtlinearen Federelementen simuliert, deren Steifigkeit der Last-Verschiebungs-Kurve P2-50 aus Abb. 2 entspricht. Gerade (c) zeigt das simulierte Verhalten des Biegeträgers bei vollem Verbund und entspricht der oberen Grenze der Biegesteifigkeit. Für das erste Viertel sind die Steifigkeiten der geprüften Verbundträger mit der numerischen Berechnung nahezu identisch, dann fallen diese bis zum Erreichen der Traglast stetig ab.

Mit dem Abscheren der Nocken ist die Traglast des Trägers erreicht. Der nachfolgende erneute Anstieg beschreibt das Last-Verformungs-Verhalten zweier separater Bauteile, deren Schubkräfte zu einem Teil durch Reibung übertragen werden. Diese Folgerung kann anhand der Gerade (d) getroffen werden, die das Last-Verformungsverhalten eines Trägers ohne Verbund beschreibt. Der Anstieg von (d) ist nahezu identisch dem der Verbundträger (a und b) nach dem ersten Abfall der Festigkeit. Der Vergleich von Simulation (e) und Experiment (a) zeigt eine gute Übereinstimmung der FE- Berechnungen mit dem tatsächlichen Bauteilverhalten. Den Berechnungen zufolge ist bei einem Biegemoment von 34 kNm die Traglast des am höchsten beanspruchten Verbindungsmittels (P2-50 = 30,3 kN) erreicht.

Die Effizienz der Verbundwirkung lässt sich anhand des Vergleichs der im Versuch gemessenen Verformung mit den theoretischen Werten bei vollem und ohne Verbund bestimmen. Der Wirkungsgrad des Verbundes wurde nach folgender Gleichung ermittelt:

$$\text{Wirkungsgrad } \eta\,[\%] = \frac{w_0 - w_{50,100}}{w_0 - w_v} \cdot 100$$

Darin bedeuten, w_o und w_v die Durchbiegung des Probekörpers in Trägermitte ohne bzw. bei vollem Verbund. Die im Versuch ermittelten Verformungen werden mit w_{50} bzw. mit w_{100} bezeichnet. Da der Wirkungsgrad vom jeweiligen Lastniveau abhängig ist, wurde dieser exemplarisch für 40% bzw. 80% der Traglast ermittelt. Demnach beträgt der Wirkungsgrad des Trägers (a) mit

zwölf Verbindungsmitteln bei 40 % der Traglast etwa 87 % und bei 80 % der Traglast etwa 81 %.

Für den Träger (b) mit Nockendurchmessern von 100 mm wurde ein Wirkungsgrad von 91 % bzw. 75 % erreicht. Anzumerken ist, dass Reibungseffekte zwischen Beton und Holz das Tragverhalten beeinflussen und bei der Ermittlung der Verformung bzw. Steifigkeit mit eingegangen sind. Für eine exakte Analyse des Last-Verformungs-Verhaltens der Nocken sind die stützend wirkenden Effekte durch geeignete Maßnahmen, wie z.B. Trennfolien, zu eliminieren, da bei der Bemessung die Reibung zwischen Beton und Holz nicht in Rechnung gestellt werden darf. Die Dimensionierung des HBV-Systems mit stahlfaserverstärkten Betonnocken kann auf dem Verfahren zur Bemessung von nachgiebig miteinander verbundenen Bauteilen basieren (DIN 1052).

Mögliche Berechnungsansätze wurden bereits entwickelt [1, 4] und sind um den Nachweis des Stahlfaserbetons zu erweitern. Diesbezüglich sind die geltenden Normen bzw. Richtlinien (DIN 1045, DBV-Merkblatt Stahlfaserbeton [17], DAfStb-Richtlinie Stahlfaserbeton [18]) zu berücksichtigen.

Schlussfolgerungen

Zur Bestimmung des Last-Verformungs-Verhaltens von Schubverbindern aus stahlfaserverstärktem Beton in HBV-Konstruktionen wurden Kurzzeit-Versuche an Nockenverbindungen und Biegeträgern durchgeführt. Die formschlüssige Verzahnung von Stahlfaserbeton und Holz führt zu einem Verbundsystem mit hoher Biegesteifigkeit und hohem Wirkungsgrad. Im Fall der in diesem Bericht untersuchten Biegeträger wird deren Traglast von der Scherfestigkeit des Stahlfaserbetons limitiert, so dass noch Optimierungsbedarf hinsichtlich Geometrie, Anzahl und Anordnung der Bohrungen besteht. Form und Fertigung der Ausnehmungen lassen genügend Spielraum zur Optimierung des Verbundsystems, wie z.B. Langlöcher oder rechteckige Ausnehmungen mit entsprechend großen Scherflächen und geneigten Lochwandungen zur Sicherung gegen Herausziehen.

Auf Grund der geringen Probenanzahl haben die Versuche nur orientierenden Charakter und können lediglich Tendenzen und Potentiale der stahlfaserverstärkten Schubverbinder aufzeigen. Zur statistischen Absicherung sind umfangreiche Untersuchungen bez. der Verbundeigenschaften und insbesondere des Langzeitverhaltens des HBV-Systems nötig.

Der Einsatz von Stahlfaserbeton ermöglicht neben der einfachen und kostengünstigen Herstellung der Nockenverzahnung gleichzeitig die Fertigung filigraner Betonplatten. Somit lassen sich Konstruktionshöhe und Eigengewicht der HBV-Deckensysteme minimieren. Dies setzt jedoch voraus, dass es möglich bzw. zulässig wird, gänzlich auf herkömmliche Stab- oder Mattenbewehrung zu verzichten.

Quellen

[1] Blass H.J., Schlager M. Trag- und Verformungsverhalten von Holz-Beton-Verbundkonstruktionen. Teil 1 und 2. In: bauen mit holz 5/96 und 6/96, 1996.

[2] Ceccotti A. Holz-Beton-Verbundkonstruktionen. Holzbauwerke nach EC5, STEP 2, Bauteile, Konstruktion, Details, AG Holz e.V., Düsseldorf, E13/1- E13/11, 1995.

[3] Gutkowski R.M., Balogh J., Natterer J., Brown K., Koike E., Etournaud P. Laboratory tests of composite wood-concrete beam and floor specimens. Proceedings of WCTE, Vancouver, Canada, S. 8.2.1. 2000.

[4] Werner H. Holz - Beton - Verbunddecke mit neuartiger Fugenausbildung. Bauen mit Holz 4/92, S. 312-324, 1992.

[5] Glaser R. Zum Kurz- und Langzeitverhalten von Holz-Beton-Verbundkonstruktionen. Dissertation, BTU Cottbus, 2005.

[6] Heiduschke A., Kasal B. Composite cross sections with high performance fiber reinforced concrete and timber. Forest Product Journal 53 (10): 74-78, 2003.

[7] Holschemacher K., Dehn, F. Innovative Betone für Holz-Beton-Verbundkonstruktionen. Bautechnik 81, H. 11 S. 874-879, 2004.

[8] Holschemacher K., Kuhlmann U., Schänzlin J. Holz-Beton-Verbundbau in Forschung und Praxis. 7. Holzbauforum Leipzig, HUSS-Medien GmbH, 2007.

[9] Heller, H. Holz-Beton-Verbunddecken (HBV) Neue Deckensanierungssysteme mit Vollgewindeschrauben, Stahlfaserbeton und Online-Bemessungstools. In: Bautechnik 85 Heft 10; S. 667-677, 2008.

[10] Grunert J.P. Fertigteile aus selbstverdichtendem Stahlfaserbeton ohne Betonstahlbewehrung, Beton und Stahlbetonbau, Vol 100(S2) S. 81.84, 2005.

[11] Bathon L., Bletz O., Kocher, D. Neue Dimensionen beim Holz-Beton-Verbund, mikado, Nr. 10, 2004, S. 54-57, 2004.

[12] Valle M., Buyukozturk O. Behavior of fiber reinforced high-strength concrete under direct shear. ACI Materials Journal, 3/1993, Vol. 90, No. 2, S. 122-133, 1993.

[13] Ramakrishnan V., Wu G.Y., Hosalli G.. Flexural Behavior and Toughness of Fiber Reinforced Concretes. Transportation Research Record, No. 1226, S. 69-77, 1989.

[14] Curbach M., Speck K. Untersuchung der mehraxialen Festigkeit von duktilem Hochleistungsbeton. DAfStb-Forschungsvorhaben V389, TU Dresden, 2000.

[15] Narayanan R., Darwish I. Use of steel fibers as shear reinforcement. ACI Structural Journal, Vol. 84, No. 3, pp. 216-232, 1987.

[16] Wietek B. Stahlfaserbeton – Grundlagen und Praxisanwendung. Vieweg + Teubner, 2008.

[17] DBV-Merkblatt - Stahlfaserbeton, Deutscher Beton- und Bautechnik Verein, 2001.

[19] DAfStb-Richtlinie Stahlfaserbeton, 23. Entwurf , 2007.

9.2 Verbundkonstruktionen, Materialkombinationen
Wandverbundquerschnitte

Norbert Rüther

1 Allgemeines

Sandwichelemente erfreuen sich immer größerer Beliebtheit, da diese rationell hergestellt und den Anforderungen entsprechend gestaltet werden können. Im Holzbau sind bereits Sandwichelemente für Last abtragende Wände im Markt erhältlich, wobei nahezu alle Systeme einen Kern aus Hartschäumen, z.B. Polystyrol oder Polyurethan, aufweisen. Dabei haben Dämmungen aus Holz (in der Regel Holzfasern) hervorragende Eigenschaften. Somit bestehen sehr gute Möglichkeiten, Sandwichelemente ausschließlich aus Holz und Holzwerkstoffen zu fertigen. Die Zuordnung einzelner Funktionen auf einzelne Bauteilschichten wird bei solchen Sandwichelementen aufgehoben, so dass u.a. auch die Wärmedämmschicht im Kern an der Tragwirkung beteiligt ist.

Am Fraunhofer Institut für Holzforschung, Wilhelm-Klauditz-Institut (WKI) in Braunschweig, wurde der Einsatz von Sandwichelementen ausschließlich aus Holz und Holzwerkstoffen für lastabtragende Wände untersucht. Die Ergebnisse zeigen neue Möglichkeiten im Holzbau auf.

Wandelemente wirken statisch sowohl zur Abtragung vertikaler Lasten als auch zur Aussteifung gegenüber Horizontallasten und können Einzelkräfte aus Konsollasten und Horizontalstoß aufnehmen. Das Wandverbundelement ist somit als statisch wirksame Innen- und Außenwand im Holzhausbau verwendbar. Solche Wände werden vor allem durch Vertikallasten aus über den Wänden liegenden Bauteilen wie Decken, Dächern und weiteren Geschosswänden, Horizontallasten, z.B. aus Beanspruchung durch Wind, und Konsollasten z.B. aus Hängeschränken beansprucht.

Bei den Untersuchungen am WKI wurden neben den Materialien für die Deckschichten und den Kern auch die Art des Randabschlusses des Verbundelementes variiert. Neben zwei unterschiedlichen Profilen wurde auch der Einfluss einer Verklebung oder mechanischen Befestigung des Randabschlusses untersucht. In Abb. 1 oben ist das Prinzip einer üblichen Holztafelwand mit ihrer Kleinteiligkeit zu sehen. Abb. 1 unten zeigt das Prinzip eines Verbundelementes: Deckschichten und dämmender Kern sind zu einem Verbundelement miteinander verklebt.

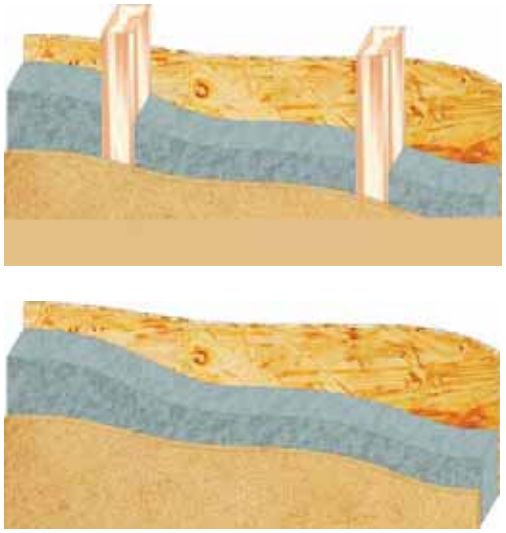


Abb. 1: Prinzipskizze eines Außenwandaufbaus; oben: herkömmliches Holztafelelement mit seiner Kleinteiligkeit; unten: Prinzip eines Verbundelements

In Abb. 2 sind die Bezeichnungen der Elemente verdeutlicht. Als Deckschichten lassen sich weitestgehend alle bekannten Holzwerkstoffe verwenden. In den Untersuchungen am WKI wurden sowohl OSB als auch Gipsfaserplatten in jeweils 12 mm Dicke verwendet. Die Platten wurden streifenförmig mit einem einkomponentigen Polyurethan-Kleber (PU) mit dem Kern verklebt. Als Material für den Kern wurden anfangs Versuche mit Wabenkarton, Wellpappe und Holzfaserdämmplatten mit unterschiedlichen Rohdichten verwendet. Die Randprofile wurden aus handelsüblichem, getrocknetem Fichtenvollholz gefertigt.

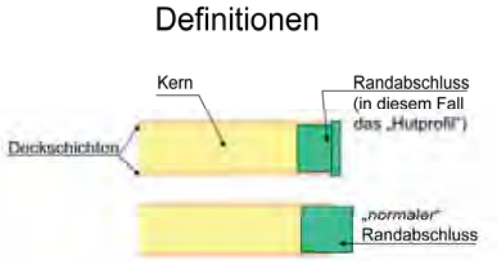


Abb. 2: Definitionen der einzelnen Elemente des Verbundquerschnitts

Für die Untersuchungen wurden folgende Randbedingungen besonders berücksichtigt:

- Beanspruchungen durch Längskräfte und Plattenbiegung,
- Beanspruchungen durch Horizontalkräfte in Tafelebene
- Verbindungen des Randabschlusses mit den Deckschichten
- Auflagerdrehwinkel der Decken
- Beanspruchungen durch Konsollasten
- Wände mit Öffnungen

Das Tragverhalten von Sandwichelementen kann sowohl mit Versuchen, aber auch unter anderem mit einer linearen FE-Simulation mit dem Programmsystem „ANSYS 7" oder „COMSOL Multiphysics" untersucht werden. Das orthogonal-anisotrope Materialgesetz ermöglicht es, die stark richtungsabhängigen Materialeigenschaften des Holzes abzubilden.

Die experimentellen Untersuchungen wurden vorrangig an großformatigen Prüfkörpern durchgeführt. Dabei wurde das Trag- und Verformungsverhalten unter vertikaler und horizontaler Last sowie das Verformungsverhalten bei klimatischer Beanspruchung besonders berücksichtigt. An kleinformatigen Prüfkörpern wurden Materialeigenschaften ermittelt, sowie eine Optimierung des Randabschlusses durchgeführt.

2 Zusammenfassung der Ergebnisse

2.1 Deckschichten

Die Deckschichten erweisen sich als vorteilhafter, je größer die Zug- und Druckfestigkeit sowie -steifigkeit ist. Je nach Anwendungsbereich sind die Werte hinsichtlich der Wasserdampfdiffusionsfähigkeit anzupassen. Eine Optimierung ist durch die Art und die Menge des verwendeten Klebers und die Art und Weise des Kleberauftrages möglich. Eine geschlossene, vollflächige Verklebung mit einem Kleber auf Polyurethan-Basis wirkt je nach Dicke des Klebstofffilmes wie eine Dampfsperre. So ist es durchaus denkbar, die eine Deckschicht mit einem vollflächigen Klebstofffilm auf der Dämmschicht zu verkleben, die andere Seite streifenförmig oder gar nur punktuell. Besonders bei an sich diffusionsoffenen Deckschichten, wie Gipsbauplatten, bieten sich hier interessante Möglichkeiten. Weiterhin muss die Deckschicht ein möglichst stark eingeschränktes Längenänderungsverhalten bei Feuchte- und Temperaturänderungen aufweisen. Dies ist umso wichtiger, je schlanker das Wandbauteil ist. Die Verformungen des gesamten Wandbauteils infolge Dehnungen der Deckschichten steigen überlinear mit der Schlankheit der Wand. Die in den Prüfungen verwendeten OSB können dabei durchaus schon als untere Grenze betrachtet werden. Werkstoffe mit ausgeprägterem Dehnverhalten in Plattenebene unter Feuchte- bzw. Temperaturänderungen können als wenig geeignet betrachtet werden. Gipsplatten sind in dieser Hinsicht sehr gut geeignet. Eine weitere Eigenschaft, die die Deckschicht aufweisen sollte, ist die direkte Beschichtbarkeit z.B. mit Tapeten oder Innenputzen. Auch hier ist das Dehnverhalten in Plattenebene von großer Bedeutung. Die Verwendung von Holzwerkstoffen wird unter dem vorgenannten Gesichtspunkt als eher nachteilig betrachtet. Um bei diesen eine tapezierfähige oder verputzbare Oberfläche zu bekommen, ist eine zusätzliche Bekleidung mit einer Gipsbauplatte erforderlich.

2.2 Kern

Die Ergebnisse der Untersuchungen zeigen, dass eine höhere Querzug- und Schubfestigkeit des Kerns vorteilhaft ist, da bei sehr niedriger Querzugfestigkeit unter Vertikalbeanspruchung ein Versagen durch Erreichen der Festigkeit eintreten kann. Weiterhin sind an das Bauteil Anforderungen an die Wärmeleitfähigkeit gestellt. Da diese vor allem bei üblichen Holzfaserdämmplatten in dem nach heutigem Wissen zur Verfügung stehenden Rohdichtebereich nahezu proportional zur Querzugfestigkeit und zur Rohdichte ansteigt, muss ein Optimum gefunden werden. Es stellte sich bei den Untersuchungen heraus, dass sich bei einer Rohdichte von ca. 230 kg/m³ bis ca. 250 kg/m³ eine geeignete Kombination aus ausreichender Wärmeleitfähigkeit und ausreichender Festigkeit und Steifigkeit bildet. Durch weitere Optimierung der Holzfaserdämmplatten bei der Herstellung können noch bessere Ergebnisse erzielt werden.

2.3 Kleber

Der Klebstoff muss in der Lage sein, auch unter Feuchtigkeitseinwirkung dauerhaft den Kern mit den Deckschichten zu verbinden. Für die Verklebung von Holz auf Holz gibt es ausgereifte Klebstoffsysteme auf Kunstharzbasis, die in der industriellen Holzwerkstoffherstellung oder bei der Herstellung von geklebten Holztafeln seit Jahren Verwendung finden. Diese haben aber in der Regel den Nachteil, dass sie Wärme und hohen Druck benötigen, um eine ausreichende Verbindung herstellen zu können. Klebstoffe auf Polyurethan-Basis sind in der Regel kostenintensiver, benötigen aber keinen hohen Druck, um eine funktionsfähige Klebeverbindung realisieren zu können. Wärme beschleunigt die Aushärtung, ist aber nicht zwingend notwendig.

Weiterhin ist die Eigenschaft der Bildung einer Dampfsperre für gewisse Anwendungsbereiche von Vorteil. Somit sind die filmbildenden und Wasserdampfdiffusionseigenschaften von Bedeutung. Je nach Anwendungsbereich und Einsatzgebiet der Wandelemente und nach Fertigungsmöglichkeiten muss eine Optimierung der Klebeverbindung durchgeführt werden. Die in den Versuchen verwendeten Klebstoffe auf Polyurethan-Basis haben sich als grundsätzlich geeignet erwiesen.

2.4 Vergleich Anforderungen – Versuchsergebnisse

Zusammenfassend sind die zu Beginn gestellten Anforderungen an die Verbundelemente den Versuchsergebnissen gegenüber gestellt und in Abb. 3 ist die maximale Vertikallast ausgewählter Wandverbundquerschnitte dargestellt:

- Anforderung an die Tragfähigkeit:
  - 5 kN/m als aufnehmbare Horizontalkräfte sind bei umlaufendem Randabschluss problemlos realisierbar, bei teilweisem Randabschluss können mit konstruktiven Maßnahmen wie z.B. dickeren Deckschichten die geforderten Kräfte aufgenommen werden.
  - 20 kN/m als aufnehmbare Vertikalkräfte sind von nahezu jeder der untersuchten Konstruktion aufnehmbar, mit entsprechenden konstruktiven Maßnahmen können auch noch größere Kräfte aufgenommen werden.
  - Vertikale Einzellasten (aus z.B. Pfetten) sind über Einzeltragglieder aufzunehmen.
  - Konsollasten (aus z.B. Hängeschränken) sind bis zu einer Größe von 0,4 kN/m problemlos realisierbar.
  - Eine kraftschlüssige Verbindung zwischen den Bauteilen ist durch einen umlaufenden Randabschluss realisierbar.

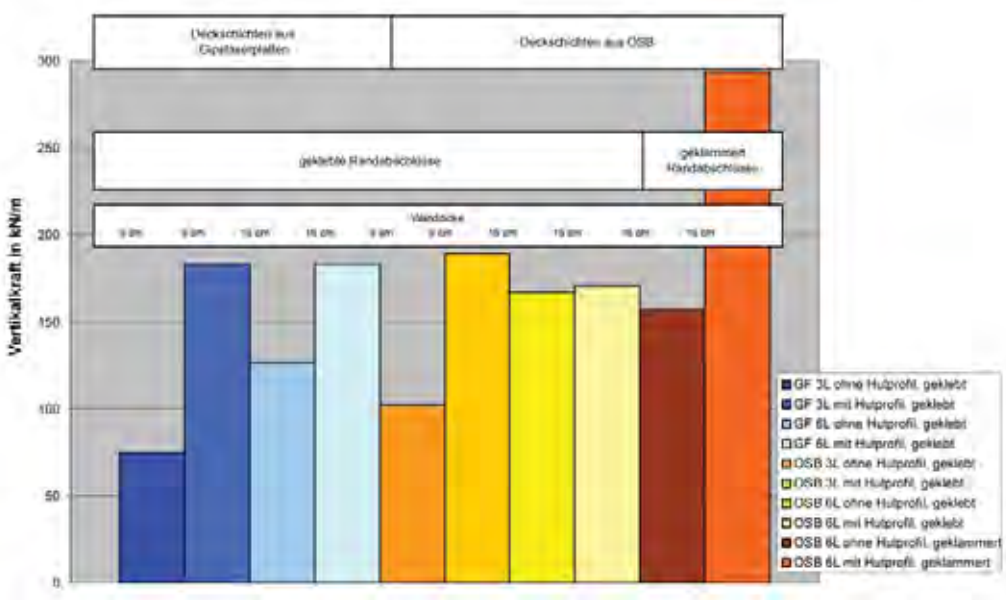


Abb. 3: maximale Vertikalkraft ausgewählter Wandverbundquerschnitte

- Bauphysikalische Anforderungen:
  - Das Verformungsverhalten im Differenzklima ist bei schlanken, freistehenden Wänden unter Umständen größer als maximal zugelassen; bei Außenwänden sind die Forderungen von einer maximalen Verformung von 3 mm realisierbar, da diese in der Regel relativ gedrungen sind; konstruktive Maßnahmen, wie z.B. kraftschlüssige Verbindung mit anderen Bauteilen, sorgen dafür, dass die Verformungen im Differenzklima kleiner als 3 mm sind.
  - Die Anforderungen an den Mindestwärmeschutz können über eine Variierung der Wanddicke erfüllt werden.

3 Nutzung der Ergebnisse

Die Nutzung der Ergebnisse kann sich auf vielfältige Weise ergeben. Das WKI erwartet ein Umdenken in der Sandwichfertigung: Weg von den Hartschäumen und hin zu Kernen aus nachwachsenden Rohstoffen. Die Sandwichbauweise kann aber auch neben den vielen bereits bestehenden Bausystemen eine gleichberechtigte Alternative darstellen und den Holzbau dadurch bereichern. Es sind unterschiedliche Möglichkeiten der Fertigung von Verbundquerschnitten für lastabtragende Wände denkbar. Von der handwerklichen Einzelfertigung bis hin zur vollautomatischen Serienfertigung gibt es ein weites Spektrum. Sehr hohe Investitionen für die vollautomatische Serienfertigung lassen sich nur bei großen Fertigungsmengen rechtfertigen. Die handwerkliche Einzelfertigung ist dagegen recht arbeitsintensiv. Zudem fallen hierbei die Kosten für eine Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung umgerechnet auf einen Quadratmeter gefertigte Wand recht hoch ins Gewicht.

Die nachstehend aufgeführten Möglichkeiten der Nutzung stellen keinen Anspruch auf Vollständigkeit dar. Grundsätzlich muss eine Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung für die zu fertigenden Elemente erwirkt werden. Je nach Art der Umsetzung sind spezifische Anforderungen in der Allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung festzulegen.

3.1 Baukastensystem mit vorgegebenen Elementabmessungen und Vertrieb über den Handel

Es ist vorstellbar, dass in industrieller Fertigung Systemelemente mit vorgegebenen Abmessungen hergestellt und über den Handel verkauft werden. Eventuelle Sondermaße müssen auftragsbezogen gefertigt werden. Diese Art der Fertigung und des Vertriebes wird im Möbelbau bereits durchgeführt. Eine Fertigung tragender Wände stellt aber höhere Sicherheitsanforderungen. Wegen der hohen Sicherheitsanforderungen wäre es denkbar, einen verantwortlichen Montageleiter und z.B. die Bereitstellung eines Mobilkranes in einem gewissen Umfang bereits beim Verkauf der Elemente mit anzubieten. Die Montage auf der Baustelle würde dann von angeleiteten Laien erfolgen. Daher müssen die Verbindungen auf der Baustelle mit einfach handhabbaren Verbindungsmittel wie z.B. Schrauben gewährleistet werden. Ähnlich wie bei der Möbelfertigung sind komplett vorgefertigte Elemente mit vorgebohrten Löchern für Schrauben und andere Beschläge denkbar.

3.2 Individuelle Elementfertigung durch die Fertighausindustrie

Eine weitere Möglichkeit der Umsetzung kann von der Fertighausindustrie aufgegriffen werden. Diese kann ihr bisher verwendetes System durch Verbundelemente austauschen. In diesem Fall wäre die Produktion eines Endloselementes denkbar, welches bei den geforderten Elementbreiten gekappt und mit einer Randeinfassung versehen wird. Je nach Größe und Anzahl der Fenster und Türen kann ein Ausschneiden der Öffnungen aus dem Endloselement sinnvoll sein oder die Fertigung von gesonderten Elementen für die Öffnungen. Eine Optimierung kann aber erst dann durchgeführt werden, wenn die Kosten zur Herstellung solcher Elemente bekannt sind. In Abb. 4 ist ein solches Element dargestellt. Die roten Linien sollen die noch zu verwendenden Hölzer darstellen. Ansonsten besteht das Element nur aus Dämmung mit einer beidseitigen Beplankung.

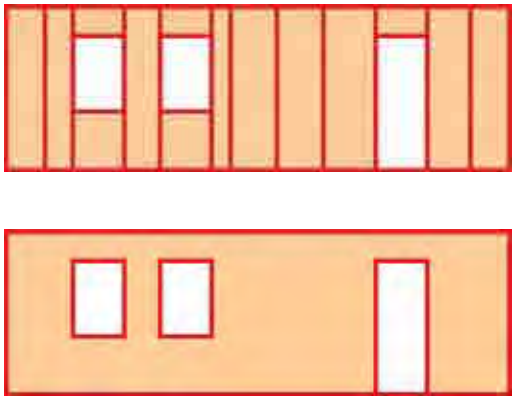


Abb. 4: Skizze einer Außenwand; oben: herkömmliches Holztafelelement; unten: Holztafelelement mit Verbundquerschnitten

3.3 Individuelle Elementfertigung durch handwerklich orientierte Unternehmen

Handwerklich orientierte Unternehmen können z.B. durch Erwerb von Lizenzen die Produktion und Montage von Elementen aus Verbundquerschnitten übernehmen. Inhaber der Allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung könnte in diesem Fall eine externe Stelle sein, die dann durch Vergabe der Lizenzen in unterschiedlichen Produktionsstätten herstellt. Eine Eignung zur Herstellung der geklebten Elemente muss innerhalb einer Fremdüberwachung überprüft werden. Eine vergleichbare Struktur ist bei Herstellung und Vertrieb von Nail-Web-Trägern zu finden. Abb. 5 zeigt ein herkömmliches Giebelelement. Besonders hier wird die Problematik der Kleinteiligkeit deutlich. Die vertikalen Rippen müssen alle schräg angeschnitten und so positioniert werden, dass der Plattenstoß der Beplankung auf diesen zu liegen kommt. Abb. 6 zeigt dagegen das gleiche Giebelelement mit Verbundquerschnitten.

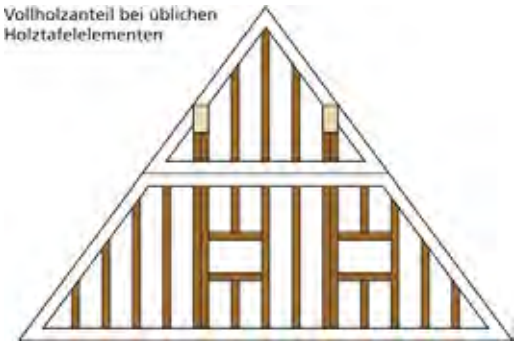


Abb. 5: Vollholzanteil eines herkömmlichen Giebelelementes

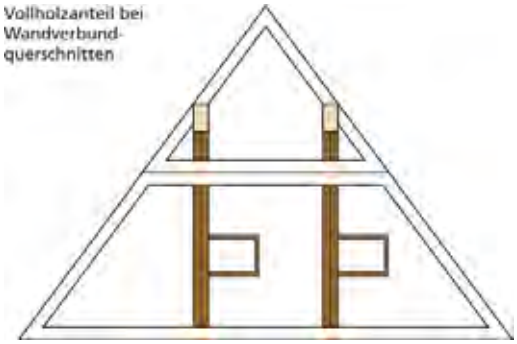


Abb. 6: Vollholzanteil bei Elementen mit Verbundquerschnitten

3.4 Fertigung einer Sandwichplatte

Die Holzwerkstoffindustrie könnte die Möglichkeit aufgreifen, eine z.B. 16 cm oder 20 cm dicke Platte im Großformat zu fertigen, aus welcher dann die einzelnen Elemente in beliebigen Formen geschnitten werden (Abb. 7). Analog zur Möbelfertigung, in der großformatige Platten mit Hilfe einer Verschnittoptimierung in kleine Elemente zerlegt werden, können auch bei dem entwickelten Sandwichelement z.B. Giebeldreiecke, Brüstungselemente und Erkerelemente aus einer großen Sandwichplatte geschnitten werden. Die Ränder der einzelnen Elemente, die nahezu beliebige Abmessungen aufweisen können, werden wie in Abb. 8 angedeutet, mit einem Profil versehen, in welches dann der Randabschluss gesteckt und mit den Deckschichten befestigt wird.

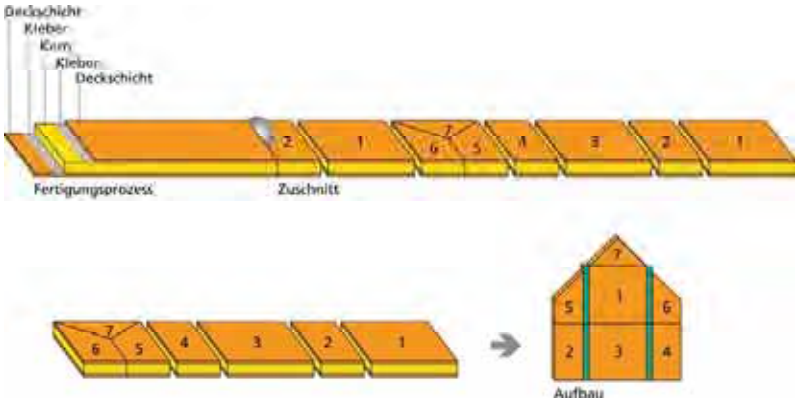


Abb. 7: Prinzipskizze einer möglichen Fertigung von Sandwichelementen

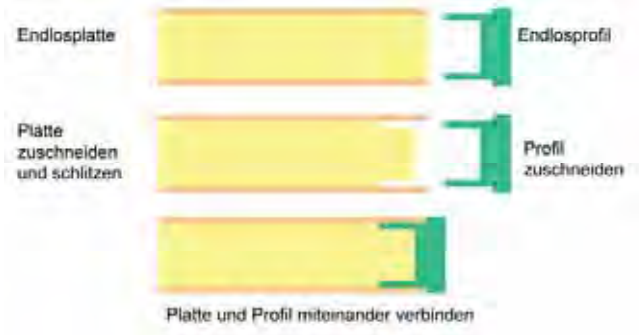


Abb. 8: Prinzipskizze einer möglichen Kantenbearbeitung der Sandwichelemente

3.5 Vollautomatische Fließfertigungen

Die höchstmögliche Automation erscheint nach heutigem Stand wie folgt und ist in Abb. 9 schematisch dargestellt: Eine dünne Holzwerkstoffplatte wird im Endlosverfahren (Kalanderverfahren oder Conti-Roll) gefertigt und direkt nach der Klimatisierung von einer CNC-Maschine bearbeitet. Diese fräst Öffnungen für z.B. Fenster und Türen, aber eventuell auch schon für Steckdosen und andere Installationen. Die ausgefrästen Teile der Fenster und Türen werden entfernt und dem Produktionsprozess wieder zugeführt. Da der Anlage die Abmessungen der Öffnungen für Fenster und Türen bekannt sind, werden auf einer separaten Anlagen die Randabschlüsse auf die entsprechende Länge gekappt. Die abgelängten Randabschlüsse werden auf die Kanten der Holz-

werkstoffplatte gelegt. Drahtklammern oder Nägel sorgen für eine kontinuierliche Verbindung zwischen Platte und Randabschluss. Nachdem alle Ränder mit einem Randabschluss versehen sind, liegt ein fünfseitig geschlossener Kasten vor, in den z.B. beleimte Holzfasern, Hobelspäne o.ä. eingestreut werden können. Mit einer weiteren Platte, die z.B. auch eine Holzwerkstoff-, aber auch eine Gipsplatte sein kann, wird das Dämmmaterial auf die erforderliche Dicke komprimiert. Auch diese Platte wird mit dem Randabschluss kontinuierlich verbunden. Je nach gewähltem Kleber und Dämmmaterial muss das Element eventuell noch gepresst werden.

Quellen

[1] Herlyn J.W., Kessel M., Rüther N. und Schönhoff T. „Verbundquerschnitte aus Holzwerkstoffen für lastabtragende Wände“ Schlussbericht des Forschungsvorhabens 2004

[2] Rüther, N., Plinke, B.; Meinlschmidt, P.; Herlyn, J. W.: Klebeverbindungen von Vollholz mit mineralisch gebundenen Plattenwerkstoffen. iVTH Kurzbericht 08/07

[3] Rüther, N.: Eine viel beachtete Verbindung. S. 52 ff Mikado 09/2007

[4] Johann W. Herlyn, Rüther Norbert: Verbundquerstoffe aus Holzwerkstoffen für lastabtragende Wandelemente, bauen mit holz 3/2004, S. 27-30

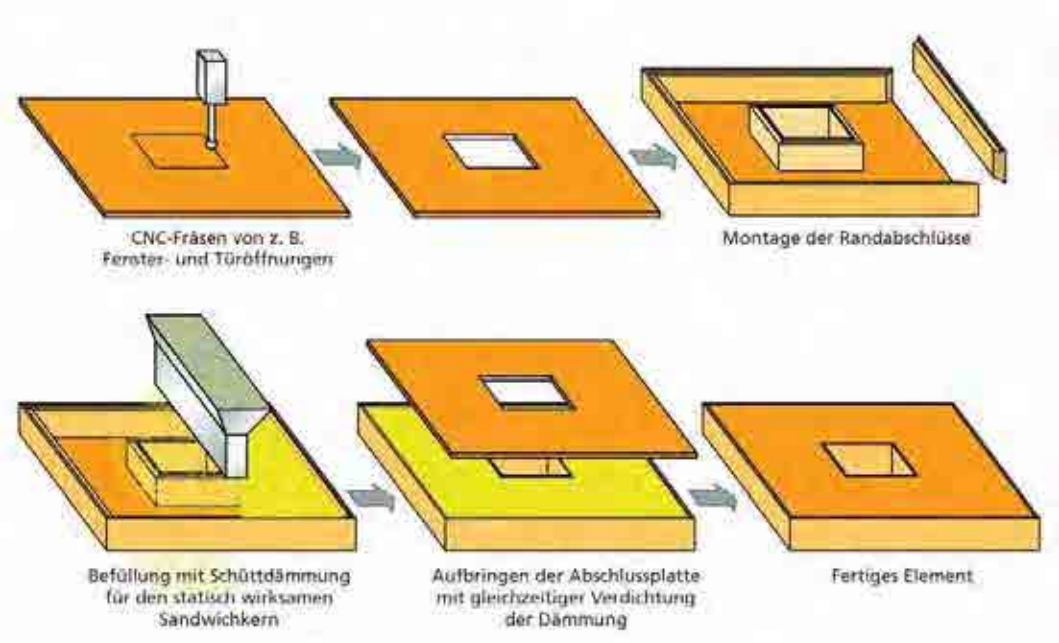
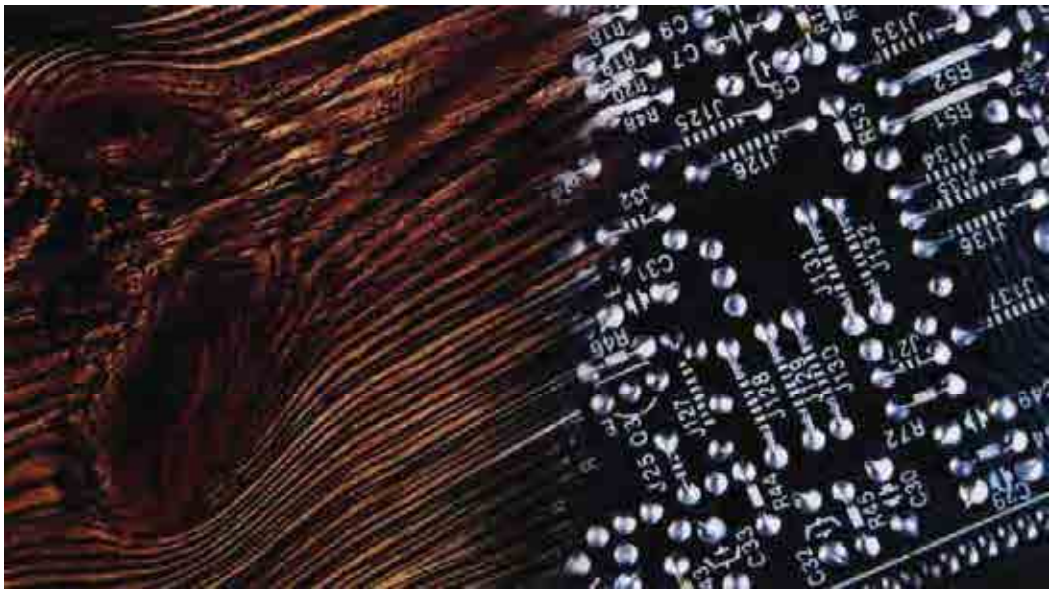


Abb. 9: Prinzipskizze einer möglichen vollautomatischen Fließfertigung



10 Verbindungstechniken
Inhaltsverzeichnis

10.1 Verbindungsmittel

Holz-Stahl-Klebeverbund	S.	749
HSK-Systeme	S.	757
Ausziehwiderstand von in Brettschichtholz eingeklebten Gewindestangen	S.	761
GSA – Technologie	S.	769
Holzrahmenbauten sicher auf Zug verankern	S.	773
Moderne Verbindungsmittel	S.	775
Der Jumbo - Wellennagel als tragendes Verbindungselement	S.	777
Bemessungsvorschläge für Verbindungsmittel in Brettsperrholz	S.	785
Korrosionsverhalten von Baumetallen bei Holzkontakt	S.	797

10.2 Klebstoffe

Kleben im Holzbau - Stand der Technik und Qualitätssicherung	S.	807
Lignofast – ein Quantensprung in der Klebstofftechnologie	S.	815
Elastisch nachgiebige Klebefuge für Brettschichtholz	S.	819
Optimierung geklebter Holzverbindungen	S.	825
Verklebung von wärmebehandeltem Buchenholz	S.	833
Blockverleimung	S.	839

10.3 Fügetechniken

Schweißen von Holz	S.	845
Textile Verbindungen	S.	851

10 Verbindungstechniken
Einleitung

Auf den Zusatzprodukten wie Kleber und Verbindungsmitteln gründet heute ein großer Teil des technischen Anwendungspotenzials des Baustoffes Holz. Ohne den Einsatz von Klebern und die damit verbundene Brettschichtholzentwicklung wären weit gespannte Konstruktionen nicht denkbar. Ähnliches gilt für Verbindungsmittel aus Stahl. Jedoch scheint das Entwicklungspotential vieler Verbindungstechniken – seien es eingeführte Produkte oder Neuentwicklungen – noch lange nicht ausgeschöpft.

Abb. 1: Leimaufgabe auf Brettschichtholz-Lamellen [Derix]

Kleber

Die innovativen Ansätze im Bereich der Verklebung von Vollhölzern sind derzeit vielfältig. Die technischen Neuerungen resultieren aus den Modifikationen des Vollholzes (vgl. Kapitel 8), der Verbindung mit anderen Baustoffen wie Beton und Textil (vgl. Kapitel 9) und nicht zuletzt aus der Weiterentwicklung der Kleber selbst.

Leimen mit Hochgeschwindigkeit

Ein Beispiel für eine neue Kleber- und Applikationsgeneration für die Leimholzindustrie zeichnet sich im Beitrag „Lignofast – ein Quantensprung in der Klebstofftechnologie“ (Hans-Peter Luthiger) ab. Ein Zweikomponenten-Kleber aus Isocyanat und Polyamin-Komponenten erlaubt kurze Presszeiten im Sekundenbereich. Zudem kommt der Schnellkleber mit einer kalten Pressung aus, daher entfällt eine zeitaufwendige Konditionierung und Rückkühlung des Holzes.

Während der Entwicklung des oben genannten Zweikomponenten-Klebers wurde rasch klar, dass die hohe Reaktionsgeschwindigkeit der neuen Klebstoffe auch neue Misch- und Verfahrensprozesse bedingen. Herkömmliche Methoden und Anlagen sind dafür ungeeignet. Gefragt sind spezielle Mischer für die zwei Komponenten und kontinuierliche Pressprozesse beim Fügen. Damit sind bereits kommerzielle Anwendungsgebiete definiert: Polyurea-Klebstoffe eignen sich nicht für eine manuelle Verarbeitung, zeigen aber ein viel versprechendes Potential für automatisierte Hochgeschwindigkeitsprozesse. Gefragt ist u.a. ein schneller Reinigungsmechanismus für die Mischkammer. Die notwendigerweise modifizierten Verarbeitungsanlagen für diese neue Klebstoffgeneration sollen ab 2010 zur Verfügung stehen.

Neue Klebereigenschaften für tragende Holzbauteile untersucht auch der Beitrag „Elastisch nachgiebige Klebefuge für Brettschichtholz“ (Marc Donzé, Maurice Brunner). Verwendete die Holzindustrie bisher fast ausschließlich steife Klebstoffe, werden hier die Festigkeitseigenschaften einer elastischen Klebefuge untersucht. Bei Brettschichtholz bedeutet dies, dass sich eine Brettlage gegenüber der anderen leicht verschieben kann. Berechnungen der Biegewiderstände ergaben eine Biegetragfähigkeit, die bis zu 20 % über dem klassischen Balken liegt. In Zusammenarbeit von Forschung und Industrie konnte auch ein entsprechender Klebstoff entwickelt werden.

An entsprechenden Holzproben konnten die errechneten Ergebnisse der erhöhten Tragfähigkeit im Experiment bestätigt werden. Damit zeigt sich eine neue Möglichkeit zur Leistungssteigerung von Holzkonstruktionen. Weitere Versuche mit Bauholz sollen nun die eher theoretischen Ansät-

ze bestätigen. Vor allem die neuen Klebefugen müssen beweisen, dass sie den vielfältigen Anforderungen der Baupraxis – wie zum Beispiel der Dauerhaftigkeit bei Bewitterung – gewachsen sind.

Thermoholz aus Buche gut verklebbar

Vermehrt wird bei Bauten und Ausbauten thermisch vergütetes Holz eingesetzt. Seine Eigenschaften werden durch diese Wärmebehandlung beeinflusst, die veränderten Eigenschaften hängen wesentlich von Art und Intensität der Behandlung ab. Die deutlichsten Änderungen sind die Reduzierung der Gleichgewichtsfeuchte, der Festigkeit, der Quellung/Schwindung und des pH-Wertes und die damit verbundene Erhöhung der natürlichen Resistenz. Einige dieser Eigenschaftenänderungen haben einen Einfluss auf die Verklebung von wärmebehandeltem Holz. Der Beitrag „Verklebung von wärmebehandeltem Buchenholz“ (Thomas Schnider, Peter Niemz, Andreas Hurst) untersucht Thermoholz auf seine Verklebbarkeit.

Im Rahmen dieser vorliegenden Arbeit wurde industriell im Autoklav wärmebehandeltes Buchenholz (Fagus sylvatica L.) mit unterschiedlichen Behandlungsintensitäten und zu Vergleichszwecken unbehandeltes Buchenholz mit verschiedenen Klebstoffen verklebt. Anschließend wurde die Scherfestigkeit im Normalklima, bei verschiedener Holzfeuchte (Verklebung und Prüfung) und nach einer mehrwöchigen Wechselklimalagerung (feucht/trocken) geprüft. Durch die Feuchteänderung entstanden erhebliche Spannungen in den Klebfugen, zurückzuführen auf das allgemein eingeschränkte Stehvermögen des Holzart Buche.

Generell wiesen die 1K-PUR-Klebstoffe eine gute Verklebungsgüte des thermisch behandelten Holzes auf. Dabei ist zu beachten, dass bei der Verwendung von 1K-PUR auf dem feuchtereduzierten Thermoholz dem Klebstoff Zusatzwasser durch Aufsprühen auf die Fügeteiloberfläche beigefügt werden muss, um eine genügende Aushärtung zu erreichen. Wird Thermoholz zusammen mit unbehandeltem Holz verwendet, sind erhöhte Spannungen in den Klebfugen zu berücksichtigen. Versuche zur natürlichen Bewitterung, die an Fensterprofilen aus thermisch behandeltem und unbehandeltem Buchenholz durchgeführt wurden, zeigen nach einer einjährigen Bewitterung den deutlichsten Unterschied der verringerten Spannungen zwischen thermisch behandeltem und unbehandeltem Holz. Insgesamt weisen thermisch behandelte Bauteile wie zum Beispiel Fensterelemente der Holzart Buche einen richtigen Weg.

„Kleben“ mit holzeigenen Substanzen

Einen ganz anderen Ansatz der klebenden Holzfügung verfolgt der Beitrag „Holzschweißen“ (Christelle Ganne-Chédeville). Bereits in den 1990er Jahren wurden Untersuchungen über die reibungsinduzierte Aktivierung von thermoplastischen und duroplastischen Klebstoffen durchgeführt. Im Jahr 2002 wurde erstmals eine Verbindung von Holzteilen ohne Bindemittel unter dem Einsatz der so genannten Linearvibrations-Technologie untersucht. Dabei konnte durch die vibrationsbedingte Wärmeentwicklung auf den Holzoberflächen eine intensive thermoplastische Veränderung des Lignins erzeugt werden. Die Verflüssigung der Bestandteile der Mittellamellen im Holzgewebe tritt ein, wenn innerhalb kurzer Zeit eine Temperatur von über 200°C in der Schweißfuge erreicht wird.

Das geschmolzene Lignin kann sich an der Verbindungsstelle wie ein Klebstoff verteilen und härtet nach der Abkühlung aus. Mit diesem Verfahren können hochwertige und umweltfreundliche Holzverbindungen ohne Klebstoff oder zusätzliche Additive hergestellt werden. Die Vorteile der Holzschweiß-Technologie liegen in den kurzen Prozesszeiten und sehr guten Ökobilanz der

damit produzierten Produkte. Der erwartete Nutzen beim Einsatz dieser Technologie in der Holz verarbeitenden Industrie sind eine deutliche Reduktion der Produktionskosten und eine Verbesserung der Konkurrenzfähigkeit der Holzverarbeitung.

Kraftschlüssige Holz-Beton-Elemente

Die bereits in Kapitel 9 beschriebenen Holz-Beton-Verbundelemente erfreuen sich z.B. aufgrund Ihrer geringen Schwingungsanfälligkeit wachsender Beliebtheit. Der Beitrag „Holz-Beton-Platten mit Klebeverbund“ (Maurice Brunner, Marco Schnüriger, Michael Roemer) greift diese positive Entwicklung auf und beschreibt als aktuelle Entwicklungsvariante die kraftschlüssige Verklebung von Holz und Beton. In einer ersten Projektphase wurde die Herstellungstechnik des “Nass-in-nass-Verfahrens“ untersucht und optimiert. Dabei konnte ein geeigneter Zweikomponenten-Epoxid-Klebstoff gefunden werden, der 90 Minuten vor Eingießen des Ortbeton auf die Holzelemente aufgebracht wird.

In einer zweiten Projektphase wurden Großversuche mit Holz-Beton-Platten mit Klebeverbund durchgeführt. Sowohl Platten mit vollflächiger Verklebung wie auch mit einer 50 %en Verklebung wurden getestet. Die gemessenen Bruchlasten entsprachen weitgehend den berechneten Werten, d.h. bis zum Bruch konnte keine relative Verschiebung des Betons gegenüber dem Holzträger festgestellt werden. Dies bestätigt die starre wie auch funktionierende Verklebung, deren Einführung in die Praxis kurz bevor steht.

Verbindungsmittel

Eine Kombination aus Klebstoff und Verbindungsmittel beschreiben die Beiträge „Ausziehwiderstand von Gewindestangen“ (René Steiger, Robert Widmann) und „Holz-Stahl-Klebeverbund“ (Leander Bathon, Oliver Bletz, Jens Schmidt). Beim Holz-Stahl-Klebeverbund werden Stahlquerschnitte in das Holz eingeklebt, wobei der Einsatz von Stahlstäben bereits in der Holzbau-Norm DIN 1052 angeführt wird. Jüngste Versuche zeigten, dass Gewindestangen, die z.B. in Brettschichtholz eingeklebt wurden, höhere Ausziehwiderstände aufweisen als international publizierte Bemessungsansätze zulassen würden. In die Praxis umgesetzt wären danach künftig weniger Verbindungsmittel vonnöten mit der Folge, dass die Kosten bestimmter Holzkonstruktionen gesenkt und die Wettbewerbsfähigkeit zu anderen Baustoffen erhöht werden könnte.

Ebenfalls erforscht wird derzeit die Verklebung nicht-stabförmiger Metallteile wie zum Beispiel Lochbleche oder Rohrverbinder. Das Potenzial dieser eingeklebten Stahlteile als innovative Verbindungsmittel im Holzbau ist hoch und ihre Vorteile liegen auf der Hand: Über nur kurze Einklebelängen können hohe Lasten aufgenommen werden, und dies bei einer minimalen Schwächung des Holzquerschnitts.

Abb. 2: GSA-Verbindung

Eine Innovation aus der Schweiz beschäftigt sich ebenfalls mit der Verklebung von Stahlteilen, erläutert im Beitrag „GSA-Technologie“ (Thomas Strahm). GSA steht für Gewinde-Stangen-Anker. Es handelt sich dabei um ein Verbindungssystem im Ingenieurholzbau mit eingeklebten Stahlstäben. Das System zeichnet sich durch eine hohe

Tragfestigkeit und Steifigkeit sowie durch sein „duktiles“ Verhalten aus. Duktile Konstruktionsdetails sind im Bauwesen insofern wichtig, da eine duktile Verbindung ihr Versagen frühzeitig und gut sichtbar „ankündigt“. Insgesamt zeigen die Verbindungen mittels Gewinde-Stangen-Anker, wie große Lasten mit wenig Stahleinsatz ein- und umgeleitet werden können bei gleichzeitiger Ausschöpfung der Leistungsfähigkeit des Holzes.

Korrosionsschutz im Holzbau

Einen ganz anderen Blickwinkel auf Metalle als Verbindungsmittel im Holzbau liefert der Beitrag „Korrosionsverhalten von Baumetallen bei Holzkontakt“ (Beate Gläser, Dirk Kruse, Norbert Rüther). Die Möglichkeiten des Korrosionsschutzes sind im Holzbau bisher nur sehr bedingt angekommen. Dies liegt auch an der diesbezüglich veralteten Norm (DIN 1052:2004-08), welche viele Techniken, wie beispielsweise die Nanopartikel basierten Schutzschichten, nicht einschließt. Diese normative Lücke stellt ein echtes Innovationshindernis dar und nur wenige Planer und Bauherrn bewegen sich auf dieses „juristische Glatteis“.

10.1 Verbindungsmittel
Holz-Stahl-Klebeverbund

Leander Bathon, Oliver Bletz, Jens Schmidt

1 Allgemeines

Unter Holz-Stahl-Klebverbund wird eine Technologie verstanden, bei der Stahlquerschnitte in Holz eingeklebt werden. Hierbei dürfen gemäß DIN 1052:2008 Stahlstäbe eingesetzt werden. An der MPA Wiesbaden hat man zudem zahlreiche Untersuchungen zu nicht stabförmigen Metallteilen durchgeführt, die in Holz eingeklebt wurden (z.B. Streckmetalle, Rohrverbinder, Lochbleche). Die positiven Untersuchungsergebnisse konnten in ersten Pilotprojekten umgesetzt werden (z.B. Abb. 1).

Abb. 1: BSH-Träger mit oberseitig eingeklebten Streckmetallen sowie am Kopfende eingeklebten Stahlstäben [Holzbau Gröber GmbH]

2 Eingeklebte Stahlstäbe

Mit der Berücksichtigung des Einklebens von Stahlstäben in Holz gemäß DIN 1052:2008 trägt der Normenausschuss der Tatsache Rechnung, dass die Holz-Stahl-Klebetechnologie im Holzbau schon längere Zeit tägliche Praxis ist. Eingeklebte Stahlstäbe haben sich bei zahlreichen Anwendungen als probates Mittel bewiesen. Seit Kurzem liegt für ein erstes Klebstoffsystem zudem eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung für das Einkleben von Stahlstäben in Holzbaustoffe vor.

Für den Einsatz von Holz-Stahl-Klebeverbindungen ist es grundsätzlich erforderlich, die in DIN 1052: 2008 geforderte Temperaturbeständigkeit der Klebeverbindung bei mindestens 60°C nachzuweisen. In Abb. 2 ist hierfür exemplarisch ein im Rahmen solcher Temperaturbeständigkeitsuntersuchungen vorgenommener Zugversuch (GEWI) dargestellt.

Abb. 2: Zugversuch zur Ermittlung der Temperaturbeständigkeit von in Holz eingeklebten GEWI

Bei solchen Versuchen wird i.d.R. folgendes Belastungsregime aufgebracht. In einem ersten Versuchsabschnitt wird auf den Versuchskörper unter Normalklima 20°C / 65r.F. eine definierte Zugkraft aufgebracht. Anschließend wird um die Prüfvorrichtung herum ein Klimaschrank aufgestellt, in dem – nachdem er verschlossen wurde – schrittweise die Lufttemperatur erhöht wurde, bis die Klebefuge eine Temperatur von 60°C erreicht hat. Während der Versuchsdurchführung werden hierbei in definierten Zeitabständen die Lufttemperatur, die Klebefugentemperatur sowie die Verformungszunahmen der Holz-Stahl-Klebeverbindung infolge Dauerlast und Temperaturbeanspruchung gemessen. Als Ergebnis der Untersu-

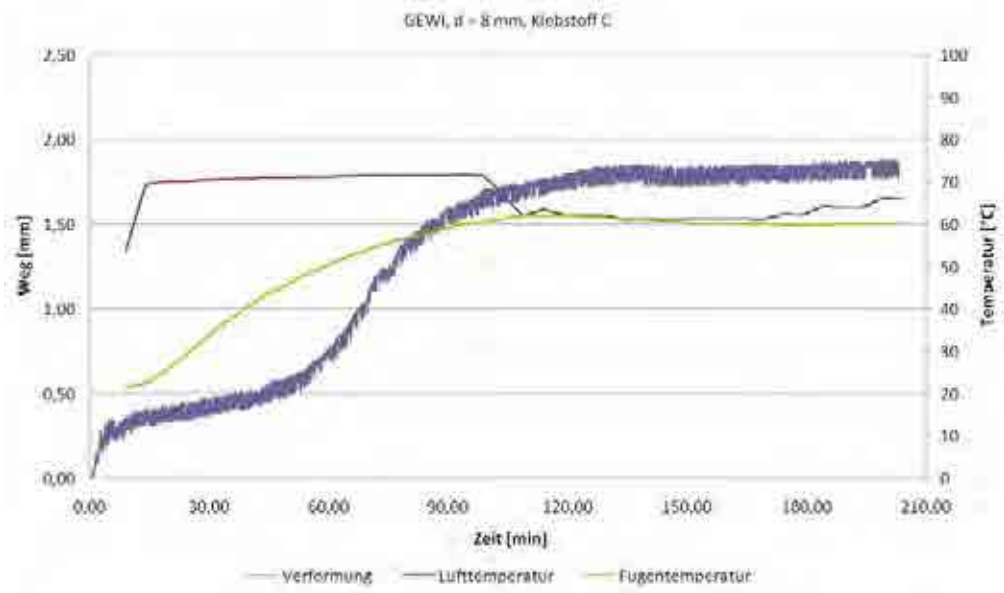


Abb. 3: Temperatur-Verformungs-Diagramm für in Holz eingeklebte GEWI

chungen werden schließlich so genannte Temperatur-Verformungs-Diagramme für die Verbindung erstellt. Aus diesen kann abgelesen werden, ob und in welchem Maße es unter einer Temperaturbeanspruchung zu Verformungszunahmen (infolge einer wachsenden Nachgiebigkeit der Verbindung) kommt. In Abb. 3 sind exemplarisch die Versuchsergebnisse für einen Prüfkörper mit einer eingeklebten Gewindestange (l_{ad} = 10 cm, d = 8 mm, Klebstoffsystem C) dargestellt. Auf den Prüfkörper wurde eine Zugkraft von 10 kN aufgebracht (dies entspricht dem charakteristischen Ausziehwiderstand der eingeklebten Gewindestange gemäß DIN 1052: 2008). Es zeigte sich, dass es während der anfänglichen Aufheizungsphase zu ausgeprägten Verformungszunahmen des Prüfkörpers kommt. Bei Erreichen der Klebefugentemperatur von 60°C wurde die Temperatur für ca. 120 Minuten gehalten. In dieser Phase kam es zu keinen weiteren signifikanten Verformungszunahmen des Prüfkörpers. Das Versuchsergebnis zeigt somit, dass die Funktionsweise der Holz-Stahl-Klebeverbindung mit in Holz eingeklebten Gewindestangen (Klebstoffsystem C) bei Klebefugentemperaturen von 60°C gewährleistet ist.

3 Eingeklebte Rohrverbindungen

Neben dem Einkleben von Stahlstäben besteht grundsätzlich auch die Möglichkeit des Einklebens von anderen als stabförmigen Metallteilen. An der MPA Wiesbaden hat man sich dieser Thematik in den letzten Jahren angenommen und mit eingeklebten Rohrverbindern ein Verbindungsmittel entwickelt, welches die Vorzüge der eingeklebten Stahlstäbe aufweist, jedoch gleichzeitig über deutlich höhere Tragfähigkeiten verfügt.

Rohrverbinder sind rohrförmige Verbundanker, die in eine Ringnut im Holz eingeklebt werden. An eingeklebten Rohrverbindern werden an der MPA Wiesbaden seit längerer Zeit Untersuchungen durchgeführt. Die Untersuchungen behandeln dabei im wesentlichen die Themenfelder Geometriefindung, Oberflächenbeschaffenheit, Materialart, Belastungsart, Randabstände und Anordnung der Rohrverbinder. Die zuletzt zum

Einsatz gekommenen Rohrverbinder vom Typ HSK-RV-T5 bestehen aus Stahl S235JR, die aus einem 3 mm starken Stahlrohr heraus gefräst werden und mit einem doppelseitigem Gewinde mit einer Steigung von 3 mm versehen sind. Die Kopfplatte enthält ein M16 Gewinde für mögliche Schraubenanschlüsse. Die 3 mm breiten und 100 mm langen Längsschlitze in dem Mantel des Rohrverbinders dienen einer guten Verteilung des Klebers und der Minimierung von Luftblasen. Die Rohrverbinder sind galvanisch verzinkt. Abb. 4 zeigt exemplarisch Rohrverbinder mit unterschiedlichen Oberflächenstrukturen.

Abb. 4: Varianten von Rohrverbindern

4 Vorteile von Holz-Stahl-Klebeverbindungen mit Rohrverbindern

Grundsätzlich wird durch die Verwendung der innovativen Holz-Stahl-Klebeverbundtechnologie die Möglichkeit geschaffen, starre und gleichzeitig duktile Verbindungen auf einfache und kostengünstige Art auszuführen. Ein zusätzlicher positiver Aspekt ergibt sich zudem aus der Eigenschaft, dass Holz-Stahl-Klebeverbindungen beinahe den vollen Holzquerschnitt mit nur minimalen Querschnittsschwächungen aktivieren können. Dies ist bei herkömmlichen nachgiebigen mechanischen Verbindungsmitteln nicht der Fall. Weiterhin sind Holz-Stahl-Klebeverbindungen sehr ästhetisch, da sie von außen in der Regel nicht sichtbar sind. Das Stahlbauteil ist letztlich durch die innen liegende Positionierung im Holzbauteil sowie die umgebende Klebstoffschicht vor Korrosion geschützt. Wie durch praktische Untersuchungen an der MPA Wiesbaden gezeigt werden konnte, sind mit Holz-Stahl-Klebeverbindungen mit Rohrverbindern grundsätzlich nahezu 100%ige Krafteinleitungen in Holzquerschnitte erzielbar. Zusätzlicher Vorteil der eingeklebten Stahlanschlüsse: Das Bauen der Tragkonstruktion „in Holz“ bei gleichzeitiger Berechnung der Verbindungsmittel „in Stahl“.

5 Vergleich eingeklebter Stahlstab vs. eingeklebter Rohrverbinder

Das Einkleben von Gewindestangen oder Betonrippenstählen in Holz, z.B. zur Querzugverstärkung oder zur Querdruckverstärkung, ist gemäß DIN 1052:2008 geregelt. Durch die verhältnismäßig „dünnen“ Stahlstäbe sind jedoch die übertragbaren Kräfte begrenzt.

Das Hauptziel bei der Entwicklung der geklebten Rohrverbindungen liegt in der Optimierung von Anschlüssen im Holzbau. Dabei sollen möglichst hohe Kräfte übertragen werden können, ohne Querschnittsverluste der Holzkonstruktion durch eingesetzte Verbindungsmittel hinnehmen zu müssen. Daher wurde ein rohrförmiges Verbindungsmittel entwickelt, das eine wesentlich höhere Oberfläche für eine Klebeverbindung liefert. In das Holz wird eine Ringnut gefräst - der innere Kernquerschnitt wird nicht entfernt, sondern zur Kraftübertragung mit aktiviert. Hierdurch ist es möglich, eine 3 bis 4-fach höhere Kraft im Vergleich zu eingeklebten Stahlstäben in einen Holzquerschnitt einzuleiten. Unter Berücksichtigung der geometrischen Verhältnisse der Verbindungsmittel „Stahlstab“ bzw. „Rohrverbinder“ lässt sich folgende Abschätzung zur Ermittlung der Tragfähigkeit von Rohrverbindern herleiten.

$$N_{1/2} = A_{1/2} \bullet \tau$$

$$A_1 = d_1 \bullet \pi \bullet l_1 \qquad A_2 = 2 \bullet D_2 \bullet \pi \bullet l_2$$

$$N_2 \cong 3 \div 4 \bullet N_1$$

Abb. 5: Vergleich Stahlstab vs. Rohrverbinder

6 Versuche zu eingeklebten Rohrverbindern

An Prüfkörpern mit eingeklebten Rohrverbindern wurden an der MPA Wiesbaden zahlreiche praktische Untersuchungen durchgeführt. Abb. 6 zeigt exemplarisch einen in einem Zugversuch getesteten Probekörper. An diesem wurden auf der einen Seite ein Schlitzblech mit Stabdübeln eingesetzt, auf der anderen Seite zwei eingeklebte Rohrverbindungen. Es stellte sich ein spröder Holzbruch auf der Seite der Stabdübelverbindung ein.

Abb. 6: Prüfkörper

Weiterhin wurden einige Versuchsserien (Zugversuche) an in Holz eingeklebten Rohrverbindern durchgeführt, wobei verschiedene Klebstoffsysteme und Oberflächengeometrien getestet wurden. Die Versuche haben in der Summe gezeigt, dass die oben genannten Parameter wesentlichen Einfluss auf die Verbindungsmittelkapazität haben. Zugversuche an den Rohrverbindern, die in Holzquerschnitte b/h = 8/8 cm eingeklebt wurden, ergeben in Abhängigkeit der genannten Parameter Zugkapazitäten von 80 kN bis 115 kN. Nach den Versuchen mit der singulären Rohrverbinderanordnung wurden auch Verbindungsmittelgruppen mit bis zu 4 Rohrverbindungen getestet. Der kleinste Holzquerschnitt von 8/8 cm wurde hierbei entsprechend vervielfacht. (es kam ein BSH-Querschnitt 16/16/90 cm zum Einsatz, in den stirnseitig jeweils 4 Stück Rohrverbindungen eingeklebt wurden). Anschließend wurden an diesem Prüfkörper Zugversuche mit drei verschiedenen Schraubenfestigkeiten durchgeführt. Bei den Schrauben der Güte 4.6 und 5.6 begann der Stahl ab einem Lastniveau von ca. 325 kN zu fließen und führte zu einem Abriss der Schrauben. Die Schrauben der Güte 8.8 hielten einer Zugkraft von ca. 450 kN stand, das Versagensbild des Holzes (Abb. 7) zeigte bei diesem Versuch ein Blockscheren. Somit stellt sich bei Einhaltung von Mindestabständen – pro Rohrverbinder Mindestfläche b/h = 8/8 cm – eine Linearität hinsichtlich der Zugkapazität ein.

Abb. 7: Blockscheren als Versagensursache auf einem Lastniveau von ca. 450 kN

7 Eingeklebte Lochbleche

In weiteren an der MPA Wiesbaden durchgeführten Untersuchungen wurden in Holz eingeklebte Lochbleche getestet [2].

Abb. 8: Prüfkörper mit in BSH eingeklebten Lochblechen bei einem Druckscherversuch

Lochbleche sind Stahlformteile mit in Rastern ausgestanzten Lochungen. Die gewählten Lochbleche besitzen eine Dicke von bis zu 2,5 mm. Sie weisen Lochdurchmesser von 3 mm bis 12 mm auf und sind verzinkbar und schweißbar.

Die Versuche beinhalteten u.a. Druckscherversuche (Abb. 8, Abb. 9), Rahmeneckenversuche (Abb. 10) sowie Zugversuche unter einer Temperaturbeanspruchung (Abb.11).

Basierend auf den Untersuchungsergebnissen konnte ein Bemessungsvorschlag für eingeklebte Lochbleche abgeleitet werden. Bei der Anwendung bei Rahmenecken sind danach z.B. nachzuweisen und zu dimensionieren:

- Abmessungen der Stiele und der Halbriegel
- Anzahl und Länge der eingesetzten Lochblechstreifen, wobei ein eingeklebter Lochblechstreifen der Länge 100 cm eine charakteristische Tragfähigkeit von ca. 290 kN aufweist (Abb. 9)
- Abmessungen (Dicke, Länge, Breite) und Materialgüte der Stahlflansche in Abhängigkeit der vorliegenden Zugkraft
- Blockscheren des durch die eingeklebten Lochbleche bewehrten Holzes
- Übertragung der Querkräfte an der Innenseite der Rahmenecke über Kontaktpressung
- Vorholzlänge
- Druckstab in der Fuge zwischen Stiel und Riegel (Knicknachweis)
- Gelenkbolzen, der in die Augenstäbe eingeführt wird (Abscheren)
- Fließmoment der Stahlplatte
- Selbstbohrende Schrauben auf der Außenseite zur Querzugsicherung

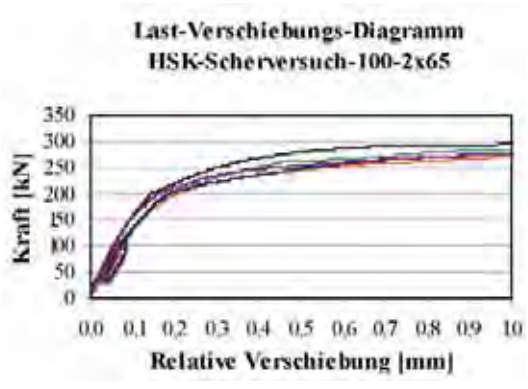


Abb. 9: Last-Verschiebungs-Diagramm der Versuchsreihe Druckscheren mit in BSH eingeklebten Lochblechen der Länge 100 cm

Abb. 10: Rahmenecke mit eingeklebten Lochblechen

Abb. 11: Zugversuch zur Ermittlung der Temperaturbeständigkeit von in Holz eingeklebten Lochblechen

Hinsichtlich der Temperaturbeständigkeit von Verbindungen mit in Holz eingeklebten Lochblechen wurden erste Orientierungsversuche durchgeführt. Hierbei kamen unterschiedliche Lochblechgeometrien in Kombination mit variierenden Klebstoffsystemen zum Einsatz. Ziel der Untersuchungen war es, die gemäß DIN 1052:2008 einzuhaltende Temperaturbeständigkeit der Holz-Stahl-Klebeverbindung von mindestens 60°C nachzuweisen.

In Abb. 11 ist exemplarisch ein im Rahmen dieser Versuchsreihen durchgeführter Zugversuch dargestellt (l_{LB} = 6,5 cm, b_{LB} = 5 cm, n = 12 Löcher). Der Versuchsablauf erfolgte analog zu dem in Abschnitt 2 dargestellten Versuchsablauf bei der Untersuchung der Temperaturbeständigkeit von in Holz eingeklebten Stahlstäben. Bei diesem Versuch wurde das aufgebrachte Zuglastniveau mit 8 kN festgesetzt. Das in Abb. 12 dargestellte Temperatur-Verformungs-Diagramm zeigt, dass die Funktionsweise der Holz-Stahl-Klebeverbindung mit in Holz eingeklebten Lochblechen (Klebstoffsystem C) bei Klebefugentemperaturen von 60°C sichergestellt ist. Auf diesem Temperaturniveau traten bei dem Prüfkörper während der ca. 120 Minuten andauernden Haltephase keine wesentlichen Verformungszunahmen auf.

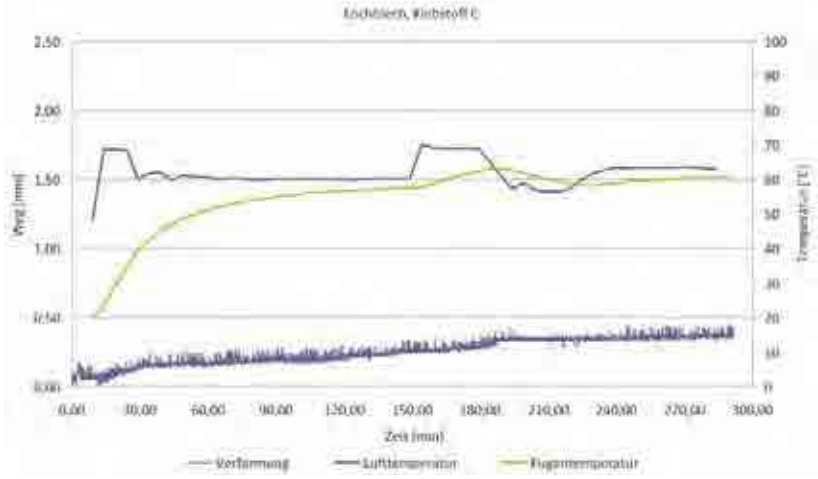


Abb. 12: Temperatur-Verformungs-Diagramm für in Holz eingeklebte Lochbleche

8 Anwendungsbeispiele für Holz-Stahl-Klebeverbindungen

Für eingeklebte Lochbleche finden sich Anwendungen z.B. bei der Ausbildung von Rahmenecken oder der Herstellung von Stützeneinspannungen. Anwendungsmöglichkeiten für eingeklebte Rohrverbinder finden sich z.B. bei Knotenpunkten (Abb. 13), Haupt- / Nebenträgeranschlüssen, Stützenfußpunkten oder Geländeranschlüssen.

Abb. 13: Knotenpunktlösung mit eingeklebten Rohrverbindungen

9 Fazit

FuE-Tätigkeiten an der MPA Wiesbaden zeigen das hohe Potenzial von eingeklebten Stahlteilen als innovative Verbindungsmittel im Holzbau. Die Vorteile dieser neuartigen Verbindungsmitteltechnologie sind klar: starr, duktil und mit minimaler Querschnittschwächung des Holzes. Gleichzeitig ist das Anwendungspotenzial vielseitig. Eingeklebte Rohrverbindungen können hierbei als Weiterentwicklung der in DIN 1052: 2008 behandelten eingeklebten Gewindestäbe angesehen werden, wobei hier mit kurzen Einklebelängen hohe Lasten eingeleitet werden können.

Literatur

[1] Bathon, L.; Bletz, O. (2008), „In Holz eingeklebte Bauteile aus Metall“, die neue quadriga 2/2008, Seite 13 – 18

[2] Bathon, L.; Bletz, O.; Schmidt, J. (2006), „Untersuchungsbericht zum Holz-Stahl-Klebeverbundsystem mit eingeklebten Lochblechen“, Fachhochschule Wiesbaden

[3] Bathon, L.; Bletz, O.; Schmidt, J. (2006): „Holz-Stahl-Klebeverbindungen – Neue Möglichkeiten durch starre und duktile Verbindungsansätze“, 7. Holzbauforum Leipzig

10.1 Verbundkonstruktionen
HSK - Systeme

Rainer Bahmer, Peter Gröber

1 Motivation

Die tägliche Baupraxis zeigt, dass bei Vergabeverfahren von Hallenbauwerken Konstruktionen in Stahlbauweise gegenüber Tragwerken in Holzbauweise aus Kostengründen oft den Vorzug erhalten. Dies ist insofern erstaunlich, da der Baustoff Holz im Vergleich zum Werkstoff Stahl bei gleicher Biegesteifigkeit um den Faktor 4 - 5 preisgünstiger ist. Der Holzbau verliert somit bei der Erstellung des Bauwerks seine werkstoffspezifischen Wettbewerbsvorteile gegenüber dem Stahlbau. Als Ursachen hierfür können u.a. geringere Knotenleistungsfähigkeiten und ungünstigere statische Systemansätze im Holzbau ausgemacht werden. Seitens der in der Holzindustrie beteiligten Unternehmen, Planer und Auftraggeber besteht aus diesem Grund ein hoher Bedarf nach neuen, innovativen Verbindungsmitteln im Ingenieurholzbau, um

- keine nachgiebigen, sondern starre Verbindungen herzustellen
- Knotenpunkte mit nur geringen Querschnittsschwächungen herzustellen
- kraft- und formschlüssige Verbindungen herzustellen
- standardisierte und wirtschaftliche Ausführungen von Knotenpunktanschlüssen mit einem hohen Ausnutzungsgrad zu ermöglichen, die gleichzeitig ein duktiles Systemverhalten im Versagensfall aufweisen

Wird im Ingenieurholzbau ein Verbindungsmittel entwickelt, welches die oben genannten Kernanforderungen besitzt, verfügt der Holzbau über ein Instrument, dass vergleichbar ist mit dem Schweißen im Stahlbau – denn Schweißverbindungen, die zwei Stahlbauteile miteinander verbinden, sind starr, ohne Querschnittsschwächung, kraft- und formschlüssig, standardisiert, und stellen somit eine wirtschaftliche Ausführungsvariante für Knotenpunkte bei Stahlbauwerken dar.

Abb. 1: Modell einer HSK-Rahmenecke

Es ist unumstritten, dass im Ingenieurholzbau Klebeverbindungen das Potential besitzen, in Zukunft als Pendant zur Schweißverbindung im Stahlbau angesehen zu werden – denn Klebeverbindungen besitzen die Charakteristik von starren sowie kraft- und formschlüssigen Verbindungen ohne (heutige Anwendung: z.B. Keilzinkenverbindung, Brettschichtholz) bzw. mit nur minimalen Querschnittsschwächungen (heutige Anwendung: eingeklebte Stahlstäbe). Klebeverbindungen stellen für den Holzbau wirtschaftliche und leistungsfähige Verbindungen dar, die erheblich höhere Steifigkeiten aufweisen als z.B. Verbindungen mit herkömmlichen mechanischen Verbindungsmitteln.

Eine vergleichsweise neuartige Variante der Klebeverbindung stellt in diesem Zusammenhang die Holz-Stahl-Klebeverbindung dar. Mittels dieser können z.B. Nachteile, die im Holzbau gegenüber dem Stahlbau bei der Ausbildung von Knoten-

punkten bestehen, eliminiert werden. Im Folgenden wird eine Lösung für die Ausbildung von Rahmenecken vorgestellt, die auf der Holz-Stahl-Klebetechnologie unter Verwendung eingeklebter Lochblechstreifen (HSK-System) basiert.

2 HSK-Rahmenecke

Abb. 1 zeigt ein Modell der Rahmenecke, die die Holz-Stahl-Klebetechnologie mit eingeklebten Lochblechen (HSK-System) als Lösungsansatz nutzt. Die HSK-Rahmenecke besteht aus den werkseitig vorgefertigten Einzelbauteilen Stütze und Riegel, die – nachdem sie als Einzelbauteile zur Baustelle gebracht worden sind – dort über eine Bolzenverbindung zu einer biegesteifen Rahmenecke zusammengefügt werden.

Die HSK-Rahmenecke weist folgende Eigenschaften auf:

- weitgehende werkseitige Einzelteilvorfertigung,
- Montage vor Ort auf der Baustelle,
- Vorzüge einer wirtschaftlichen und kraftschlüssigen Lösung.

Herzstück der HSK-Rahmenecke sind speziell verzinkte Stahlbauteile, die jeweils aus einer Stahlplatte (Stahlflansch) mit mehreren senkrecht aufgeschweißten Lochblechstegen sowie zwei angeschweißten Augenstäben bestehen (Abb. 2 und Abb. 3). Diese Stahlbauteile werden werkseitig in die geschlitzten Schmalseiten der BS-Stiele und BS-Riegel eingeklebt.

Abb. 2: Detaildarstellungen der Verbindungstechnik der HSK-Rahmenecke

Abb. 3: Detaildarstellungen der Verbindungstechnik der HSK-Rahmenecke

Folgende statische Grundfunktionen sind den einzelnen Elementen der HSK-Rahmenecke zuzuordnen (bei einer schließenden Momentenbeanspruchung):

- Die eingeklebten Lochblechstege stellen eine kraft- und formschlüssige Verbindung zum Holz her
- Weiterhin sorgen die eingeklebten Lochblechstege für eine gleichmäßige Übertragung der Kräfte aus dem Holzquerschnitt in die angeschweißten Stahlflansche
- Der Stahlflansch stellt auf der Außenseite ein Zugband dar und fungiert auf der Innenseite als Druckglied
- Stiel und Riegel werden über eine Bolzenverbindung biegesteif verbunden
- Zwischen den Gelenkbolzen ist ein massiver Stahldruckstab angeordnet, der die Druckkräfte in der Fuge zwischen Stiel und Riegel überträgt, wodurch das Holz nicht quer zur Faserrichtung beansprucht wird
- Auf der Innenseite der Rahmenecke angeordnete und an die Augenstäbe angeschweißte Stahlplatten übertragen die Querkräfte in Stiel und Riegel über Druckkontakt ins Holz
- Rechtwinkelig zu den Stahlflanschen angeordnete Stahlplatten an der Innenseite der Rahmenecke übertragen weiterhin die Normalkräfte in Stiele und Riegel

Nachdem an der FH Wiesbaden Untersuchungen zum Holz-Stahl-Klebeverbundsystem mit eingeklebten Lochblechen durchgeführt wurden [1], konnten inzwischen einige Hallenbauwerke mit der HSK-Rahmenecke erstellt werden [2], [3].

Abb. 4: Bergehalle bei St. Moritz

Abb. 5: Bergehalle bei St. Moritz

In der Zwischenzeit liegen eine Reihe von Ausführungsbeispielen vor, bei denen die HSK-Technologie mit eingeklebten Lochblechen erfolgreich im Bereich von Stützeneinspannungen eingesetzt wurden.

Abb. 6: Stützeneinspannung mit dem HSK-System

3 Fazit

Holz-Stahl-Klebeverbindungen stellen für den Holzbau wirtschaftliche und leistungsfähige Verbindungen dar. Aufgrund ihrer Charakteristik sind sie vergleichbar mit Schweißverbindungen im Stahlbau. Die in diesem Beitrag vorgestellte Lösung für die Ausbildung einer biegesteifen Rahmenecke auf Basis der Holz-Stahl-Klebetechnologie stellt einen Konstruktionsansatz dar, der von Planern dann weiter verfolgt werden kann, wenn die baulichen Randbedingungen eine werkseitige Einzelteilvorfertigung der Stiele und Riegel mit späterer Endmontage vor Ort auf der Baustelle erfordern. Ausführungsbeispiele zeigen, dass die HSK-Systemtechnologie für Stützeneinspannungen eine hohe Effizienz aufweisen. Damit kommt der Holzbau seinem Ziel, dieselben statischen Systemansätze und Knotenpunktausbildungen anzuwenden wie der Stahlbau, ein bedeutendes Stück näher. Die Chance für den Holzbau, bei Hallenbauwerken Marktanteile aus dem Bereich des Stahlbaus hinzuzugewinnen, scheint somit möglich.

Quellen

[1] Bathon, L.; Bletz, O.; Schmidt, J. (2006), „Untersuchungsbericht zum Holz-Stahl-Klebeverbundsystem mit eingeklebten Lochblechen“, Fachhochschule Wiesbaden, Fachbereich Architektur und Bauingenieurwesen, Holzbaulabor

[2] Bathon, L.; Bletz, O. (2008): „Bergehalle bei St. Moritz“, HOLZBAU – die neue quadriga 6/2008, Seite 26 - 29

[3] Jakob, S. (2007): „Rahmenecke spezial“, bauen mit holz 11/2007, Seite 16 - 19

Linkliste

www.groeber.de
www.ticomtec.de

10.1 Verbindungsmittel
Ausziehwiderstand von in Brettschichtholz eingeklebten Gewindestangen aus Stahl

René Steiger

1 Überblick

Mit parallel oder rechtwinklig zur Faser in Brettschichtholz eingeklebten Gewindestangen können auf kleiner Fläche große Kräfte in Holzbauteile eingeleitet werden. Bei Verwendung von Stahlstangen mit metrischem Gewinde ergeben sich besonders einfache, praxisgerechte Anschlüsse an Beton- und Stahlteilen. Die Stangen werden entweder axial beansprucht (Ausziehen) oder senkrecht zur Schaftrichtung (Abscheren).

Seit mittlerweile mehr als 30 Jahren werden Verbindungen mit eingeklebten Stangen beforscht und in der Praxis des Ingenieurholzbaus, vorwiegend bei Brettschichtholz erfolgreich eingesetzt [1], [2]. Einsatzbereiche sind Stützenverankerungen in Fundamenten, biegesteife Verbindungen von Holzbauteilen (Trägerstöße, Rahmenecken) und Anschlüsse an Träger senkrecht oder schräg zur Faser, aber auch die Verstärkung von Trägern (Schub, Querzug) und die lokale Einleitung großer Kräfte senkrecht zur Faser (Querdruck).

Meistens werden Stahlstangen in Form von Armierungseisen oder Gewindestangen mit metrischem Gewinde verwendet. Es sind aber auch Anwendungen von faserverstärkten Kunststoffstäben bekannt, insbesondere wenn Korrosionsgefahr für den Stahl besteht oder wenn das Konstruktionseigengewicht gering gehalten werden soll.

Die Klebstoffindustrie hat speziell für das Einkleben von Gewindestangen in Holz optimierte Klebstoffe entwickelt (vorwiegend 1- und 2-Komponenten-Epoxydharze sowie PUR-Klebstoffe), welche auf einfache Weise appliziert werden können und eine hohe Leistung bezüglich Festigkeit, Steifigkeit und Dauerhaftigkeit aufweisen.

2 Tragverhalten

2.1 Einflussparameter

Der Tragwiderstand von parallel oder senkrecht zur Faser eingeklebten Stangen ist von den folgenden Parametern abhängig:

- Anschlussgeometrie
  - Flächenverhältnis Holz / Klebfuge / Stangenquerschnitt
  - Verhältnis von Verankerungslänge ℓ zu Bohrlochdurchmesser d_h , repräsentiert durch die Schlankheit $\lambda = \ell / d_h$
  - Rand- und Zwischenabstände der Stangen
  - Anzahl der Stangen
  - Kraft- zu Faserwinkel (inkl. unplanmäßige Imperfektionen!)
- Steifigkeit der eingesetzten Materialien
  - Verhältnis der Elastizitäts- und Schubmoduln von Stange, Holz und Klebstoff
  - Verhältnis von E-Modul zu Schubmodul der einzelnen Materialien (insb. bei Holz, da dieses sich ausgeprägt orthotrop verhält)
- Festigkeit der eingesetzten Materialien
  - Schub-, Querzug- und Querdruckfestigkeit des Holzes
  - adhäsive / kohäsive Klebstofffestigkeit
  - Festigkeit der Stangen (bei Stahl: Fließspannung und Zugfestigkeit)
- Bruchmechanische Eigenschaften von Holz und Klebstoff
- Art der Krafteinleitung
  - bezüglich der Stange axiale oder senkrecht zur Achse wirkende Kraft
  - Zug–Zug, Zug–Druck, Zug–Balken, Zug–Schubfeld (siehe Abb. 1)
  - Einwirkungsdauer (statisch, dynamisch)
  - Konstante Last oder Wechsellast
- Weitere Parameter
  - Holzart
  - Holzdichte
  - Art der Herstellung der Verbindung (Aushärtezeit des Klebstoffs, Oberflächeneigenschaften, etc.).

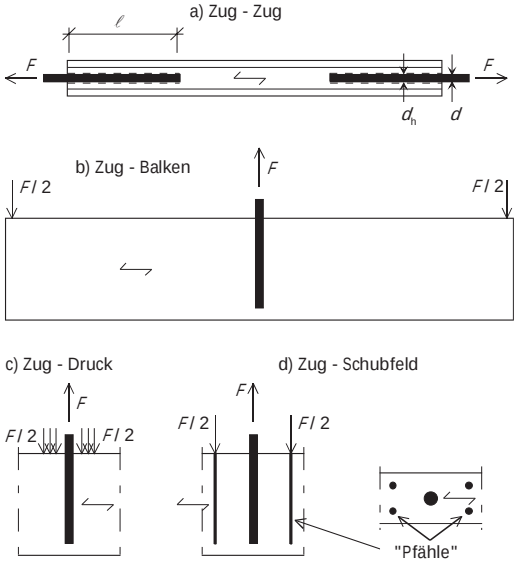


Abb. 1: Verschiedene Arten der Beanspruchung eingeklebter Gewindestangen (d_h = Bohrlochdurchmesser, d = Außendurchmesser der Stange)

Die Art der Krafteinleitung beeinflusst wesentlich den Tragwiderstand. In Versuchen können daher aussagekräftige Resultate nur erhalten werden, wenn die Versuchsanordnung der Situation in der Baupraxis entspricht. Beispielsweise unterscheiden sich Versuchsresultate aus Zug–Druck-Versuchen mit direkter Krafteinleitung in das Holz (Abb. 1c) auf Grund auftretenden Querdruckversagens deutlich von Resultaten aus Versuchen mit kontinuierlicher Einleitung der Reaktionskraft auf Schub im gesamten Holzquerschnitt nach dem Vorbild der Pfahlfundation im Grundbau (Abb. 1d). Auch sind Zug–Druck-Versuche gemäß Abb. 1c nicht geeignet, das Verhalten der Verbindung im Fall Zug–Balken vorherzusagen. Hier liefert die Versuchsanordnung gemäß Abb. 1d aussagekräftigere Resultate.

Zur korrekten statistischen Auswertung von Datensätzen aus Versuchen an symmetrischen Prüfkörpern (Abb. 1a) oder mit verschiedenen Brucharten, sind spezielle statistische Methoden erforderlich [3].

Sämtliche Einflussparameter sind streuungsbehaftet. Diese Variationen, aber auch sonstige mögliche Imperfektionen müssen durch die Bemessungsansätze in adäquater Form erfasst werden.

Obwohl zwischen dem Klebstoff und der Stange eine gewisse Haftung besteht, ist eine sichere Kraftübertragung nur mittels mechanischer Verzahnung zwischen Klebstoff und Stange möglich. Die eingesetzten Stangen müssen daher eine Profilierung aufweisen, wie z.B. Rippen (Armierungsstähle) oder aufgerollte bzw. eingeschnittene Gewinde.

2.2 Brucharten

Bei den möglichen Versagensarten von eingeklebten Stangen muss unterschieden werden zwischen einzelnen Stäben und Verbindungen bestehend aus Stabgruppen. Einzelstabanschlüsse können versagen durch:

- Bruch / Versagen der Stange infolge:
  - Überschreiten der Fließgrenze bzw. der Zugfestigkeit bei axialer Zugbelastung (Abb. 2)
  - Knicken außerhalb der Verankerung bei axialer Druckbeanspruchung
- Ausreißen der Stange aus der Verankerung wegen:
  - Klebstoffversagen (Kohäsionsbruch)
  - Klebfugenversagen im Übergang zum Holz (Adhäsionsbruch 1) (Abb. 3)
  - Klebfugenversagen im Übergang zur Stange (Adhäsionsbruch 2) (Abb. 4)
  - Holzbruch in der Nähe der Klebfuge (Abb. 5)
- Ausreißen der Stange inklusive einem Teil des umgebenden Holzes (Abb. 6)
- Aufspalten des Holzes wegen zu geringen Randabständen (Abb. 7) bei parallel zur Faser eingeklebten Stangen bzw. wegen Überschreitung der Querzugfestigkeit bei senkrecht zur Faser eingeklebten Stangen
- Zugbruch des Holzbauteils (Abb. 8).

Abb. 2: Zugbruch in der Stahlstange

Abb. 3: Adhäsionsbruch Klebstoff – Holz

Abb. 4: Adhäsionsbruch Klebstoff – Stahl

Abb. 5: Klebefugennaher Holzbruch

Abb. 6: Ausreißen der Stangen inklusive eines Teils des umgebenden Holzes

Abb. 7: Aufspalten des Holzes

Abb. 8: Zugbruch des Holzes

Bei aus mehreren Stangen bestehenden Verbindungen und Anschlüssen treten zusätzlich die folgenden Versagensarten auf:

- Aufspalten des Holzes wegen zu geringen Abständen zwischen den einzelnen Stangen
- Ausreißen von ganzen Gruppen von Stangen.

2.3 Einfluss der Schlankheit / Oberfläche

Bei der Auswertung von Versuchen an Gewindestangen mit Durchmesser M12, M16 und M20 welche nach dem GSA®-System [4] mit Epoxydharz-Klebstoff parallel und senkrecht zur Faser in Brettschichtholz eingeklebt wurden, ließ sich der Einfluss von Verankerungslänge *l* und Bohrlochdurchmesser d_h am einfachsten mit einem Schlankheitsparameter $\lambda = \ell / d_h$, beschreiben. Im geprüften Schlankheitsbereich von $7.5 \le \lambda \le 15$ kann der Einfluss der Schlankheit auf den Mittelwert der Schubfestigkeit für parallel zur Faser eingeklebte Stangen mit einem Ansatz $\lambda^{-1/3}$ erfasst werden (Abb. 9).

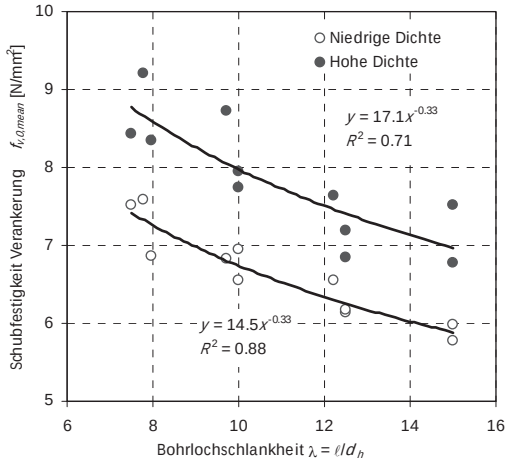


Abb. 9: Schubfestigkeit (Mittelwert) in der Verankerungszone von parallel zur Faser in BSH eingeklebten Gewindestangen (GSA®-System) in Funktion der Schlankheit des Bohrlochs.

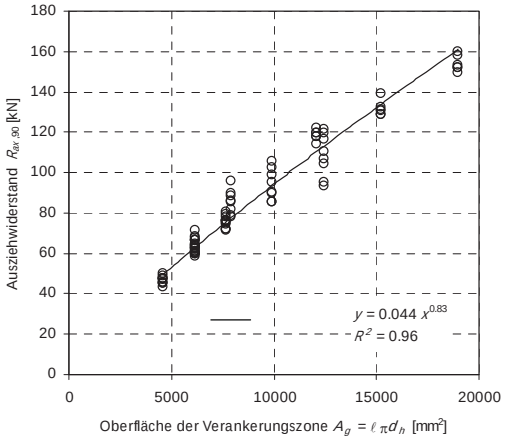


Abb. 10: Ausziehwiderstand (Mittelwert) von senkrecht zur Faser in BSH eingeklebten Gewindestangen (GSA®-System) in Funktion der Oberfläche der Verankerungszone.

Der Ausziehwiderstand von senkrecht zur Faser eingeklebten Stangen war etwa 20 bis 40% größer als derjenige von parallel zur Faser eingeklebten Stangen und ist abhängig von der Mantelfläche der Verankerungszone (Abb. 10).

2.3 Einfluss der Dichte

Der Einfluss der Dichte auf den Tragwiderstand bei Beanspruchung auf Ausziehen wird in der Literatur kontrovers diskutiert. Während im europäischen Forschungsprojekt GIROD [5] kein Einfluss der Dichte gefunden wurde, zeigen neue Schweizer Versuche [6], [7] an Gewindestangenanschlüssen nach dem GSA®-System [4], dass der Tragwiderstand von auf Ausziehen beanspruchten eingeklebten Stahlstangen mit metrischem Gewinde, sofern Holzbruch maßgebend ist, sehr wohl von der Dichte des Holzes abhängig ist. Die Autoren quantifizieren den Einfluss der Dichte bei parallel zur Faser in BSH eingeklebten Stangen mit einem Exponenten von 0,5 bis 0,6. Bei senkrecht zur Faser eingeklebten Stangen ist der Einfluss geringer. Er kann vernachlässigt oder mit einem Exponenten von 0.25 erfasst werden.

3 Bemessungsphilosophie

Zur Gewährleistung eines ausreichenden Tragwiderstandes von eingeklebten Gewindestangen (Einzelstangen oder Gruppen) müssen sämtliche der oben erwähnten Versagensformen untersucht bzw. nachgewiesen werden. In der Bauprazis werden Bauteile, Verbindungen und Anschlüsse bevorzugt, welche Überbeanspruchung durch möglichst große Deformationen vor dem Versagen „anzeigen", d.h. sich duktil verhalten. Da im Falle von eingeklebten Gewindestangen sowohl das Holz als auch der Klebstoff ein sprödes Bruchverhalten aufweisen, sollten Verbindungen und Anschlüsse mit eingeklebten Stangen vorzugsweise unter Verwendungen von Stahlstangen (Gewindestäbe oder Armierungsstähle) ausgeführt werden. Die Verbindung kann dann so bemessen werden, dass die Stahlstange das schwächste Glied der Kette darstellt und bei Erreichen der Traglast der Verbindung zu fließen beginnt, bevor sprödes Holz- oder Klebstoffversagen eintritt. Diese Bemessungsphilosophie hat noch nicht in alle Normen Eingang gefunden.

Da die mechanischen Eigenschaften von Stahl weniger streuen, als diejenigen von Klebstoff und Holz, kann bei einer Auslegung der Verbindung auf Stahlversagen die Traglast präziser vorausgesagt werden. Bei Zugverbindungen mit mehreren gleichzeitig wirkenden Stangen ist eine gleichmäßige Kraftverteilung in den einzelnen Stangen nur bei ausreichender Duktilität des Einzelstabanschlusses und bei optimierten Steifigkeitsverhältnissen Stange / Holz erreichbar [8].

4 Beispiele von Bemessungsansätzen

Sämtliche nachfolgend angegebenen Bemessungsansätze sind nur bei Einhaltung bestimmter Rand- und Zwischenabstände der Stangen gültig. Außerdem ist der Tragwiderstand von Stangengruppen in der Regel geringer als das *n*-Fache des Tragwiderstands einer Einzelstange [8].

4.1 Ansatz aus ENV 1995-2: 1997

In der Vornorm des Eurocode 5, Teil 2 Brücken ist folgender Ansatz zur Berechnung des Ausziehwiderstands einer einzelnen Stahlstange für den Fall von Schubbruch im Holz aufgeführt:

$R_{ax,k} = \pi \cdot d_{equ} \cdot \ell \cdot f_{v,k}$ mit

$d_{equ} = \text{Min}(d_h,\ 1.25 \cdot d)$

ℓ = Verankerungslänge der Stange

$f_{v,k} = 1.2 \cdot 10^{-3} \cdot d_{equ}^{-0.2} \cdot \rho_k^{1.5}$

$f_{v,k}$ und ρ_k sind die charakteristischen Werte der Schubfestigkeit und der Dichte.

4.2 GIROD-Ansatz

Im Rahmen des umfangreichen europäischen Forschungsprojektes GIROD wurde ein Bemessungsansatz basierend auf quasi-nichtlinearer Bruchmechanik entwickelt [5]:

$\bar{\tau} = \tau_f \dfrac{\tanh \omega}{\omega}$ mit

$\bar{\tau}$ = mittlere Schubspannung entlang der Stange

τ_f = lokale Schubspannung in der Klebefuge

ω = Parameter in Funktion von Anschlussgeometrie, die Steifigkeit von Holz / Klebstoff / Stange und die Bruchenergie der Klebfuge.

Anhand einer Vielzahl von Versuchen wurde daraus der folgende Bemessungsansatz zur Berechnung des Ausziehwiderstands entwickelt:

$R_{ax,k} = f_{ax,k} \cdot \pi \cdot d_{equ} \cdot \ell \cdot \dfrac{\tanh \omega}{\omega}$ mit

$\omega = 0.017 \cdot \ell \,/\, \sqrt{d_{equ}}$

ℓ = Verankerungslänge (Klebefuge)

$d_{equ} = \text{Min}(d_h,\ 1.25 \cdot d)$

$f_{ax,k}$ = 5.8 N/mm^2.

4.3 Ansatz von Riberholt

Riberholt schlägt einen Bemessungsansatz (auf Mittelwertsniveau) für den Ausziehwiderstand vor, welcher zwischen Stangen mit kurzen und

langen Verankerungen ℓ unterscheidet [9]:

$R_{ax} = f_{ws} \cdot \rho \cdot d \cdot \sqrt{\ell}$ für $\ell \geq 200$ mm

$R_{ax} = f_{wl} \cdot \rho \cdot d \cdot \ell$ für $\ell < 200$ mm

ρ ist dabei ein Holzdichtewert, welcher aus der Darrmasse und dem Volumen im Feuchtzustand zu ermitteln ist. Die Festigkeitsparameter f_{ws} und f_{wl} betragen 520 bzw. 650 N/mm$^{1.5}$ und 37 bzw. 46 N/mm^2 für spröde bzw. nicht-spröde versagende Klebstoffe.

Gemäß Riberholt waren die Resorcinharze und einige Epoxydharze der Gruppe der spröden Klebstoffe zuzuweisen, während 2-K-PUR-Klebstoffe als nicht-spröde galten. Heutzutage ist bekannt, dass die rheologischen Eigenschaften der verschiedenen Klebstoffe unabhängig vom Klebstofftyp in einem weiten Maß „eingestellt" werden können.

4.4 Ansatz aus DIN 1052:2004

Gemäß der aktuellen deutschen Norm DIN 1052:2004 kann der charakteristische Ausziehwiderstand im Falle von Versagen in der Klebfuge berechnet werden mit:

$$R_{ax,k} = \pi \cdot d \cdot \ell \cdot f_{k1,k}$$

Der charakteristische Wert der Klebfugenfestigkeit $f_{k1,k}$ beträgt in Abhängigkeit der Verankerungslänge:

$f_{k1,k} = 3.5 - 0.0015\ell$ für $500 < \ell \leq 1000$ mm

$f_{k1,k} = 5.25 - 0.005\ell$ für $250 < \ell \leq 500$ mm

$f_{k1,k} = 4.0$ für $\ell \leq 250$ mm

Das Modell basiert auf Versuchen von Blass [10] und lehnt sich eng an das Modell von Riberholt [9] an (siehe Abschnitt 3.3).

5 Qualitätssicherung

Die Vielzahl der Einflussparameter und die Streuung derselben lässt es mit Blick auf die Qualitätssicherung als ratsam erscheinen, dass zur Abklärung des Tragverhaltens Vorversuche durchgeführt werden. Dabei ist nachzuweisen, dass das Verhalten des Klebstoffs und seines Verbundes mit dem profilierten Stab und mit dem Holz während der geplanten Nutzungsdauer des Bauwerks innerhalb der angenommenen Temperatur- und Feuchtebereiche dauerhaft zuverlässig ist. Was die Umgebungsfeuchte betrifft, so beschränken die meisten aktuellen Bemessungsnormen auf den Einsatz von eingeklebten profilierten Stäben bei Bauteilen, welche den Nutzungsklassen 1 und 2 zugeordnet sind.

Zur Gewährleistung einer ausreichenden Qualität einer Verbindung oder eines Anschlusses mit eingeklebten Stangen wird empfohlen, den Systemgedanken in den Vordergrund zu stellen. Bei erfolgreichen Systemen werden anhand von umfangreichen Versuchsserien und theoretischen Überlegungen die Einflussparameter Holz (vorzugsweise Brettschichtholz), Klebstoff, Stange(n) (vorzugsweise profilierte Stahlstangen), Anschlussgeometrie (Schlankheit, Rand- und Zwischenabstände) und Applikationstechnik (Zentrierung der Stangen im Bohrloch, Klebstoffeinpressen) derart optimiert, dass mit diesen Systemen Verbindungen und Anschlüsse hoher Leistung hergestellt werden können.

Quellen

[1] Aicher S., Reinhardt H.-W. (Herausgeber) 2001: Joints in Timber Structures. Proceedings PRO 22. RILEM Publications S.A.R.L.

[2] Proceedings of the Working Commission W18 "Timber Structures" of the International Council for Research and Innovation in Building and Construction CIB.

[3] Steiger R., Köhler J. 2005: Paper CIB-W18/38-17-1: Analysis of censored data - Examples in timber engineering research. In: Proceedings of CIB-W18 Meeting 38, Karlsruhe, Germany.

[4] www.neueholzbau.ch

[5] Gustafsson P.-J., Serrano E., Aicher S., Johansson C.-J. 2001: A strength design equation for glued-in rods. In: Proceedings PRO 22 of the International RILEM Symposium on Joints in Timber Structures, Stuttgart, Germany.

[6] Steiger R., Gehri E., Widmann R. 2006: Pull-out strength of axially loaded steel rods bonded in glulam parallel to the grain. Materials and Structures 40:1. 69 – 78.

[7] Widmann R., Steiger R., Gehri E. 2006: Pull-out strength of axially loaded steel rods bonded in glulam perpendicular to the grain. Materials and Structures 40:8. 827 – 839.

[8] Gehri E. 2001: Ductile behaviour and group effect of glued-in steel rods. In: Proceedings PRO 22 of the International RILEM Symposium on Joints in Timber Structures, Stuttgart, Germany.

[9] Riberholt H. 1988: Paper CIB-W18/21-7-2: Glued bolts in glulam - Proposal for CIB code. In: Proceedings of CIB-W18 Meeting 21, Parksville, Vancouver Island, Canada.

[10] Blass H. J., Eberhart O., Ehlbeck J., Gerold M. 1996: Wirkungsweise von eingeleimten Gewindestangen bei der Aufnahme von Querzugkräften in gekrümmten Biegeträgern und Entwicklung von Bemessungsgrundlagen, Teil 3. Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine. Universität Karlsruhe.

10.1 Verbindungsmittel
GSA-Technologie

Thomas Strahm

1 Einleitung

GSA steht für **G**ewinde-**S**tangen-**A**nker. Es handelt sich dabei um ein Verbindungssystem im Ingenieurholzbau mit eingeklebten Stahlstäben. Das System zeichnet sich durch eine hohe Tragfestigkeit und Steifigkeit sowie durch sein duktiles Verhalten aus.

Die Entwicklung begann 1983 im Zusammenhang mit der Dörflibrücke Eggiswil, einer zweispurigen Straßenbrücke, an der ETH Zürich (zuerst an der Professur für Baustatik, Stahl- und Holzbau, später an der Professur für Holztechnologie). Die Untersuchungen weiteten sich aus und führten zu verschiedenen wissenschaftlichen Abhandlungen. Zudem erfolgten zusätzliche praktische Einsätze, vor allem bei Straßenbrücken und als Verstärkungsmaßnahmen in Hallenbauten. Ausgangspunkt war dabei ein speziell für diese Anwendung entwickeltes Epoxydharz (GSA-Harz) der Firma Astorit AG Einsiedeln. Seit 2000 wird die GSA-Technologie durch die neue Holzbau AG Lungern in Zusammenarbeit mit Professor Ernst Gehri stetig weiterentwickelt. Durch umfangreiche Prüfungen wird das System weiter optimiert. Entstanden sind neben Bemessungsgrundlagen auch Normstahlteile. Diese ermöglichen, Holzteile sowohl gelenkig als auch biegesteif mit sehr hohem Wirkungsgrad zu verbinden.

Abb. 1: GSA-Komponenten: Gewindestangen; GSA-Harz und Brettschichtholz

2 Entwerfen, Vorbemessen

Tragfähigkeit:

Der GS-Anker zeichnet sich durch hohes Tragvermögen aus. Zur Bemessung wird in der SIA 265 für reduzierte F_d - Werten im Stossbereich ausgegangen. Generell gilt: $\eta^* F_d$ wobei η = 0.8. η = Ausnutzungs- oder Wirkungsgrad eines Anschlusses. Theoretischer Grenzwert liegt bei 1,0. Obwohl jede Verbindung eine Schwächung darstellt, sind mit der GSA Technologie-Werte um 1 praktisch erreichbar, sofern das Holz im Stossbereich örtlich höhere Tragfähigkeitseigenschaften aufweist.

Steifigkeit:

Durch angepasste Abstimmung der Steifigkeiten von Holzstab und GS-Anker kann die Einbuße an der Steifigkeit im Verbindungsbereich minimiert werden. Auf die Steifigkeit des Stabsystems bezogen, sind diese lokalen, höheren Verformungen meist vernachlässigbar. Bei globalen Messungen wird der Einfluss der GSA-Verbindungen durch die Streuung des E-Moduls des Holzes überdeckt.

Duktilität:

Bei Zugverbindungen mit gleichzeitig wirkenden GS-Ankern ist eine gleichmässige Kraftverteilung nur bei ausreichender Duktilität des Einzelstabanschlusses erreichbar. Dies wird erreicht, wenn das mit grösseren Verformungen eintretende Zugversagen des Stahl-Ankers mit Sicherheit vor den anderen Versagensmöglichkeiten erfolgt.

Mit diesen drei einfachen konstruktiven Spielregeln ist es dem Ingenieur möglich, Holztragwerke zu konstruieren und die Querschnitte zu dimensionieren. Die Auslegung der GSA-Anschlüsse erfolgt in der Regel über die Ingenieure der neuen Holzbau AG Lungern.

3 Qualitätssicherung

Durch die hohe Leistung der GSA-Technologie sind auch die Anforderungen an die Qualitätssicherung gestiegen. Während der Anker (Stahl) sowie das GSA-Harz sich als unproblematisch erwiesen haben, waren insbesondere zusätzliche Maßnahmen im Holz nötig. So werden heute in Lungern sowohl die Brettlamellen als auch die Keilzinkenstösse auf extra für diese Anwendung hergestellten Zugprüfanlagen getestet. Nur durch eine apparativ unterstützte Sortierung und der zugehörigen Qualitätssicherung ist es uns möglich, zuverlässig Brettschichtholz zu produzieren, welches den hohen Leistungsanforderungen entspricht, die durch die GSA Technologie notwendig und möglich werden.

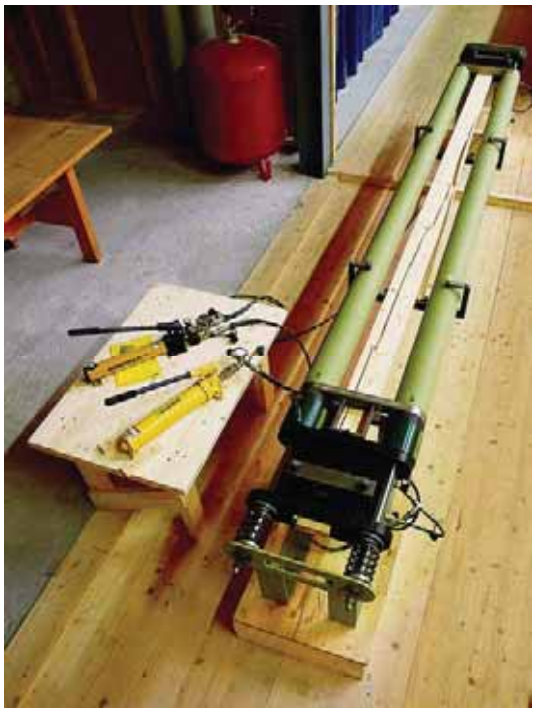


Abb. 2: Lamellenzugprüfanlage

4 Normstahlteile

Für eine ordnungsgemäße Aushärtung des GSA-Harzes ist ein geregeltes Raumklima mit Temperaturen über 18 °C erforderlich. Dies bedingt, dass die Holztragwerke mit GS-Anker in einer geheizten Halle zusammengebaut und verklebt werden. Da nicht alle Bauteile nach dem Zusammenbau transportfähige Abmessungen haben, entstand schnell der Wunsch nach leistungsfähigen und montagefreundlichen Montagestößen. Entstanden sind neben einem gelenkigen und einem biegesteifen Montagestoß auch Anschlüsse für Verbände sowie Verbindungen zwischen Stützen und Trägern.

Abb. 3: GSA-Leisten-Montage-Verbinder LMV (europäisches Patent angemeldet)

Der GSA-**L**eisten-**M**ontage-**V**erbinder besteht aus Stahlleisten die über eine Nut-Kamm-Verbindung bauseitig zusammengesteckt wird. An den Leisten sind GS-Anker für die Aufnahme von Zug-, Druck- und Querkraftkomponenten angeordnet. Der GSA-LMV kann als biegesteifer Montageverbinder sowohl bei geraden als auch bei Stössen unter einem Winkel (Rahmenecken) angewendet werden. Je nach Beanspruchung und Trägerbreite werden mehrere Leisten eingebaut.

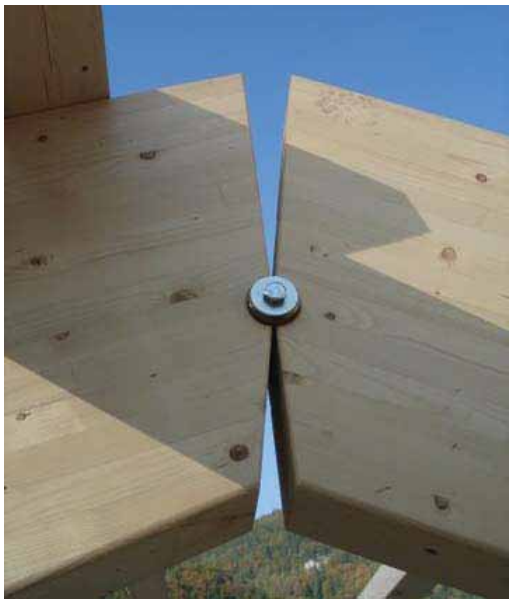


Abb. 4: GSA-Gelenk (europäisches Patent angemeldet)

Das GSA-Gelenk besteht aus zwei Halbschalen, die über einen Konusring und einer Bauschraube zusammengezogen werden. Die umzuleitenden Normal- und Querkräfte werden durch die GS-Anker in die Halbschalen ein- und weitergeleitet.

5 Ausblick

Die GSA-Technologie eröffnet dem Ingenieurholzbau erweiterte Möglichkeiten. Anschlüsse mit grossem Wirkungsgrad können einfach und effizient ausgeführt werden. Bei der Bemessung wird der Holzquerschnitt nicht mehr durch den Anschluss, sondern durch die effektive Beanspruchung bestimmt. Die Leistungsfähigkeit des Holzes kann voll ausgeschöpft werden, auch große Lasten können mit wenig Stahleinsatz ein- und umgeleitet werden.

Abb. 5: Firstring Aquabasilea Pratteln. Ring QS 1120 / 1760 mm, Innendurchmesser 8.60 m 3-teilig auf die Baustelle geliefert und durch GSA-Technologie biegesteif verbunden. Ringstabilisierung durch Binder (biegesteife Verbindung GSA-LMV) Lasteinleitung Ring - Stütze bis F_d = 3710 kN Anschluss mit GS-Anker.

10.1 Verbindungsmittel
Holzrahmenbauten sicher auf Zug verankern

Gustav Bohrenkämper

Die fachgerechte Verankerung eines Holzrahmenbaus erfordert vom Zimmerer statische Kenntnisse über Kräfte in Wandscheiben, Randabstände von Verbindungsmitteln sowie Kenntnisse über einschnittige Holzverbindungen. Außerdem sollte er wissen, welche zusätzlichen Kräfte aus einem außermittigen Anschluss entstehen können. Bei der Montage einer schon geschlossenen Wand und bei fehlender Richtschwelle, wie im Fertigbau üblich, muss er deshalb auf eine sorgfältige Zug- und Schubverankerung achten.

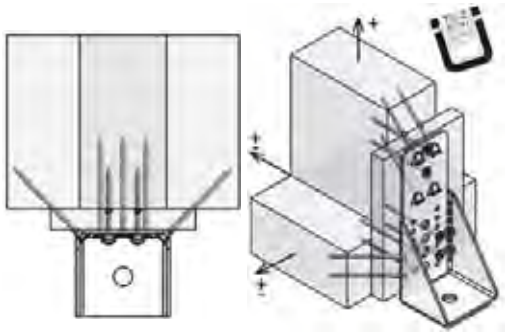


Abb. 1: Der Tri-Z-Anker aus verschiedenen Perspektiven [www.holzverbindung.de]

Lastfall 1: Belastung in Wandebene
Bei einer horizontalen Windbelastung auf den Giebel mit Weiterleitung über die Deckenscheibe in die Traufwandrähme entstehen an den Rändern schmaler Trauf- oder Innenwandscheiben oft große vertikale Druck- und Zugkräfte. Besonders Zugkräfte, die in Kombination mit Schub in Wandlängsrichtung auftreten, müssen sicher verankert werden. Diese Lasten treten wechselseitig auf. Das bedeutet, dass an den beiden Rändern der Wandscheibe eine Zug- und Schubverankerung statisch nachgewiesen werden muss.

Die Schubkräfte über Reibung abzuleiten, ist auf Grund der vorhandenen Montagekeile unter der Schwelle jedoch nicht möglich. Eine Untermörtelung mit Quellmörtel kann das Schubproblem auch nicht lösen.

Lastfall 2: Belastung quer zur Wandebene
Die Windlasten aus Druck und Sog quer zur Wandebene (Wind auf Traufe) müssen ebenfalls über Verankerungen abgeleitet werden.

Für die genaue Ermittlung der Zugverankerungskräfte, die auch das Eigengewicht der Konstruktion berücksichtigen, stehen am Markt verschiedene Statikprogramme zur Verfügung z.B. „Diamo-Wind“.

Die Wahl einer geeigneten Zugverankerung sollte der Zimmerer immer zusammen mit dem verantwortlichen Statiker treffen, und das nicht nur aus Haftungsgründen.

Vor der Lösung, die Zug- und Schubkräfte einfach im Schwellenbereich mit einem Rippenwinkel und langen Nägeln abtragen zu wollen, kann nur gewarnt werden. Dieser Fall ist statisch nicht nachweisbar und daher bedenklich.

Folgende Problematik liegt zu Grunde: Wenn Zimmerer eine Zuglasche im OSB-Plattenstoß auflegen und mit Nägeln durch die Platte hindurch an dem dahinter liegenden Holzstiel befestigen, müssen zum einen die erforderliche Randabstände zum OSB-Plattenstoß eingehalten werden. Zum anderen muss die kraftschlüssige Verklammerung der OSB-Platte mit dem Stiel im Zuglaschenbereich nachgewiesen werden.

Statisch gesehen übernimmt der Stiel die Funktion des Randträgers eines Schubfeldes. Die vorhandene Zug- oder, je nach Lastangriff, auch Druckkraft befindet sich daher immer im Stiel und muss über die OSB-Zwischenlage in die Zuglasche eingeleitet werden.

Ein- und Zweischnittigkeit

Dieser Anschluss ist aus statischer Sicht nicht zweischnittig, sondern zweimal einschnittig. Erst bei einer Verleimung der Platte mit dem Stiel würde dieser Anschluss eindeutig einschnittig ausfallen.

Viele Hersteller empfehlen eine kraftschlüssige Abnagelung der OSB-Platte mit dem Stiel oberhalb der Zuglasche, um die Zugkraft vorher in die OSB-Platte einzuleiten. Das würde aber bedeuten, dass die OSB-Platte genau über dem Ende der Zuglasche für die volle nach oben gerichtete Zugkraft nachgewiesen werden müsste.

Problematisch wird es dann, wenn die Zwischenlage nicht aus OSB-Platten, sondern aus Gipsfaserplatten (z.B. Fermacell) besteht. Die bisher bekannten Zugverankerungen stoßen bei der Einleitung von zusätzlichen Schubkräften aus Lastfall 1, die immer in Kombination mit der Zugkraft auftreten, an ihre statischen Grenzen. Das heißt, sie reißen oder platzen aus.

Kraftzerlegung löst Probleme

Eine Lösung für dieses Problem verspricht eine neu entwickelte Zugverbindung (ÜH-Zeichen nach DIN 1052). Der sog. „Tri-Z-Anker“ leitet über eine Schrägverschraubung die Kräfte aus Zug und Schub in das Verankerungssystem ein, ohne dass dabei die Zwischenlage (OSB oder Gipsfaserplatte) auf Abscheren beansprucht wird. Randabstände von Verbindungsmitteln im Plattenbereich sind nicht mehr maßgebend. Die Schrägverschraubung führt zu einer Kraftzerlegung, durch die die Schraube nur noch Zugkräfte und die Zwischenlage nur noch Druckkräfte übertragen muss.

Der Einbau gestaltet sich einfach: Das Verbindungsmittel wird im Fußbodenbereich einfach auf die Beplankung aufgelegt und mit Schrägschrauben am Stiel und an der Schwelle befestigt. Dabei ist die Verbindung in der Lage, Zug- und Schubkräfte aus Lastfall 1 und 2 sicher über die Schrägschrauben in den Zuganker und letztendlich über einen Dübel in die Bodenplatte einzuleiten. Die bekannten Anschlussaußermittigkeiten und Montagetoleranzen von bis zu 3 cm zur Bodenplatte werden dabei berücksichtigt. Den Verbinder gibt es in den Versionen Tri-Z und Tri-Z-Mini mit geringer Kraftübertragung.

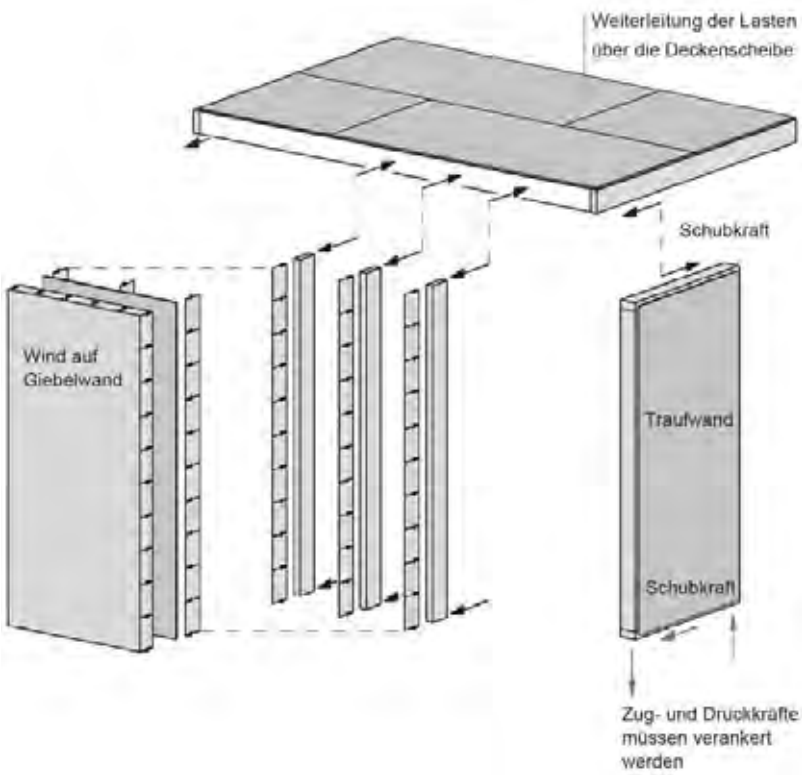


Abb. 2: Lastfall 1 als dreidimensionales Modell [Quelle: M.Kessel]

10.1 Verbindungsmittel
Moderne Verbindungsmittel

Arnold Wittig

1 Allgemeines

Zum modernen, wie auch zum traditionellen Holzbau gehören funktionale Verbindungen. Hierbei ist das Augenmerk auf eine vielseitige Funktionserfüllung gerichtet. Die Anforderungen an die Verbindungsmittel sind,

- einfache Handhabung,
- Gestaltungsmöglichkeiten
- Möglichkeit der hohen Vorfertigung,
- sichere und starke Verbindung,
- in unterschiedlichen Bereichen einsetzbar,
- vereinen verschiedener Funktionen
- systemgerecht,
- hohe Lastabtragung
- präzise und doch mit Toleranz

Genau für diese Anforderung wurde der Sherpa Verbinder entwickelt.

Abb. 1: Sherpa Träger [Vinzenz Harrer GmbH]

Der Sherpa basiert auf der beliebten und traditionellen Schwalbenschwanz-Geometrie. Auch komplizierte Schräg- und Diagonalverbindungen sind kein Problem.

Die optimierte Schwalbenschwanz-Verbindergeometrie erlaubt bei der Montage, eine mit Toleranzen mögliche Zusammenführung der Bauteile, die aber in der Endphase einen exakten Kraftschluss bietet.

Die im System abgestimmte Schraubenform passt sich den Bohrungen des Verbinders genau an, die Kraftübertragung wird dadurch optimiert.

Ein weiterer Vorteil der speziellen Geometrie ist die Kraftabtragung, der Sherpa kann Zug, Druck, Querkräfte und Torsion aufnehmen, selbst eine kombinierte Belastung ist möglich.

Abb. 2: aufnehmbare Kraftrichtungen [Vinzenz Harrer GmbH]

Es macht ihn dadurch zu einem umfangreichen „Allrounder“ für viele Einsatzbereiche.

Bereits in der Erprobungsphase ist die Sherpa-Schiene, sie besteht aus drei Teilen, mit einem speziellen Verriegelungsprofil. Der Einsatz liegt in der Verbindung von Gebäudeelementen in der Ecke oder Wandverbindungen. Das Profil ist so gewählt, dass es nicht nur die Elemente mit einander kraftschlüssig verbindet, sondern auch Luft- und rauchdicht abdichtet.

Die Vorteile,

- komplette Fertigstellung der Außenhülle,
- kein Abkleben notwendig,
- einfache und sichere Montage.

Abb. 3: Anwendungsmöglichkeiten für Sherpa Verbinder [Vinzenz Harrer GmbH]

Abb. 4: Sherpa Schiene [Vinzenz Harrer GmbH]

Abb. 4: Anwendung Sherpa Schiene
[Vinzenz Harrer GmbH]

Einen neuen Weg beschreitet der Sherpa Verbinder, der den Hallenbau mit Holz vereinfacht, systematisiert und in Bezug auf Überlastungen sicherer macht. Die Vision hierbei ist, die Verbinder melden mittels neuer Technik, wenn durch,

- starke Schneefälle
- orkanartige Windbelastungen
- geänderte Nutzungsarten
- gealterte Konstruktion

eine Überbelastung der Verbinder vorhanden ist. Ebenso kann bei regelmäßigen Begutachtungen die tatsächlichen Belastungen, die auf die Verbinder einwirkt, festgesellt werden. Für den Brückenbau ist ähnliches Vorstellbar.

Diese neue Art von „intelligenten Verbindungsmittel“ erschließt für den Holzbau neue Möglichkeiten, die permanente Sicherung und Überwachung von Konstruktionen aus Holz, garantiert den Fortschritt.

10.1 Verbindungsmittel
Der Jumbo - Wellennagel als tragendes Verbindungselement

Klaas Gümmer

1 Einleitung

Der Wellennagel ist ein flächiges Verbindungsmittel, welches aus einem 0,5 mm starken Stahlband gedruckt und profiliert wird. An der unteren Seite wird eine Spitze angeschliffen, um einen möglichst geringen Eintreibwiderstand zu erlangen. Die Profile sind so gestaltet, dass sie sich von der Schneide weg konisch verjüngen, wodurch sich beim Eintreiben des Wellennagels die zu verbindenden Bauteile zusammenziehen.

Abb. 1: Jumbo®-Wellennagel in der Ansicht

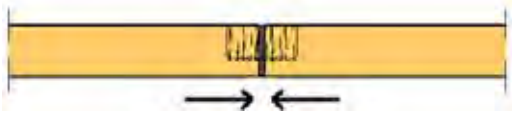


Abb. 2: Einbauprinzip

Abb. 3

Zur einfacheren Magazinierung werden die einzelnen Wellennägel in einem kontinuierlichen Vorgang gegeneinander verklebt und mit einem Richtungsstreifen markiert.

Der ursprüngliche Wellennagel wurde Ende des 19. Jahrhunderts in den USA entwickelt und patentiert. Das Haupteinsatzgebiet war damals bei der Herstellung von Transportkisten die Verbindung der einzelnen Holzteile, wobei die Wellennägel noch manuell eingetrieben wurden. Anfang der 1960er Jahre kamen dann die ersten pneumatischen Eintreibgeräte auf den US-Markt, womit ein genaueres und rationelleres Arbeiten gewährleistet werden konnte. Auf dem europäischen Markt wurden Wellennägel anfangs hauptsächlich in der Möbelindustrie eingesetzt und erst später im Holzbaubereich zur konstruktiven Fixierung des Riegelwerks verwendet.

Abb. 4: senkrechte Stossverbindung

Diese Methode der konstruktiven Verbindung stumpfer Holzbauteile erzielte gerade durch die Entwicklung des 35mm breiten haubold Jumbo® Wellennagel sehr viel höhere Drehfedersteifigkeiten als der übliche zöllige Wellennagel [7].

Abb. 5: Verbau mit dem Hand-Eintreibgerät

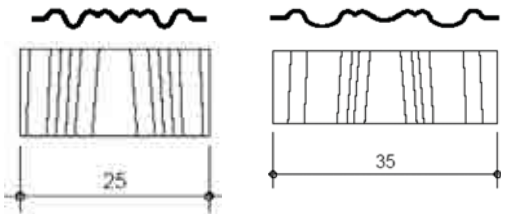


Abb. 6 und 7: Standard Wellennagel und Jumbo ®Wellennagel

2 Schubsteife Plattenstöße

Im Holztafelbau kann die Aussteifung eines Gebäudes durch räumlich angeordnete und miteinander verbundene Dach-, Decken- und Wandtafeln erfolgen, die dann scheibenartig beansprucht werden. Voraussetzung dafür ist die Herstellung eines schubsteifen Verbundes von Beplankung und Rippen, sowie den Tafeln untereinander, um die Beanspruchungen aus Imperfektionen, Wind und/ oder Erdbeben sicher in den Baugrund ableiten zu können.

Die Tafeln sind idealer Weise so zu konstruieren, dass die Platten der Beplankung über die volle Tafelhöhe ungestoßen durchlaufen und die Plattenränder allseitig schubsteif mit der Unterkonstruktion durch Nägel, Klammern oder Schrauben verbunden sind. Bei kontinuierlicher Lastein- und Lastausleitung über die Rippen in Richtung der Rippenachsen stellt sich dann ein umlaufender Schubfluss $s_{v,0}$ ein, durch den die Verbindungsmittel nur parallel zum Plattenrand beansprucht werden. Der rechnerische Nachweis kann dann nach DIN 1052 [3] unter Annahme des idealen statischen Schubfeldmodells ohne Abminderung der Tragfähigkeit durch den Beiwert k_{v1} geführt werden.

Bestehen Tafeln aus nicht über die volle Tafelhöhe ungestoßen durchlaufende Platten, so ist bei Dach- und Deckentafeln die Ausführung eines freien Plattenrandes nur quer zu den Innenrippen und unter Einhaltung bestimmter Randbedingungen zulässig (z.B. die Vergrößerung der Randabstände der Verbindungsmittel). Eine weitere Verschlankung der Deckenbalken / Sparren ist somit ausgeschlossen. Rechnerisch ist der Bemessungswert für die Beanspruchbarkeit dieser Ausführung gegenüber einer Konstruktion ohne freien Plattenrand auch um 1/3 geringer anzusetzen. Im Rahmen des vereinfachten Bemessungsverfahrens sind freie Plattenränder in Wandtafeln grundsätzlich nicht zulässig.

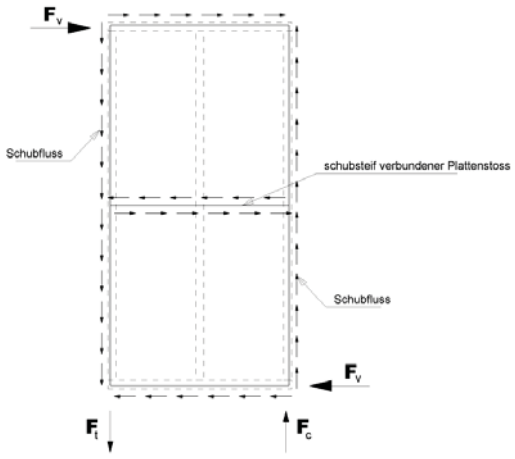


Abb. 8: Vereinfachte Darstellung eines Schubfeldmodells

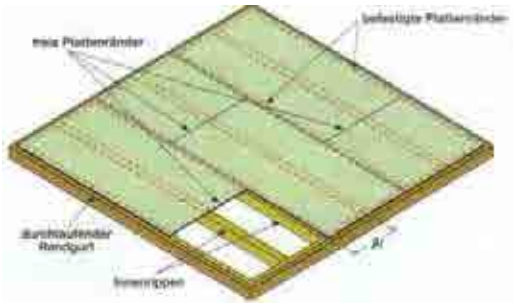


Abb. 9: Deckenmodell

Die Herstellung eines schubsteifen Plattenstoßes mit Hilfe von Stoßhölzern gilt in der Praxis als aufwändig. Denn bisher werden freie Plattenränder innerhalb einer Wand-, Dach- oder Deckentafel mit einem Beilageholz hinterlegt und mit Nägeln / Klammern / Schrauben schubsteif verbunden (= indirekte Verbindung der Plattenränder).

Dieses hat nicht nur zusätzliche Arbeitsgänge (= hoher Zeitaufwand) zur Folge, sondern auch einen höheren Materialaufwand. Weiterhin kann es dazu kommen, dass im Bereich der Stoßhölzer unter Umständen ein Anpassen der Dämmung im Gefach erforderlich wird, um Lufteinschlüsse und daraus entstehende Wärmebrücken zu vermeiden.

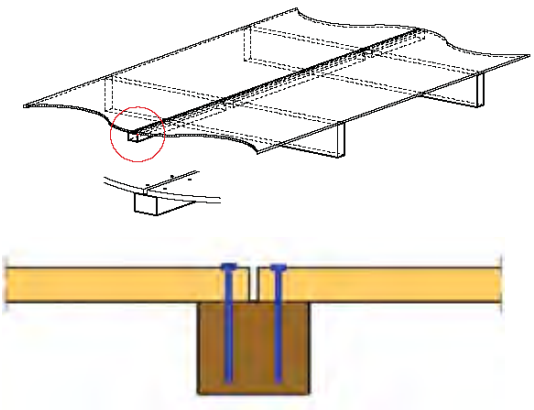


Abb. 10: Beispiel für einen hinterlegten Plattenstoß

Zur Vereinfachung der Ausführung eines schubsteifen Beplankungsstoßes entstand die Idee, anstelle dieser indirekten Verbindung der freien Plattenränder eine direkte Verbindung ohne Stoßholz durch die Verwendung von haubold Jumbo®Wellennägeln herzustellen. Mit dem Ziel einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung wurden die dafür nötigen Untersuchungen durch das Labor für Holztechnik LHT der Fachhochschule Hildesheim durchgeführt.

Abb. 11: Direkte Verbindung eines Schubsteifen Plattenstoßes

Abb. 12: Direkte Verbindung eines schubsteifen Plattenstoßes

3 Die Prüfungen

Zur Beurteilung der Trageigenschaften von Jumbo® Wellennägeln in OSB-Platten wurden Prüfungen mit drei unterschiedlichen Plattendicken und drei unterschiedlichen Wellennagellängen durchgeführt. Das eigentliche Tragverhalten der direkten schubsteifen Verbindung zweier Plattenränder wurde dann in Kleinversuchen bestimmt.

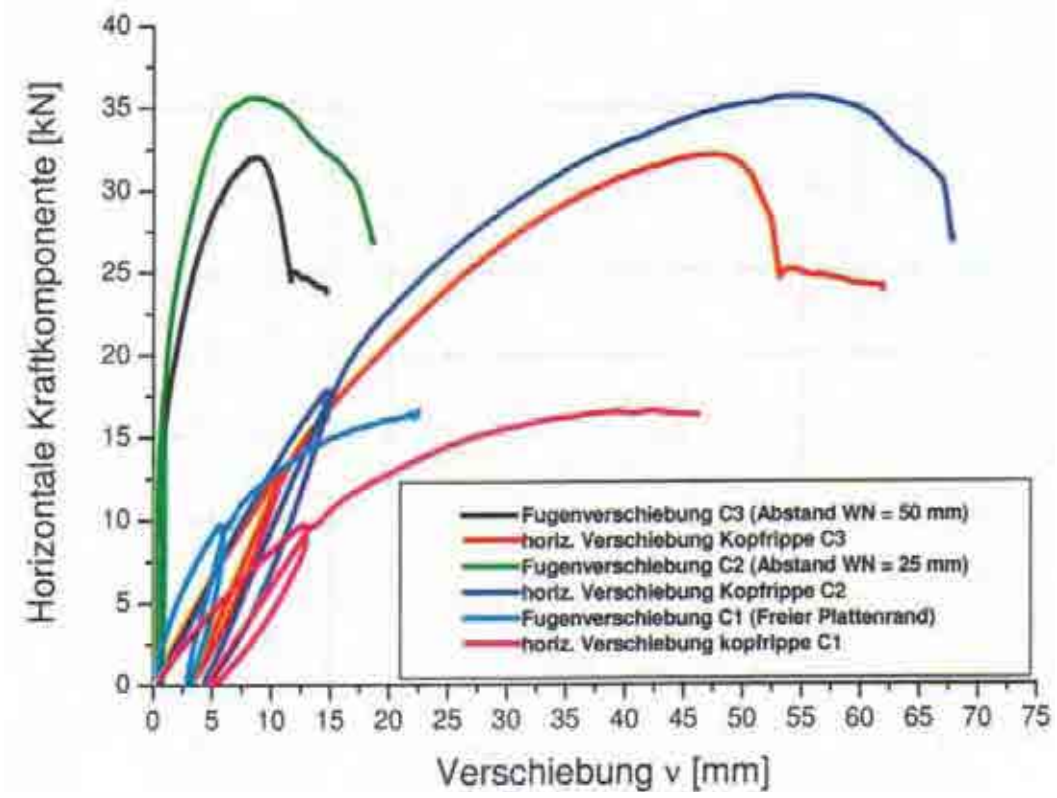


Abb. 13: Darstellung der Ergebnisse in einem Kraft–Weg-Diagramm

Abb. 14: Vorrichtung für die Kleinversuche

Abb. 15: Versuchsaufbau

Tab. 1: Darstellung der Ergebnisse

Plattendicke / Verbindungsmittel	m($F_{exp,5mm}$)	v($F_{exp,5mm}$)	R_k	zul. N_{ax}	γ
t ≥ 15 mm WN 9,5 mm	505 N	11,90%	365 N	169 N	2,99
t ≥ 18 mm WN 12,5 mm	915 N	9,20%	702 N	324 N	2,82
t ≥ 22 mm WN 15 mm	1137 N	6,20%	889 N	410 N	2,77

Tab. 2: Maximal zu erreichender Schubfluss [kN/m] in Abhängigkeit des Verbindungsmittelabstandes

Verbindungsmittel / Abstand untereinander	neue DIN 1052:2004 für KLED kurz + NKL 1 γ_M = 1,30 $s_{v,0,d}$	alte DIN 1052:1988 zul T
WN 9,5 mm / 50mm	4,98	3,40
WN 9,5 mm / 100mm	2,49	1,70
WN 9,5 mm / 150mm	1,66	1,13
WN 12,5 mm / 50mm	9,69	6,40
WN 12,5 mm / 100mm	4,85	3,20
WN 12,5 mm / 150mm	3,23	2,13
WN 15 mm / 50mm	12,32	8,20
WN 15 mm / 100mm	6,16	4,10
WN 15 mm / 150mm	4,11	2,73

4 Bemessung nach DIN 1052 gemäß Zulassung Z-9.1-608

Gemäß der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung sind Bemessungen für schubsteif verbundene OSB-Platten nach alter und neuer DIN 1052 möglich.

Unter Beachtung folgender Bestimmungen darf die Ausführung einer schubsteifen Verbindung von OSB-Platten mit Jumbo®-Wellennägeln erfolgen:

1. Da es sich um blanke Nägel handelt, darf die Anwendung nur in der Nutzungsklasse 1 erfolgen. Also z.B. in allseitig geschlossenen und beheizten Bauwerken.
2. Die Wellennägel dürfen nur zum schubsteifen Verbund von OSB-Platten mindestens der technischen Klasse OSB / 3 nach DIN EN 300 mit stumpfen Plattenrändern und bei planmäßiger Beanspruchung des Verbundes parallel zum Plattenrand verwendet werden.
3. Die unten genannten Mindestplattendicken sind einzuhalten. Die Wellennägel sind so einzutreiben, dass sie bündig mit der Holzwerkstoffoberfläche abschließen.
4. Der Abstand a_v der Wellennägel untereinander ist an allen Beplankungsstößen konstant auszuführen. Der Verbindungsmittelabstand untereinander muss mindestens 50 mm und darf höchstens 150 mm betragen.
5. Für das Eintreiben der Wellennägel dürfen nur die von haubold vorgeschriebenen Einschlaggeräte verwendet werden. Beim Eintreiben des Wellennagels muss der Eintreibkopf des Schussgerätes senkrecht zur Plattenoberfläche stehen. Des Weiteren ist der Wellennagel mittig und senkrecht zum Beplankungsstoß einzubringen.
6. Die Platten müssen am Beplankungsstoß dicht gestoßen sein. Der maximale Abstand der Plattenränder muss < 2 mm betragen. Vor Ausführung des schubsteifen Verbundes mit Wellennägeln ist der Verbund der Platten mit den Rippen durch stiftförmige Verbindungsmittel herzustellen.
7. Die Beplankung von Wandtafeln darf nur einmal horizontal gestoßen sein.

5 Darstellung des Arbeitsablaufes

Abb. 16 a und b: Auflegen der Platten auf den Rahmen

Abb. 17: Befestigen der Platten auf dem Rahmen

Abb. 18: Herstellen der WN-Verbindung mit dem WN 18 XI

6 Zusammenfassung und Ausblick

Die Verwendung von Wellennägeln zur Herstellung einer schubsteifen Verbindung ist eine hervorragende Alternative zu den nur aufwändig zu montierenden Stoßhölzern. Die einfache Handhabung des Eintreibgerätes ermöglicht besonders wirtschaftliches Arbeiten. Der Verzicht auf Stoßhölzer bringt neben ökonomischen und fertigungstechnischen Vorteilen ebenfalls Vorteile im Bereich der Bauphysik, wo hier nun keine Störstelle mehr im schubfesten Bereich liegt und damit ein gleichmäßiges Befüllen mit Dämmmaterial erfolgen kann.

Die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (abZ) Z-9.1-608 der ITW Befestigungssysteme GmbH steht unter www.haubold-paslode.de zum download bereit.
Aufgrund der starken Nachfrage auch andere Werkstoffe bemessen zu können, wurden weitergehende Versuche im LHT Hildesheim durchgeführt. Mittlerweile liegt ein Zulassungsentwurf vom DIBt für schubfeste Wellennagel-Verbindungen durch kunstharzgebundene Spanplatten mit $t \geq 15$ mm und Bretter aus Nadelvollholz der Sortierklasse S10 mit $t \geq 22$ mm vor.

Auf der LIGNA 2007 in Hannover wurde für dieses neuartige Einsatzgebiet des altbewährten Verbindungsmittels Jumbo®Wellennagel der Holzbaupreis für innovative Bauprodukte durch den Bund Deutscher Zimmermeister verliehen.

Abb. 20: Urkunde des Deutschen Holzbaupreises 2007

Quellen

[1] Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin: Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung für die Ausführung von schubsteifen Beplankungsstößen mit OSB-Platten (Z-9.1-608)

[2] DIN 1052:1988-04, Teile 1 - 3, Deutsches Institut für Normung e.V.

[3] DIN 1052:2004-08, Deutsches Institut für Normung e.V.

[4] Hempel M. (2003): Schubsteife Verbindung freier Plattenränder und von Brettern mittels Wellennägeln, Diplomarbeit, LHT Hildesheim

[5] Kessel M. H. , Polatschek T. M. (2005): Prüfbericht 01/P1803, Labor für Holztechnik LHT Hildesheim

[6] Kessel M. H. , Polatschek T. M. (2005): Gutachtliche Stellungnahme 02/2005, Zur Anwendbarkeit von Wellennägeln als Verbindungsmittel für die Ausführung von schubsteifen Beplankungsstößen, Labor für Holztechnik LHT

[7] Hildesheim Pfau, J. (1998): Gutachtliche Stellungnahme vom 08.04.1998 über den Vergleich verschiedener Verbindungsmittel für die konstruktive Verbindung von Holzquerschnitten im Holzrahmenbau, Versuchsanstalt für Holz- und Trockenbau (VHT), Darmstadt

10.1 Verbindungsmittel
Bemessungsvorschläge für Verbindungsmittel in Brettsperrholz

Hans Joachim Blaß, Thomas Uibel

1 Einleitung

Seit einigen Jahren wird der aus kreuzweise verklebten Brettern bestehende Holzwerkstoff Brettsperrholz (BSPH) unter verschiedenen Bezeichnungen vermarktet. Brettsperrholz wird nicht nur als Bestandteil eines Bauteils eingesetzt, wie dieses zum Beispiel vornehmlich für Mehrschichtplatten zutrifft, sondern auch als eigenständiges Bauteil. Ganze Gebäude können aus Brettsperrholz in Form von Decken- oder Wandelementen errichtet werden [8]. Des Weiteren findet Brettsperrholz auch bei Brückenkonstruktionen z. B. als Fahrbahnplatte Verwendung. In den letzten Jahren hat die Massivholzbauweise insbesondere im ein- und mehrgeschossigen Wohnungs- und Gewerbebau an Bedeutung gewonnen, so dass immer mehr Hersteller ihr Angebot um Brettsperrholzprodukte größerer Dicke erweitern. Dieses belegt auch die steigende Anzahl der durch das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt) in Berlin erteilten allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen für Brettsperrholzprodukte.

Das Trag- und Verformungsverhalten von Brettsperrholz wurde bereits weitgehend untersucht. Es kann mit unterschiedlichen Verfahren wie der Verbundtheorie, dem Schubanalogieverfahren oder der Theorie der nachgiebig verbundenen Biegeträger berechnet werden, siehe auch [3], [5].

Der effiziente Einsatz von Brettsperrholzprodukten in einem Bauwerk erfordert es, diese untereinander oder mit anderen Bauteilen zu verbinden. Zur Herstellung wirtschaftlicher Verbindungen bietet sich der Einsatz stiftförmiger Verbindungsmittel wie u.a. Stabdübel, Schrauben oder Nägel an. Die Verbindungsmittel können sowohl in den Seitenflächen als auch in den Schmalflächen von Brettsperrholzplatten angeordnet werden. Als Seitenfläche werden die zur Plattenebene parallelen Oberflächen bezeichnet. Diese werden durch die äußeren Brettlagen gebildet. Die Oberflächen rechtwinklig zur Plattenebene werden als Schmalflächen bezeichnet und begrenzen die Brettsperrholzplatten an den jeweiligen Kanten. Die Schmalflächen enthalten sowohl Seitenholzflächen als auch Hirnholzflächen der einzelnen Brettlagen. In Abbildung 1 sind die Flächen entsprechend ihrer Definition gekennzeichnet. Die Bemessung und Ausführung von Verbindungen in Brettsperrholzprodukten ist bisher nicht allgemein gültig geregelt. Für die in Deutschland bauaufsichtlich zugelassenen Brettsperrholzprodukte werden zum Teil Regelungen zur Bemessung von Verbindungen in den allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen angegeben.

In den letzten Jahren wurde im Rahmen eines Forschungsvorhabens das Trag- und Verformungsverhalten von stiftförmigen Verbindungsmitteln in BSPH am Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen der Universität Karlsruhe (TH) untersucht [4], [9], [10]. Innerhalb des Forschungsvorhabens wurden umfangreiche experimentelle Untersuchungen durchgeführt. Hierauf aufbauend wurden neue Bemessungsvorschläge für Verbindungen in den Seiten- und Schmalflächen von Brettsperrholz entwickelt [11]. Diese Bemessungsvorschläge werden z.T. bereits in neueren allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen berücksichtigt. Inwiefern diese Vorschläge in allgemeingültige Bemessungsregeln innerhalb einer Bemessungsnorm einfließen, ist bisher noch nicht abzusehen.

Neben den nationalen bzw. europäisch-technischen Zulassungen des jeweiligen Brettsperrholzproduktes sind für die Bemessung und Ausführung von Verbindungen mit bauaufsichtlich zugelassenen Verbindungsmitteln ggf. die Regelungen der jeweiligen Zulassung zu beachten.

Abb. 1: Geöffnete Stabdübelverbindung in Seiten- und Schmalflächen von Brettsperrholz

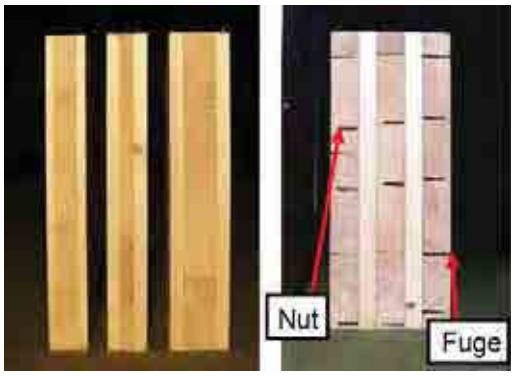


Abb. 2: Ausbildung von Brettstößen in unterschiedlichen Brettsperrholzprodukten

2 Eigenschaften von Brettsperrholz

Brettsperrholz besteht aus kreuzweise verklebten Brettlagen, wobei eine Brettlage aus mehreren, nebeneinander liegenden Brettern gebildet wird. Je nach Produkt können die Einzelbretter einer Brettlage an deren Schmalseiten mit oder ohne Fugen gestoßen bzw. sogar verklebt sein. Die Breite der Fugen wird in bauaufsichtlichen Zulassungen auf einen Maximalwert von 6 mm beschränkt. Eine Untersuchung der Fugen an Brettsperrholzplatten dreier Hersteller ergab einen 95%-Quantilwert der Fugenbreite von 1,0 bis 1,6 mm für die äußeren Brettlagen und von 1,8 bis 4,5 mm für die inneren Brettlagen. Der größte Mittelwert der Fugenbreite betrug 2 mm und wurde in den Mittellagen festgestellt. Einige Brettsperrholzprodukte verfügen über Entlastungsnuten, die mit einer Breite von rund 2,5 mm in Faserlängsrichtung der Bretter eingesägt werden. Abb. 2 zeigt die Ausbildung von Brettstößen und Nuten bei unterschiedlichen Brettsperrholzprodukten.

Bei Beanspruchung auf Abscheren kann die Tragfähigkeit von stiftförmigen Verbindungsmitteln nach der Theorie von Johansen ermittelt werden. Neben der Geometrie der Verbindung und dem Fließmoment des Verbindungsmittels wird hierzu als Eingangsgröße die Lochleibungsfestigkeit der Bauteile benötigt. Die Tragfähigkeit von Schrauben oder Nägeln, die auf Herausziehen beansprucht werden, lässt sich mit den Herausziehwiderständen berechnen.

Die Lochleibungsfestigkeit und der Herausziehwiderstand wurden für Brettsperrholz bisher nicht allgemein gültig untersucht. Beide Parameter sind nicht als reine Werkstoffeigenschaften, sondern als Systemeigenschaften zu betrachten. Sie korrelieren mit der Rohdichte des Holzes bzw. des Holzwerkstoffes. Daher ist die Kenntnis über die Rohdichte von Brettsperrholz für die Bemessung von Verbindungen erforderlich.

Zur Bestimmung der charakteristischen Rohdichte wurden 2299 Rohdichteproben von Brettsperrholzplatten unterschiedlicher Hersteller und Aufbauten untersucht. Auf Grundlage dieser Untersuchung kann für Brettsperrholzprodukte aus Fichte (picea abies) eine charakteristische Rohdichte von 400 kg / m³ vorgeschlagen werden. Die in den folgenden Abschnitten angegebenen Gleichungen zur Berechnung der Parameter Lochleibungsfestigkeit und Herausziehwiderstand beruhen auf dieser Anforderung an die charakteristische Rohdichte.

3 Beanspruchung in Richtung der Stiftachse

3.1 Allgemeines

Die Tragfähigkeit axial belasteter Schrauben und Nägel ist abhängig von ihrem Herausziehwiderstand, ihrer Zugtragfähigkeit und ggf. dem Kopfdurchziehwiderstand. Bei einigen Brettsperrholzprodukten wird der Herausziehwiderstand der Verbindungsmittel von ihrer Anordnung im Hinblick auf Fugen und Nuten beeinflusst. Auch bei einer ungünstigen Positionierung eines Verbindungsmittels innerhalb einer Fuge oder Nut ist eine zuverlässige Übertragung der Kräfte durch einen Anschluss zu gewährleisten. Daher sollten innerhalb eines Anschlusses mindestens zwei Verbindungsmittel pro Verbindungsmittelreihe angeordnet werden. Bei Verbindungen in den Seitenflächen sollten mindestens zwei Verbindungsmittelreihen vorgesehen werden und die Eindringtiefe der Verbindungsmittel so gewählt werden, dass die Verbindungsmittelspitze mindestens die dritte Brettlage durchdringt. In den Schmalflächen von Brettsperrholz können Verbindungsmittel faserparallel oder auch rechtwinklig zur Faserrichtung einer Brettlage eingebracht werden. In Abb. 3 sind die möglichen Positionen von Verbindungsmitteln in den Seiten- und Schmalflächen dargestellt. Hierbei wurde auch ihre Lage hinsichtlich von Fugen bzw. Nuten berücksichtigt.

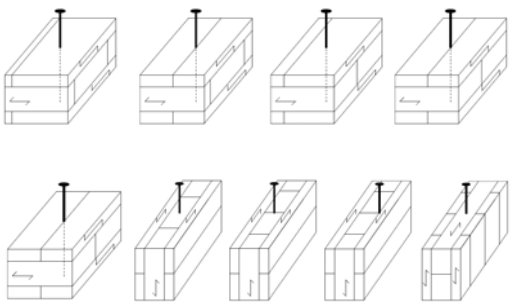


Abb. 3: Mögliche Positionen von Verbindungsmitteln (VM) in Seiten- und Schmalflächen von BSPH

3.2 Herausziehwiderstand von Sondernägeln

Der charakteristische Wert $R_{ax,n,k}$ des Herausziehwiderstandes von Sondernägeln (Kamm-, Rillen-, Schraubnägel) der Tragfähigkeitsklasse 3 gemäß DIN 1052:2004-08 [12] in den Seitenflächen von Brettsperrholz kann mit Gleichung (1) berechnet werden.

$$R_{ax,n,k} = 14 \cdot d^{0,6} \cdot l_{ef} \quad \text{in N} \qquad (1)$$

mit: d Nenndurchmesser des Sondernagels [mm]
l_{ef} wirksame Einschlagtiefe [mm]

Für Verbindungen in Brettsperrholzprodukten mit Fugen und Nuten sollten Nägel mit einem Mindestdurchmesser von d = 4 mm verwendet werden. Bei diesen Produkten sollte für Nägel mit einem Durchmesser von d < 6 mm der Herausziehwiderstand nur zu 80% des Wertes nach Gleichung (1) angesetzt werden. Die wirksame Einschlagtiefe l_{ef} ist größer als $8 \cdot d$ zu wählen. In den Schmalflächen von BSPH sollten keine Nagelverbindungen ausgeführt werden.

3.3 Herausziehwiderstand von selbstbohrenden Holzschrauben

Der charakteristische Wert $R_{ax,s,k}$ des Herausziehwiderstandes von selbstbohrenden Holzschrauben kann nach Gleichung (2) bzw. (3) berechnet werden. Die Gleichungen gelten für selbstbohrende Holzschrauben mit Voll- oder Teilgewinde, die den im Forschungsvorhaben untersuchten Schrauben insbesondere bezüglich ihrer Geometrie entsprechen. Diese erfüllten bei einer Herausziehbeanspruchung aus Vollholz mindestens die Anforderungen an die Tragfähigkeitsklasse 3 nach DIN 1052:2004-08 [12].

Gleichung (2) erlaubt die allgemeine Ermittlung des Herausziehwiderstandes ohne Kenntnis der genauen Schraubenposition in der Schmalfläche. Vereinfachend wird angenommen, dass die Schraubenachse parallel zur Faserrichtung ange-

ordnet ist (ε = 0°). Gleichzeitig wird die charakteristische Rohdichte der Brettlage (ρ_k = 350 kg / m³) entsprechend dem Ausgangsmaterial berücksichtigt. Für andere Schraubenpositionen in der Schmalfläche ergeben sich somit konservative Werte für den Herausziehwiderstand. Bei Verbindungen in den Seitenflächen von BSPH (ε = 90°) wird implizit die charakteristische Rohdichte des Gesamtquerschnitts (ρ_k = 400 kg / m³) berücksichtigt.

$$R_{ax,s,k} = \frac{31 \cdot d^{0,8} \cdot l_{ef}^{0,9}}{1,5 \cdot \cos^2\varepsilon + \sin^2\varepsilon} \quad \text{in N} \qquad (2)$$

mit: d Nenndurchmesser der Schraube in mm
l_{ef} wirksame Einschraubtiefe in mm
ε für Verbindungen in den Seitenflächen: ε = 90°
für Verbindungen in den Schmalflächen: ε = 0°

Werden Schrauben in den Schmalflächen ausschließlich so in die Brettlagen eingebracht, dass die Schraubenachse rechtwinklig zur Faserrichtung angeordnet ist, darf der höhere Herausziehwiderstand nach Gleichung (3) berechnet werden. Es ist sicherzustellen, dass die Schrauben jeweils in der Mitte der Brettlage angeordnet werden.

$$R_{ax,s,k} = 28 \cdot d^{0,8} \cdot l_{ef}^{0,9} \quad \text{in N} \qquad (3)$$

mit: d Nenndurchmesser der Schraube in mm
l_{ef} wirksame Einschraubtiefe in mm

Über das Langzeitverhalten von faserparallel eingedrehten Schrauben liegen bisher nur wenige Erkenntnisse vor. Ergebnisse von Versuchen mit Prüfkörpern aus Vollholz lassen vermuten, dass bei einer dauerhaften Beanspruchung mit deutlich geringeren Tragfähigkeiten zu rechnen ist. Langzeitversuche mit faserparallel in den Schmalflächen von BSPH angeordneten Holzschrauben werden zurzeit an der Universität Karlsruhe durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen werden in ca. zwei Jahren vorliegen. Zwischenzeitlich wird zur Übertragung von axialen Kräften in den Schmalflächen empfohlen, die Schrauben in die Brettlagen einzudrehen, deren Faserrichtung rechtwinklig zur Schraubenachse verläuft.

Bei Schraubenverbindungen dürfen Einschraubtiefen $l_{ef} < 4 \cdot d$ nicht in Rechnung gestellt werden. Der Mindestdurchmesser der Schrauben sollte für Verbindungen in den Seitenflächen d = 6 mm und für Verbindungen in den Schmalflächen d = 8 mm betragen.

4 Beanspruchung rechtwinklig zur Stiftachse

4.1 Allgemeines zur Berechnung der Tragfähigkeit

Die Tragfähigkeit stiftförmiger Verbindungsmittel bei Beanspruchung auf Abscheren wird im Holzbau üblicherweise nach der Theorie von Johansen berechnet. Hierbei wird ein ideal-plastisches Verhalten des Holzes bzw. des Holzwerkstoffes unter Lochleibungsbeanspruchung und des stiftförmigen Verbindungsmittels unter Biegebeanspruchung vorausgesetzt. Gleichungen zur Berechnung der charakteristischen Tragfähigkeit von Verbindungen mit stiftförmigen Verbindungsmitteln sind z.B. im Anhang G der DIN 1052: 2004-08 [12] angegeben. Für Verbindungsmittel, die zudem Kräfte in Richtung der Stiftachse übertragen können (Passbolzen, Bolzen, Schrauben sowie Sondernägel in Stahlblech-Holz- und Holzwerkstoff-Holz-Verbindungen), darf die Tragfähigkeit unter Ausnutzung des Einhängeeffektes erhöht werden. Auch die Tragfähigkeit von Verbindungsmitteln in BSPH kann mit der Johansen-Theorie und unter Ausnutzung des Einhängeeffektes ermittelt werden. Die benötigten Lochleibungsfestigkeiten sowie die Besonderheiten bei

der Berechnung der Tragfähigkeit werden folgend für Verbindungen in den Schmal- und Seitenflächen von Brettsperrholz vorgestellt.

4.2 Verbindungen in den Schmalflächen

Bei Verbindungen in den Schmalflächen kann die Stiftachse der Verbindungsmittel sowohl rechtwinklig als auch parallel zur Faserrichtung einer Brettlage angeordnet sein. Des Weiteren kann sich ein Verbindungsmittel gleichzeitig in Brettlagen unterschiedlicher Faserrichtung befinden. Um mit den üblichen Johansen-Gleichungen die Tragfähigkeit berechnen zu können, wird die Lochleibungsfestigkeit für die Verbindungsmittel in den Schmalflächen benötigt. Umfangreiche experimentelle Untersuchungen [4] haben gezeigt, dass die maßgebende Lochleibungsfestigkeit bei parallel zur Faserrichtung eingebrachten Verbindungsmitteln erreicht wird. Bei den empirischen Untersuchungen wurden auch die möglichen Positionen von Verbindungsmitteln bezüglich von Fugen und Nuten berücksichtigt. Unabhängig von der Anordnung des Verbindungsmittels in der Schmalfläche kann daher ein konservativer, charakteristischer Wert der Lochleibungsfestigkeit für nicht vorgebohrte Brettsperrhölzer bei Schrauben- und Nagelverbindungen gemäß Gleichung (4) berechnet werden.

$$f_{h,k} = 20 \cdot d^{0,5} \qquad \text{in N / mm}^2 \qquad (4)$$

mit: d Nenndurchmesser der Schrauben bzw. Nägel in mm

Die Lochleibungsfestigkeit in den Schmalflächen von Brettsperrholz bei Verbindungen mit Stabdübeln, Passbolzen und Bolzen kann mit Gleichung (5) ermittelt werden.

$$f_{h,k} = 9 \cdot (1\text{-}0{,}017 \cdot d) \qquad \text{in N / mm}^2 \qquad (5)$$

mit: d Nenndurchmesser der Stabdübel, Passbolzen oder Bolzen in mm

Bei Anordnung mehrerer Verbindungsmittel in einer Reihe kann ein Anschluss bei geringen Abständen der Verbindungsmittel untereinander durch Aufspalten versagen. Bei Verbindungen in den Schmalflächen von Brettsperrholz trifft dieses insbesondere auf Verbindungsmittel zu, die rechtwinklig zur Faserrichtung einer Brettlage angeordnet sind. Dieser spröde Versagensmechanismus kann durch Reduzierung der tatsächlichen Verbindungsmittelanzahl auf eine wirksame Anzahl n_{ef} berücksichtigt werden. Es wird empfohlen, n_{ef} wie für Vollholz zu berechnen, siehe Abschnitt 12.3, Absatz (9) der DIN 1052:2004-08 [12].

4.3 Verbindungen in den Seitenflächen

4.3.1 Schrauben- und Nagelverbindungen

Die Lochleibungsfestigkeit für Schrauben und Nägel, die ohne Vorbohren eingebracht werden, ist unabhängig vom Winkel zwischen Kraft- und Faserrichtung. Es wird daher auch für BSPH angenommen, dass eine entlang der Stiftachse gleichmäßig verteilte Lochleibungsfestigkeit vorliegt. Zur Ermittlung der Verbindungsmitteltragfähigkeit können die üblichen Johansen-Gleichungen verwendet werden. Hierzu sind Vorschläge für die charakteristische Lochleibungsfestigkeit in den Gleichungen (6) und (7) angegeben. Die Lochleibungsfestigkeit für Schrauben und Nägel in den Seitenflächen von Brettsperrholz mit Brettlagendicken $t_i \leq 9$ mm kann mit Gleichung (6) ermittelt werden.

$$f_{h,k} = 60 \cdot d^{0,5} \qquad \text{in N/mm}^2 \qquad (6)$$

mit: d Nenndurchmesser des Verbindungsmittels in mm

Bei BSPH mit Brettlagendicken $t_i > 9$ mm ist die Lochleibungsfestigkeit wie für Vollholz zu ermitteln (z. B. nach Abschnitt 12 der DIN 1052:2004-08 [12]). Für die Rohdichte ist hierbei der charakteristische Wert des Ausgangsmaterials einzuset-

zen. Ggf. ist der Winkel zwischen Kraftrichtung und Faserrichtung der Decklagen zu berücksichtigen. Für selbstbohrende Holzschrauben mit Vollgewinde z. B. kann die Lochleibungsfestigkeit nach einem Vorschlag von Blaß und Bejtka [1], [2] berechnet werden:

$$f_{h,VgSr,k} = 0{,}019 \cdot \rho_{B,k}^{1,24} \cdot d^{-0,3} \quad \text{in N / mm²} \quad (7)$$

mit: d Außen- bzw. Nenndurchmesser der Schraube in mm
$\rho_{B,k}$ charakteristische Rohdichte des Ausgangsmaterials in kg / m³ (i. d. R. 350 kg / m³)

4.3.2 Verbindungen mit Stabdübeln, Passbolzen und Bolzen

Bei Verbindungsmitteln wie Stabdübel oder Bolzen ist die Lochleibungsfestigkeit abhängig vom Winkel zwischen Kraft- und Faserrichtung. Aufgrund der kreuzweise verklebten Brettlagen liegen für diese Verbindungsmittel entlang der Stiftachse abschnittsweise unterschiedliche Lochleibungsfestigkeiten vor. Es sind genauere Betrachtungen notwendig, bei denen die Versagensmechanismen nach Johansen zu erweitern sind. Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden entsprechende Versagensfälle für Stahlblech-BSPH-Verbindungen und BSPH-BSPH-Verbindungen hergeleitet. Die jeweiligen Versagensfälle führen zu relativ komplexen Formulierungen, mit denen die Tragfähigkeit zu ermitteln ist. Des Weiteren nimmt die Anzahl der zu betrachtenden Versagensfälle mit zunehmender Brettlagenanzahl zu. Um den Berechnungsaufwand zu reduzieren, wird ein vereinfachtes Modell vorgeschlagen. Hierbei wird nicht für jede Brettlage eine differenzierte Lochleibungsfestigkeit angesetzt, sondern die durch Versuche ermittelte Lochleibungsfestigkeit für den Gesamtquerschnitt von Brettsperrholz. Die Tragfähigkeit kann somit mit den herkömmlichen Johansen-Gleichungen für homogene Bauteile berechnet werden. Das vereinfachte Modell ist bei vielen Brettsperrholzaufbauten anwendbar. Bei der Berechnung muss die charakteristische Lochleibungsfestigkeit von Stabdübeln und Bolzen mit Gleichung (8) ermittelt werden. Die angegebene Lochleibungsfestigkeit ist in ihrem Gültigkeitsbereich unabhängig vom Aufbau und den Brettlagendicken.

$$f_{h,k} = \frac{32 \cdot (1 - 0{,}015 \cdot d)}{1{,}1 \cdot \sin^2\alpha + \cos^2\alpha} \quad \text{in N / mm²} \quad (8)$$

mit: d Nenndurchmesser des Verbindungsmittels in mm
α Winkel zwischen Kraftrichtung und Faserrichtung der Decklagen

Folgende Bedingungen sollten bei der Ermittlung der Lochleibungsfestigkeit nach Gleichung (8) eingehalten werden:

- maximale Brettlagendicke $t_{i,max} \leq 40$ mm
- Mindestdicke / Mindesteinbindetiefe: drei Brettlagen
- Verhältnis der Brettlagen unterschiedlicher Orientierung ζ nach Gleichung (9) zwischen 0,95 und 2,0.
-

$$\zeta = \frac{\sum t_{0,i}}{\sum t_{90,j}} \quad (9)$$

mit: $t_{0,i}$ Dicke der einzelnen Brettlagen, parallel zur Faserrichtung der Decklagen
$t_{90,j}$ Dicke der einzelnen Brettlagen, rechtwinklig zur Faserrichtung der Decklagen

Durch die kreuzweise verklebten Brettlagen darf für Verbindungen in den Seitenflächen von Brettsperrholz von einer Querzugverstärkung ausgegangen werden. Eine Tragfähigkeitsreduzierung aufgrund eines frühzeitigen, spröden Versagens durch Aufspalten tritt in der Regel nicht auf. Daher ist es nicht erforderlich die Anzahl hinterein-

ander liegender Verbindungsmittel zu reduzieren, so dass für die wirksame Anzahl n_{ef} gilt:

$$n_{ef} = n \quad (10)$$

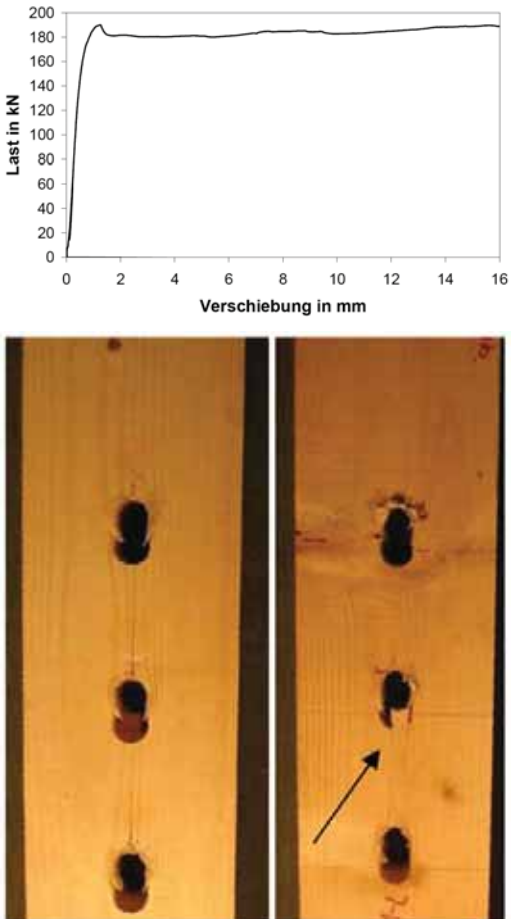


Abb. 4: Last-Verschiebungsdiagramm für eine Stabdübelverbindung in den Seitenflächen (oben), Versuchsbeobachtung: Blockscheren in der Decklage (unten)

Bei Versuchen mit Stabdübelverbindungen in den Seitenflächen konnte teilweise ein Blockscheren in einzelnen Brettlagen beobachtet werden, Abb. 4. Dieses Blockscheren führt nicht zu einem völligen Versagen der Verbindung, jedoch wird die rechnerische Tragfähigkeit nicht ganz erreicht. Insgesamt zeigten diese Verbindungen ein äußerst duktiles Verhalten, wie das Last-Verschiebungsdiagramm in Abb. 4 zeigt. In Abschnitt 5 werden Mindestabstände der Verbindungsmittel untereinander und zum Rand angegeben. Unter Einhaltung dieser Abstände kann der Einfluss des Blockscherens von Decklagen auf die Tragfähigkeit zumeist minimiert oder sogar völlig verhindert werden. Die Auswirkungen des Blockscherens in den Brettlagen sind jedoch noch nicht abschließend geklärt. Daher wird empfohlen, bei konzentrierten Anschlüssen mit mehreren hintereinander liegenden Verbindungsmitteln unter Anwendung der kleinsten möglichen Abstände die Tragfähigkeitsnachweise nicht völlig auszunutzen. Als Richtwert kann hier ein Ausnutzungsgrad von ca. 80 % angegeben werden.

5 Ausbildung von Anschlüssen

Für Herausziehbeanspruchungen sind bereits in Abschnitt 3 einige Anforderungen an die Mindesteindringtiefen von Verbindungsmitteln sowie an die Anzahl der Verbindungsmittel und Verbindungsmittelreihen aufgeführt. Zusätzlich sind Mindestabstände und Mindesteinbindetiefen einzuhalten. Für Verbindungsmittel, die in die Seitenflächen von Brettsperrholz eingebracht werden, sind die Mindestabstände in Tab. 1 angegeben. Eine Definition der Abstände zeigt Abb. 5. In Abb. 6 sind die Abstände von Verbindungsmitteln in den Schmalflächen definiert. Die zugehörigen Mindestabstände sind in Tab. 2 aufgeführt. Diese gelten bei Belastung der Verbindungsmittel in Plattenebene und sind unabhängig vom Winkel zwischen Stiftachse und Faserrichtung. Für Verbindungen in den Schmalflächen sind die Anforderungen an die Mindestdicken des Brettsperrholzes bzw. der maßgebenden Brettlagen sowie an die Mindesteinbindetiefen der Verbindungsmittel in Tab. 3 zusammengestellt. Bei Belastung rechtwinklig zur Plattenebene ist darüber hinaus ein Aufspalten der Schmalflächen bzw. die Querzugbeanspruchung zu berücksichtigen.

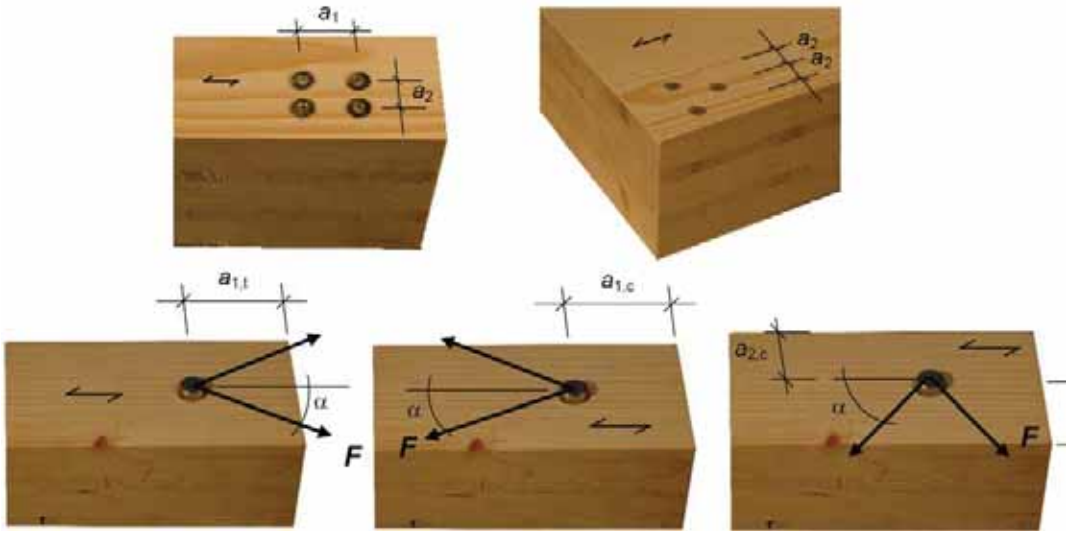


Abb. 5: Definition der Abstände von Verbindungsmitteln in den Seitenflächen

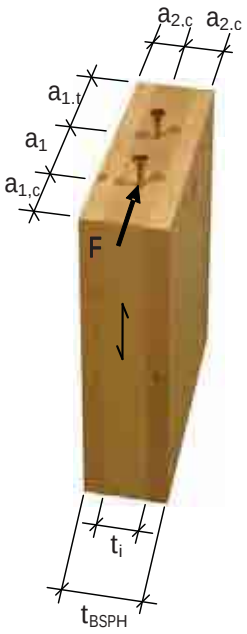


Abb. 6: Definition der Abstände von Verbindungsmitteln in den Schmalflächen

Tab. 1: Mindestabstände von Verbindungsmitteln in den Seitenflächen

Verbindungs-mittel	$a_{1,t}$	$a_{1,c}$	a_1	$a_{2,t}$	$a_{2,c}$	a_2
Schrauben[1)]	$6 \cdot d$	$6 \cdot d$	$4 \cdot d$	$6 \cdot d$	$2{,}5 \cdot d$	$2{,}5 \cdot d$
Nägel	$(7 + 3 \cdot \cos\alpha) \cdot d$	$6 \cdot d$	$(3 + 3 \cdot \cos\alpha) \cdot d$	$(3 + 4 \cdot \sin\alpha) \cdot d$	$3 \cdot d$	$3 \cdot d$
Stabdübel Passbolzen	$5 \cdot d$	$4 \cdot d \cdot \sin\alpha$ (min. $3 \cdot d$)	$(3 + 2 \cdot \cos\alpha) \cdot d$	$3 \cdot d$	$3 \cdot d$	$3 \cdot d$
Bolzen	$5 \cdot d$	$4 \cdot d$	$(3 + 2 \cdot \cos\alpha) \cdot d$ (min. $4 \cdot d$)	$3 \cdot d$	$3 \cdot d$	$4 \cdot d$

α Winkel zwischen Kraftrichtung und Faserrichtung der Decklagen
1) selbstbohrende Holzschrauben

Tab. 2: Mindestabstände von Verbindungsmitteln in den Schmalflächen

Verbindungs-mittel	$a_{1,t}$	$a_{1,c}$	a_1 (in Plattenebene)	$a_{2,c}$	a_2 (rechtwinklig zur Plattenebene)
Schrauben[1)]	$12 \cdot d$	$7 \cdot d$	$10 \cdot d$	$5 \cdot d$	$3 \cdot d$
Stabdübel Passbolzen	$5 \cdot d$	$3 \cdot d$	$4 \cdot d$	$3 \cdot d$	$3 \cdot d$
Bolzen	$5 \cdot d$	$4 \cdot d$	$4 \cdot d$	$3 \cdot d$	$4 \cdot d$

1) selbstbohrende Holzschrauben

Tab. 3: Mindestbrettlagendicken, Mindestdicken und Mindesteinbindetiefen für Verbindungen in den Schmalflächen

Verbindungs-mittel	Mindestdicke der maßgebenden Brettlage t_i in mm	Mindestdicke des Brettsperrholzes t_{BSPH} in mm	Mindesteinbindetiefe der VM in den Schmalflächen t_1 bzw. t_2 in mm
Schrauben	$d > 8$ mm: $3 \cdot d$ $d \leq 8$ mm: $2 \cdot d$	$10 \cdot d$	$10 \cdot d$
Stabdübel Passbolzen Bolzen	d	$6 \cdot d$	$5 \cdot d$

t_1 Mindesteinbindetiefe des Verbindungsmittels in den Schmalflächen des Seitenholzes bzw. Seitenholzdicke
t_2 Mindesteinbindetiefe des Verbindungsmittels in den Schmalflächen des Mittelholzes

6 Langzeitverhalten

Mit in den Schmalflächen von Brettsperrholz angeordneten Verbindungsmitteln lassen sich Bauteile wirtschaftlich verbinden. Um diese Verbindungen effizient nutzen zu können, ist es erforderlich, auch Einwirkungen mit ständiger oder langer Lasteinwirkungsdauer (Eigengewicht, Nutzlasten) zuverlässig zu übertragen. Hierzu sind insbesondere für faserparallel angeordnete Verbindungsmittel Aussagen über das Langzeitverhalten erforderlich. Für Schraubenverbindungen in den Schmalflächen von BSPH wird das Langzeitverhalten zurzeit am Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen der Universität Karlsruhe untersucht. Hierzu werden sowohl Herausziehversuche als auch Zug-Scherversuche mit faserparallel in eine Brettlage eingedrehten, selbstbohrenden Holzschrauben durchgeführt (Abb. 7). Nach einem Beobachtungszeitraum von drei Jahren sollen diese Prüfkörper entlastet und die Resttragfähigkeit im Kurzzeitversuch ermittelt werden. Die Klimadaten werden über den Versuchszeitraum kontinuierlich erfasst. Die Versuche werden im Freien unter einer Überdachung durchgeführt. Eine Bewitterung der Prüfkörper ist somit ausgeschlossen, so dass die klimatischen Verhältnisse der Nutzungsklasse 2 gemäß DIN 1052: 2004-08 entsprechen. Die Belastung der Prüfkörper erfolgt in Höhe des Bemessungswertes der Tragfähigkeit. Hierbei wurde bei den Versuchen mit rechtwinklig zur Stiftachse belasteten Schrauben der Modifikationsbeiwert für die Lasteinwirkungsdauer mit k_{mod} = 0,8 berücksichtigt. Die Beanspruchung ist somit höher als für die Klasse der Lasteinwirkungsdauer ständig (k_{mod} = 0,6). Bezogen auf die Standzeit der Versuche von drei Jahren kann so ein konservativer Wert für die Tragfähigkeit unter Langzeitbeanspruchung ermittelt werden. Bei den auf Herausziehen beanspruchten Schrauben wurde die Belastung auf 70 % des Bemessungswertes der Tragfähigkeit für einen Modifikationsbeiwert von k_{mod} = 0,8 reduziert.

Abb. 7.1: Langzeitversuch mit auf Herausziehen beanspruchten selbstbohrenden Holzschrauben

Abb. 7.2: Langzeitversuch mit auf Abscheren beanspruchten selbstbohrenden Holzschrauben

7 Zusammenfassung

Die effiziente Verwendung von Bauteilen aus Brettsperrholz erfordert es, diese untereinander und mit anderen Bauteilen zu verbinden. Eine wirtschaftliche Lösung hierfür bietet der Einsatz von stiftförmigen Verbindungsmitteln, die in den Seiten- und Schmalflächen von Brettsperrholz angeordnet werden können. Hierdurch ist es auch möglich, die Bauteile ohne zusätzliche Verbindungselemente wie z.B. Stahlblech-Winkel direkt zu verbinden.

Auf Grundlage der Ergebnisse eines Forschungsvorhabens konnten Vorschläge für die Bemessung von stiftförmigen Verbindungsmitteln in Brettsperrholz entwickelt werden. Zur Berechnung der Tragfähigkeit von Holzschrauben und Sondernägeln unter axialer Beanspruchung werden Gleichungen zur Ermittlung des Herausziehwiderstandes angegeben. Die vorgestellten Berechnungsmodelle auf der Grundlage der Johansen-Theorie ermöglichen es, die Tragfähigkeit von Verbindungen unter Beanspruchung auf Abscheren zu ermitteln. Für die meisten Verbindungskonfigurationen kann die Tragfähigkeit mit einem vereinfachten Berechnungsansatz bestimmt werden. Die zur Ermittlung der Verbindungsmitteltragfähigkeit erforderliche charakteristische Lochleibungsfestigkeit kann mit Hilfe der hierfür angegeben Gleichungen berechnet werden.

In den Seitenflächen von Brettsperrholz sind geringe Abstände der Verbindungsmittel untereinander und zum Rand möglich. Außerdem wird ein Spaltversagen von Verbindungen durch die Querlagen verhindert. Diese Querzugverstärkung und das duktile Verhalten der Verbindung erlauben es, auf die Reduzierung der tatsächlichen Verbindungsmittelanzahl auf eine wirksame Anzahl zu verzichten. Anschlüsse in den Seitenflächen von Brettsperrholz können folglich eine höhere Tragfähigkeit aufweisen als in Vollholz oder Brettschichtholz. Das bedeutet, dass sich mit stiftförmigen Verbindungsmitteln in Brettsperrholz auf kleinen Anschlussflächen vergleichsweise große Kräfte übertragen lassen. In BSPH wird unter Ausnutzung der Mindestabstände häufig ein Bauteilversagen maßgebend. Aufgrund der kreuzweise verklebten Brettlagen weist BSPH eine geringere Tragfähigkeit in Faserrichtung der Decklagen auf als ein vergleichbarer Vollholzquerschnitt. Bei den im Holzbau üblichen stabförmigen Bauteilen aus Voll- oder Brettschichtholz wird hingegen häufig die Querschnittsdimensionierung nicht durch die Bauteiltragfähigkeit, sondern durch die Größe der Anschlussflächen bestimmt. Hier bietet sich die Möglichkeit, das Potential von Brettsperrholz auch für diese Bauteile wie z.B. Zugstäbe zu nutzen. Durch Reduzierung der Brettdicke der Querlagen wäre es möglich, den Aufbau des Brettsperrholzes zur Übertragung von Zugkräften zu optimieren. Damit können für Stabtragwerke schlankere Bauteile eingesetzt werden, bei denen ein nahezu ausgeglichenes Verhältnis zwischen Bauteiltragfähigkeit und Anschlusstragfähigkeit besteht. Des Weiteren verfügen stabförmige Bauteile aus Brettsperrholz über weitere positive Eigenschaften des Holzwerkstoffes wie z.B. bezüglich des Quell- und Schwindverhaltens oder der Querzugtragfähigkeit.

Quellen

[1] Bejtka, I.: Verstärkungen von Bauteilen aus Holz mit Vollgewindeschrauben, Karlsruher Berichte zum Ingenieurholzbau, Band 2, Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen (Hrsg.), Universität Karlsruhe (TH), Karlsruhe, 2005

[2] Blaß, H. J.; Bejtka, I.; Uibel, T.: Tragfähigkeit von Verbindungen mit selbstbohrenden Holzschrauben mit Vollgewinde, Karlsruher Berichte zum Ingenieurholzbau, Band 4, Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen (Hrsg.), Universität Karlsruhe (TH), Karlsruhe, 2006

[3] Blaß, H. J.; Görlacher, R.: Bemessung im Holzbau – Brettsperrholz. Berechnungsgrundlagen, Holzbaukalender 2003. Bruderverlag, Karlsruhe 2003, S. 580-598

[4] Blaß, H. J.; Uibel, T.: Tragfähigkeit von stiftförmigen Verbindungsmitteln in Brettsperrholz, Karlsruher Berichte zum Ingenieurholzbau, Band 8, Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen (Hrsg.), Universität Karlsruhe (TH), Karlsruhe, 2007

[5] Görlacher, R.: Brettsperrholz – Berechnung von Elementen mit kreuzweise verklebten Brettern bei Beanspruchung in Plattenebene. In: Tagungsband: Ingenieurholzbau - Karlsruher Tage, Bruderverlag, Karlsruhe 2002.

[6] Hilson, B. O.: Verbindungen mit stiftförmigen Verbindungsmitteln – Theorie. In: Blaß, H. J.; Görlacher, R.; Steck, G. (Hrsg.): Holzbauwerke STEP1 – Bemessung und Baustoffe, Fachverlag Holz, Düsseldorf, 1995

[7] Johansen, K. W.: Theory of timber connections. International Association of bridge and structural Engineering, Bern, 1949, S. 249-262

[8] Schickhofer, G.: Brettsperrholz – Anwendungen und Konstruktionsdetails im mehrgeschossigen Wohn- und Kommunalbau. In: Tagungsband: Ingenieurholzbau - Karlsruher Tage, Bruderverlag, Karlsruhe 2002.

[9] Uibel, T.; Blaß, H. J.: Load Carrying Capacity of Joints with Dowel Type Fasteners in Solid Wood Panels. In: Proceedings. CIB-W18 Meeting 2006, Florence, Italy 2006, Paper 39-7-5

[10] Uibel, T.; Blaß, H. J.: Edge Joints with Dowel Type Fasteners in Cross Laminated Timber. In: Proceedings. CIB-W18 Meeting 2007, Bled, Slovenia 2007, Paper 40-7-2

[11] Uibel, T.: Brettsperrholz – Verbindungen mit mechanischen Verbindungsmitteln, In: Tagungsband: Ingenieurholzbau - Karlsruher Tage 2007, Bruderverlag, Köln 2007.

[12] DIN 1052:2004-08: Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken – Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau

aus: bauen mit holz 2 / 2009, S.46-53

10.1 Verbindungsmittel
Korrosionsverhalten von Baumetallen bei Holzkontakt

Beate Gläser, Dirk Kruse, Norbert Rüther

1 Allgemeines

Nach Schätzungen der Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V. (Dechema) erreichen die direkten Schäden aufgrund von Korrosion zwischen 3% - 4% des Bruttoinlandsproduktes einer Industrienation. Für die deutsche Volkswirtschaft bedeutet das jährliche Kosten in Höhe von ca. 70 – 95 Mrd. Euro (bezogen auf das BIP 2007). Vor diesem Hintergrund ist es wenig verwunderlich, dass im Bereich des Korrosionsschutzes in den letzten Jahrzehnten erhebliche Innovationsschritte gelungen sind und eine Vielzahl neuer, innovativer Produkte auf den Markt gekommen ist.

Diese Entwicklungen sind nur sehr begrenzt im Holzbau angekommen. Der Korrosionsschutz und damit eine wesentliche Fragestellung für die Dauerhaftigkeit von Verbindungen tragender Holzbauteile mit metallischen Verbindungsmitteln sind verhältnismäßig gering geregelt. Die DIN 1052: 2004-08 fordert recht allgemein Maßnahmen zur Sicherstellung der Dauerhaftigkeit gegen Korrosion unter Beachtung der zu erwartenden Beanspruchung. Lediglich drei Kategorien hinsichtlich des Korrosionsschutzes werden hier genannt.

Alternativen zu den in DIN 1052: 2004-08 aufgeführten Schutzmaßnahmen sind nach heutigem Stand der Technik nicht nachweisbar. Dieser Umstand stellt ein echtes Innovationshindernis dar. Eine große Bandbreite an Produkten und Technologien, wie beispielsweise die Nanopartikel-basierten anorganischen Schutzschichten, um nur ein aktuelles Beispiel zu benennen, können aus formalen Gründen nicht eingesetzt werden.

Um die bestehenden Lücken beim Korrosionsschutz metallischer Verbindungsmittel im Holzbau zu schließen und um eine größere Vielfalt an Lösungen und Produkten bei einer gleichzeitig verbesserten Rechtssicherheit zu erlauben, wurde am Fraunhofer-Institut für Holzforschung in den letzten 2 Jahren ein durch den Holzabsatzfonds gefördertes Forschungsprojekt bearbeitet.

2 Anforderungen an den Korrosionsschutz

Im Holzbau existieren normativ derzeit drei Nutzungsklassen zur Definition an den Korrosionsschutz. Diese Nutzungsklassen sind für viele praktische Bausituationen nicht ausreichend. Daher wurden die Nutzungsklassen erweitert und weiter differenziert, um für die jeweilige praktische Bausituation besser angepasste Maßnahmen des Korrosionsschutzes zur Verfügung stellen zu können. Dazu wurden die sechs Korrosivitätskategorien für Stahl nach DIN EN ISO 12944-2:1998 in Kombination mit den Umgebungsbedingungen jeweils für die Außennutzung und für die Sonderfälle (z.B. Brückenbauwerke, Schwimmhallen, Verzinkereien etc.) auf ihre Übertragbarkeit auf den Holzbau hinsichtlich Belastungsart, Belastungsdauer, Temperatur und Luftfeuchte untersucht und ausgewertet.

Die Anforderungen an den Korrosionsschutz werden nicht nur durch die klimatischen Umgebungsbedingungen sondern auch durch die Holzart (vereinfacht: Eiche kritischer als Fichte) bestimmt. Daher wurden unterschiedliche Holz- bzw. Bauholzarten sowie die damit verbundenen Holzeigenschaften (u.a. Gerbstoffgehalt, pH-Wert, Harzgehalt, Holzfeuchtegehalt) näher betrachtet und hinsichtlich ihrer Wechselwirkungen mit Korrosionsschutzmaßnahmen untersucht. Neben den Wechselwirkungen zwischen den Holzinhaltsstoffen und den metallischen Verbindungsmitteln wurden auch die Wirkungen zwischen eingesetzten Holzschutzmitteln und den metallischen Verbindungsmitteln, sowie mit Legierungen und Überzügen der Verbindungsmittel in die Arbeiten einbezogen. Im Rahmen der Arbeiten wurden dazu existierende Untersuchungen be-

wertet und durch weiterführende Untersuchungen ergänzt bzw. bestätigt.

In einem in diesem Projekt entwickelten Laborverfahren wurden die für den Holzbau relevanten Parameter verwertet und mit eingebunden. Es konnte nachgewiesen werden, dass z.B. Holzschutzmittel einen wesentlichen Beitrag zum korrosiven Angriff auf die metallischen Verbindungsmittel leisten. Des Weiteren ist es möglich, verschiedene innovative Korrosionsschutzbeschichtungen mit den bisher üblichen Schutzmaßnahmen zu vergleichen und ihre Schutzwirkung einzuschätzen. In der folgenden Abb. 1 ist exemplarisch der Korrosionsgrad verschiedener Verbindungsmittel nach der Belastung einmal in Verbindung mit Eichenholz und einmal in einer gerbstoffhaltigen Lösung dargestellt. Bei dem Verbindungsmittel A handelt es sich um ein verzinktes Verbindungsmittel, bei Verbindungsmittel B um ein Edelstahl-Verbindungsmittel. Mit der Beschichtung C konnte eine gleichwertige Schutzwirkung gegenüber der gerbsäurehaltigen Lösung, vergleichbar Edelstahl, nachgewiesen werden.

Damit Hersteller und Anwender einen besseren Überblick aus der Vielzahl der gesammelten Erfahrungen erhalten, wurden diese in den folgenden Tabellen (Tab. 1 und Tab. 2) zusammengefasst und als Anpassung der Nutzungsklassen bzw. Erweiterung der Tab. 2 aus DIN 1052 vorgestellt.

Im Vergleich zur bisherigen Tab. 2 aus DIN 1052 sind die Nutzungsklassen hinsichtlich Korrosivität feiner aufgesplittet, so dass eine differenziertere Einordnung der einzelnen Einbau-Umgebungen erfolgen kann. Dafür wird die geplante Holzbauverbindung nach ihren Parametern - Holzart, eventuell verwendetes Holzschutzmittel und der direkt vorherrschenden Atmosphäre – beschrieben. Der am stärksten korrosiv wirkende Parameter ist bei der Einordnung in eine Korrosivitätsklasse ausschlaggebend.

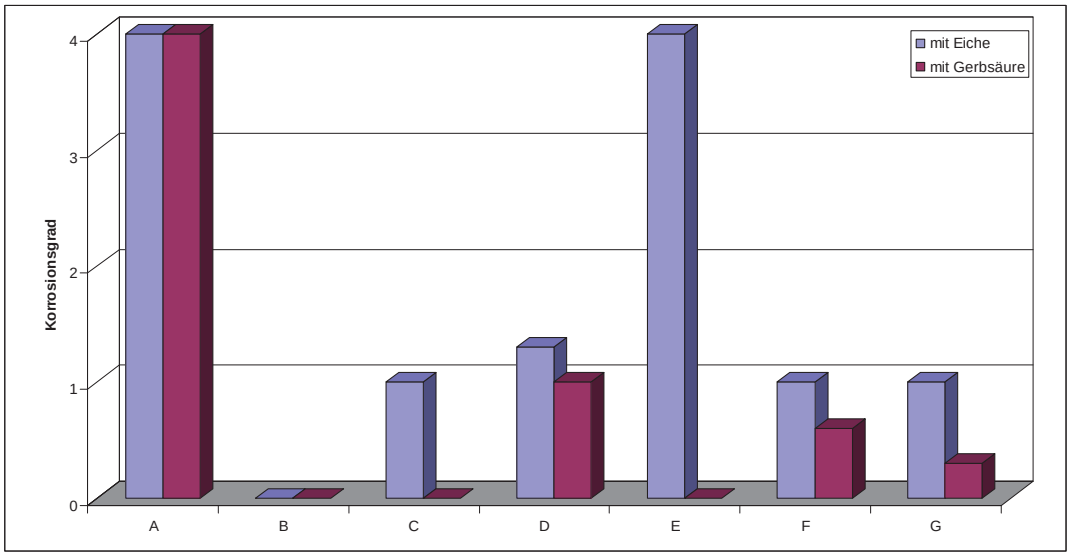


Abb. 1: Exemplarische Darstellung des nach Evans ermittelten Korrosionsgrads von diversen Verbindungsmitteln, die mit Eichenholz / mit einer gerbsäurehaltigen Lösung belastet wurden

Nachdem über Tabelle 1 eine Einordnung in eine Korrosivitätsklasse erfolgt ist, wird nun in Tab. 2 die Nutzungsklasse nach DIN 1052 berücksichtigt und es ergibt sich der erforderliche Korrosionsschutz. In Tab. 2 sind die Verbindungsmittel, anders als in DIN 1052 Tab. 2, nach Dicke bzw. nach dem Grad der mechanischen Ausnutzung des Metallquerschnitts im Einbauzustand aufgeteilt. Auch hier erfolgt nur eine Einteilung nach der Stärke der Verzinkung auf dem zu schützenden Metall. Ist dies nicht mehr zu gewährleisten, so wird zunächst der Einsatz von Edelstahl bzw. einem geeigneten nichtrostenden Stahl – hier als VA abgekürzt – empfohlen. Bei einem Einsatz eines Verbindungsmittels mit einer alternativen Beschichtung als Korrosionsschutz, ist mittels eines eigens entwickelten Standardprüfverfahrens ein Nachweis der Gleichwertigkeit der alternativen Beschichtung gegenüber dem in Tab. 2 aufgeführten Korrosionsschutz durchzuführen.

Anhand des nachfolgenden Beispiels wird die Handhabung der Tabellen 1 und 2 deutlich.

Es soll der Korrosionsschutz eines Verbindungsmittels in folgender Umgebung nachgewiesen bzw. eingeschätzt werden: Holzart der verbauten Verbindung ist Fichte; das Holz wurde mit einem Holzschutzmittel auf Basis Benzammoniumchlorid imprägniert; die Verbindung wird für eine Sporthalle geplant; die Nutzungsklasse nach DIN 1052 ist NKL 2. Der Einsatz einer Nagelplattenverbindung mit einem Ausnutzungsgrad des Metallquerschnitts von ca. 50 % wird gewünscht.

Tab. 1: Einordnung der Einwirkungen an Metall-Holz-Verbindung in fünf Korrosivitätsklassen [6]

Korrosivitätsklassen	Holzarten	Wirkstoffe der Holzschutzmittel	Umgebungsbedingungen nach DIN 12 944-2
KKL 1 - unbedeutend korrosiv	Fichte, Kiefer, Tanne		neutralen Atmosphären
KKL 2 - gering korrosiv	Buche, Douglasie, Lärche, Meranti, Bongossi	Kupfer-Benzalkoniumchlorid, Borsalze	Außenatmosphären mit geringer Verunreinigung oder ungeheizte Gebäude mit gelegentlich auftretender Kondensation
KKL 3 - mäßig korrosiv	Eiche	Benzammoniumchlorid	Stadt- und Industrieatmosphäre, mäßige Verunreinigungen durch Schwefeldioxid. Küstenbereiche mit geringer Salzbelastung oder Produktionsräume mit hoher Feuchte und etwas Luftverunreinigung
KKL 4 - stark korrosiv		Quartäre Ammoniumverbindungen, Kupferethanolamin, Kupfer-Präparate sowie andere, hier nicht genannte HSM	Industrielle Bereiche und Küstenebereiche mit mäßiger Salzbelastung oder Chemieanlagen, Schwimmbäder, Bootsschuppen über Meerwasser
KKL 5 - sehr stark korrosiv			Industrielle Bereiche mit hoher Feuchte und aggressiver Atmosphäre sowie Küsten- und Offshorebereiche mit hoher Salzbelastung oder Gebäude oder Bereiche mit nahezu ständiger Kondensation und mit starker Verunreinigung

Tab. 2: überarbeiteter Entwurf „Mindestanforderungen an den Korrosionsschutz für metallische Bauteile und Verbindungsmittel – Mindestzinkschichtdicke in µm oder vergleichbarer Schutz“ [6]

Nutzungsklasse	Korrosivitätsklassen	Stabförmige Bauteile und Verbindungsmittel		Plattenförmige Bauteile und Verbindungsmittel	
				Ausnutzungsgrad des Metallquerschnitts	
		d < 3 mm	d > 3 mm	25 - 75 %	> 75 %
NKL 1	KKL 1	10	-	-	10
	KKL 2	10	-	10	10
	KKL 3	20	20	20	20
	KKL 4	55	55	55	55
	KKL 5	VA	VA	VA	VA
NKL 2	KKL 2	20	10	20	55
	KKL 3	55	30	55	
	KKL 4		55		
	KKL 5		VA		
NKL 3	KKL 3		55		
	KKL 4				
	KKL 5	VA	VA	VA	VA

Gemäß Tab. 1 wird Fichte als unbedeutend korrosiv eingeschätzt und die Atmosphäre in der Sporthalle als gering korrosiv. Der am stärksten korrosiv wirkende Parameter bei dieser Kombination ist das Holzschutzmittel bzw. dessen Wirkstoff. Somit erfolgt für die angegebene Holz-Metall-Verbindung eine Einordnung in die Korrosivitätsklasse KKL 3. Im nächsten Schritt wird die nach DIN 1052 vorgegebene Nutzungsklasse in Tab. 2 berücksichtigt.

Für die geplante Metall-Holz-Verbindung mit einer Nagelplattenverbindung mit einem Ausnutzungsgrad des Metallquerschnitts von ca. 50 % ist somit ein Korrosionsschutz von mindestens 55 µm Zink erforderlich.

3 Gleichwertigkeit innovativer Korrosionsschutzmaßnahmen

Ein wesentliches Ziel des bearbeiteten Projektes war es, die Möglichkeiten des Korrosionsschutzes zu erweitern in dem in einem Nachweisverfahren eine Gleichwertigkeit zu den erforderlichen Korrosionsschutzmaßnahmen festgestellt werden kann. Insbesondere sollten neue, innovative Lösungen, die zum Schutz von Stahl bereits breite Anwendung erfahren, nicht ausgegrenzt bleiben.

Es wurden die zur Verfügung stehenden und allgemein üblichen Testmethoden (z.B. Kesternichtest, Salzsprühtest etc.) für die spezielle Anwendung im Holzbaubereich theoretisch und mittels Laborversuchen untersucht. Hierbei wurde das Zusammenspiel der Einflüsse unterschiedlicher Holzarten, lokaler Schäden des Schutzes und unterschiedlicher Holzschutzmittel in die Untersuchungen einbezogen. Dabei stellte sich heraus, dass nur eine Weiterentwicklung einer möglichst einfach gehaltenen und in den Versuchsaufbau

und die Versuchszusammenstellung wenig eingreifenden Testmethode bei der bestehenden Problematik zweckmäßig ist. Eine intensive Zusammenarbeit und Diskussionen mit den Projektpartnern führten zu dem Ergebnis, dass es sinnvoll ist, zwei prinzipiell unterschiedliche Nachweisverfahren zu erarbeiten.

Auf Basis dieser Ergebnisse wurde ein Prüfverfahren entwickelt, mit dem beschleunigte Korrosionsuntersuchungen speziell für den Holzbaubereich möglich sind und mit dem die Gleichwertigkeit von Schutzmaßnahmen nachgewiesen werden kann. Des Weiteren wird ein zweites Verfahren zur Verfügung gestellt, mittels dessen Sonderfragestellungen zum Korrosionsschutz im Holzbau in vertretbaren Zeiträumen beantwortet werden können.

Zur Beurteilung einer Bausituation wird zunächst, wie auch bisher üblich, zur Bauplanung und Einschätzung der Korrosivität DIN 1052 herangezogen. Sollte die konkrete Bausituation nicht über DIN 1052 abgedeckt sein, kann sie mittels der in Punkt 2 beschriebenen Systematik unter Verwendung der Tabellen 1 und 2 bewertet werden. Sollte auch dies nicht zu einer Bewertung der Bausituation führen, da z.B. innovative Beschichtungen Verwendung finden sollen, kann in einem weiteren Schritt durch das entwickelte Prüfverfahren in einer Standard- und einer individuellen Variante der Korrosionsschutz nachgewiesen werden.

Das „Standardprüfverfahren“ ist ein Vergleichsverfahren, mit dem ausschließlich die Gleichwertigkeit einer beliebigen Beschichtung mit einer in DIN 1052 aufgeführten Schutzmaßnahme unter definierten Umgebungsbedingungen nachgewiesen wird. Dieses Verfahren untersucht eine Beschichtung, die auf metallische Prüfkörper mit definierten, einfachen geometrischen Eigenschaften aufgebracht wird. Zusätzlich werden Prüfkörper mit gleichen Eigenschaften, jedoch mit einer nach DIN 1052 erforderlichen Schutzmaßnahme, angefertigt. Beide Prüfkörperserien werden unter gleichen Bedingungen beansprucht und nach der Beanspruchung verglichen.

Es ist immer ein Paar aus einem Prüfkörper mit der zu prüfenden Beschichtung und einer Referenzprobe mit einem in DIN 1052 Tabelle 2 beschriebenen Korrosionsschutz herzustellen. Die Prüfkörper und Referenzproben bestehen immer aus einem Holz und einem (beschichteten) Metall.

Tab. 3: Prüfflüssigkeiten und Prüfkörper aus Holz in Abhängigkeit von den Korrosivitätsklassen [6]

Korrosivitätsklassen	**Prüfflüssigkeit**	**Konzentration in wässriger Lösung**	**pH-Wert**	**Prüfkörper aus Holz**
unbedeutend korrosiv (KKL 1)	Prüfung nicht notwendig			
gering korrosiv (KKL 2)	Wasser		7,8	Fichte
mäßig korrosiv (KKL 3)	Natriumcarbonat (Na_2CO_3)	50g/l	11,7	Eiche
stark korrosiv (KKL 4)	Natriumchlorid (NaCl)	50g/l	6,7	Eiche
sehr stark korrosiv (KKL 5)	Essigsäure	1,32 g/l	3,2	Eiche (+Kupfer-Ethanolamin)

Das Grundmaterial des zu beschichtenden Metalls besteht aus Baustahl, S 355 J2, und kann die geometrische Form eines Quaders oder eines Zylinders aufweisen, wobei die geometrische Form des Prüfkörpers gleich zu sein hat mit der geometrischen Form der Referenzprobe.

Die zu verwendenden Holzarten und Prüfflüssigkeiten sind in Tab. 3 beschrieben und in Abhängigkeit der Korrosivitätsklasse zu wählen, für die die zu prüfende Beschichtung einen geeigneten Korrosionsschutz darstellen soll.

Es sind kleine, fehlerfreie Abschnitte der in Tab. 3 aufgeführten Holzarten zu verwenden. Die Hölzer weisen eine Holzfeuchte von etwa 18 % auf und haben die Form eines Würfels mit einer Kantenlänge von 50 mm. In diesen Würfel ist bei Verwendung einer Metallplatte von einer Stirnseite aus ein 2 cm tiefer Schlitz einzusägen, dessen Breite der Dicke des unbeschichteten Metalls entspricht, oder bei Verwendung eines Metallzylinders von einer Stirnseite aus ein 2 cm tiefes Loch zu bohren, dessen Durchmesser dem Durchmesser des unbeschichteten Metalls entspricht.

Die Probekörper und die Referenzproben werden entsprechend Tab. 4 in Glas- oder Kunststoffgefäße in Abhängigkeit der gewählten Nutzungsklasse eingelegt.

Die Gefäße mit den Probekörpern und den Referenzproben werden im Wärmeschrank bei 50 ± 2°C gelagert.

Abb. 2: Probenlagerung im Temperaturschrank mit Prüfkörpern für Standardversuche [6]

Die Bewertung des Korrosionsgrades der Probekörper erfolgt zunächst unmittelbar nach dem Versuch mittels optischer Bewertung nach Evans (Tab. 5) und nach Erreichen der Massekonstanz und Entfernung der Korrosionsprodukte durch Bestimmung der Massedifferenz.

Tab. 4: Übersicht Lagerung und Versuchsdauer [6]

	NKL 1	NKL 2	NKL 3
Art der Lagerung	über Medium	stehend, teilweise im Medium	
Anzahl Probekörper	10		
Versuchsdauer	10 Tage		15 Tage

Tab. 5: Bewertungsskala des Korrosionsgrades nach Evans [6]

Korrosionsgrad	optische Bewertung
0	keine sichtbare Korrosion
1	schwach sichtbare Korrosion
2	mäßige Korrosion
3	starke Korrosion
4	sehr starke Korrosion

Der Nachweis der Gleichwertigkeit gilt als erbracht, wenn der Korrosionsgrad der Prüfkörper niedriger ist, als der der Referenzproben und die Massedifferenz im Vergleich zur Referenzprobe um max. 5 % abweicht.

Die erforderlichen Beanspruchungen, Verfahren und Auswertungen können standardisiert von entsprechend ausgebildetem Laborpersonal angewendet werden. Dieses Verfahren hat als Zielgruppe die Beschichtungsmittelindustrie, die für ihre jeweilige Beschichtung den Nachweis erbringen will, welchen Korrosionsschutz deren Beschichtung gewährleisten kann. Zum jetzigen Zeitpunkt liegt die Verantwortung dafür, dass die Beschichtung auf dem tatsächlichen Verbindungsmittel appliziert werden kann, beim Hersteller. Das Aufbringen der erforderlichen Mindestschichtdicken ist über entsprechende qualitätssichernde Maßnahmen sicherzustellen.

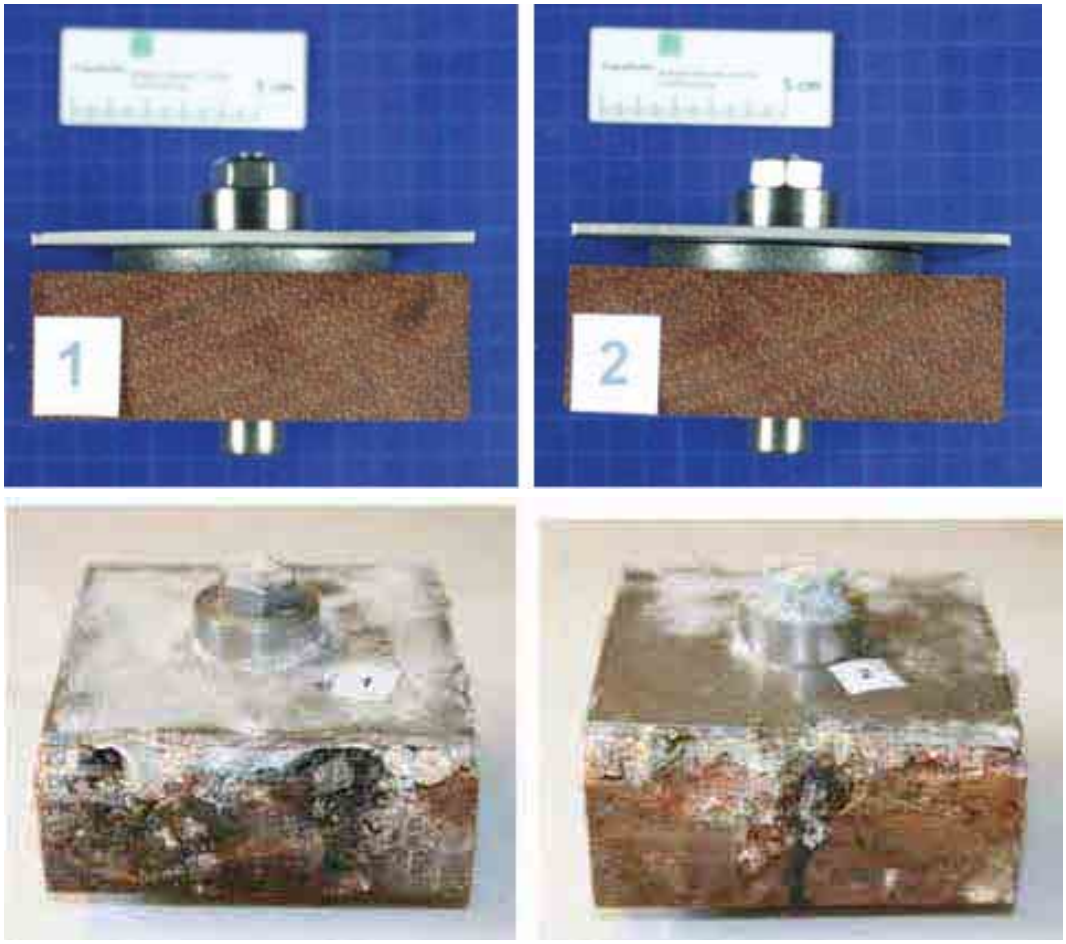


Abb. 3: Dübel besonderer Bauart vor (oben) und nach (unten) der Prüfung [6]

Eine Erweiterung des Standardprüfverfahrens ist das „individuelle Prüfverfahren". In diesem Verfahren werden keine standardisierten Probekörper verwendet. Vielmehr wird eine konkrete Bausituation nachgestellt. Die Versuche nach diesem Verfahren sind ingenieurmäßig zu planen, durchzuführen und auszuwerten. Die Ergebnisse dieses Verfahrens liefern keinen Vergleichswert, sondern sollen eine Tauglichkeit einer konkreten Situation belegen. Alle relevanten Eigenschaften sind in die Prüfung mit einzubeziehen.

Die grundsätzliche Eignung des individuellen Prüfverfahrens wurde durch einen Vergleich mit einer tatsächlichen Bausituation belegt. Wie in einem vorliegenden Gutachten beschrieben, haben sich die Verbindungsmittel einer Brücke innerhalb weniger Jahre nahezu aufgelöst. Mit den innerhalb dieses Vorhabens durchgeführten Prüfungen wurden die gleichen Resultate erzielt, wie sie in [11] beschrieben sind. Die Abbildungen 3 und 4 zeigen Versuchsergebnisse und Abbildungen aus dem Gutachten und belegen deutlich die Übereinstimmung zwischen Versuch und Realität.

Abb. 4: Zerstörter Dübel besonderer Bauart nach ca. 5-jähriger Nutzung; links: Holz, in dem der Dübel eingebracht war, Mitte: Dübel mit Unterlegscheibe aus nichtrostendem Stahl, rechts: Stahllasche aus nichtrostendem Stahl [11]

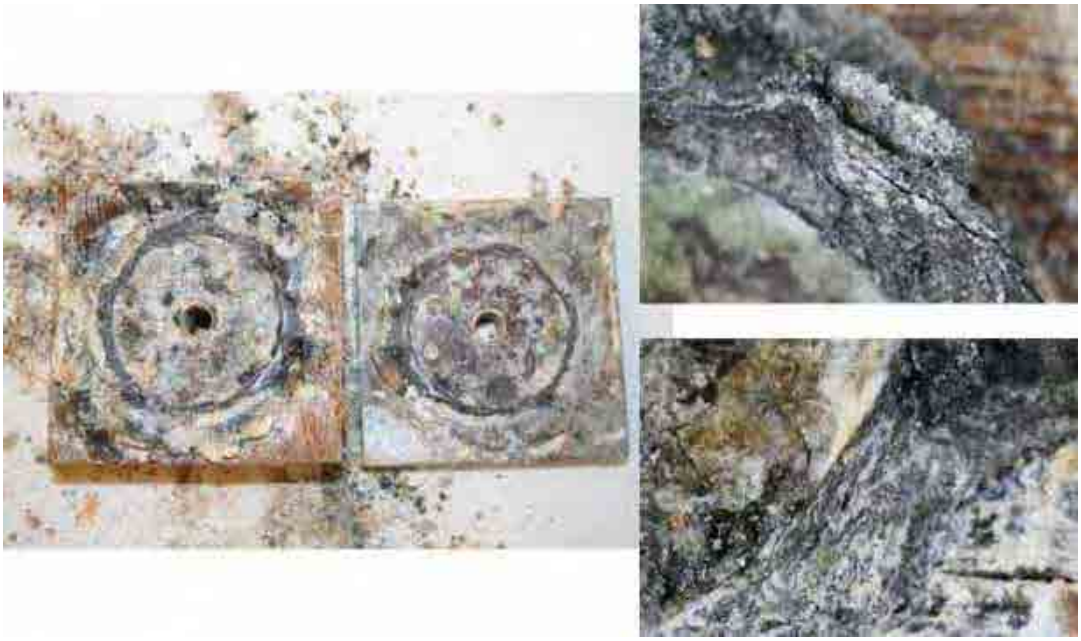


Abb. 5: zerstörter Dübel besonderer Bauart [6]

Abb. 5 zeigt einen Aluminiumdübel, der sich nach bereits etwa drei- monatiger Belastung durch salzhaltige Umgebung und in Verbindung mit Edelstahl vollkommen aufgelöst hat. Selbst nach etwa 4 Wochen konnten relevante, tiefe Schädigungen beobachtet werden. Eine solche Verbindung ist zukünftig auch nur über das „individuelle Verfahren" prüfbar, da in diesem besonderen Fall ausschließlich die vorliegende Kombination zu der massiven Schädigung geführt hat.

Ein Entwurf einer Richtlinie zu den genannten Prüfverfahren wird momentan durch den Projektförderer und die Industriepartner geprüft.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Die erfolgreiche Bearbeitung des Forschungsprojekts eröffnet auch im Holzbau die Möglichkeit neue, innovative Korrosionsschutzmaßnahmen einzusetzen. Im Laufe der Projektbearbeitung haben sich jedoch auch neue Fragestellungen aufgetan, die im Rahmen dieses Projektes nicht gelöst, zumindest aber angedacht werden konnten. Hieraus folgende Projekte befinden sich bereits in der Planungsphase.

Es bleibt zu hoffen, dass die bereits gesammelten Informationen und Erfahrungen, nicht zuletzt durch die angestrebte Richtlinie, ihre notwendige Anwendung im Holzbau finden werden und somit der Bereich der durch Korrosion verursachten Schäden weiter minimiert werden kann.

Gerade in der heutigen Zeit ist die Stärkung der zukunftsträchtigen ökologischen Holzbauweise wichtig und die Forschung auf diesem Gebiet unterstützenswert.

Quellen

[1] Blaß, H.J.; Ehlbeck, J.; Kreuzinger, H.; Steck, G.: Erläuterungen zu DIN 1052:2004-08 (2004), DGfH, München

[2] Bockelmann, C.; Pohlandt, K.; Marutzky, R.: Konzentration ausgewählter Elemente in Holzsortimenten: Chlor, Fluor und Schwermetalle. Holz als Roh- und Werkstoff Nr. 53 (1995), S. 377-383

[3] Buchwald, A.: Umwelt- und technikbedingte Werkstoffkorrosion – 6. Korrosion und Korrosionsschutz an Holz und nachwachsenden Rohstoffen. Manuskript zur Vorlesung, Weimar, Bauhaus-Universität Weimar

[4] Choi, B.Y.; Ruddick, J.: Corrosion of metal fasteners in contact with copper preservative treated wood. Paper prepared for the 38th Annual Meeting Jackson Lake Lodge, Wyoming, USA (20-24 May 2007)

[5] Evans, F.G.: Korrosion von Metallen in Berührung mit imprägniertem Holz. Holz-Zentralblatt Nr.142 (1990), Stuttgart

[6] Gläser, B.: Forschungsvorhaben: Korrosionsproblematik metallischer Verbindungsmittel. (2009) Abschlussbericht, WKI Braunschweig

[7] Hensel, W.: Untersuchungsbericht – Korrosionsschutz von feuerverzinkten Nagelplatten in Viehställen. (2001) Otto-Graf-Institut / Universität Stuttgart (FMPA)

[8] Krilov, A. u.a.: Effects of Gallic Acid on Metals: An FT-IR Study of Complexes Between Gallic Acid and Sawblade Steel. Holzforschung, Vol. 47, No. 3 (1993), S. 239-246 Berlin

[9] Lütte, A.: Holzveränderungen durch Eisen - Veränderungen von Holz durch Behandlung mit Eisenlösungen. (2006) WKI-Projektbericht

[10] Lukowsky, D.: Holzkundliche Untersuchung der Schäden in der Abbeizerei und Sanierungsvorschläge. (2001) WKI Untersuchungsbericht U – 2149/01

[11] Nürnberger, U.: Gutachten zur Ursache von Korrosionserscheinungen bei Dübelverbindungen von Holzbauteilen – Kuhbrücke in Friedrichsstadt. (2007)

[12] Stichel, W.: Korrosion und Korrosionsschutz von Metallen in Schwimmhallen. Forschungsbericht 126 (1986), Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM) Berlin

[13] DIN 1052:2004-08, Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken - Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau

[14] DIN 55928-8:1994-07, Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungen und Überzüge

[15] DIN EN ISO 12944-2:1998-07, Beschichtungsstoffe – Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungssysteme – Teil 2: Einteilung der Umgebungsbedingungen

[16] DIN EN ISO 12944-5:1998-07, Beschichtungsstoffe – Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungssysteme –Teil 5: Beschichtungssysteme

10.2 Kleber, Bindemittel
Kleben im Holzbau
Stand der Technik und Qualitätssicherung

Borimir Radovic

1 Maßgebende Parameter bei der Verklebung

- Holzart
- Holzfeuchte
- Holzqualität
- Klebefläche
- Klebstoffart
- Klebstoffmenge
- Offene und geschlossene Klebstoffzeit
- Pressdruck
- Pressdauer
- Klima vor, während und nach der Verklebung

Abb. 1: King Edward College, Southhampton 1860 [1]

Bei Keilzinkenverbidungen zusätzlich:

- Astfreiheit im Bereich der Zinkung
- Keilzinkengeometrie und ausreichender, gleichmäßiger Klebstoffauftrag

2 Prüfungsumfang bei Klebstoffen

Kurzzeitprüfungen:

- Zugscherprüfungen (EN 302-1)
- Delaminierungsprüfungen (EN 302-2)
- Überprüfung einer eventuellen Säureschädigung der Holzfaser (EN 302-3)
- Überprüfung des Verhaltens beim Schwinden des Holzes (EN 302-4)
- Bestimmung der Abbindegeschwindigkeit (DIN 68141)
- Bestimmung des pH-Wertes
- Bestimmung der durchschnittlichen Antrockenzeit
- Bestimmung der Mindestpresszeit
- Beurteilung des Aufschäumverhaltens
- Bestimmung der Viskosität und der Gebrauchsdauer
- Zugscherprüfung bei hohen und niedrigen Temperaturen

Dauerstandprüfungen:

- Dauerstand-, Querzugversuche
- Prüfung nach modifizierter ASTM 3535
- Prüfung von Biegeproben unter Dauerlast

3 Voraussetzungen für die Herstellung von verklebten Holzbauteilen

3.1 Technische Trocknung des Holzes

- Trockenkammer, Holzfeuchte 10-14%, bei einteiligen keilgezinkten Hölzern 13-17%

3.2 Sortierung des Holzes nach der Tragfähigkeit:

- DIN EN 14081 bzw. DIN 4074
  Kriterien: Äste, Risse, Verfärbungen, Baumkanten etc.
- Visuelle Sortierung
- Maschinelle Sortierung
- Sortierklassen bei visueller Sortierung:
  C16 (S7): Bauschnittholz mit geringer Tragfähigkeit
  C24 (S10): Bauschnittholz mit normaler Tragfähigkeit
  C30 (S13): Bauschnittholz mit überdurchschnittlicher Tragfähigkeit

Abb. 2: Visuelle Sortierung des Holzes [2]

Abb. 3: Maschinelle Sortierung des Holzes [3]

3.3 Auskappen fehlerhafter Bereiche

Durch das Auskappen wird das Holz optimal ausgenutzt.

3.4 Keilzinkenverbindung

Durch die Keilzinkenverbindung werden die Einzelhölzer in der Länge kraftschlüssig miteinander verbunden. Dadurch ist die Herstellung von Bauteilen in beliebiger Länge möglich.

Abb. 4: Auskappen fehlerhafter Bereiche [2]

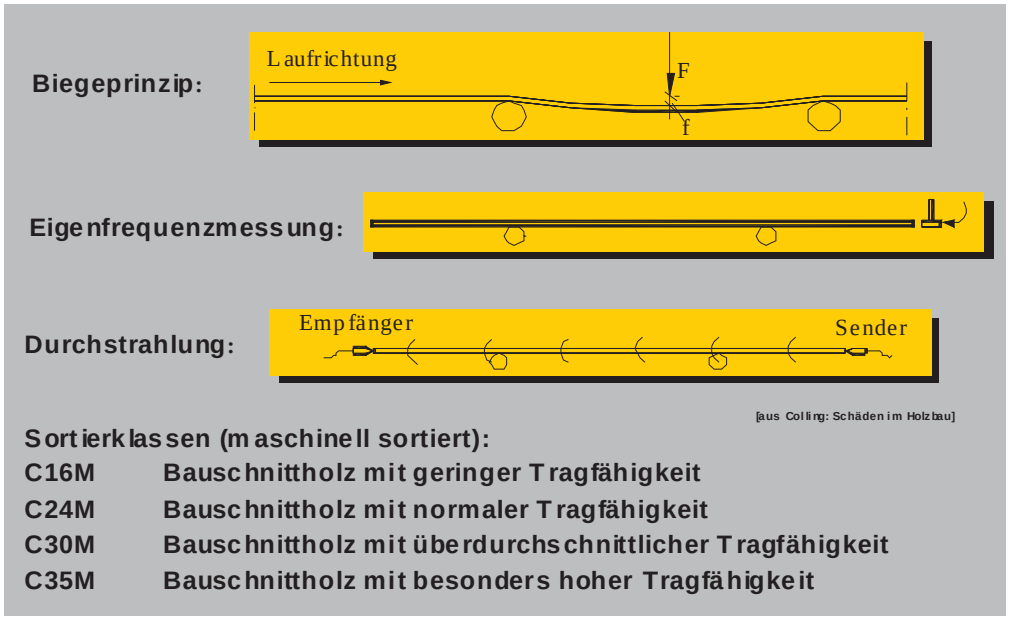


Abb. 5: Verfahren bei der maschinellen Sortierung des Holzes und Sortierklassen (Festigkeitsklassen) [3]

Abb. 6: Prinzip der Keilzinkung der Bretter [2]

Abb. 7: Beleimung der Keilzinken im Paket der Bretter [2]

Abb. 8: Keilzinkung in der Presse [2]

3.5 Ablängen

Durch das Ablängen werden aus dem endlos keilgezinkten Holz- bzw. Lamellenstrang Einzellteile mit definierter Länge hergestellt.

3.6 Hobeln der Hölzer

Wenn die Hölzer nachträglich miteinander über die Fläche verklebt werden sollen, ist eine Hobelung der zu verklebenden Flächen erforderlich, um eine optimale Oberfläche für die Verklebung zu schaffen.

3.7 Klebstoffauftrag

Der Klebstoff muss in der vorgeschriebenen Menge auf die zu verklebenden Flächen aufgetragen werden.

Abb. 9: Klebstoffauftrag auf gehobelte Lamelle [2]

3.8 Pressen

Der Pressdruck dient der gegenseitigen Fixierung der Hölzer bis der Klebstoff abgebunden hat und der Erzielung möglichst gleichmäßiger dünner Klebstofffuge (Abb. 10 bis 14).

Abb. 10

Abb. 11

Abb. 12

Abb. 13

Abb. 14

3.9 Abbund

Hier sind alle Arbeitsgänge zu verstehen, die notwendig sind, um die verklebten Holzbauteile montagefertig zu machen (Abb. 15 bis 17). [2]

Abb. 15

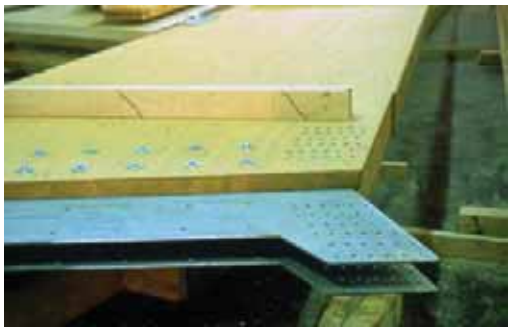


Abb. 16

Abb. 17

3.10 Transport

In den Abb. 18 bis 21[2] sind die Transportmöglichkeiten zu sehen.

Abb. 18

Abb. 19

Abb. 20

Abb. 21

4 Schraubenpressklebung

Vorteile der Schraubenpressklebung

- Kein Abfall des Pressdrucks infolge der sehr guten Schaftverankerung.
- Keine Erschütterungen beim Anbringen der Schrauben, die das Abbinden des Klebstoffes stören könnten, so dass weitere Aufklebungen an einem Bauteil vorgenommen werden können, bevor die schon verpressten Klebstofffugen voll ausgehärtet sind.
- Eine Schraube reicht aus für eine zu verklebenden Fläche von 15000 mm2

In den Abb. 22 bis 28 [4] sind einige mit Hilfe der Schraubenpressverklebung hergestellte Schirmteile des Expo-Daches ersichtlich

Abb. 22

Abb. 23

Abb. 24

Abb. 25

5 Holz-Metall-Verklebungen

Wichtigste Eigenschaften der Klebstoffe für Holz-Metall-Verklebungen:

- Gutes Adhäsionsvermögen sowohl zum Holz als auch zum Stahl
- Beständigkeit auch in den dicken Klebstofffugen
- Gutes Dauerstandverhalten
- Beständigkeit auch bei hohen Temperaturen, wenn diese nach dem Einbau der Bauteile im Bereich der Verbindung zu erwarten sind.

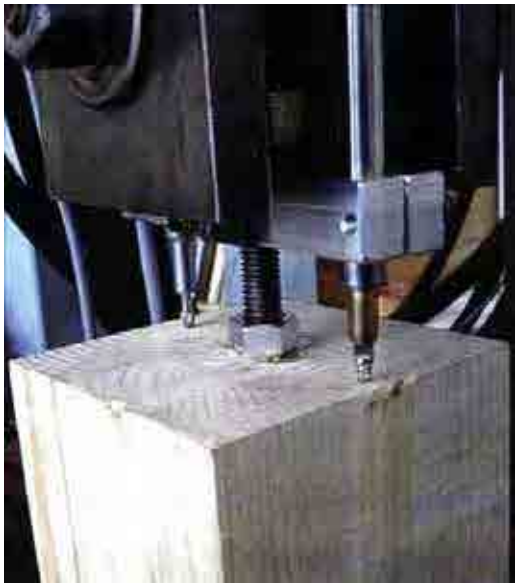


Abb. 26: Eingeklebte Gewindestange, Versuch

Abb. 27: Verklebung Holz-Stahlblech [6]

6 Geklebte Verbundbauteile aus Brettschichtholz (Blockverklebung)

Abb. 28 [7]

Abb. 29 Pressbett für Blockträger [6]

Abb. 30 [5]

Abb. 31: Verbundbauteile Brücken Hochstetten [5]

Quellen

[1] Arge Holz, Düsseldorf
[2] Studiengemeinschaft Holzleimbau, Wuppertal
[3] Colling, Schäden im Holzbau
[4] Fa. Finnforest-Merk, Aichach
[5] Fa. Schaffitzel, Schwäbisch Hall
[6] Fa. Gröber, Füramoos
[7] Fa. Kaufmann, Reuthe A

10.2 Kleber, Bindemittel

Lignofast - ein Quantensprung in der Klebstofftechnologie

Hans-Peter Luthiger

1 Einleitung

Ein in der automatisierten Produktion von Holzelementen einsetzbarer, rasch abbindender Klebstoff kann Produktionskapazitäten verdoppeln, unter Umständen sogar verdreifachen. Forscher und Entwickler der nolax AG (Collano Gruppe) haben eine derartige neue Klebstofftechnologie entwickelt. Das Produkt heißt «Lignofast®» und steht vor der Markteinführung. Es dürfte in der Holzverarbeitenden Industrie entscheidende Neuerungen und wesentliche Optimierungen auslösen.

Klebstoffe kommen in der holzverarbeitenden Industrie immer mehr zur Anwendung. Bei strukturellen Verklebungen führen die langen Presszeiten in der Produktion oft zu Engpässen, aus denen sich wirtschaftliche Nachteile, kleine Losgrößen bei Ausschreibungen und eine eingeschränkte Flexibilität in der Produktion ergeben.

Lignofast®, die neue Klebstofftechnologie, die kurze Presszeiten im Sekundenbereich erlaubt, ist deshalb ein Quantensprung für die Verarbeitung in der Holzindustrie.

1.1 ultraschneller Klebstoff: Lignofast®

- Duroplast, vernetzendes 2K System;
- Der Klebstoff bindet sekundenschnell ab
- Nach dem Fügen ist eine sofortige Weiterverarbeitung möglich.
- Es wird keine Zwischenlagerung und kein Konditionieren benötigt.
- Die PUR-Technologie wird übertroffen.

1.2 Lignofast®: 2K PUR-Polyurea

- Die Polyaddition ergibt eine sehr hohe Reaktionsgeschwindigkeit.
- vernetzt kalt;
- ist ein 100% Solid System (kein Wasser);
- Klebstoffeigenschaften können eingestellt werden, z.B. hart, elastisch, Farbe, etc..
- kein Formaldehyd;
- im vernetzten/ausgehärteten Zustand keine Emissionen vorhanden;
- UV-stabil;

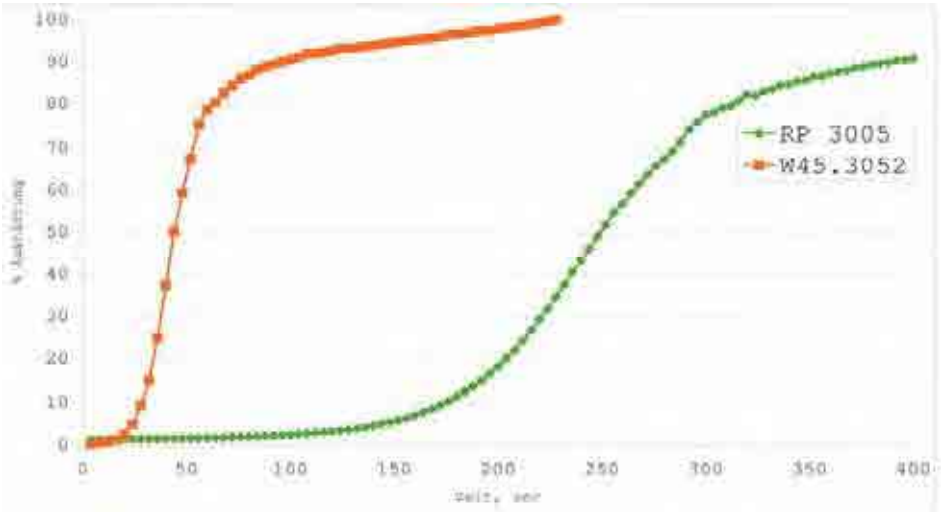


Abb.1: hohe Reaktionsgeschwindigkeit. Messungen mit Trombometer. Vergleich zeigt Lignofast® W45.3052, offene Zeit 15 Sekunden / 2K PUR-Technologie

2 Neue Arbeitsprozesse in der Herstellung sind notwendig

Während der Entwicklung wurde rasch klar, dass die hohe Reaktionsgeschwindigkeit der neuen Klebstoffe auch neue Misch- und Verfahrensprozesse bedingen. Herkömmliche Methoden und Anlagen sind dafür ungeeignet. Gefragt sind spezielle Mischer für die zwei Komponenten und kontinuierliche Pressprozesse beim Fügen. Damit sind bereits kommerzielle Anwendungsgebiete definiert: Polyurea-Klebstoffe eignen sich nicht für eine manuelle Verarbeitung, zeigen aber ein vielversprechendes Potential für automatisierte Hochgeschwindigkeitsprozesse.

Die Geräte zum Mischen von Isocyanat und die Polyamin-Komponenten müssen spezifisch auf die hohe Reaktionsgeschwindigkeit ausgelegt sein. Gefragt ist ein schneller Reinigungsmechanismus für die Mischkammer. Denn falls der Mischprozess unterbrochen wird, müssen die gemischten Komponenten vor der Vernetzung auszustoßen sein.

3 Lignofast® mischen und auftragen

Es sind derzeit folgende Verarbeitungsverfahren möglich: dynamischer Niederdruck-Mischer oder Hochdruck-Gegenstromverfahren.

Abb. 2: Raupenauftrag

Abb. 3: Sprühauftrag

Durchgeführte Versuche zeigen, dass sich für viele Applikationen das Hochdruck-Gegenstrom-Verfahren am besten eignet. Die Vorteile sind:

- mechanische Reinigung, kein Reinigungsmittel notwendig
- stop and go innerhalb 1 Sekunde möglich

4 Eigenschaften von Lignofast® am Beispiel W45.3051

Zugscherfestigkeit	12 MPa, DIN 1465 (Buche)
Max. Zugspannung	25 MPa
Shore- D- Härte	70
Elongation	150%
E-Moduls	900 MPa
Temperatur-Resistance	WATT 91, 9 N/mm^2

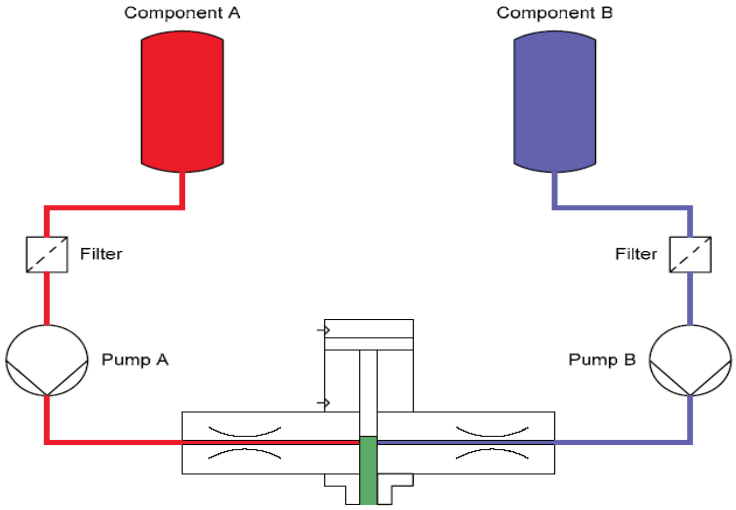


Abb. 4: Schema eines Hochdruck-Gegenstrom-mischers

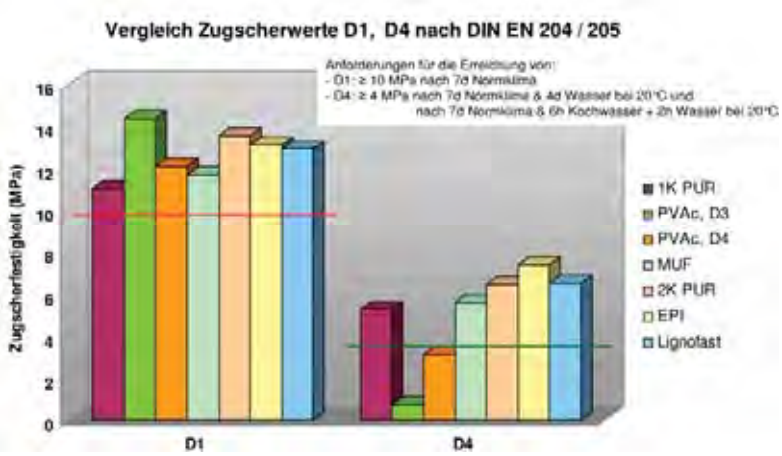


Abb. 5: Auch im Vergleich zu den heute eingesetzten Klebstofftechnologien ergeben sich interessante Werte

5 Machbarkeitsnachweis: Hochgeschwindigkeitsproduktion von Massivholzplatten

Technische Aspekte

Während die einzelnen Prozessschritte im Labor und im Pilotverfahren erfolgreich simuliert werden konnten, fehlte noch der Funktionsnachweis für das gesamte System in einer industriellen Fertigungsstrasse. Für solche Versuche existierte keine kommerzielle Anlage. Deshalb war es notwendig, einen Hersteller von kontinuierlichen Pressen (Grecon Dimter) zur Teilnahme am Konsortium zu gewinnen, das aus dem Hersteller des Mischers und Auftragsgerätes (Dosiplast) und nolax (Collano) bestand. Die Verfahrenstechnik wurde durch die Berner Fachhochschule in Biel, begleitet.

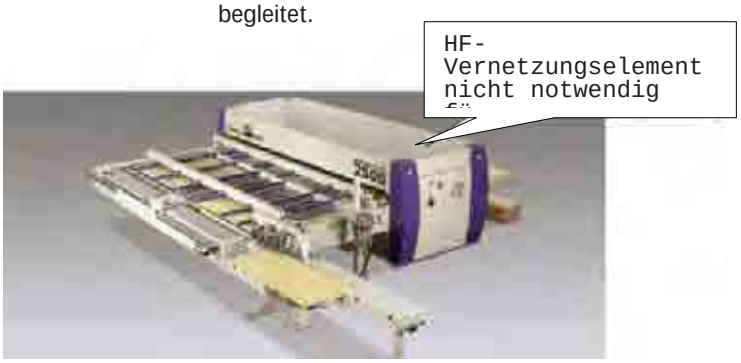


Abb. 6: Kontinuierliche Presse

Am häufigsten werden auf solchen Pressen die PVAc-Klebstoffe eingesetzt. Dies bedingt aber den Einsatz eines Hochfrequenz-Elementes, um entsprechend rasch eine genügend hohe Anfangshaftung zu erreichen. Dies ist für ein rasches «Handling» der Platten notwendig. Der Mischer und das Auftragsgerät wurden seitlich, horizontal, zwischen dem Lamellen-Magazin und der Presse installiert. (Auf das Hochfrequenz-Element konnte verzichtet werden.) An sich wäre ein vertikaler Klebstoffauftrag zu bevorzugen, was aber eine Modifikation der Presse notwendig machen würde. Obwohl das System nur provisorisch installiert war, ließen sich Platten mit einem Vorschub von 60 Metern je Minute produzieren.

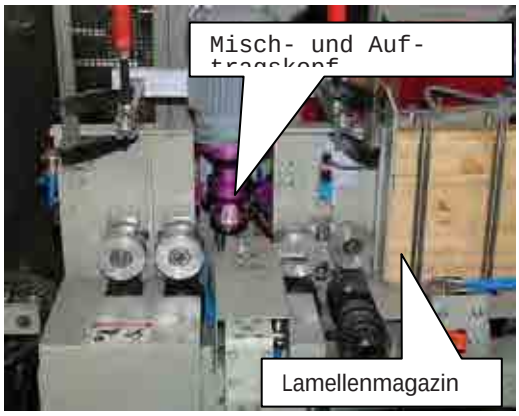


Abb. 7: Beleimungsstation (Hochgeschwindigkeitsmischer)

6 Wirtschaftlichkeit

Damit ein neues Verfahren vom Markt akzeptiert wird, muss sein wirtschaftlicher Nutzen glaubwürdig aufgezeigt werden. Eine Grobkalkulation zeigt unter folgenden Annahmen ein veilversprechendes Bild:

- Platten-Dimension: 1.5 m x 5 m, 21 mm dick
- Heutiges Verfahren: 1 Presse, beheizt, 2 Schichten, Jahresleistung = 500 000 m^2
- Neues Verfahren: 1 Presse, 1 Schicht, Jahresleistung 1.5 Mio. m^2, V 60 m

Mit der Hälfte der heute eingesetzten Personalkapazität lässt sich also die Produktionskapazität mindestens verdoppeln, wenn nicht sogar verdreifachen. Dies selbstverständlich unter der Voraussetzung, dass die vor- und nachgelagerten Operationen entsprechend an die Produktionsgeschwindigkeit angepasst werden können.

7 Gesundheit und Sicherheit

Isocyanate und Amine sind reaktive, chemische Substanzen, die für Mensch und Umwelt schädlich sein können. Um eine Kontaminierung von Mensch und Umwelt zu verhindern, sind Polyurea-Klebstoffe in einem abgeschlossenen Bereich zu verarbeiten. Das ausreagierte Polyurea ist jedoch völlig inert, d.h. es liegen keine Emissionen oberhalb der Nachweisgrenzen vor. Zwei Klebstoffformulierungen wurden bei einem akkreditierten und unabhängigen Labor auf Langzeit- und auf Kurzzeitverhalten geprüft. Die Prüfung erfolgte nach ISO Standard 16000-9 und 16000-11. Die Resultate zeigen, dass die Emissionen unter der Nachweisgrenze liegen. Zusätzlich wurden Arbeitsplatzbedingungen für einen Klebstoffauftrag mit Polyurea simuliert. Für beide Formulierungen lag die Konzentration der Isocyanate und der Amine eine Zehnerpotenz unter der erlaubten «Maximalen Arbeitsplatz Konzentration», dem MAK-Wert. Dies ist selbst dann der Fall, wenn ein «worst case scenario» angenommen wird. Worst case bedeutet im vorliegenden Fall, dass sämtliche aus dem Muster stammenden Emissionen von einer Person innert 15 Minuten inhaliert werden. [1]

8 Zusammenfassung

Die nolax AG (Collano Gruppe) besitzt heute mit Lignofast® eine neue und vielversprechende Klebstofftechnologie für die Holzindustrie. Derzeit werden die Auftragsgeräte noch modifiziert. Sie werden ab 2010 zur seriellen Produktion zur Verfügung stehen. Künftig kann so bei kontinuierlichen Produktionsprozessen ein bremsender Engpass verhindert werden, denn Lignofast® bietet kurze Presszeiten im Sekundenbereich. Der Klebstoff entspricht einem «Solid System», kommt also ohne Wasser aus. Weil dieses neue Zwei-Komponentensystem auf einem Kaltpressverfahren beruht, entfällt der Wärmestress für das Holz. Die Produkte lassen sich ohne Zwischenlagerung sofort weiter verarbeiten, entsprechend der Forderung einer Produktion «just in time». Lignofast® verklebt zudem nicht nur Holz mit Holz, sondern auch mit Kunststoffen, Metall usw.

Quellen

[1] Bericht eurofins Nr. 760565; auf Anfrage erhältlich

[2] Patentantrag Lignofast, Nr. WO 2008 / 095915 / A1

[3] World Adhesive Conference 2008, Polyureas: Ultra Fast Structural Adhesives, Dr. Willi Schwotzer

[3] SAH-Bulletin 2-08, Polyureas Lignofast – ein Quantensprung in der Klebstofftechnologie, Dr. Willi Schwotzer

10.2 Kleber, Bindemittel

Elastisch nachgiebige Klebefuge für Brettschichtholz

Marc Donzé, Maurice Brunner

Der Einfluss einer elastisch nachgiebigen Klebefuge auf der Biegezugseite auf die Spannungsverteilung im Holzquerschnitt wurde untersucht. Bei einer optimalen Positionierung der speziellen Klebefuge im Querschnitt kann theoretisch die Biegetragfähigkeit gegenüber dem klassischen Balken um bis zu 20% erhöht werden. Die erforderlichen Eigenschaften der Klebefuge werden studiert, damit der am Projekt mitbeteiligte Klebstoffhersteller Anhaltspunkte für seine Entwicklungen hinsichtlich des klassischen Zug-Scher-Versuches mit kleinen Buchenproben erhält. Der Klebstofffirma gelingt es, eine Klebefuge mit den verlangten Eigenschaften herzustellen. Damit zeigt sich eine neue Möglichkeit zur Leistungssteigerung von Holzkonstruktionen.

1 Einführung

Seit der Erfindung vor hundert Jahren in Deutschland wurde das Brettschichtholz kontinuierlich verbessert, wie in zahlreichen wissenschaftlichen Studien und Publikationen bewiesen. Auch auf der Klebstoffseite hat sich vieles geändert. Speziell in der High-Tech-Industrie wird eine Vielzahl von Klebstoffen mit unterschiedlichen Eigenschaften eingesetzt. Die Holzbranche ist allerdings eher zurückhaltend und verwendet nach wie vor fast ausschliesslich steife Klebstoffe. Die Autoren weichen von dieser bewährten Philosophie ab und prüfen den Einsatz einer neuen, nachgiebigen Klebefuge im Brettschichtholz, um dessen Biegetragverhalten günstig zu verändern. Das Nachgeben der Klebefuge führt zu zwei Zugspannungsspitzen gerade oberhalb der Klebefuge sowie auf der unteren Balkenseite (Abb. 1).

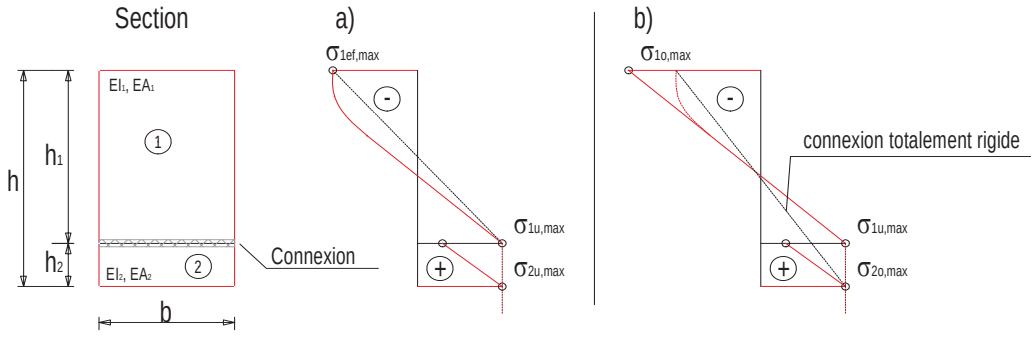


Abb. 1: Zur Spannungsverteilung im BSH-Balken mit einer nachgiebigen Klebefuge

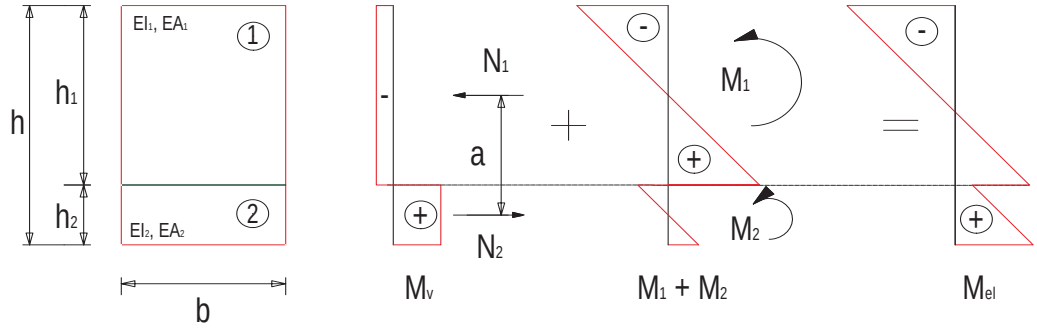


Abb. 2: Spannungsverteilung in einem zweiteiligen Holzbalken mit elastischer Verbindung

In der Biegezugzone vergrößert sich damit die totale Zugkraft. Mit den größeren inneren Kräften ist es möglich, den Biegewiderstand zu erhöhen.

Auf der Biegedruckseite muss mit einer Plastifizierung gerechnet werden, um die Spannungsspitzen abzubauen. Der Einfachheit halber werden in diesem Artikel die Betrachtungen mit der klassischen Annahme der linearen Spannungsverteilung gemäss dem bekannten Gamma-Verfahren erfolgen.

2 Optimierung des Biegewiderstandes eines zweiteiligen Balkens

Die in Abb. 2 dargestellte, klassische Spannungsverteilung in einem zweiteiligen Holzbalken kann hinsichtlich Biegetragfähigkeit optimiert werden. Da beim Holzbalken bekanntlich die Biegezugseite kritisch ist, werden sie hiermit bei den beiden Balkenteilen 1 und 2 genauer untersucht. Gemäss den Regeln des bekannten Gamma-Verfahrens [3] [4] stehen die Spannungen infolge Biegemomenten in den beiden Teilen in einem festen Verhältnis wie folgt:

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{EI_1}{EI_2} = \frac{h_1^3}{h_2^3} \qquad \frac{W_1}{W_2} = \frac{h_1^2}{h_2^2}$$

$$\sigma_{M,i} = \frac{M_i}{W_i} \Rightarrow \frac{\sigma_{M1}}{\sigma_{M2}} = \frac{h_1}{h_2}$$

Auch die Spannungen infolge der Normalkraft stehen in einem festen Verhältnis zueinander wie folgt:

$$\sigma_{N,i} = \frac{N}{A_i} \Rightarrow \frac{\sigma_{N1}}{\sigma_{N2}} = \frac{h_2}{h_1}$$

Unter der Annahme, dass die beiden Zugseiten gleichzeitig die Biegefestigkeit f_{md} erreichen, erhält man zwei Gleichungen mit zwei Unbekannten:

$$\sigma_{2,total} = \sigma_{N2} + \sigma_{M2} = f_{md}$$

$$\sigma_{1,total} = \frac{h_1}{h_2} \cdot \sigma_{M2} - \frac{h_2}{h_1} \cdot \sigma_{N2} = f_{md}$$

Dies führt zu folgenden Lösungen:

$$\sigma_{M2} = f_M \cdot \frac{\left(1-2\left(\frac{h_2}{h}\right)\right)\cdot\left(\frac{h_2}{h}\right)}{\left[\left(1-2\left(\frac{h_2}{h}\right)+2\left(\frac{h_2}{h}\right)^2\right)\right]} \qquad \sigma_{N2} = f_M \cdot \frac{\left(1-3\left(\frac{h_2}{h}\right)+4\left(\frac{h_2}{h}\right)^2\right)}{\left[\left(1-2\left(\frac{h_2}{h}\right)+2\left(\frac{h_2}{h}\right)^2\right)\right]}$$

$$\sigma_{M1} = f_M \cdot \frac{\left(1-2\left(\frac{h_2}{h}\right)\right)\cdot\left[1-\left(\frac{h_2}{h}\right)\right]}{\left[\left(1-2\left(\frac{h_2}{h}\right)+2\left(\frac{h_2}{h}\right)^2\right)\right]} \qquad \sigma_{N1} = f_M \cdot \frac{\left(1-3\left(\frac{h_2}{h}\right)+4\left(\frac{h_2}{h}\right)^2\right)\cdot\left(\frac{h_2}{h}\right)}{\left[\left(1-2\left(\frac{h_2}{h}\right)+2\left(\frac{h_2}{h}\right)^2\right)\right]\cdot\left[1-\left(\frac{h_2}{h}\right)\right]}$$

Die Spannungen führen zu folgenden Teilmomenten:

$$M_1 = \sigma_{M1} \cdot W_1 = f_M \cdot \frac{bh^2}{6} \frac{\left(1-2\left(\frac{h_2}{h}\right)\right)\cdot\left[1-\left(\frac{h_2}{h}\right)\right]^3}{\left[\left(1-2\left(\frac{h_2}{h}\right)+2\left(\frac{h_2}{h}\right)^2\right)\right]}$$

$$M_2 = \sigma_{M2} \cdot W_2 = f_M \cdot \frac{bh^2}{6} \frac{\left(1-2\left(\frac{h_2}{h}\right)\right)\cdot\left(\frac{h_2}{h}\right)^3}{\left[\left(1-2\left(\frac{h_2}{h}\right)+2\left(\frac{h_2}{h}\right)^2\right)\right]}$$

$$M_V = N \cdot \left(\frac{h}{2}\right) = \left(\sigma_{N2} \cdot A_2\right) \cdot \left(\frac{h}{2}\right) = f_M \cdot \frac{bh^2}{6} \frac{\left[3 \cdot \left(1-3\left(\frac{h_2}{h}\right)+4\left(\frac{h_2}{h}\right)^2\right)\cdot\left(\frac{h_2}{h}\right)\right]}{\left[\left(1-2\left(\frac{h_2}{h}\right)+2\left(\frac{h_2}{h}\right)^2\right)\right]}$$

Schließlich erhält man das folgende Moment im Bruchzustand:

$$M_u = M_V + M_1 + M_2 \qquad M_u\left(\frac{h_2}{h}\right) = \frac{f_{m,u} \cdot b \cdot h^2}{6} \cdot g\left(\frac{h_2}{h}\right)$$

$$g(h_2) = \frac{\left[1 - 6 \cdot \left(\frac{h_2}{h}\right)^2 + 6 \cdot \left(\frac{h_2}{h}\right)^3\right]}{\left[1 - 2 \cdot \left(\frac{h_2}{h}\right) + 2 \cdot \left(\frac{h_2}{h}\right)^2\right]} \qquad \left\{0 \le \frac{h_2}{h} \le 0.5\right\}$$

Durch das Differenzieren erhält man den maximalen Wert für g(h2): $g\left(\frac{h_2}{h} = 0.175\right) = 1.193$

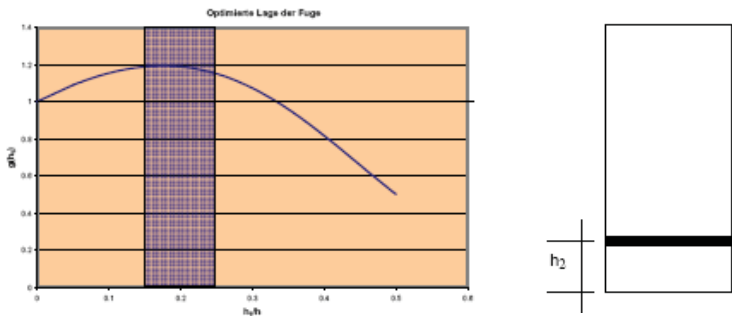


Abb. 3: Vergrösserungsfaktor des Biegewiderstandes eines BSH-Balkens als Funktion der Position der nachgiebigen Klebefuge

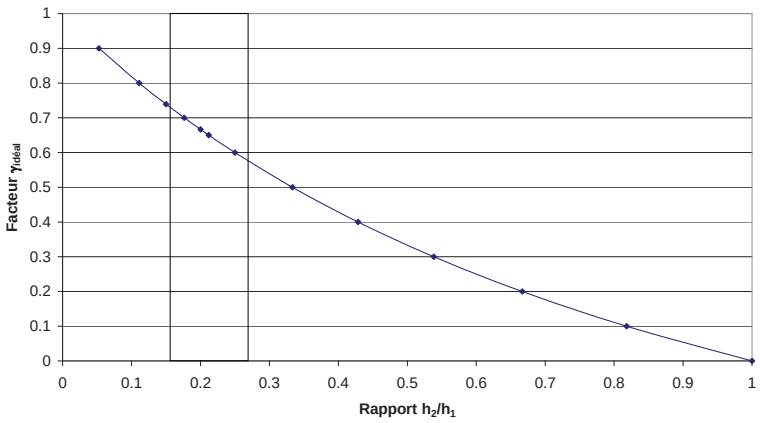


Abb. 4: Der Gamma-Wert $\gamma_{idéal}$ als Funktion von h_2/h. schraffiert: Der ideale Bereich hinsichtlich optimierter Biegetragfähigkeit

Die Biegesteifigkeit des hinsichtlich Biegetragfähigkeit optimierten, zweiteiligen Balkens wird gemäss Abb. 5 um ca. 20 % reduziert:

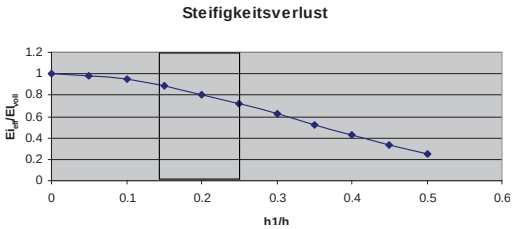


Abb. 5: Steifigkeitsverlust des zweiteiligen Balkens. Markiert: Optimierter Bereich

3 Erforderliche Eigenschaften der Klebefuge

Das Tragverhalten von Klebefugen wird im klassischen Zug-Scher-Versuch mit kleinen Holzklötzen aus Buche geprüft (Abb. 6). Die Klebefuge besitzt gemäss Eurocode eine Breite von b = 20 mm und eine Länge von ℓ_c = 10 mm. Typischerweise misst man die Kraft F (N) und die Schubdeformation v (mm) der Klebefuge. In diesem Artikel interessiert insbesondere die elastische Phase der Klebefuge: Die nachfolgende Abflachung der Kraft-Deformationskurve fällt weniger ins Gewicht, weil sie in der Regel erst nach dem Bruch des Holzes erfolgt.

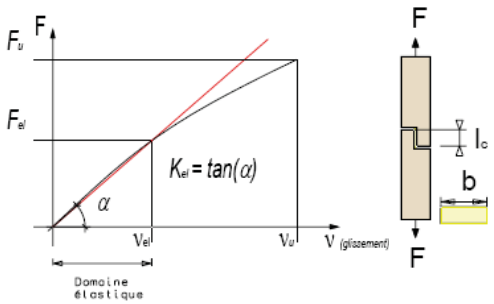


Abb. 6: Klassischer Zug-Scher-Versuch zur Charakterisierung einer Klebefuge: Links das Kraft-Deformations-Verhalten.

Die anfängliche Neigung der Kraft-Deformationslinie wird wie folgt ermittelt:

$$K_{el} = \frac{F_{el}}{v_{el}} \rightarrow \frac{N}{mm}$$

Bei einem Biegebalken sind die Abmessungen viel grösser als bei den kleinen Prüfkörpern. Für die Umrechung des Versuchswertes auf einen Balken muss die Gleichung wie folgt umgeformt werden:

$$k_{el} = \frac{K_{el}}{A_c} \cdot b \rightarrow \qquad \frac{k_{el}}{b} = \frac{K_{el}}{A_c}$$

k_{el}: Steifigkeit der Klebeverbindung [N/mm^2]
K_{el}: Schubmodul [N/mm]
A_c: Klebefläche des Zug-Scher-Prüfkörpers [meist 200 mm^2]
b: Breite der Klebefläche des Prüfkörpers [meist 20 mm]

Für die Entwicklung einer Klebefuge braucht der Klebstoffhersteller Angaben zu K_{el}. Dieser kann aus dem k_{el}-Wert gemäss Gamma-Verfahren (Abb. 4) ermittelt werden, mit a=h/2:

$$k_{el} = \frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot b \cdot h \cdot \left(\frac{h_2}{h}\right)^2 \cdot \left[1 + \left(\frac{h_2}{h}\right)\right]}{L^2 \cdot \left[1 - 2 \cdot \left(\frac{h_2}{h}\right)\right]}$$

$$\frac{k_{el}}{b} = \frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot h \cdot \left(\frac{h_2}{h}\right)^2 \cdot \left[1 + \left(\frac{h_2}{h}\right)\right]}{L^2 \cdot \left[1 - 2 \cdot \left(\frac{h_2}{h}\right)\right]}$$

Die gesuchte Steifigkeit (k_{el}/b) der Klebefuge hängt somit von verschiedenen Faktoren ab. In der Baupraxis liegt L / h meist zwischen 15 und 25. Für (L / h) ≈ 20 gilt ein Mittelwert von (k_{el}/b) ≈ 0.3. Der „Balken-Wert" muss nun durch Multiplikation mit der Fläche der Klebefuge (200 mm^2) für die kleinen Zug-Scher-Prüfkörper umgerechnet werden. Damit konnte dem Klebstoffhersteller folgende Kennzahl für die Auswahl seiner verschiedenen Mischungen gegeben werden: K_e = 60 N/mm

Diese Angabe dient dem Klebstoffhersteller als Grundlage für die Herstellung von verschiedenen Klebstoffmischungen. Über 100 Klebstoffmischungen sind hergestellt und mit dem klassischen Zug-Scher-Versuch geprüft worden. In Abb. 7 ist ersichtlich, dass es dem Industriepartner tatsächlich gelingt, Klebefugen herzustellen, welche den Anforderungen hinsichtlich Neigung des Kraft-Deformations-Verhaltens und der minimalen Deformation genügen.

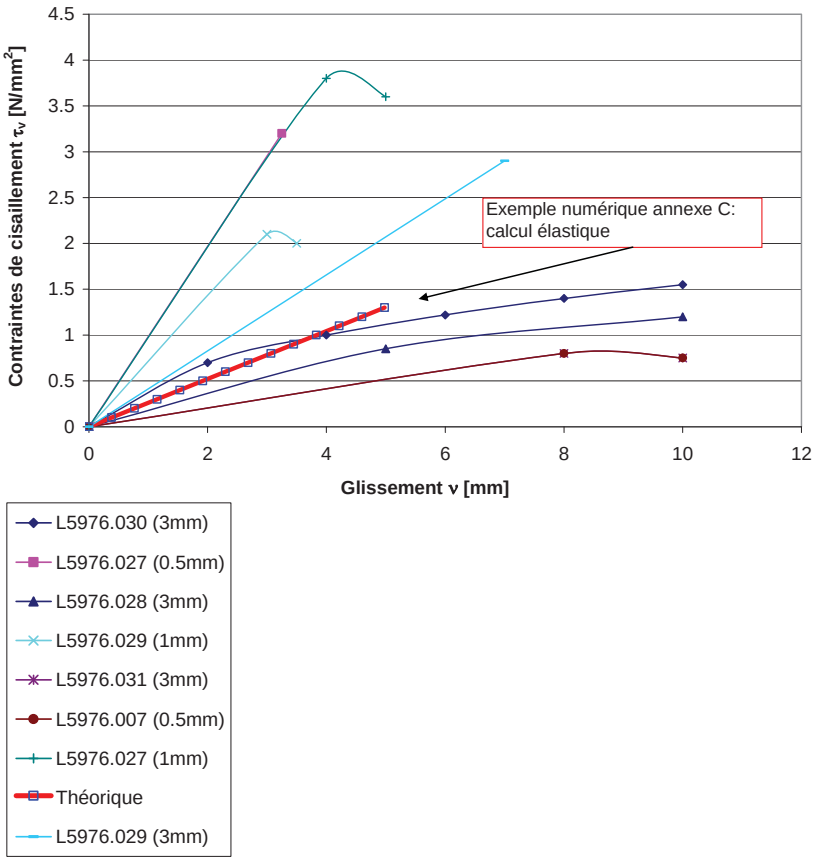


Abb. 7: Es gelingt dem Klebstoffhersteller, Klebefugen mit ähnlichen Eigenschaften wie denjenigen der theoretischen Abwägungen herzustellen.

4 Schlussfolgerungen

Mit den einfachen Annahmen, welche die aktuelle Holzbaunormen (EC) nicht verletzen, zeigen die Berechnungen, dass mit einer elastisch nachgiebigen Klebefuge die Biegetragfähigkeit von Brettschichtholz erhöht werden könnte. Es ist dem am Projekt mitbeteiligten Industriepartner gelungen, Klebefugen mit den erforderlichen Eigenschaften herzustellen. Dies ist ein erster Schritt zu einer Leistungssteigerung im Holzbau. Das weitere Vorgehen betrifft Überlegungen für mögliche Einsatzgebiete sowie eine Auflistung der zusätzlichen wissenschaftlichen Abklärungen. Abb. 8 vergleicht das Tragverhalten eines einfach gelagerten Balkens unter gleichmäßiger Belastung: Der zweiteilige Balken mit elastischer Klebefuge weist im Vergleich zum klassischen Brettschichtholz mit dem gleichen Querschnitt eine um bis 20 % höhere Biegetragfähigkeit aber eine auf 80 % reduzierte Steifigkeit auf. Die Bruchdeformation des zweiteiligen Balkens ist auch bis zu 50% höher.

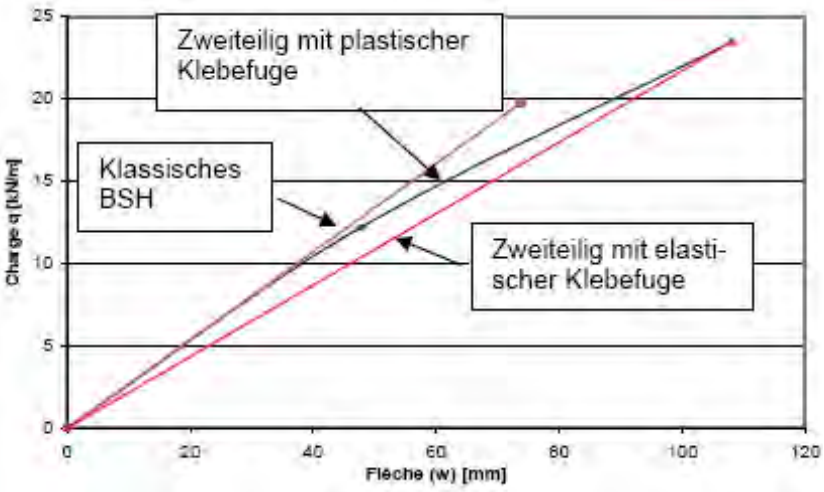


Abb. 8: Das Tragverhalten des zweiteiligen Balkens mit optimierter Klebefuge im Vergleich zum klassischen Brettschichtholz.

Die blaue Linie zeigt das Kraft-Deformations-Verhalten eines in diesem Artikel nicht näher beschriebenen zweiteiligen Balkens mit *plastischer* Klebefuge. Damit lässt sich der zweiteilige Balken mit optimierter Klebefuge dort einsetzen, wo eine grössere Biegetragfähigkeit und/oder größere Deformationen gefragt sind. Da die Deformationen im Hochbau häufig für die Bemessung ausschlaggebend sind, handelt es sich somit eher um einen Nischenmarkt, z.B. für die Haupttragelemente des Brückenbaus, für Dachkonstruktionen im Hallenbau oder bei der Instandsetzung. Ebenso könnten die grösseren Bruchdeformationen bei erdbebengefährdeten Tragelementen Vorteile bringen.

Beim Durchlaufbalken ist eine zusätzliche Steigerung der Biegetragfähigkeit durch Schnittkraftüberlagerungen möglich. Dies kann z.B. durch eine beschränkte Länge der Klebefuge über dem mittleren Auflager erreicht werden, damit in diesem Bereich eine grössere Rotation ermöglicht wird (Abb. 9).

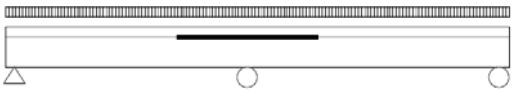


Abb. 9: Möglichkeit der Schnittkraftumlagerung für die zusätzliche Steigerung der Tragfähigkeit des Zweifeldbalkens mit einer nachgiebigen Klebefuge über dem mittleren Auflager

In weiteren Arbeiten soll der Volumeneinfluss untersucht werden. Versuche mit Bauholz müssen die theoretischen Ansätze bestätigen. Die ausgewählten Klebefugen müssen beweisen, dass sie den vielfältigen Anforderungen der Baupraxis wie z.B. Dauerhaftigkeit gewachsen sind. Dafür ist ebenfalls eine Serie von weiteren Versuchen geplant.

Quellen

[1] Aicher, S. (1984): Festigkeitsuntersuchungen an platten- und scheibenbeanspruchten Sandwichelementen aus Spanplattendeckschichten und einem Polyurethan-Hartschaumkern. Hamburg: Dissertation, Fachbereich Biologie der Universität Hamburg.

[2] Blass, H.-J.; Ehlbeck, J.; Linden, M. L. R.; Schlager, M. (1996): Trag- und Verformungsverhalten von Holz-Beton-Verbundkonstruktionen, Bauen mit Holz (1996), v.5.

[3] Bodig, J.; Jayne, B. (1982): Mechanics of Wood and Wood Composites. Van Nostrand Reinhold Company, New York.

[4] Briger, H. (2004): Zur Theorie und Numerik des nichtlinearen Verhaltens von Verbundträgern. Dissertation, Mitteilungen 54-04, Institut für Statik der Universität Hannover.

[5] Brunner, M. (2000): "On the plastic design of timber beams with a complex cross-section". WCTE2000, Whistler, Canada.

[6] runner, M. (2002): "Development of a suitable adhesive to attach prestressed artificial fibres to glulam beams". COST Action E13, International Symposium, Vienna, Austria.

[7] Brunner, M; Engels I.: "Special Adhesive for the Production of ductile Glulam Beams". WCTE 2006, Portland, USA.

[8] Ceccotti, A. (2002): Composite concrete-timber structures. Dans Prog. Struct. Engng Mater. 2002, v.4, pages 264-275.

[9] Ehlbeck, J. (1967): Durchbiegungen und Spannungen von Biegeträgern aus Holz unter Berücksichtigung der Schubverformung, Dissertation Karlsruhe.

[10] Frangi, A.: Elasto-Plastic Model for Timber-Concrete Composite Beams with Ductile Connection, Science and Technology – Structural Engineering International (01/2003)

[11] Grosse, M.; Rautenstrauch, K., Schlegel, R.: Numerische Modellierung von Holz und Verbindungselementen in Holz-Beton-Verbundkonstruktionen. Dans Bautechnik 82 (2005).

[12] Hartmann, H. (2000): Die Berücksichtigung elastischplastischer Verformungseigenschaften mechanischer Verbindungsmittel bei Verbundkonstruktionen im Ingenieurholzbau. Berichte aus dem Konstruktiven Ingenieurbau – Technische Universität München.

[13] Möhler, K. (1956): Über das Tragverhalten von Biegeträgern und Drückstäben mit zusammengesetztem Querschnitt und nachgiebigen Verbindungsmitteln, Dissertation, Karlsruhe.

[14] Schmidt, J.; Kaliske, M.; Schneider, W.; Thiele, R.: Bemessungsvorschlag für Holz/Beton-Verbundbalken unter Beachtung abgestufter Verbindungsmittelabstände. Dans Bautechnik 81 (2004).

10.2 Kleber, Bindemittel

Optimierung geklebter Holzverbindungen unter Berücksichtigung der zylindrischen Anisotropie

Marco Schrank, Simon Aicher

1 Einführung

Verbindungen im Holzbau lassen sich übergeordnet in zimmermannsmäßige, mechanische und geklebte Verbindungen unterteilen. Die beiden Erstgenannten treten in den unterschiedlichsten Formen auf und werden hier nicht näher besprochen. Innerhalb der geklebten Verbindungen sind bautechnisch besonders die Keilzinkenverbindung, die Flächenverklebung von Brettlamellen, z.B. in Brettschichtholz (BSH) und die sogenannte Blockverklebung von mehreren BSH-Bauteilen relevant. Zunehmende Anwendung erlangen daneben eingeklebte Gewindestangen. Besonders im Bereich der Trägersanierung [1] und bei Durchbrüchen können mit eingeklebten Gewindestangen sehr gute Verbesserungen der Tragfähigkeit erzielt werden. Die Eigenschaften der Flächen- und Blockverklebung hängen unter anderem von den Eigenschaften der zu verklebenden Oberflächen ab, insbesondere von deren Rauhigkeit und Oberflächenspannung. Die Tragfähigkeit eingeklebter Gewindestangen wird neben den Klebstoff- und Bohrlochoberflächeneigenschaften durch den Umfang der Stange, deren Profil sowie dem Lochspiel bestimmt [2]. Bei der Keilzinkenverbindung, die im Grunde eine mehrfache Schäftungsverbindung darstellt, wird durch Ausfräsen der Zinken die zu verklebende Fläche vergrößert. Während die mechanische Fügung meistens bauseitig ausgeführt wird und in der Herstellung vergleichsweise robust gegenüber Imperfektionen ist, erfordert die Verklebung eine werkseitige, industrielle Herstellung bei möglichst genauer Einhaltung der Herstellungsparameter, u.a. Klebstoffmischungsverhältnis und -mengen, Oberflächen- und Raumtemperatur, offene und geschlossene Antrockenzeit sowie Pressdruck. Weiter gelten hohe Anforderungen an die Passgenauigkeit der Fügeteile. Für die Optimierung von Klebeverbindungen gibt es im wesentlichen zwei Ansatzpunkte. Zum einen die Werkstoffeigenschaften des Klebstoffes (Festigkeit, Steifigkeit, Viskosität und Dauerhaftigkeit), die grundsätzlich für alle Klebverbindungen von Bedeutung sind und hier nicht näher betrachtet werden, sowie zum anderen die geometrische Ausbildung der Verbindung selbst [3], [4]. Hierbei ist nicht nur der rein geometrische Aspekt zu sehen, sondern insbesondere das Zusammenspiel von Form und Jahrringlage. Die Optimierung von Holzbauteilen bezüglich auftretender Spannungen bedarf deshalb im Gegensatz zu isotropen Werkstoffen wie Stahl einer Berücksichtigung der Jahrringlage. Die Optimierung der Geometrie beispielsweise einer Keilzinkenverbindung stellt gegenüber einer vergleichbaren Aufgabenstellung in isotropem Material eine komplexe Aufgabe dar, da sich durch die Variation der Jahrringlage auch bei geometrisch identischen Systemen unterschiedliche Versagensmechanismen ausbilden können.

2 Einfluss der zylindrischen Anisotropie

Bedingt durch die Wuchseigenschaften des Baumes besitzt der Werkstoff Holz eine annähernd zylindrische Anisotropie. Die Verzerrungen und Spannungen im Werkstoff lassen sich durch die Tensoren

$$\boldsymbol{\varepsilon} = \begin{bmatrix} \varepsilon_{11} & \varepsilon_{12} & \varepsilon_{13} \\ \varepsilon_{21} & \varepsilon_{22} & \varepsilon_{23} \\ \varepsilon_{31} & \varepsilon_{32} & \varepsilon_{33} \end{bmatrix}, \quad \boldsymbol{\sigma} = \begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \sigma_{13} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \sigma_{23} \\ \sigma_{31} & \sigma_{32} & \sigma_{33} \end{bmatrix} \tag{1}$$

beschreiben. Die Spannungen ergeben sich im linear-elastischen Fall durch die zweifache Verjüngung des Elastizitätstensors $\mathbb{C}$ mit den Verzerrungen $\boldsymbol{\varepsilon}$ zu

$$\boldsymbol{\sigma} = \mathbb{C} : \boldsymbol{\varepsilon}, \qquad \sigma_{ij} = \mathbb{C}_{ijkl} : \varepsilon_{kl} \tag{2}$$

Die Rotation der Tensoren erfolgt durch einen Tensor der orthogonalen Gruppe SO_3

$$\tilde{\boldsymbol{\sigma}} = \mathbf{Q}\boldsymbol{\sigma}\mathbf{Q}^{\mathrm{T}}, \quad \tilde{\boldsymbol{\varepsilon}} = \mathbf{Q}\boldsymbol{\varepsilon}\,\mathbf{Q}^{\mathrm{T}}, \quad \mathbf{Q}\mathbf{Q}^{\mathrm{T}} = \mathbf{I} \tag{3}$$

In Voigt-Notation ergibt sich der Elastizitätstensor im gedrehten Materialkoordinatensystem somit zu

$$\tilde{\boldsymbol{\sigma}} = \mathbf{Q}\boldsymbol{\sigma}, \quad \tilde{\boldsymbol{\varepsilon}} = \mathbf{Q}\boldsymbol{\varepsilon},$$
$$\overbrace{\mathbf{Q}^{\mathrm{T}}\tilde{\boldsymbol{\sigma}}}^{\boldsymbol{\sigma}} = \mathbf{C}\overbrace{\mathbf{Q}^{\mathrm{T}}\tilde{\boldsymbol{\varepsilon}}}^{\boldsymbol{\varepsilon}} \rightarrow \tilde{\boldsymbol{\sigma}} = \mathbf{Q}\mathbf{C}\mathbf{Q}^{\mathrm{T}}\tilde{\boldsymbol{\varepsilon}} \rightarrow \tilde{\mathbf{C}} = \mathbf{Q}\mathbf{C}\mathbf{Q}^{\mathrm{T}} \tag{4}$$

2.1 Homogenisierte Erfassung der Jahrringlage

Eine analytische Berechnung der Tensoren ist nur für sehr einfache Systeme möglich. Als numerisches Verfahren zur Berechnung von Strukturen mit komplexen Geometrie- bzw. Materialeigenschaften hat sich die Methode der Finiten Elemente bewährt. Um die Anisotropie des Werkstoffes zu berücksichtigen, werden die Materialkoordinatensysteme in den Integrationspunkten entsprechend der Jahrringstruktur transformiert. Dies kann vereinfachend auch elementweise durchgeführt werden, (Abb. 1 und Abb. 2) Durch das Verschieben des Koordinatenursprungs kann somit eine nahezu beliebige Jahrringlage angenähert werden.

Im folgenden werden exemplarisch die in Abb. 3 bis Abb. 6 dargestellten Jahrringkonfigurationen Halbholz (HH), Rift (R), Halbrift (HR) und Flader (F) betrachtet. Der Einfluss der Jahrringlagen läßt sich anschaulich am Beispiel eines prismatischen Prüfkörpers unter einer linienförmigen Zug- oder Druckbeanspruchung veranschaulichen (Abb. 7). Bei den symmetrischen Konfigurationen HH, R, F stellt sich eine quasisymmetrische Spannungsverteilung ein. Im Gegensatz dazu bewirkt die strukturelle Asymmetrie bei dem Querschnitt HR eine ausgeprägte Spannungsasymmetrie und somit eine Verschiebung des Spannungsminimums aus der Querschnittsmitte.

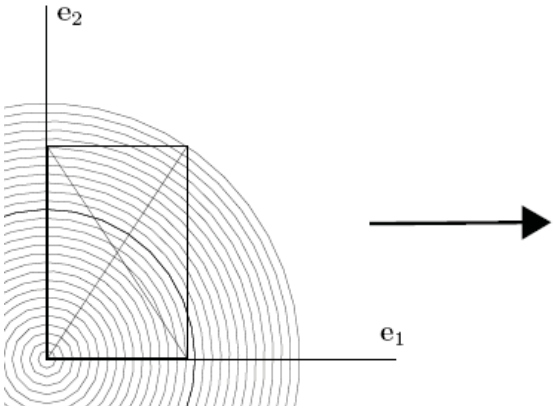


Abb. 1 (links): Jahrringkonfiguration

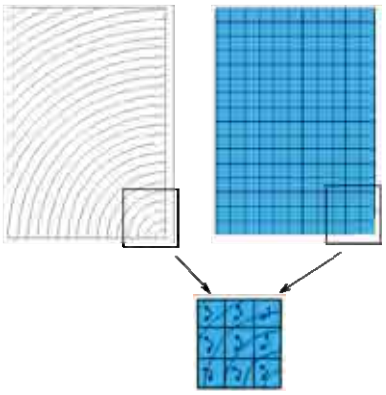


Abb. 2 (rechts): FE- Implementierung der Jahrringkonfiguration

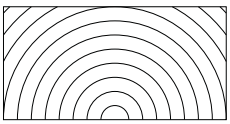


Abb. 3: Halbholz

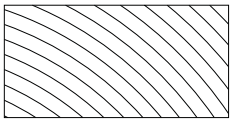


Abb. 4: Halbrift

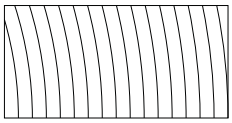


Abb. 5: Rift

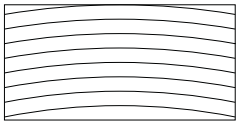


Abb. 6: Flader

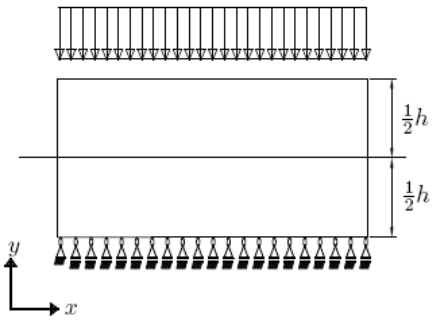


Abb. 7: Lagerung und Belastung eines prismatischen Probekörpers

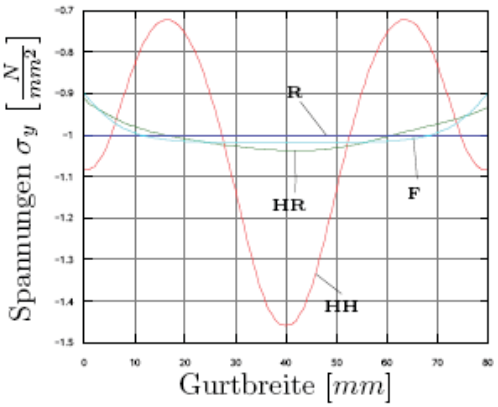


Abb. 8: Spannungsverteilung σ_y in x-Richtung auf halber Höhe bei unterschiedlichen Jahrringlagen im Querschnitt.

Im Hinblick auf die Verklebung bedeutet dies, dass es für jede Jahrringkonfiguration auch eine optimale Verklebungsgeometrie gibt. Deshalb kann es für Bauteile, bei denen produktionstechnisch unterschiedliche Jahrringstrukturen auftreten können, nur eine Kompromisslösung geben. Als Beispiel wird in Abschnitt 3 die Gurt-Steg-Keilzinkenverbindung eines Holzschalungsträgers angeführt. Hier sind sowohl im Gurt als auch im Steg unterschiedliche Jahrringlagen möglich; zudem kann durch Anpassung der Fräswerkzeuge die Keilzinkengeometrie in gewissem Rahmen eingestellt werden.

2.2 Kompositmodel

Das im Abschnitt 2.1 beschriebene Modell zur Approximation der Holzstruktur ist einfach zu implementieren und für die meisten Fragestellungen bei entsprechend feiner Vernetzung ausreichend genau. Es wird hierbei jedoch eine Homogenisierung der Materialeigenschaften vorgenommen, bei der die Abbildung der Jahrringstruktur und die dadurch bewirkten periodischen Steifigkeits- und Festigkeitsunterschiede in radialer Wuchsrichtung verloren gehen. Eine genauere Abbildung der Holzstruktur ermöglicht z.B. das Kompositmodel [5]. Hierbei werden die Jahrringe im FE-Model explizit abgebildet, wobei den Früh- und Spätholzschichten der einzelnen Jahrringe unterschiedliche Materialeigenschaften zugewiesen werden. Auf diese Weise können beliebige Jahrringstrukturen abgebildet werden, siehe Abb. 11. Betrachtet man den Zellaufbau in Abb. 9, so erkennt man, dass auf der Mikroebene für Früh- und Spätholz jeweils orthotropes Materialverhalten vorliegt. Für die Simulation wird jeweils ein transversal-isotropes Materialverhalten angenommen. Dies bedeutet, dass im Vergleich zur zylindrischen Anisotropie statt neun Steifigkeitsbezugsgrößen nun jeweils fünf Materialparameter benötigt werden. Implementierungsseitig bestehen im Wesentlichen zwei Ansätze. Im ersten Fall wird das System als ein zusammenhängendes Kontinuum betrachtet, wobei den einzelnen Jahrringen als Subzellen individuelle Materialeigenschaften zugewiesen werden. Bei dieser Vorgehensweise werden benachbarte Bereiche durch gemeinsame Knoten verbunden. Beim

zweiten Ansatz bildet jeder Jahrring ein eigenständiges Kontinuum mit individueller Vernetzung. Die einzelnen Netze werden durch 'tied contact' [6] verbunden. Somit ist es möglich, angrenzende Bereiche unabhängig voneinander zu vernetzen. Um eine konsistente Kinematik der beiden Flächen zu gewährleisten, werden zusätzliche, nichtlineare Gleichungen benötigt, die den Rechenaufwand deutlich erhöhen können [6]. Hier ist im Einzelfall die günstigere Lösung abzuwägen.

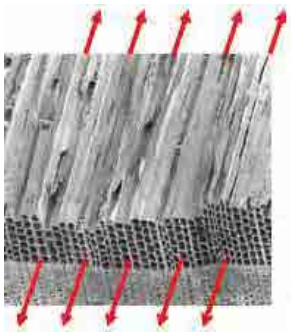


Abb. 9: Mikroebene

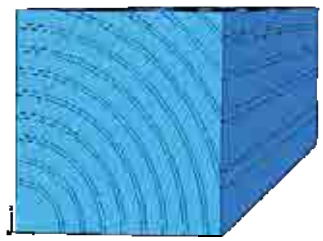


Abb. 10: Jahrringe

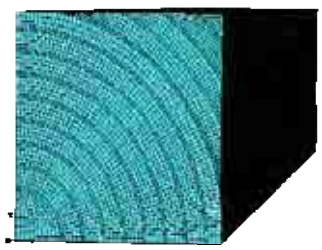


Abb. 11: FE-Diskretisierung

Bei Schädigungsvorgängen im Holz in Verbindung mit diskreten Rissen lassen sich die Rissbildung und der Rissfortschritt in zwei prinzipiell unterschiedliche Schädigungsmechanismen unterteilen [7]. Zum einen verläuft die Schädigung bei lokaler Zugbeanspruchung in radialer Richtung im Frühholz tangential den Jahrringgrenzen folgend. Bei Zugbeanspruchung in tangentialer Richtung ergeben sich radial verlaufende Risse in einem Interface zwischen den Zellwandungen. Speziell für den Fall der Schädigung bzw. Rissbildung in der spätholznahen Frühholzschicht bietet das Kompositmodell mit seinen definierten Jahrringen eine gute Basis zur Weiterentwicklung der Simulation bruchmechanischer Phänomene insbesondere mittels Kohäsivelementen. Diese werden weiter zur Simulation von Versagensphänomenen in Klebefugen eingesetzt. In anderen Werkstoffbereichen, beispielsweise dem Kleben von Metallen oder Kunststoffen, ist die Anwendung von Kohäsivelementen zur Simulation von Delaminationsproblemen mittlerweile eine Standardmethode [8]. Interessante Anwendungen im Holzbereich finden sich in [9], [10]. Zukünftiger Schwerpunkt der Arbeit wird es sein, die Modellparameter, vor allem im Hinblick auf die Anisotropie, anhand von Versuchen zu bestimmen und das Berechnungsmodell zu verifizieren. Somit wäre es möglich sich bei der Optimierungsrechnung auf ein spezifisch schädigungsrelevantes Kriterium zu beziehen.

Die im Rahmen dieser Arbeit vorgestellten Ergebnisse wurden mit dem zuerst beschriebenen Verfahren der homogenisierten Erfassung der Jahrringlage durchgeführt. Im weiteren Verlauf der Arbeiten ist ein Einbezug des Kompositmodells sowie der Implementierung von Kohäsivzonen zur Simulation von Schädigungsbereichen vorgesehen.

3 Optimierung von Klebeverbindungen am Beispiel einer Gurt-Steg-Keilzinkenverbindung eines Schalungsträgers

Im folgenden wird als Optimierung die mathematische Methode zum Auffinden eines optimalen Punktes gemäß der folgenden Definition verstanden;

$$f(\boldsymbol{\kappa}) \xrightarrow{\boldsymbol{\kappa}=\boldsymbol{\kappa}^*} \min \forall \boldsymbol{\kappa} \in P, \quad \text{mit } P = \left\{ \boldsymbol{\kappa} \mid g(\boldsymbol{\kappa}) \le 0 \ \wedge \ h(\boldsymbol{\kappa}) = 0 \right\} \tag{5}$$

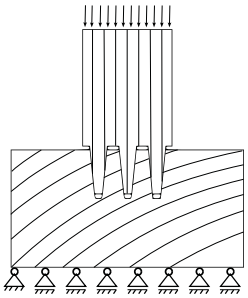
Hierbei gilt:

$$\begin{aligned} &\text{Ungleichheitsrestriktion:} && g(\boldsymbol{\kappa}) \le 0, \\ &\text{Gleichheitsrestriktion:} && h(\boldsymbol{\kappa}) = 0. \end{aligned} \tag{6}$$

Die Optimierungsaufgabe besteht somit aus der Definition des Systems, der Bestimmung des sinnvollen Entwurfsraumes in Form von Restriktionen sowie der zu optimierenden Zielfunktion [11].

3.1 Definition des Systems

Bei dem im vorliegenden Fall betrachteten System handelt es sich um einen "äußerlich" gleichmäßig druckbeanspruchten Gurt-Stegabschnitt eines Holzschalungsträgers (z.B. eine Auflagerdruckbeanspruchung) mit einer geklebten Keilzinkenverbindung von Gurt und Steg (Abb. 12). Der Gurt besteht aus Vollholz, der Steg aus einer Mehrschichtplatte. Es wird ein in Trägerlängsrichtung 5 cm dicker Abschnitt des Holzschalungsträgers betrachtet. Dieser wird in einem vereinfachten Ansatz als ebenes Modell mit dem kommerziellen FEM-Programm ANSYS gerechnet. Das vernetzte Modell ist in Abb. 13 dargestellt.



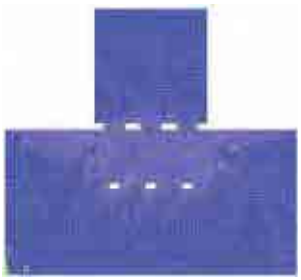


Abb. 12 (li.): Probekörper mit Randbedingungen
Abb. 13 (re.): FE-Modell des Probekörpers

Die Implementierung des Modells im Rahmen der Optimierung entspricht weitestgehend derjenigen der Standardanalyse. Es ist hierbei jedoch notwendig, eine Parametrisierung der Entwurfs-(Design)variablen vorzunehmen, da im Optimierungsprozess multiple Berechnungen mit variierenden Designvariablen durchgeführt werden.

3.2 Definition des Entwurfsraumes

Der zweite Schritt der Optimierungsrechnung besteht in der Definition des Entwurfsraumes. Für praxisrelevante Problemstellungen sind die technischen Randbedingungen i.d.R. vorgegeben. Im Fall der Keilzinkung ist der Entwurfsraum im Wesentlichen durch die Realisierbarkeit der Fräswerkzeuge und Produktionsbedingungen eingegrenzt. So wird zum Beispiel ein Mindestflankenwinkel benötigt, um den nötigen Pressdruck aufbringen zu können. Zudem sinkt mit zunehmender Länge der Zinkung die Wirtschaftlichkeit der Verbindung. Diese Randbedingungen werden in Form von Ungleichheits- bzw. Gleichheitsrestriktionen definiert. In den hier durchgeführten Berechnungen wurden als Designvariablen die für jeden einzelnen Zinken unterschiedlich möglichen Winkel der Klebfugen {α, β, γ}, die Zinkenlänge, die Breite des Zinkengrundes, der Abstand der Zinken und das Zinkenspiel gemäß Abb. 14 gewählt. Die Restriktionen der Zinkenlänge lauten beispielsweise

$$g_{hz,min} = h_z^{min} - h_z \le 0 \quad \text{und}$$

$$g_{hz,max} = h_z - h_z^{max} \le 0$$

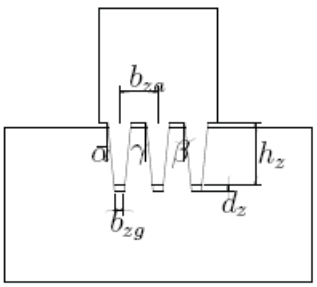


Abb. 14: Definition der Designvariablen

3.3 Experimentelle Untersuchungen zum Tragverhalten; Spannungsanalyse

Wie in Abschnitt 2 beschrieben, beeinflusst das anisotrope Werkstoffverhalten die Tragfähigkeit (globale Festigkeit) von Holzbauteilen wesentlich. Anhand durchgeführter Versuche an speziellen Druckprüfkörpern zeigte sich, dass sich in Abhängigkeit der Jahrringlage sehr unterschiedliche mechanische Systeme ausbilden. Diese sind in [12] näher erläutert. Abb. 15 und Abb. 16 zeigen die unterschiedlichen Spannungsverteilungen aufgrund unterschiedlicher Jahrringlagen trotz identischer Geometrie.

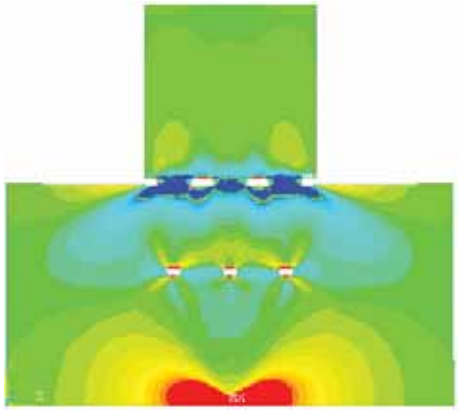


Abb. 15: Spannungsverlauf σ_x Halbholz (HH)

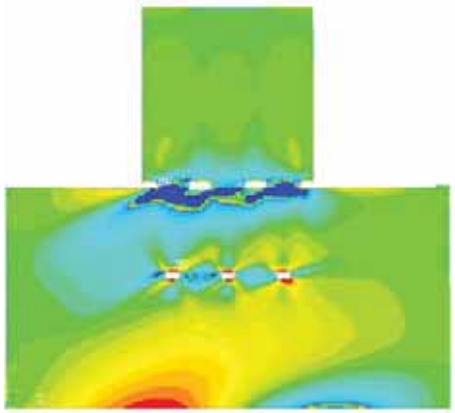


Abb. 16: Spannungsverlauf σ_x Halbholz (HH)

3.4 Definition der Zielfunktion

A priori ist es schwierig, die relevante Zielfunktion zu benennen, da aufgrund der komplexen Struktur und der mechanischen Zusammenhänge viele Parameter betrachtet werden müssen. Im Folgenden werden in einem ersten Schritt zwei Ansätze betrachtet; jeder der zwei Ansätze kann nochmals bezüglich des betrachteten Bereichs unterteilt werden. Als erstes Kriterium wird ein quadratischer Interaktionsansatz der Form

$$f_\sigma(x) = \frac{1}{n}\sum i \left[w_0 \left| \frac{\sigma^i_{11}}{f_t} \right|^2 + w_1 \left| \frac{\sigma^i_{22}}{f_r} \right|^2 + w_2 \left| \frac{\sigma^i_{12}}{f_{tr}} \right|^2 \right] \quad \text{auf} \quad \partial\tilde{B} \qquad (7)$$

gewählt. Dieser wird über die kritische Klebefuge[1] aufsummiert, wobei hier auch eine Betrachtung der gesamten Klebfuge ∂B möglich ist. Die Größen w_0, w_1 und w_2 sind Wichtungsfaktoren, die dem unterschiedlichen Einfluss der Komponenten Rechnung tragen.

Bei Gleichung (7) handelt es sich um ein sogenanntes 'Direct-Mode'-Kriterium, da der Einfluss der einzelnen Spannungs-/ Festigkeitskomponenten (Moden) direkt ablesbar ist. Ein naheliegendes Kriterium wäre sicherlich auch der Höchstwert der Schubspannungen. Da jedoch in einer linear-elastischen Rechnung an den Kanten der Zinkung Singularitäten auftreten, die am realen Bauteil durch Plastizieren und Schädigung effektiv nicht vorliegen, kann eine Zielfunktion "Schubspannungsmaximum" nur im Rahmen eines nichtlinearen konstitutiven Materialverhaltens berücksichtig werden. In Gleichung (7) wird der Singularitätseinfluss durch die Summation weitgehend unterdrückt. Eine zweite Gruppe potentiell geeigneter Versagenskriterien und damit Ziel

1 Hierbei handelt es sich um einen Pfad mit einer konstanten Anzahl von *n* Stützstellen. Die kritische Klebfuge kann anhand der Jahrringlage identifiziert werden.

funktionen stellen die polynominalen Versagenskriterien dar. Im vorliegenden Fall wird die Formänderungs- oder freie Energie betrachtet, wobei $\tilde{B}$ ein definierter Bereich (Abb. 17) in der Umgebung der Keilzinkung ist:

$$f_{\psi}(x) = w = \int_{\tilde{B}} \psi \, dA = \int_{\tilde{B}} \left[\frac{1}{2} \boldsymbol{\varepsilon} : \mathbb{C} : \boldsymbol{\varepsilon} \right] dA \qquad (8)$$

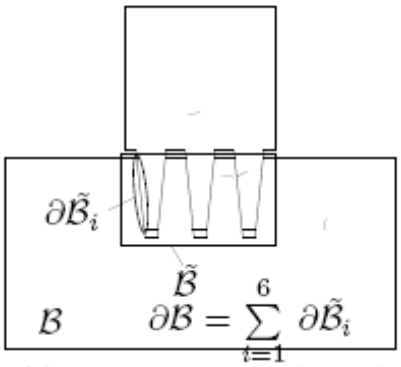


Abb. 17: Bereiche der Zielfunktionen

Die Zielfunktion lässt sich auch auf den ganzen Körper B ausdehnen (Abb. 17). Weitere polynominale Kriterien wären z.B. das Tsai-Wu-Kriterium. Ist die Eignung einer Zielfunktion nicht im Voraus bekannt, so bleibt nur der Vergleich mehrerer potentieller Zielfunktionen als Lösungsansatz. Im vorliegenden Fall sind dies die zwei genannten Funktionen (7) und (8) in jeweils zwei unterschiedlichen Bereichen. Die somit insgesamt vier Funktionen werden auf die Jahrringkonfigurationen HH, R, HR und F angewandt. Zur Optimierung wurde der SUMT-Algorithmus angewandt, der sich bei ähnlichen Fragestellungen als stabil und zuverlässig erwiesen hat. In den Simulationsläufen erwiesen sich die 'Direct-Mode'-Kriterien als vorteilhafter, wobei gerade im Bereich der kritischen Klebefuge die Schubspannungen deutlich reduziert werden konnten. Eine experimentelle Überprüfung der Simulationsergebnisse steht jedoch noch aus. Für unterschiedliche Jahrringlagen werden zudem unterschiedliche, optimale Parametersätze κ erhalten, die möglicherweise gegensätzlich wirken. Hier besteht eine praktikable Lösung in der Wichtung des Einflusses der einzelnen Jahrringlagen bezüglich Auftretenswahrscheinlichkeit, Sicherheitsrelevanz usw.

4 Zusammenfassung und Ausblick

In dem vorliegenden Beitrag wurden Ansätze vorgestellt, wie durch Anwendung der Finite-Element-Methode in Kombination mit geeigneten Optimierungsalgorithmen unter Berücksichtigung der Anisotropie des Werkstoffes die Geometrie geklebter Holzverbindungen, im speziellen von keilgezinkten Gurt-Steg-Verbindungen, verbessert werden kann. Der Wahl der Zielfunktion kommt im Rahmen der variablen Einflussgrößen, die aus untersuchten Jahrringlagen / Anisotropieverhältnissen der Gurthölzer resultieren, große Bedeutung zu. In der Regel ist die Steigerung der Höchstlast eines Bauteils von Interesse. Beim Erreichen dieser treten massive Schädigungen auf. Daher ist es notwendig, die Einbindung der Schädigungssimulation voranzutreiben sowie einen aussagekräftigen Schädigungsindikator als Zielfunktion der Optimierung zu verwenden. Bei konkurierenden Anforderungen bedingt durch eine unterschiedliche Jahrringlage bietet sich ferner eine Sensitivitätsanalyse der Designparameter bezüglich der Jahrringlage an um robuste und kritische Parameter zu identifizieren.

Quellen

[1] S. Aicher und M. Schrank: Shear reinforcement of glulam beams with glued-in steel rods. Otto-Graf-Journal, 17, 2006.

[2] S. Aicher, M. Wolf, P. J. Gustafsson: Load displacement and bond strength of glued-in rods in timber influenced by adhesive, wood density, rod slenderness and diameter. Rilem Proceedings PRO 8, 1999.

[3] S. Aicher, W. Klöck: Finger Joint Analysis and Optimization by Elastic, Nonlinear and Fracture Mechanics Finite Element Computations. Proceedings of the 1991 International Timber Engineering Conference, Vol. 3, 1991.

[4] S. Aicher, B. Radovic: Untersuchungen zum Einfluß der Keilzinkengeometrie auf die Zugfestigkeit keilgezinkter Brettschichtholzlamellen. Holz als Roh- und Werkstoff, 57.1, 1999.

[5] J. A. Nairns: A numerical study of the transverse modulus of wood as a function of grain orientation and properties. Holzforschung, 61, 2007.

[6] O. C. Zienkiewicz, R. L. Taylor: The Finite Element Method for solid and structural mechanics. Elsevier, 6 edition, 2005.

[7] G. Dill-Langer, S. Lütze, S. Aicher: Microfracture in wood monitored by confocal laser scanning microscopy. Wood Science and Technology, 36, 2002.

[8] G. Alfano und M.A. Crisfield: Finite element interface models for the delamination analysis of laminated composites: mechanical and computational issus. Int. J. Numer. Meth. Engng, 50, 2001.

[9] G. Geißler und M. Kaliske: Formulierung eines Interface Elements. LACER, 8, 2003.

[10] G. Geißler und M. Kaliske, J. Schmidt: Zur Simulation des spröden Versagens von Holz und Holzstrukturen. LACER, 9, 2004.

[11] D. Jungnickel: Optimierungsmethoden. Springer, 1999.

[12] M. Schrank und S. Aicher: Optimierung geklebter Holzverbindungen unter Berücksichtigung der zylindrischen Anisotropie. Proceedingsband Doktorandenkolloquium Holzbau "Forschung und Praxis", 2008.

[13] N. S. Ottosen, M. Ristinmaa. The Mechanics of Constitutive Modeling. Elsevier, 2005.

10.2 Kleber, Bindemittel

Verklebung von wärmebehandeltem Buchenholz

Thomas Schnider, Peter Niemz, Andreas Hurst

Thermisch vergütetes Holz wird zunehmend im Bauwesen eingesetzt. Die Eigenschaften des Holzes werden durch die Wärmebehandlung beeinflusst. Die Eigenschaftsänderung ist dabei abhängig von der Behandlungsart und -intensität. Die deutlichsten Änderungen sind die Reduzierung der Gleichgewichtsfeuchte und der Quellung/ Schwindung auf bis zu 50 % des Wertes von unbehandeltem Holz. Eine thermische Behandlung von Holz bewirkt eine Beeinflussung der kapillaren Wasseraufnahme, Minderung der Festigkeit, Reduzierung des pH-Wertes und eine leichte Verminderung der Rohdichte. All diese Eigenschaften haben auch Einfluss auf die Verklebung von wärmebehandeltem Holz.

Die verminderte Holzfeuchte bei wärmebehandeltem Holz hat auf die Verklebung mit 1-K PUR (Ein-Komponenten-Polyurethan) einen großen Einfluss, da 1-K PUR Wasser zum Aushärten benötigt. Meist wird eine minimale Holzfeuchte von 8% gefordert [1]. Bei UF (Harnstoffharzen) hat hingegen der veränderte pH-Wert bei Thermoholz einen negativen Einfluss auf die Verklebung. Zudem sinkt die Wasseraufnahmegeschwindigkeit sowohl bei Sorption als auch bei kapillarer Wasseraufnahme bei thermisch vergütetem Holz ab [2], [3].

Zur Verklebung von Thermoholz liegen relativ wenige Angaben vor. Bei der Verklebung mit 1-K PUR empfehlen viele Hersteller das vorherige Aufsprühen von Wasser auf die Fügeteiloberfläche. Bei anderen Klebstoffen werden meist etwas verlängerte Presszeiten vorgegeben.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde wärmebehandeltes und unbehandeltes Buchenholz (Fagus sylvatica L.) mit verschiedenen Klebstoffen verklebt. Anschließend wurde die Scherfestigkeit bei verschiedenen Holzfeuchten (Verklebung und Prüfung) und nach einer mehrwöchigen Wechselklimalagerung (feucht / trocken) geprüft. Durch die Feuchteänderung entstehen erhebliche Spannungen in den Klebefugen.
(s. auch Kapitel 8.2 Thermische Modifizierung)

1 Versuchsmaterial

Als Versuchsmaterial diente industriell im Autoklav wärmebehandeltes Buchenholz mit unterschiedlichen Behandlungsintensitäten und zu Vergleichszwecken unbehandeltes Buchenholz.

In Tab. 1 sowie Abb. 1 sind einige Eigenschaften des Holzes aufgezeigt. So ist die Gleichgewichtsfeuchte im Normalklima bei 20 °C / 65 % rel. Luftfeuchte nur etwa bei 6 %. Bei der Verklebung von 1-K PUR liegt sie daher an der unteren Grenze des technisch Möglichen, da diese Klebstoffe Wasser zum Aushärten benötigen.

Tab. 1: Mechanische Eigenschaften des verwendeten Holzes (x = Mittelwert; s = Standardabweichung)

Behandlung		Rohdichte	Biegefestigkeit	Bruchdehnung	Biege-E-Modul
		[g/cm3]	[N/mm2]	[%]	[N/mm2]
unbehandelt	x	0.738	132.8	2.07	13140
	s	0.018	5.6	0.17	742
Stufe II	x	0.692	76.7	0.78	11092
	s	0.03	21.8	0.19	1784
Stufe III	x	0.656	53.8	0.51	11776
	s	0.031	13.2	0.16	1276

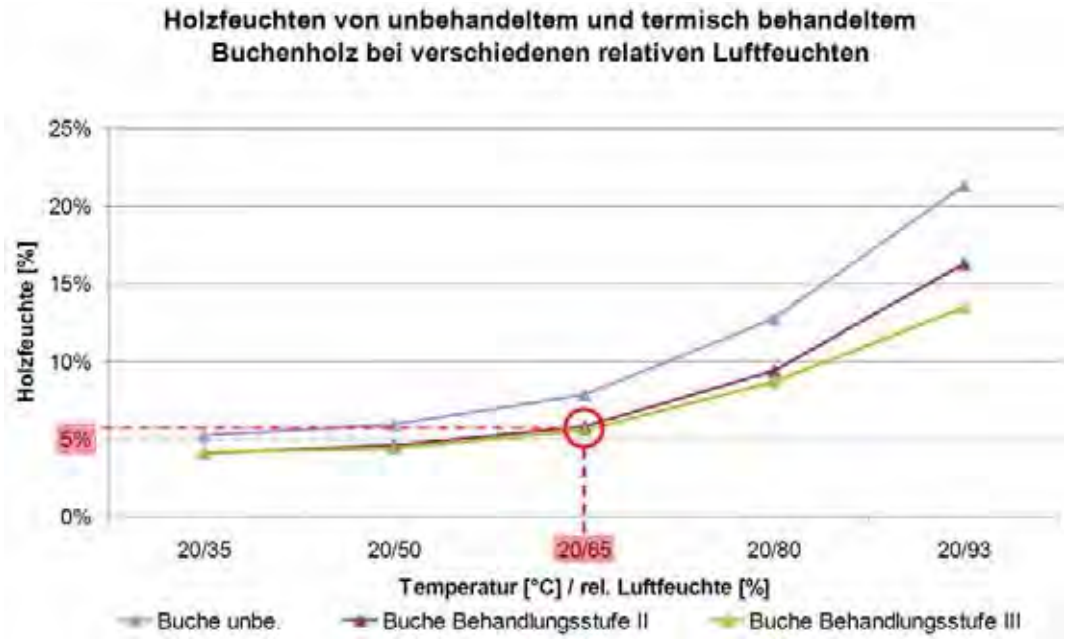


Abb. 1: Gleichgewichtsfeuchte des verwendeten thermisch behandelten Buchenholzes bei variabler Behandlungsintensität

2 Versuchsmethodik

2.1 Einfluss der Verklebefeuchte und der Prüffeuchte

Das Holz wurde vor der Verklebung bei 20°C und 35% bzw. 65% rel. Luftfeuchte bis zum Erreichen der Gleichgewichtsfeuchte gelagert. Zur Verklebung wurden drei verschiedene 1-K PUR zweier Hersteller, sowie je ein handelsüblicher PVAc und ein UF verwendet. Bei der Verklebung des thermisch behandelten Holzes mit 1-K PUR wurde beidseitig 50g/m^2 Leitungswasser auf die Brettoberfläche gesprüht, um das zum Aushärten notwendige Wasser bereitzustellen. Nach der Verklebung wurden die verklebten Platten weitere sieben Tage zwecks Nachhärtung in ihrem jeweiligen Verklebeklima gelagert. Danach erfolgte der Probenzuschnitt. Anschließend wurden die Proben im vom Verklebeklima abweichenden Prüfklima von 20 °C und 35 %, 65 % bzw. 85 % rel. Luftfeuchte gelagert und geprüft. Untersucht wurde die Scherfestigkeit nach der Gleichung $\tau = F/A$ nach DIN EN 205 (τ = Scherfestigkeit [N/mm^2]; F = Kraft [N]; A = Scherfläche [mm^2]).

Durch die Unterschiede in der Holzfeuchte bei der Verklebung und der Prüfung entstehen Spannungen in den Klebefugen. Je nach Verklebe- und Prüfklimadifferenz entstehen Zugspannungen (bei Trocknung der Proben) oder Druckspannungen (bei Quellung der Proben). Auch die verschiedenen Materialkombinationen führen durch ihr unterschiedliches Quell- und Schwindverhalten zu Eigenspannungen in den Klebefugen. All dies beeinflusst auch die Scherfestigkeit der Klebefugen. Geprüft wurden folgende Materialkombinationen:

- unbehandeltes Holz mit unbehandeltem Holz,
- unbehandeltes Holz mit behandeltem Holz (Behandlungsstufe III),
- behandeltes Holz (Behandlungsstufe III) mit behandeltem Holz (Behandlungsstufe III).

Bei der Behandlungsstufe III erfolgte eine sehr intensive Behandlung des Holzes und bewirkt somit eine starke Reduzierung des Sorptions- und Quellungsverhaltens und der Festigkeit des Holzes.

2.2 Einfluss eines Wechselklimas

Zusätzlich wurde der Einfluss einer feucht/trocken Wechselklimalagerung (Tab. 2) auf die Scherfestigkeit untersucht. Die Proben waren mit dem 1-K PUR Klebstoff PUR 2, der im Vorversuch die besten Ergebnisse erzielte, verklebt. Die Verklebung dieser Proben erfolgte nach einer Klimatisierung im Normalklima bei 20°C/65% rel. Luftfeuchte. Nach der Wechselklimalagerung erfolgte eine Rückklimatisierung ins Normalklima, in dem auch die Scherfestigkeit geprüft wurde. Bei dieser Untersuchung wurden zusätzlich folgende Materialkombinationen untersucht:

- behandeltes Holz (Behandlungsstufe II) mit behandeltem Holz (Behandlungsstufe II)
- unbehandeltes Holz mit behandeltem Holz (Behandlungsstufe II)

Tab. 2: Wechselklima feucht/trocken

Behandlung		Parameter	Grösse	Dauer
		Temperatur relative Luftfeuchte	20°C 65%	bis zur Erreichung der Massenkonstanz
4x/8x	*1. Klima*	Temperatur relative Luftfeuchte	20°C 95%	*96h*
	2. Klima	Temperatur relative Luftfeuchte	20°C 35%	*96 h*
		Temperatur relative Luftfeuchte	20°C 65%	bis zur Erreichung der Massenkonstanz
Anzahl der Zyklen [1]			4 bzw. 8	

1) Ein Zyklus besteht aus einem vollständigen Durchgang der Klimate 1-2

3 Ergebnisse

3.1 Verklebung bei 20 °C / 35 % und Variation des Prüfklimas

Die Ergebnisse (Abb. 2) zeigen, dass sowohl zwischen den einzelnen Klebstoffen aber auch innerhalb der gleichen Klebstoffgruppe der PUR-Klebstoffe deutliche Unterschiede vorliegen können. Die besten Ergebnisse erzielt PUR 2. Der Anteil an Holzbruch liegt bei ca. 56 %. Wird das Holz nach einer Konditionierung bei 35 % rel. Luftfeuchte verklebt und danach bei 65 % bzw. 85 % rel. Luftfeuchte geprüft, kommt es durch die Feuchteerhöhung zum bekannten Abfall der Festigkeit des Holzes. Zusätzlich entstehen bei der Quellung Druckspannungen in den Klebefugen, die sich mit den äußeren Belastungen überlagern. So sinkt tendenziell die Scherfestigkeit bei einer Erhöhung der Holzfeuchte.

Durch die Wärmebehandlung sinkt mit zunehmender Behandlungsintensität die Zugfestigkeit des Holzes und es entstehen spröde Zugbrüche (Abb. 3). Somit ist die Scherfestigkeit bei der Materialkombination I/I aus unbehandeltem Holz am höchsten, gefolgt von den Kombinationen I/III und III/III.

Abb. 3: Spröder Zugbruch bei thermisch behandeltem Holz

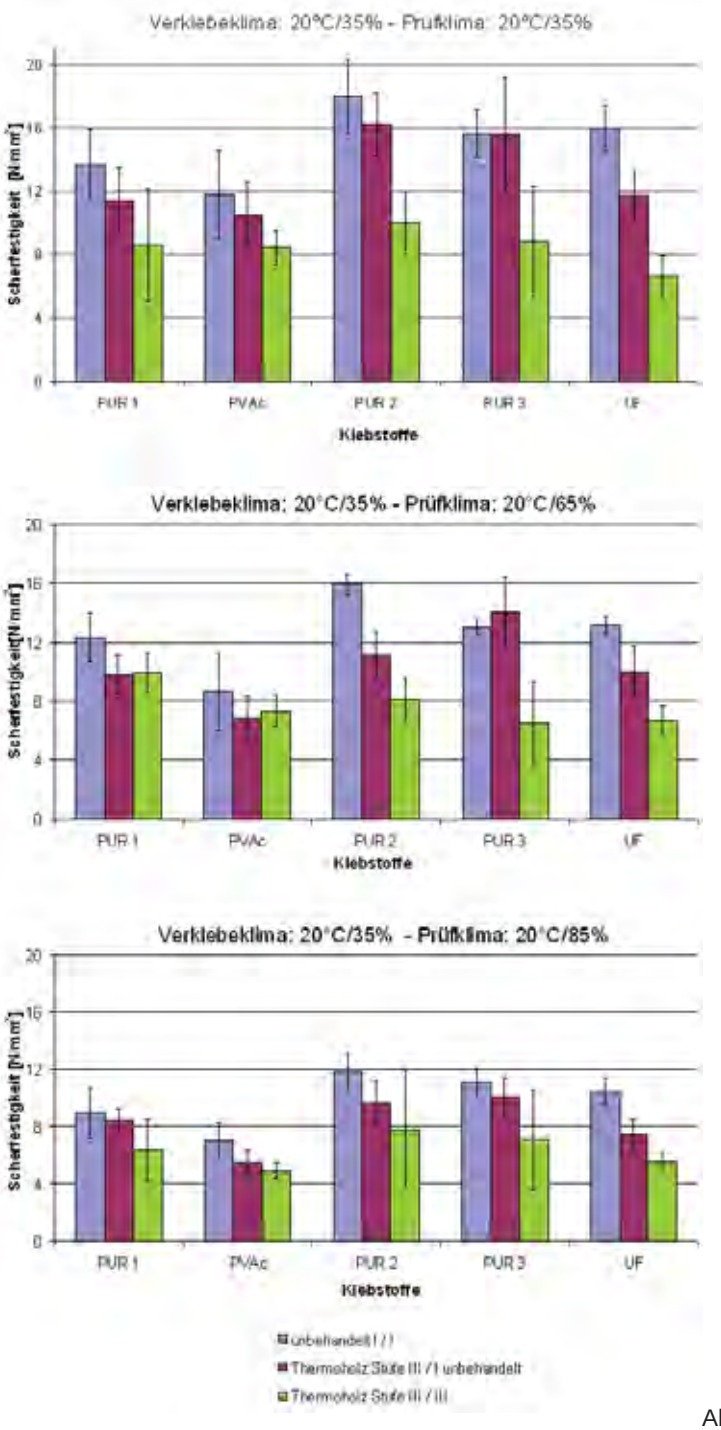


Abb. 2: Scherfestigkeit nach der Verklebung bei 20 °C / 35 % rel. Luftfeuchte und Variation des Prüfklimas 20 °C / 35 %, 65 %, 85 % rel. Luftfeuchte

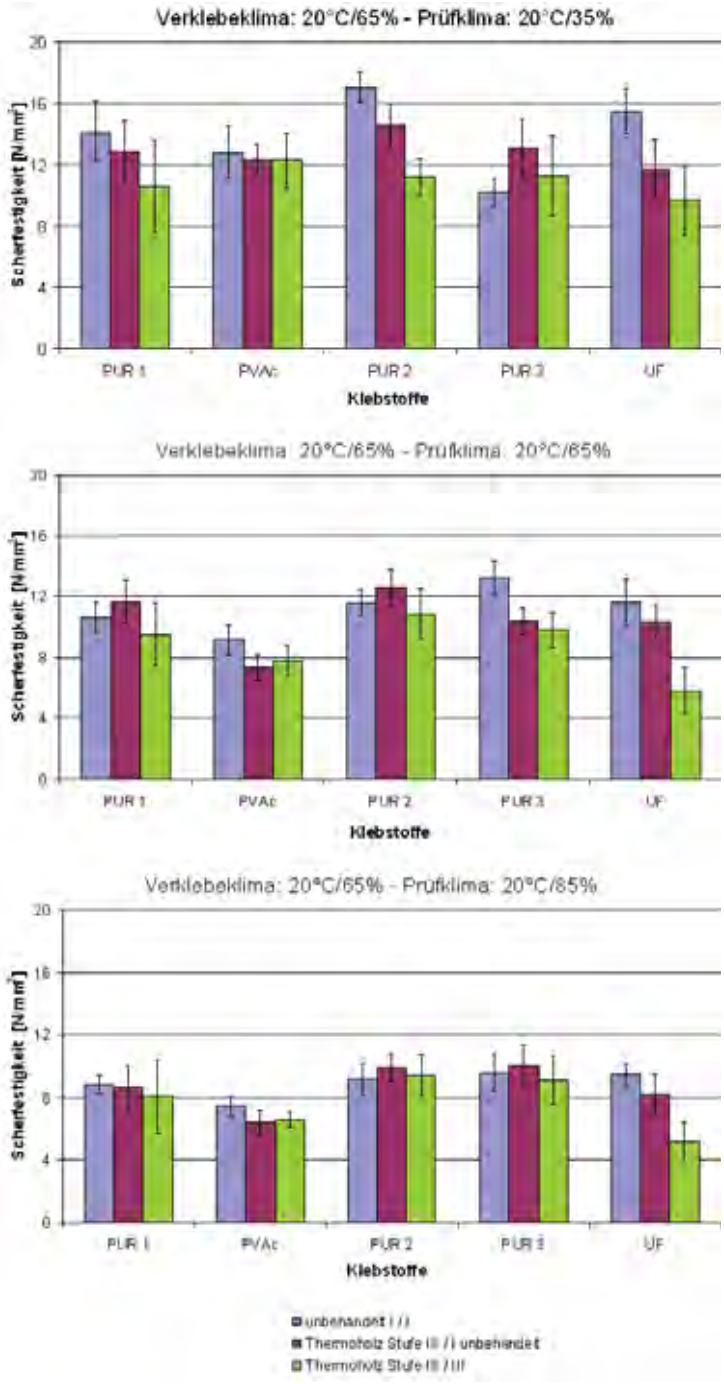


Abb. 4: Scherfestigkeit nach der Verklebung bei 20 °C / 65 % rel. Luftfeuchte und Variation des Prüfklimas 20 °C / 35 %, 65 %, 85 % rel. Luftfeuchte

3.2 Verklebung bei 20 °C / 65 % und Variation des Prüfklimas

Auch hier erzielte der Klebstoff PUR 2 die besten Ergebnisse (Abb. 4). Bei einer Verklebung im Normalklima kommt es bei der Prüfung im Klima 20 °C / 35 % rel. Luftfeuchte zu Druckspannungen bzw. bei 20 °C / 85 % zu Zugspannungen in der Klebefuge. Diese Spannungen überlagern sich wiederum dem Einfluss der Holzfeuchte auf die Festigkeit des Holzes. Dies zeigt z.B. die Prüfung der Proben im trockenen Klima, welches zu einem leichten Festigkeitsanstieg führt, da mit abnehmender Holzfeuchte die Festigkeit des Holzes steigt. Auch ist ein Trend der Abnahme der Scherfestigkeit von der Materialkombination I / I über I / III zu III / III erkennbar. Dieser Trend spiegelt sich auch bei der Wechselklimalagerung wieder.

3.3 Einfluss eines Wechselklimas

Abb. 5 zeigt die Ergebnisse nach einer Lagerung im feucht / trocken Wechselklima an Zugscherproben. Diese wurde ausschließlich mit dem 1-K PUR Klebstoff PUR 2 verklebt. Eine Lagerung im Wechselklima führt insbesondere bei der unbehandelten Buche, bedingt durch das große Quell- und Schwindmaß der Proben, zu einem deutlichen Festigkeitsverlust bei einer Zunahme der Zyklenanzahl. Auch hier ist bei wärmebehandeltem Holz die ermittelte Festigkeit generell geringer als bei unbehandeltem Holz. Bei Materialkombinationen aus unbehandeltem und behandeltem Buchenholz bewirken die Quell- und Schwinddifferenzen eine erhöhte Spannung und damit einen höheren Festigkeitsverlust als bei Proben die nur aus behandeltem Holz bestehen. Der mittlere Holzbruchanteil betrug bei allen thermisch behandelten Varianten ca. 94 %. Der Einfluss der Wechselklimalagerung ist allerdings durch das verminderte Quellen und Schwinden bei wärmebehandeltem Holz deutlich geringer als bei unbehandeltem Holz bzw. der Kombination unbehandelt / behandelt.

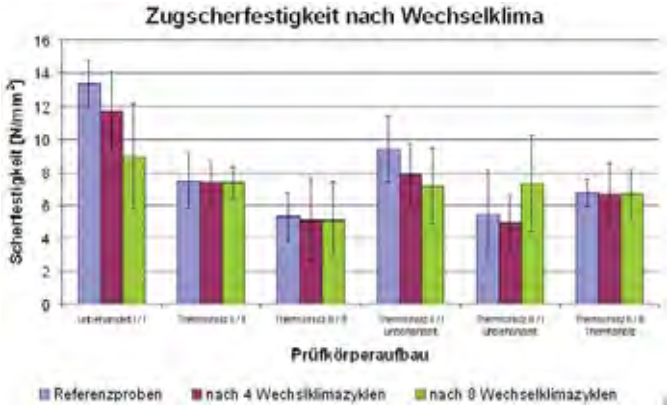


Abb. 5: Einfluss der Lagerung im Wechselklima auf die Scherfestigkeit der Klebefuge

4 Schlussfolgerung

Generell haben die 1-K PUR Klebstoffe eine gute Verklebungsgüte von thermisch behandeltem Holz aufgewiesen. Hierbei ist darauf zu achten, dass bei der Verwendung von 1-K PUR dem Klebstoff Zusatzwasser durch aufsprühen auf die Fügeteiloberfläche beigefügt werden muss, um eine genügende Aushärtung zu erreichen. Wird Thermoholz zusammen mit unbehandeltem Holz verwendet, sind erhöhten Spannungen in den Klebefugen zu berücksichtigen.

Versuche zur natürlichen Bewitterung, die an Fensterprofilen aus thermisch behandeltem und unbehandeltem Buche durchgeführt wurden (Abb. 6), zeigen nach einer einjährigen Bewitterung den deutlichsten Unterschied der verringerten Spannungen zwischen thermisch behandeltem Holz und unbehandeltem Holz.

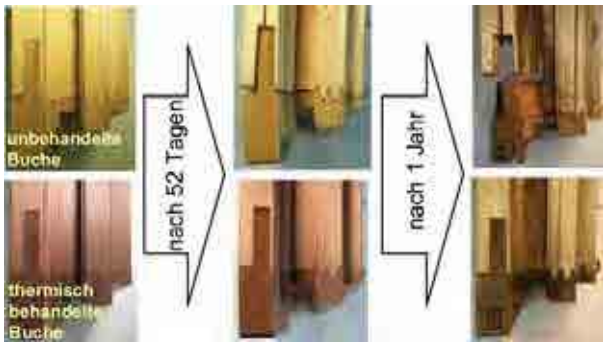


Abb. 6: Fensterprofile aus thermisch behandeltem und unbehandeltem Buchenholz nach 52 Tagen und einem Jahr Freibewitterung

Quellen

[1] Kägi, A.; Niemz, P.; Mandallaz, D.: Einfluss der Holzfeuchte und ausgewählter technologischer Parameter auf die Verklebung mit 1K-PUR Klebstoffen unter extremen klimatischen Bedingungen, Holz als Roh-Werkstoff 64 (2006) S. 261-268.

[2] Pfriem, A.; Grothe,T.; Wagenführ, A.: Einfluss der thermischen Modifikation auf das instationäre Sorptionsverhalten von Fichte (Picea abies (L.) Karst). Holz als Roh- und Werkstoff, 65 (2007) S. 321-323

[3] Niemz, P.; Sonderegger, W.: Untersuchungen zur Wasseraufnahme von Holz und Holzwerkstoffen. Holz, Mering (2004) 11/12; S. 23-24

10.2 Kleber, Bindemittel
Blockverleimung

Frank Miebach

1 Einleitung

Im Ingenieurholzbau hat sich ein Produkt bei nahezu allen größeren Konstruktionen durchgesetzt und bewährt: Das Brettschichtholz.

Hier werden in der Regel 33 mm dicke Bretter schichtweise übereinander verleimt. Dabei ist eine Bauteilhöhe von 2,50 bis 3,00 m realisierbar. Die maximale Länge der Brettschichtträger ist mittels der Keilzinkung der Bretter endlos möglich, würden nicht Transport- und demnach Pressbetthöhen eine Begrenzung zwischen 30 bis 45 m fordern. Aus fertigungstechnischen und materialspezifischen Gründen ist die Breite der Einzellamellen für BSH- Träger jedoch auf 22 bis 26 cm begrenzt.

Abb. 1: Keilzinkung der Einzelbretter [1]

Abb. 2: Brettschichtholz, Schichtverleimung, Klebefugendicke 0,1mm

2 Blockverleimung als Weiterentwicklung

Eine logische Weiterführung der Verleimungstechnologie besteht darin, mehrere Brettschichtholzträger in Ihrer Breite nebeneinander zu verkleben und somit einen Block zu erhalten. Ein blockverleimter Träger kann transportbedingt eine max. Breite von 4,00 bis 4,50 m haben.

Vorteile dieser Bauweise

- kompakter Aufbau macht geringe Konstruktionshöhe mögliche (filigrane Ansicht)
- freie Formgebung (zweiachsig gebogen, auch verdrillt möglich)
- Bauteilreduzierung durch hohe Tragfähigkeit (kein horizontaler Verband nötig)
- einfache Wartung (kompakte Geometrie)
- hohe Belastbarkeit durch Flächentragwirkung
- Schwingungsreduktion durch hohen Massenanteil
- weniger Verbindungen

Zu beachten ist:

- Kostenerhöhung durch großes Massenaufkommen
- Querzug als Schwachstelle bei hoher Belastung (Schwerlastbrücke)
- oberseitige Abdeckung zwingend erforderlich

3 Klebstoffe

Technischer Hinweis: durch die Verarbeitung von großformatigen Brettschichtholzträgern sind fertigungsbedingt Ungenauigkeiten in der zu verklebenden Oberfläche zu berücksichtigen (Hobelschläge o. ä.). Dies bedeutet, dass bei einer Blockverleimung nur solche Klebstoffe verwendet werden dürfen, die Fugen füllende Eigenschaft besitzen. Nach DIN 1052: 2004-08 darf die maximale Fugenbreite 2 mm nicht überschreiten.

Die derzeit auf dem Markt befindlichen Fugen füllenden Kleber sind auf Basis von Resorcin-Phenolharzen oder Melamin-Harnstoff hergestellt. Die Resorcin- Phenolharzkleber werden derzeit noch am häufigsten eingesetzt.

4 Verleimungsarten

Je nach Lage im späteren eingebauten Zustand unterscheidet man bei der Herstellung zwei Arten:

„liegende“ und „stehende“ Blockfugenanordnung der BSH- Träger

Abb. 3: Liegende BSH- Einzelträger [2]

Abb. 4: Stehende BSH- Einzelträger [2]

Welche Art eingesetzt wird, hängt hauptsächlich von der Art der Krümmung des Blocks ab: Soll das Bauteil eine Krümmung in der Draufsicht erhalten, wählt man meist die liegende Verleimung. Bei Krümmungen in der Seitenansicht wird eine stehende Verleimung bevorzugt. Bei zweiachsigen Krümmungen entscheidet meist der größere Radius, so dass die Blockverleimung in der weniger gebogenen Ebene erfolgt. Der Grund liegt im verhältnismäßig hohen Kraftaufwand, einen fertigen BS- Träger in seiner Breitenachse zu biegen. Allgemein ist bei einer stehenden Verleimung die Blockfuge statisch geringer belastet als bei einer liegenden Verleimung. Insofern ist bei einer liegenden Verleimung auf die Genauigkeit der Blockfuge besonders Wert zu legen.

Abb. 5: Pressbett für Blockquerschnitte [2]

5 Krümmung

Hinsichtlich der zu biegenden Radien gibt die DIN 1052:2004-08 minimale Radien für BSH- Lamellen vor, die auch für die Blockverleimung herangezogen werden. Der minimale Radius R_{min} liegt bei 230 *t (Nutzungsklasse 2) bzw. 205*t (Nutzungsklasse 3), t ist hierbei die Einzelbauteilbreite.

Abb. 6: Fertiggestelltes verdrilltes Bauteil [2]

Abb. 7 dto.

6 Hochbau

Bei hochbelasteten Stützen und Biegeträgern werden zunehmend blockverleimte Querschnitte verwendet.

Abb. 8 Whs. Berlin, 6-geschossig, Stütze aus Blockquerschnitt [3]

Abb. 9 dto

Abb. 10 Hochbelasteter Biegeträger [4]

Abb. 11 dto.

Abb. 12 Außenstützen Kompetenz-Zentrum Biberach

7 Holzschutz

Blockträger sind generell immer - wie BSH – nach DIN 1074:2004-09 als geschützte Bauteile einzubauen. Dies ist gerade wegen der großen Oberflächen wichtig. Bei der Planung sind diese Abdichtungen rechtzeitig zu berücksichtigen. Es sind Gefälle vorzusehen. Für die Abdichtung eignen sich Bleche ebenso wie Asphaltbeläge auf Trägerplatten. Es wird dabei empfohlen, auf eine Unterlüftung sicher zu stellen. Eine zweite dauerhafte wasserführende Abdichtung direkt auf dem Blockträger wird dringend empfohlen. Diese Abdichtung dient zunächst als Montageschutz.

Des Weiteren wird auch eine seitliche Verkleidung oder zumindest ein ausreichender seitlicher Überstand der Abdichtung, die alle tragenden Bauteile vor Regen schützen empfohlen.

Blockträger müssen bei Brücken somit immer als geschützte Bauteile nach DIN 1074 ausgeführt werden.
Durch die umfassenden Schutzmaßnahmen kann dann eine Einstufung in Nutzungsklasse 2 bzw. 1 erfolgen.

8 Eigenschaften für den Brückenbau

Das großformatige Holzbauteil hat aufgrund seiner Plattengeometrie für den Brückenbau viele Einsatzmöglichkeiten – für alle Brückentypen.

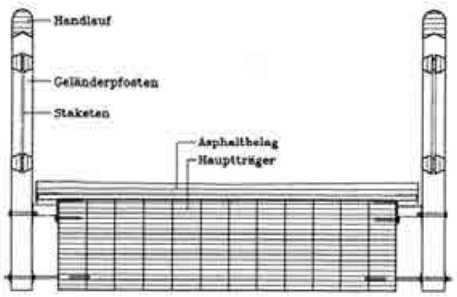


Abb. 13 Blochträger als Brückenquerschnitt

9 Sonderform: Hohlkastenquerschnitte

Eine Massenreduzierung - die im Übrigen aus Sicht der Gebrauchstauglichkeit (Schwingungen) eher unvorteilhaft ist die Verwendung von Hohlkastenkonstruktionen.

Hierbei hat man sich die Erkenntnisse aus dem Stahlbetonbau zunutze gemacht. Die hoch belastete Ober- und Untergurtzone wird aus liegen-

den Trägern gebildet, die Stege im Abstand von ca. 40 bis 80 cm von stehenden Trägern.

Abb. 14 Herstellung der Hohlkästen im Pressbett [2]

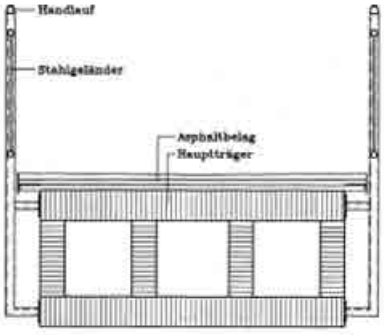


Abb. 15 Typischer Querschnitt einer Hohlkastenbrücke

Abb. 16 Brücke Weikersheim [2]

10 Abdeckungsvarianten für Blockbrücken

Flächige Blechabdeckung mit aufgeständertem Bohlenbelag, seitlich mit Lärchen- Dreischichtplatte hinterlüftet bekleidet (Abb. 17).

Abb. 17 Aufgeständerter Bohlenbelag, Seitliche Bekleidung aus 3-Schichtplatten [2]

Abb. 18 Guss-Asphaltbelag auf Holzwerkstoffplatte [2]

Abb. 19: Unterlüftete Betonplatten mit elastischer Dehnfuge und Rinne [2]

11 Querzug

Die Thematik der Querzugfestigkeit bei Schwerlastbrücken ist durch zusätzliches Verstärken durch Aufleimen von Baufurniersperrholzplatten an der Ober- und Unterseite des Plattenträgers lösbar.

Abb. 20 Aufgeleimte BFU-BU- Platten zur Querzugsicherung [2]

Quellen

[1] Studiengemeinschaft Brettschichtholz, Wuppertal
[2] Fa. Schaffitzel, Schwäbisch-Hall
[3] HAF, Bonn
[4] Fa. Schwörer, Oberstetten

10.3 Fügetechniken
Schweißen von Holz

Christelle Ganne-Chédeville

Beim Verfahren des Holzschweißens werden die thermoplastischen Eigenschaften des Lignins im Holzgewebe genutzt, um eine klebstofffreie Verbindung zwischen Holzteilen herzustellen. Dieses Verfahren, entwickelt an der Berner Fachhochschule, Architektur, Holz und Bau (BFH), wurde in den letzten Jahren intensiv erforscht und optimiert. Das Holzschweißen besticht durch kurze Prozesszeiten, eine hohe Umweltverträglichkeit und geringe Prozesskosten. In Zusammenarbeit mit holzverarbeitenden Unternehmen und Forschungsinstituten wurde das Verfahren weiter entwickelt und die ersten Prototypen holzgeschweißter Produkte hergestellt. Die technischen und wirtschaftlichen Vorteile der Linearvibrations-Technologie, der jüngsten Entwicklung im Bereich des Holzschweißens, werden im Folgenden vorgestellt.

1 Einführung

Bereits 1993 wurden an der BFH Untersuchungen über die reibungsinduzierte Aktivierung von thermoplastischen und duroplastischen Klebstoffen durchgeführt. Im Jahr 2002 wurde erstmals eine Verbindung von Holzteilen ohne Bindemittel unter dem Einsatz der Linearvibrations-Technologie untersucht. Dabei konnte durch die vibrationsbedingte Wärmeentwicklung auf den Holzoberflächen eine intensive thermoplastische Veränderung des Lignins erzeugt werden. Das geschmolzene Lignin kann sich an der Verbindungsstelle wie ein Leim verteilen und härtet nach der Abkühlung aus. Mit diesem Verfahren können hochwertige und umweltfreundliche Holzverbindungen ohne Klebstoff oder zusätzliche Additive hergestellt werden [1]. Die Vorteile dieser Technologie liegen in den kurzen Prozesszeiten und einer sehr guten Ökobilanz der damit produzierten Produkte. Der erwartete Nutzen beim Einsatz dieser Technologie in der holzverarbeitenden Industrie sind eine deutliche Reduktion der Produktionskosten und damit eine Verbesserung der Konkurrenzfähigkeit der Holzverarbeitung.

Die mechanische Reibung zur Initiierung der Reibungswärme kann auf unterschiedliche Arten erzeugt werden. Für flächige Verbindungen kann eine lineare und orbitale Reibung, für punktuelle Verbindungen eine rotative Reibung, eingesetzt werden. Seit 2006 konzentrieren sich die Untersuchungen an der BFH auf den Einsatz der Linearvibrations-Technologie. Bei diesem Verfahren wird eines der zu verbindenden Teile zum linearen Ausschwingen gezwungen und gleichzeitig gegen das andere starr fixierte Teil gepresst (Abbildung 1).

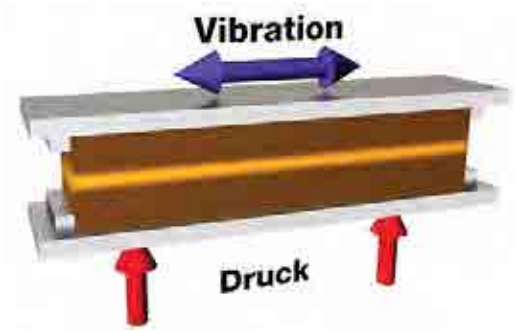


Abb. 1: Darstellung des Prinzips des Linearvibrations-Schweißens von zwei Holzteilen

2 Thermische Aktivierung

Das Verfahren des Holzschweißens basiert auf dem Schmelzen und der Verflüssigung amorpher Polymere, hauptsächlich des Lignins, das den überwiegenden Anteil der zellverbindenden Mittellamellen ausmacht [1]. Die Verflüssigung der Bestandteile der Mittellamellen im Holzgewebe tritt ein, wenn innerhalb kurzer Zeit eine Temperatur von über 200°C in der Schweißfuge erreicht wird. Die während des Schweißvorgangs in der Fuge auftretenden Temperaturen können mit Hilfe von Infrarot-Thermographie-Aufnahmen detektiert und abgebildet werden (siehe Abb. 2 am Beispiel der Holzart Rotbuche) [2].

Beim Schweißen von Buchenholz auf einer Fläche von 30 cm^2 mit einem Schweiß- und Haltedruck von 1.33 N/mm^2, einer Schweiß- und Haltezeit von 4 s bzw. 5 s lassen sich mit dieser Methode Temperaturen im Bereich der Schweißfuge von 200-250°C detektieren, die oberhalb der Glasübergangstemperatur des Lignins liegen. Beim Erreichen der gewünschten Temperatur in der Schweißfuge wird das System für die Dauer einiger Sekunden ohne weitere Vibrationsreibung unter statischem Druck gehalten und die verflüssigten Holzpolymere können wieder erkalten und aushärten.

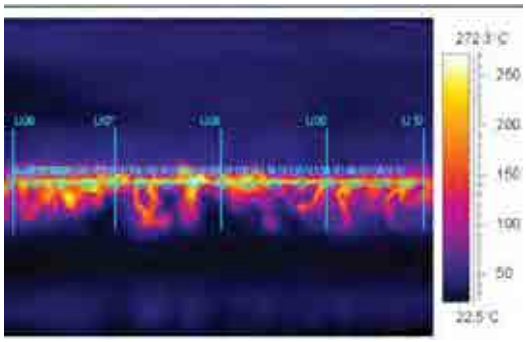


Abb. 2: Infrarot-Thermographie-Aufnahme einer Schweißfuge beim Linearvibrations-Schweißen von Buchenholz

Der Schmelzvorgang der polymeren Holzbestandteile führt zu einer Ablösung einzelner Fasern aus dem Zellverbund und zur Ausbildung eines verflochtenen Fasernetzes in der später wieder ausgehärteten Matrix. Mit Hilfe rasterelektronenmikroskopischer Aufnahmen an den ausgehärteten Schweißfugen können die Änderungen in der Holzstruktur, insbesondere aus dem Zellverbund herausgelöste und ineinander verflochtene Fasern, sichtbar gemacht werden. Zusätzlich ist dabei die geschmolzene Polymer-Matrix zu erkennen, die während des Schweißvorgangs in verflüssigtem Zustand aus der Schweißfuge austritt (siehe Abb. 3 oben). Die Vernetzung einzelner Holzfasern in der Polymermatrix erzeugt die mechanische Festigkeit der Schweißfuge, die maßgeblich für die Gesamtfestigkeit der Verbindung verantwortlich ist.

Darüber hinaus können aber auch Neubildungen chemischer Bindungen zwischen Ligninen und dem von Kohlenhydraten abgeleiteten Furfural mittels Kernresonanz (RMN)-Analysen beobachtet werden. Diese chemischen Bindungen, die ebenfalls zur Gesamtfestigkeit der Schweißfuge beitragen, werden hauptsächlich während der statischen Haltephase ausgebildet [1].

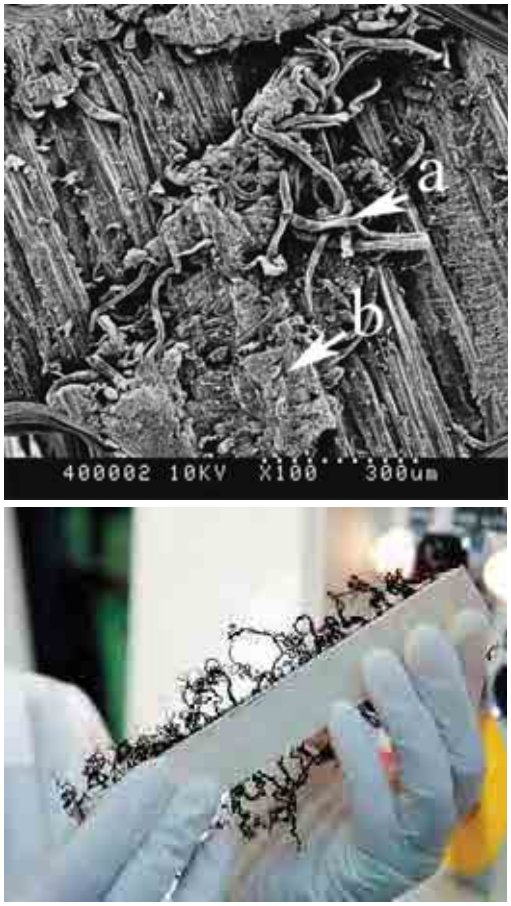


Abb. 3: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme (100-fache Vergrößerung) der Oberfläche einer offenen Schweißfuge nach der mechanischen Festigkeitsprüfung (oben) und Prüfkörper aus Buchenholz direkt nach dem Schweißprozess (unten).

3 Lokale Verdichtung des Holzes

Die Herstellung einer geschweißten Holzverbindung ist von maßgeblichen Änderungen der physikalischen Eigenschaften des Holzes begleitet. Der Einfluss von Temperatur und Druck während des Schweißens führt lokal zur Deformation des Holzgewebes. Im inneren Bereich der Schweißfuge wird eine plastische Deformation hervorgerufen, die nach der Abkühlung und dem Abbau des Pressdrucks bestehen bleibt. Die Veränderungen der Dichteverteilung im Holzgewebe durch das Holzschweißen wurde mit Hilfe der Mikrodensitometrie anhand von Röntgenaufnahmen untersucht [3].

In Abbildung 4 ist die Dichteverteilung im Holzgewebe von Buchenholz-Prüpfkörpern nach dem Holzschweißen dargestellt. Die Dichteerhöhung des Holzes ist auf einen schmalen Bereich beiderseits der Fuge von insgesamt ca. 0,6 mm begrenzt. Die mittlere Rohdichte des Buchenholzes von etwa 0,76 g/cm^3 im nicht plastifizierten Bereich des Holzgewebes wird im Bereich der Schweißfuge auf bis 1,10 - 1,20 g/cm^3 erhöht. Durch die deutliche Erhöhung der Rohdichte ergibt sich eine damit einhergehende Veränderung der mechanischen Eigenschaften des Holzgewebes, die bei dem Einsatz des Verfahrens und bei der Entwicklung neuer Produkte berücksichtigt werden muss.

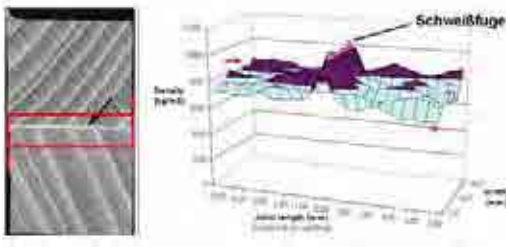


Abb. 4: Röntgen-mikrodensitometrische Aufnahmen von verschweißten Buchenholz-Prüfkörpern (links), Zunahme der Rohdichte im Bereich der Schweißfuge (rechts)

4 Einfluss der Holzanatomie auf die Verbindungseigenschaften

Die für die Plastifizierung der Polymermatrix erforderliche Energie wird durch die erzeugte Reibungsenergie bereitgestellt. Die Reibungseigenschaften von Holzoberflächen werden direkt von den holzanatomischen Merkmalen der Oberflächen, insbesondere der Ausrichtung der Oberflächen, beeinflusst [4].

Die verschweißten Radialflächen weisen holzartenabhängig Unterschiede in den Festigkeiten der Schweißfugen auf (Tab. 1). Werden Radialflächen mit einem Faserverlaufswinkel zueinander von 90° (wie bei der Sperrholzproduktion) miteinander verschweißt, liegen die Festigkeitswerte um etwa 50% niedriger. Verantwortlich hierfür ist eine deutlich weniger stark ausgeprägte Verflechtung der Faserstrukturen der beiden Holzteile im Bereich der Schweißfuge, wie mittels Rasterelektronen-Mikroskopie belegt werden konnte [4]. Grundsätzlich weisen Hölzer mit vergleichsweise homogenem Holzaufbau, z.B. Rotbuche und Ahorn höhere Festigkeiten in den Schweißverbindungen auf als Holzarten, die durch einen stärker ausgeprägten Dichtegradienten innerhalb der Jahrringe gekennzeichnet sind (z.B. Eiche). Verbindungen zwischen unterschiedlichen Holzarten können beim Holzschweißen auch hergestellt werden, die allerdings aufgrund holzartenspezifischer holzanatomischer Eigenschaften jeweils individuelle Festigkeitseigenschaften aufweisen.

5 Abbindezeit

Im Vergleich zu klebstoffbasierten Verbindungstechnologien weist das Linearvibrations-Schweißverfahren eine extrem kurze Abbindezeit auf. Bereits wenige Sekunden nach Beendigung der Vibrationsphase und der Temperatursenkung in der Schweißfuge erreicht die Verbindung ihre Endfestigkeit. Nach der Vibrationsphase ist eine Haltephase für die Stabiliserung der Schweißfuge von wenigen Sekunden erforderlich, bei der der An-

pressdruck weiterhin aufrechterhalten wird. Holzartenabhängig liegt die optimale Dauer der Vibrationsphase zwischen 3 und 7 Sekunden.

Zusätzlich weist jede Holzart eigene optimale Prozessparameter auf, die anhand von Parameterstudien bestimmt wurden. Grundsätzlich ist es aber möglich, die Parameter Dauer der Vibrationsphase und Haltephase, Schweißdruck, Haltedruck und die Vibrationsamplitude zu variieren, um unterschiedliche Energiemengen über veränderbare Zeiträume in den Fugenbereich einbringen zu können. Zur Bestimmung der Verbindungseigenschaften wurden Querzugversuche nach EN 205 durchgeführt [4]. Dabei wurden Festigkeiten im Zugscherversuch von bis zu 10 N/mm² gemessen, die mit den Werten von Holz-Holz-Verbindungen mit Polyvinylacetat-Klebern vergleichbar sind (Tab. 1).

Tab. 1: Querzugsfestigkeit von linearvibrationsgeschweißten Verbindungen verschiedener Holzarten. Die Prüfkörper wurden mit einem Schweiß- und Haltedruck von 1,3 N/mm^2, einer Haltezeit von 5 s und einer Amplitude von 3 mm verschweißt [4].

Holzart	Orientierung der geschweißten Radialflächen Flächen	Schweißdauer (s)	Zugscherfestigkeit (N/mm^2)
Buche	faserparallele Ausrichtung	4	8.0 ± 1.0
Buche	Faserverlauf im Winkel von 90°C	4	3.9 ± 0.4
Eiche	faserparallele Ausrichtung	4	5.8 ± 3.0
Ahorn	faserparallele Ausrichtung	4	10.6 ± 1.5

6 Schweißen von Holzwerkstoffen

In den meisten Holzwerkstoffen sind Holzbestandteile in natürlichem Zustand enthalten. Grundsätzlich ist es dadurch möglich Holzwerkstoffe aufgrund der thermoplastischen Eigenschaften der Holzbestandteile miteinander zu verschweißen. In umfassenden Studien wurde im halbtechnischen Maßstab versucht, Spanplatten, OSB, Sperrholz (Okoumé und Buche/Pappel) und MDF zu verschweißen [5]. Dabei wurden jeweils Schweißverbindungen an den Plattenkanten sowie an den Flächen der Platten hergestellt und die Festigkeit der Verbindungen anschließend im Zugscherversuch (EN 205) bestimmt.

Bis auf Verbindungen bei Buche/Pappel-Sperrholz weisen Schweißverbindungen der Plattenflächen höhere Festigkeitswerte als die entsprechenden Kantenverbindungen auf. Insgesamt können bei allen Proben hohe Festigkeiten im Vergleich zu den Eigenschaften des Werkstoffmaterials gemessen werden; meist werden diese bei Querzugbeanspruchung relativ zur Plattenoberfläche sogar überschritten. Lediglich beim Werkstoff MDF werden deutlich längere Schweißzeiten benötigt.

Tab. 2: Prozessparameter und Festigkeitswerte von geschweißten Flächen- bzw. Kantenverbindungen von Holzwerkstoffen

Platten Typ	Vibrationsdauer (s)	Vibrations- und Haltedruck (N/mm^2)	Zugscherfestigkeit (Verbindung) (N/mm^2)	Zugscherfestigkeit (Material) (N/mm^2)
Spanplatte, Fläche	7	1.5	1.81±0.12	0.55
Spanplatte, Kante	5	1.16	2.80±0.20	3.05
OSB, Fläche	5.5	1.33	2.34±0.83	1.21
OSB, Kante	5.5	1.22	3.09±0.56	3.55
MDF, Fläche	10	1.5	3.84±0.89	1.64
MDF, Kante	8	1.4	4.29±1.58	5.75
Sperrholz, Buche/Pappel, Fläche	3	1.33	7.22±1.19	5.41
Sperrholz, Buche/Pappel, Kante	3.5	1.48	6.21±0.82	10.76
Sperrholz, Okoumé, Fläche	3	1.33	2.09±1.17	5.15
Sperrholz, Okoumé, Kante	3	1.33	4.36±0.64	6.24

7 Anwendung - Geschweißter Snowboardkern

Mittlerweile wird an der BFH in Zusammenarbeit mit holzverarbeitenden Betrieben gezielt an einer Optimierung unterschiedlicher industrieller Verfahren durch den Einsatz des Linearvibrationsschweißverfahrens geforscht. Unter anderem erregte die Entwicklung eines holzgeschweißten Snowboardkerns (Abb. 5) für die Fa. Nidecker SA, große Aufmerksamkeit. Dabei handelt es sich um einen sehr leichten, aus einzelnen Holzlamellen

verschweißten Holzkern. Erste Prototypen wurden hergestellt und im Winter auf den Pisten mit Erfolg getestet. Mit diesem neuen, klebstofffreien und gleichzeitig wirtschaftlich rentabel produzierten Holzkern, werden die Erwartungen des Snowboard-Herstellers erfüllt, da das hochwertige, leistungsfähige und umweltfreundliche Produkt der Firmenphilosophie entspricht.

Abb.5: Entwicklung von geschweißten Blöcken für die Herstellung von Snowboardkernen für den schweizer Snowboardhersteller Fa. Nidecker.

8 Good Vibrations

Die Linearvibration-Schweißtechnologie ist ein etabliertes Verfahren, um thermoplastische Kunststoffteile miteinander zu verbinden. Die ersten Schweißversuche an kleinen Holzprüfkörper wurden mit einer Linearvibrations-Anlage für Kunststoffe (Fa. Branson Ultraschall, Dietzenbach) durchgeführt. In Zusammenarbeit mit der Fa. Branson wurde ein Prototyp entwickelt (Abbildung 6), mit dem für Holz geeignete Parameter, im Besonderen die höheren Reibungskräfte eingestellt werden können. Zudem können mit dieser Pilotanlage Holzteile bis zu eine Länge von 1,6 m verschweißt werden. Aufgrund der gesammelten Erfahrungen kann der Hersteller nun Anlagen zum Holzschweißen im Praxismaßstab anbieten, die genau an die jeweiligen Anforderungen des Verfahrens adaptiert sind.

9 Ausblick

Seit Beginn der Forschungstätigkeit über das Holzschweißen besteht eine intensive Zusammenarbeit der BFH und der Universität Henri Poincaré, Nancy, wo das so genannte rotative Holzschweißen, von der Grundlagenforschung bis zur Implementierung in der Holzverarbeitung erforscht wurde.

Die BFH erforscht zudem mit mehreren Industriepartnern Lösungen zur Optimierung von Produktionsverfahren durch den Einsatz des Holzschweißens. In zukünftigen Untersuchungen soll unter anderem das Verhalten der Schweißfuge bei direktem Kontakt mit Wasser oder bei unterschiedlichen Raumfeuchtigkeiten untersucht werden. Die nächsten Forschungsschritte werden die Optimierung der Fuge für Benutzung in strukturellen Anwendungen und die Modellierung des Prozesses sein.

Abb.6: Prototyp einer Linearvibrations-Schweißmaschine an der BFH

Quellen

[1] Gfeller, B.; Zanetti, M.; Properzi, M.; Pizzi, A.; Pichelin, F.; Lehmann, M.; Delmotte, L.: Wood bonding by vibrational welding., (2003), J. Adhesion Sci. Technol. 17(11): S. 1573-1589

[2] Ganne-Chédeville, C.; Properzi, M.; Pizzi, A.; Leban, J.M.; Pichelin, F.: Parameters of wood welding: a study with infrared thermography. (2006), Holzforschung 60: S. 434-438

[3] Leban, J.-M.; Pizzi, A.; Wieland, S.; Zanetti, M.; Properzi, M.; Pichelin, F.: X-ray microdensitometry analysis of vibration-welded wood, (2004), J. Adhesion Sci. Technol. 18(6): S. 673-685

[4] Properzi, M.; Leban, J-M.; Pizzi, A.; Wieland, S.; Pichelin, F.; Lehmann, M.: Influence of the grain direction in vibrational wood welding, (2005) Holzforschung 59(1): S. 23-27

[5] Ganne-Chédeville, C.; Properzi, M.; Pizzi, A.; Leban, J.M.; Pichelin F.: Edge and face linear Vibration welding of wood panels, (2007), Holz als Roh- und Werkstoff 65: S. 83-85

10.3 Fügetechniken
Textile Verbindungen

Katharina Leitner

1 Einleitung

Das Fügen von Holzbauteilen ist im Holzbau sehr oft die eigentliche Herausforderung.

Große Spannungen, z.B. in Faserlängsrichtung Zug- und Druck-Spannungen müssen durch Verbindungen in das nächste Bauteil weitergeleitet werden.

Hierbei kann nur selten die volle Last übertragen werden, so dass die Querschnitte von Holzbauteilen meist nach den erforderlichen Querschnitten an der Verbindungsstelle bemessen werden.

Dies liegt unter anderem daran, dass die Lasten durch die Verbindungsmittel oft punktförmig übertragen werden, was zu hohen Lochleibungsspannungen führt. Es besteht also das Bestreben, das Holz an den Verbindungsstellen zu verstärken oder eine besser verteilte kontinuierliche Krafteinleitung zu gewährleisten. Beide Optimierungsmöglichkeiten lassen sich mit Textilien verwirklichen.

Am Lehrstuhl Ingenieurholzbau und baukonstruktives Entwerfen der TU Dresden wurde unter Leitung von Univ.-Prof. Dr.-Ing. P. Haller eine innovative Lösung zur Verstärkung des Holzes aus textilen Gewirken entwickelt, die das Holz im Bereich der Krafteinleitung durch Stabdübel verstärken kann. Dies bedeutet, die aufnehmbare Lochleibungsspannung wird erhöht.

Mit Textilien wird eine wirkliche kontinuierliche Lasteinleitung möglich.

Am Lehrstuhl Baukonstruktion I (Tragwerklehre) der RWTH Aachen wurde unter Univ.-Prof. Dr.-Ing. W. Führer die Textile Fuge entwickelt. Die Textile Fuge ermöglicht eine kontinuierliche Schubkraftübertragung in den Kanten von schmalen Faltwerken. Dies bietet neue Perspektiven für die Herstellung von Faltwerken aus plattenförmigen Holzwerkstoffen.

Beide Entwicklungen werden in diesem Artikel vorgestellt.

2 Textilverstärkte Verbindungen

Zu diesem Thema werden in diesem Artikel die Ergebnisse des Forschungsberichtes „Physikalische und mechanische Untersuchungen an textilbewehrtem Holz und Holzbauteilen“ von Univ.-Prof. Dr.-Ing. Peer Haller und Dipl.-Ing. Tilo Birk [1] zusammengefasst. Teilweise wird wörtlich zitiert, die Zitate sind gekennzeichnet und stammen aus den Seiten 283 – 297 des Forschungsberichtes Teilprojekt C3 des SFB 528 von Peer Haller und Tilo Birk [1].

Die Lochleibungsfestigkeit des Holzes kann durch das Aufbringen von textiler Verstärkung erhöht werden.

„Gleichzeitig müssen die Tragglieder aber auch den hohen gestalterischen Anforderungen des modernen Ingenieurholzbaus genügen. Das transluzente Erscheinungsbild von glasfaserbewehrten Kunststoffen in Verbindung mit der Vielzahl von Möglichkeiten, die sich aus dem Einsatz von beanspruchungsgerechten Textilien ergeben, trägt beiden Forderungen Rechnung.“ [1]

Es wurden Lochleibungsversuche an Einzeldübeln parallel und quer zur Faser durchgeführt.

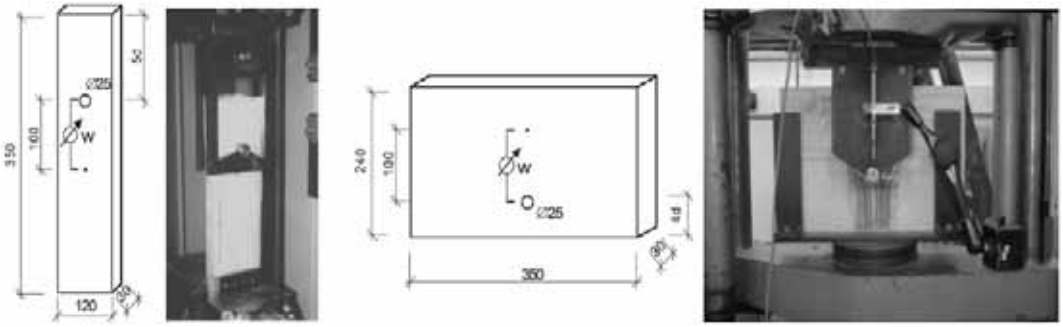


Abb. 1: „Versuchsaufbau zur Bestimmung der Lochleibungsfestigkeit nach DIN EN 383 längs zur Faser (links) und quer zur Faser (rechts)“ [1] S.286 Bild 1 [P. Haller, Technische Universität Dresden]

„Neben handelsüblichen Geweben und Gelegen aus Glasfasern (G) wurden auch Gewebe aus Hochleistungsfasern wie Aramid (AR) und Kohlenstoff (C) untersucht. Ziel der Arbeit an den Strukturen war es, Gelege herzustellen, deren Fadenverlauf optimal an die Beanspruchung angepasst ist.

Von links nach rechts sind Stern, Jojo, ungestütztes und gestütztes Auge und Schlaufe gefächert, gekreuzt und parallel zu sehen. Sie tragen den erwarteten Versagensmechanismen in unterschiedlicher Weise Rechnung. Während flächig wirkende Strukturen die Lochleibungsfestigkeit des Holzes erhöhen, indem sie die Holzfasern vor dem Dübel stützen, können Strukturen wie der Stern oder das Jojo die Spaltbruchneigung verringern, weil sie zusätzlich auftretende Querzugkräfte aufnehmen.“ [1]

Eine erste kraftgesteuerte Versuchsreihe zeigte folgende Ergebnisse:

- Versagensursache ist ein sprödes Aufspalten vor dem Dübel
- Stern und Jojo erhöhen die aufnehmbare Lochleibungsspannung ungefähr auf das doppelte derjenigen des Holzes

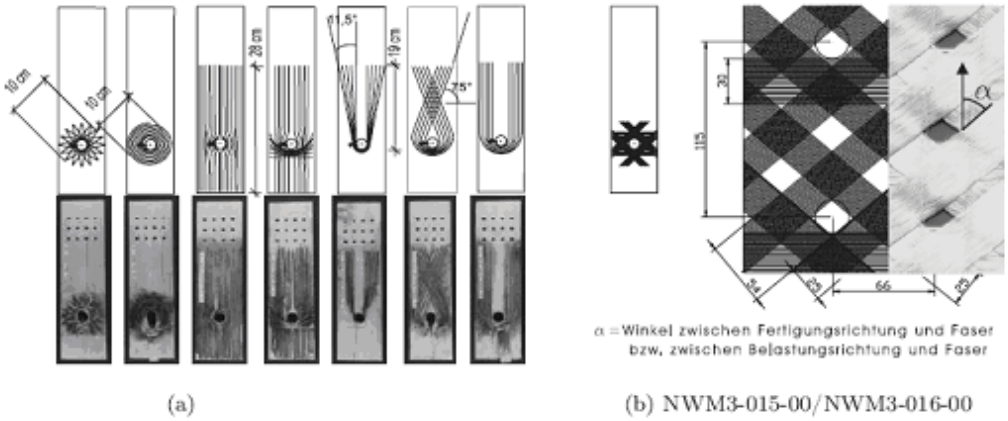


Abb. 2: „(a) Darstellung der textilen Strukturen: Von links nach rechts: sind Stern, Jojo, ungestütztes und gestütztes Auge und Schlaufe gefächert, gekreuzt und parallel, (b) zeigt ausgewählte Gelege“ [1] S.287 Bild 2 [P. Haller, Technische Universität Dresden]

- Die kraftgesteuerte Lastaufbringung führt nach Erreichen der maximalen „Spannungen in den Verstärkungslagen und der Umlagerung von Kräften auf das Holz zu einem schlagartigen Versagen." [1]
- Bei den Hochleistungsfasern Aramid, und Kohlenstoff „zeigen sich bei ungefähr gleichem Bewehrungsgrad der Gelege etwa 20 % höhere Traglasten bei den Hochleistungsfasern gegenüber den Glasfasern." [1]

Diese Erkenntnisse dienten als Grundlage für die 2. und 3. Versuchsreihe. Bei diesen Versuchsreihen wurde die Last weggesteuert aufgebracht.

Zusätzlich zu den bisherigen Gelegen wurden aus Glasfaser maschinell gefertigte Multiaxialgelege und Gelege aus Aramid gestestet, wobei etwa gleiches Flächengewicht der Gewebe angenommen werden kann.

Bei der 2. Versuchreihe wurde die Beanspruchung parallel zur Holzfaser getestet, bei der 3. Versuchreihe die Beanspruchung senkrecht zur Holzfaser.

Ausgewählte Ergebnisse der 2. Versuchsreihe (Beanspruchung parallel zur Faser) sind:
- Durch die weggesteuerte Belastung kommt es zu einem anderen Versagensmechanismus: „Der Dübel wird jetzt langsam durch die hintereinander liegenden Verstärkungsfäden hindurchgezogen und es kommt zu einem deutlich duktileren Verhalten des Verbindungsmittels" [1]
- Die Multiaxialgelege aus Glasfaser erreichen etwas höhere Lochleibungsspannungen als der Stern, was bedeutet, dass eine maschinelle Fertigung der Gelege möglich ist.
- die Steigerung der Lochleibungsspannung der Sternform aus Aramid im Vergleich zu der aus Glasfaser beträgt ca. 30 %

Ergebnisse der 3. Versuchsreihe (Beanspruchung senkrecht zur Holzfaser):
- „Das Versagen wird von einem Riss seitlich des Dübels eingeleitet." [1]
- „Textile Gelege, die die Lochleibungsbeanspruchung verringern und gleichzeitig Spaltzugkräfte am Dübelrand aufnehmen können, sind zur Ertüchtigung dieser Beanspruchung sehr geeignet." [1]
- Die höchste Lochleibungsspannung erzielt eine Verstärkung mit dem Stern, wobei hier kein wesentlicher Unterschied zwischen Aramid und Glasfaser besteht.

„Zusammenfassend kann für alle Versuchsreihen ein signifikanter Anstieg der Traglasten infolge der textilen Bewehrung festgestellt werden. Neben dem Bewehrungsgrad und damit der eingesetzten Menge an Verstärkungsfasern ist letztlich deren Verlauf maßgebend.

So haben Nähstrukturen, bei denen man den Faserverlauf sehr stark variieren kann, gegenüber mehrdirektionalen Geweben und Gelegen mit gestreckten Fasern einen Vorteil.

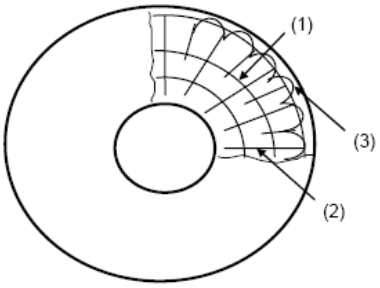
Das Umlenken der Rovingstränge um den Dübel führt zu einer gleichmäßigeren Beanspruchung der Fasern und lässt sie erst bei höherem Lastniveau versagen." [1]

Die Versuche zeigen, dass auch die Strukturen, die maschinell hergestellt wurden nahezu gleich wirken, so dass eine Herstellung in größeren Mengen für die Baupraxis möglich erscheint.

Weitere Forschungsergebnisse werden im Bericht: Der Einsatz von multiaxialen Nähgewirken und Biaxialgestricken zur Verstärkung von Holzkonstruktionen [2] vorgestellt.

Hierbei wurde die textile Verstärkung so optimiert, dass in der 2. Versuchsreihe dieser Untersuchung kein Versagen infolge zu hoher Lochleibungsspannung erfolgte, obwohl der Stabdübel einen Durchmesser von 50 mm hatte. Vielmehr versagte der Nettoquerschnitt des Holz-Textil-Verbundbereiches.

Abbildung 3 zeigt den Aufbau der entwickelten gestrickten Verstärkung und einen Versuchskörper.



(a) (1) Kettfaden, (2) Schußfaden, (3) Maschenfaden
(a) (1) Warp thread, (2) weft thread, (3) loop structure

Abb. 3: Aufbau und mögliche Anordnung gestrickter Verstärkungsstrukturen [2] S.238 Bild 2 [P. Haller, Technische Universität Dresden]

(b) Bewehrtes Bauteil – Hochausgelasteter Anschluß mit kombiniertem Spalt- und Flankenzugbruch
(b) Reinforced specimen – splitting and tension failure of cross-section

Abb.4: Zugehörige Versagensbilder [2] S.243 Bild 5 [P. Haller, Technische Universität Dresden]

Den Aufbau des Holz-Textil-Verbundes an der Lasteinleitungsstelle, und das Versagensbild des unbewehrten Bauteiles (Abb.4 (a) oben) und des bewehrten Bauteiles (Abb.4 (b) unten) zeigt Abb. 4.

In diesem Fall konnte die Traglast der Verbindung um das dreifache gesteigert werden.

Weitere Versuche an zyklisch belasteten Rahmenecken zeigen, dass sich die textile Verstärkung auch positiv auf die Duktilität der Verbindung auswirkt, so dass größere Stabdübeldurchmesser genutzt werden können, als z.B. in den jetzigen Erdbebennormen vorgegeben [3].

Die weiteren Versuche am Lehrstuhl Ingenieurholzbau und baukonstruktives Entwerfen der TU Dresden führten zur Entwicklung von textilverstärkten Formholzprofilen [3]. Diese werden von Herrn Prof. Haller in Kapitel 9.2 vorgestellt.

3 Textile Fuge

Die Textile Fuge wurde am Lehrstuhl Baukonstruktion I (Tragwerklehre) der RWTH Aachen unter Leitung von Univ.- Prof. Dr.-Ing. W. Führer im Rahmen der Dissertation von Dr.-Ing. K. Leitner [6] für die Konstruktion von Faltwerken aus plattenförmigen Holzwerkstoffen entwickelt. Die innovativen Faltwerke und Tragkonstruktionen, die hierbei entstanden sind, sind in Kap. 15.1 Faltwerke aus Holzwerkstoffen in dieser Forschungsarbeit dokumentiert.

Da Faltwerke sehr effiziente Tragstrukturen sind, können die Platten, die dafür verwendet werden sehr dünn sein. Diese Schlankheit der Konstruktion kann jedoch nur verwirklicht werden, wenn eine geeignete Konstruktion der Kantenausbildung gefunden wird, die die Kräfte möglichst kontinuierlich in die Kanten einleitet. Zusätzlich zu dieser Bedingung sollte eine Kantenverbindung gefunden werden, die einen echten Faltprozess ermöglicht und deren Lesbarkeit das Bedürfnis der Architekten nach einer klar ablesbaren Struktur unterstützt. [6] Abb. 5 zeigt die konservativen Lösungen zur Herstellung von Faltwerkkanten:

A und B sind nicht für die Furnierschichtholzplatten geeignet, C nur bedingt. Eine klare Lesbarkeit der Kante ist nur bei B gewährleistet. Die Kanten C, D und F sind durch die Futterhölzer gebrochen, Bei der Lösung E verfälscht das aufgebrachte Stahlblech das optische Erscheinungsbild

Nach einem Forschungsprozess, in dem mit Scharnieren, Klett und Textilstreifen experimentiert wurde, entstand die Textile Fuge.

Die Textile Fuge erfüllt die gestellten Forderungen am besten.

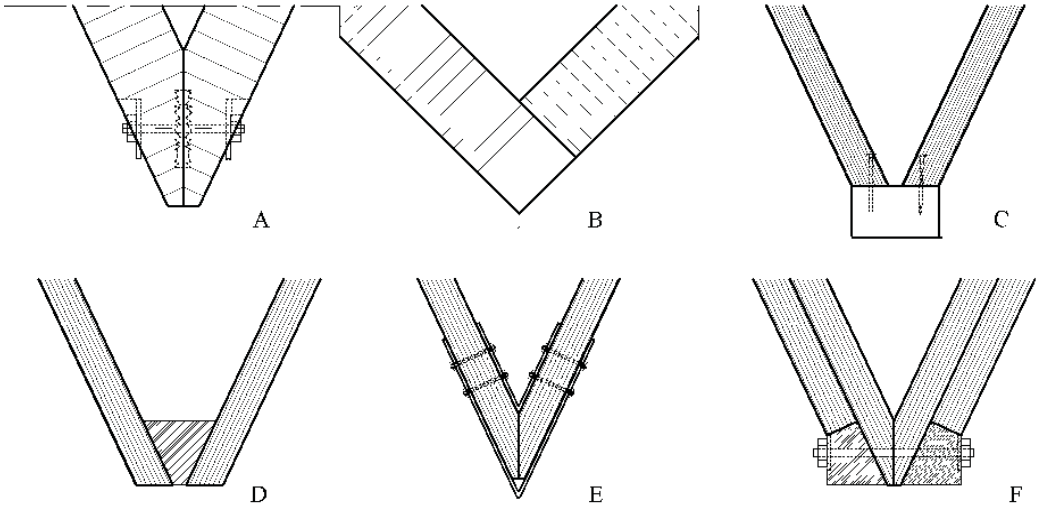


Abb. 5: „konservative Details für Faltwerkkanten
A) BSH mit Dübel besonderer Bauart, B) BSH verleimt, C) Sperrholz auf Füllholz genagelt D) Sperrholz mit Füllholz verleimt, E) Sperrholz mit gekanteten Stahlblechen, F) Sperrholz mit Futterholz und Dübeln“ [1]

Es ist eine innen liegende Verbindung, die große Bewegungen zulässt und so einen echten Faltprozess ermöglicht. Sie besteht aus zwei Lagen KERTO Q Furnierschichtholz mit einem innen liegendem Textil. Die ganzen Platten werden mit dem Textil zu einem Sandwichwerkstoff verleimt. Dieser wird von oben gefräst, von der anderen Seite geschlitzt, so dass nur noch das Textil mit einer 1 mm Holzschutzschicht bestehen bleibt und gefaltet werden kann. Zusätzlich wurde eine Montageverbindung entwickelt. Bei dieser werden die Platten versetzt verleimt, so dass eine Überblattung entsteht. Das Textil läuft über beide Platten und bildet wieder die Fuge.

Abb. 7: „Versuchsanordnung Textile Fuge links Zug, rechts Schub“ [1]

Abb. 7 zeigt den Versuchsaufbau. Die Werkstücke wurden zunächst gefaltet, dann geprüft. Es wurde jeweils Zug und Schub parallel und senkrecht zur Faserrichtung der Furnierschichtholzplatte geprüft. Auf den Bildern erkennt man die Faserrichtung recht gut. Links wird parallel der Faser gezogen, das rechte Bild zeigt den Schubversuch senkrecht zur Faserrichtung.

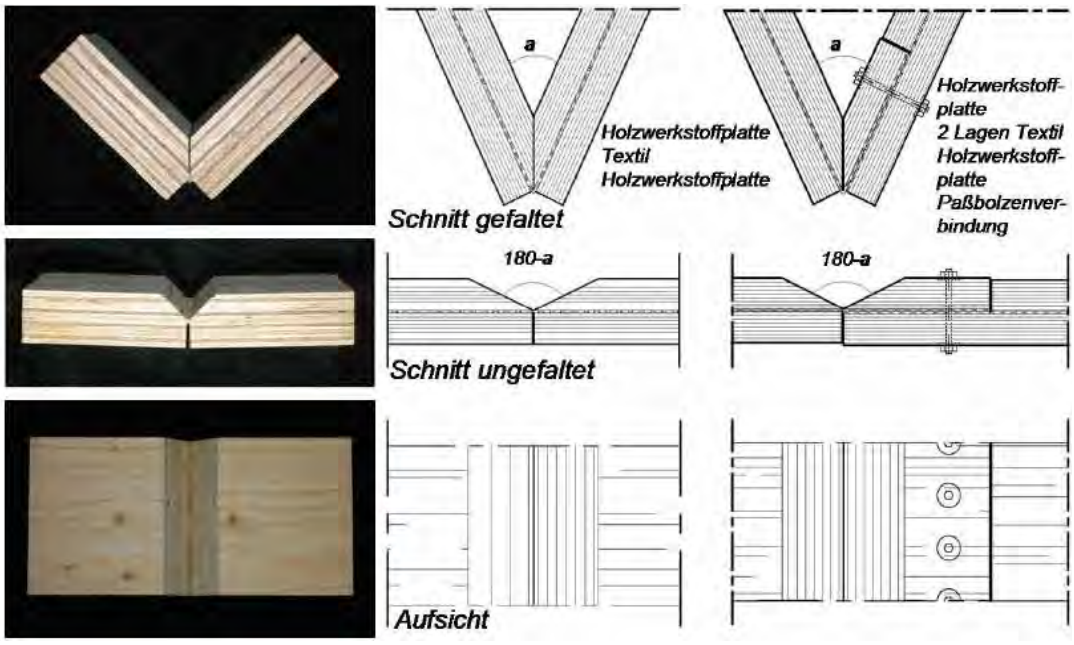


Abb. 6: TEXTILE FUGE Modell (links) und Zeichnung (Mitte); rechts: Zeichnerische Darstellung der Montageverbindung

Die Textile Fuge wurde mit verschiedenen Textilien und Klebstoffen getestet.

Die ersten Versuche mit unterschiedlichen Textilien (Glasfaser, Polyester, Aramid, Kohlefaser) haben gezeigt, dass Polyester als Textil gut geeignet ist. Glasfaser und Kohlefaser brechen beim Faltprozess. Allerdings ist zu vermuten, dass mit Aramid noch bessere Ergebnisse erzielt werden können, da seine Quersprödigkeit höher ist als die von Polyester. Tabelle 1 zeigt eine Zusammenfassung der Ergebnisse mit unterschiedlichen Klebstoffen für hochfestes Polyester.

Die Auswertung der Versuche zeigt, dass Polyurethanklebstoff die beste Verbindung mit den Holzfasern eingeht. Das äußert sich leider darin, das bei einer Zugbeanspruchung parallel zur Faserrichtung das Textil mit Holzfasern der Schutzschicht bricht. Bei einer Schubbelastung tritt der gleiche Effekt senkrecht zur Faser auf. Resorcinharz zeigt durchgängig bessere Werte als Melaminharzklebstoff. Es wird vorgeschlagen eine Kombination aus Resorcinharzklebstoff und hochfestem Polyester zu verwenden.

Tab. 1: Auswertung der Versuche für hochfestes Polyester und unterschiedliche Leime.

Hochfestes Polyester				
[N/5cm]	*Zug II Faser*	*Zug I Faser*	*Schub II Faser*	*Schub I Faser*
Melamin-harzleim Versagensart	***1500*** *Delamination*	***1233*** *Delamination*	***794*** *Delamination*	***845*** *Delamination*
Resorcin-harzleim Versagensart	***2833*** *Delamination*	***2333*** *Delamination*	***1240*** *Delamination*	***1658*** *Delamination*
Polyurethan-leim Versagensart	*Textil bricht beim Falten mit den Holzfasern*	***3126*** *Versagen im Bereich der Klemmbacke*	***1945*** *Holzfasern schälen sich mit Textil heraus*	*Textil bricht beim Falten mit Holzfasern*

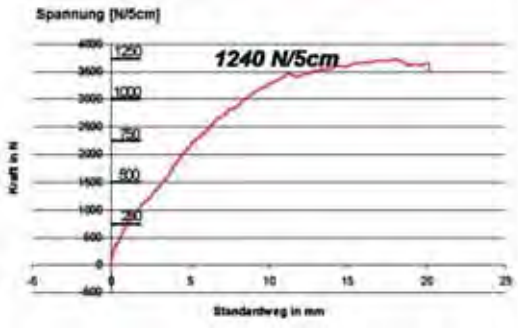


Abb. 8: Resorcinharz Schub II Faser (248 N/cm)

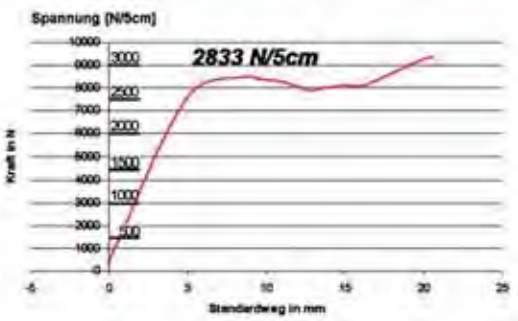


Abb. 9: Resorcinharz Zug II Faser (566 N/cm)

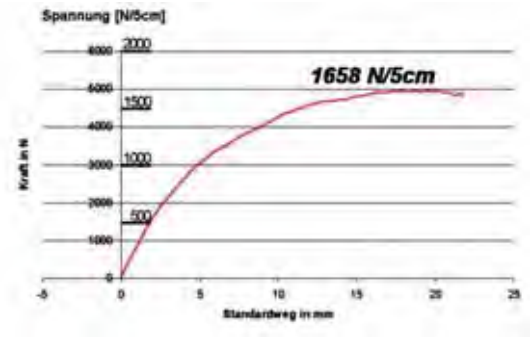


Abb. 10: Resorcinharz Schub | Faser (331,6 N/cm)

Abb. 11: Resorcinharz Zug | Faser (466 N/cm)

Abb. 8 bis 11 zeigen die zugehörigen Kraft-Dehnungslinien. Das Versagen wird durch Delamination, so heißt das Herausschälen des Textils, verursacht. Obwohl das Garn hochfest ist, ist die Dehnung sehr groß. Dies ließe sich wahrscheinlich durch die Verwendung eines Geleges verbessern.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Die untersuchten Verbindungen lassen ahnen, welches Potential in der Verwendung von Textilien im Holzbau verborgen liegt. Allerdings scheint es für die Holzbauunternehmen ein sehr großer Schritt zu sein, von den gewohnten Stahl-Verbindungen hin zu der Nutzung textiler Verbindungen, deren Eigenschaften in der Verarbeitung noch ungewohnt sind.

Quellen

[1] Haller, P.; Birk, T.Putzger, R.: Physikalische und mechanische Untersuchungen an textilbewehrtem Holz und Holzbauteilen. Technische Universität Dresden: Eigenverlag, 2002 – Arbeitsbericht des SFB 528, S. 283-322

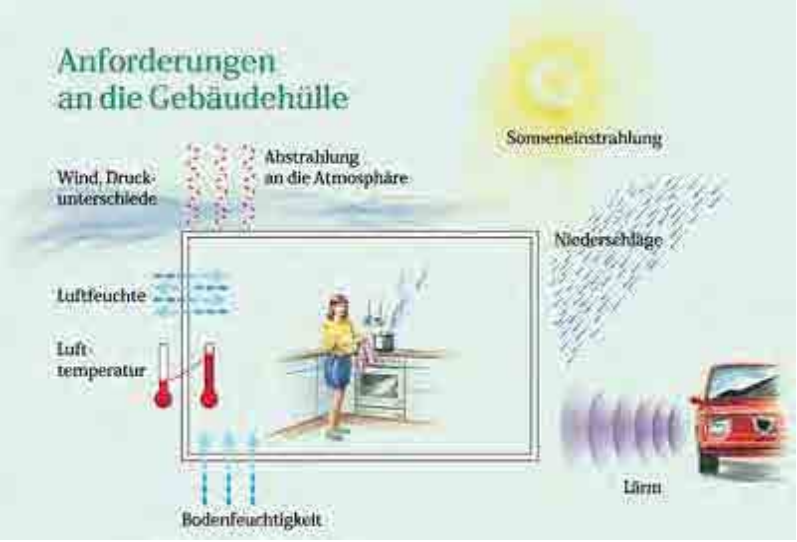
[2] Haller, P.; Birk, T.: Der Einsatz von multiaxialen Nähgewirken und Biaxial-Gestricken zur Verstärkung von Holzkonstruktionen. in: Tagungsband zum 2nd Colloquium on Textile Reinforced Structures (CTRS2) S. 235 ff. 2003 Dresden

[3] Heiduschke , A.; Haller, P.; Kasal, B.: Zum Tragverhalten textilbewehrt- verdichteter Holzrahmenecken unter zyklischer Beanspruchung. in Bautechnik Nr. 81 S. 658 ff. Ernst und Sohn Berlin 2004

[4] Leitner, K., Führer, W.: Faltwerk-Konstruktionen aus einem neuartigen Holzwerkstoff. detail 2001, S. 1532-34.

[5] Leitner, K.: Faltwerke mit ‚Textiler Fuge'. bauen mit holz 5/2003, Bruderverlag Karlsruhe,

[6] Leitner, K.: Tragkonstruktionen aus plattenförmigen Holzwerkstoffen mit der Textilen Fuge. Dissertation RWTH Aachen Fakultät für Architektur, 2004


Anforderungen
an die Gebäudehülle
Sonneneinstrahlung
Wind, Druck-
unterschiede
Abstrahlung
an die Atmosphäre
Niederschläge
Luftfeuchte
Luft-
temperatur
Lärm
Bodenfeuchtigkeit

11 Bauphysik
Inhaltsverzeichnis

11.1 Wärme- und Feuchteschutz
Sommerlicher Wärmeschutz S. 867
Hygrothermische Kennwerte von Holz S. 871
Außendämmung aus Holz S. 875
Balkendurchdringungen in historischen Außenwänden S. 883
Innendämmung - eine Chance für den Holzbau? S. 889
Holzfaserplatten für die Innendämmung S. 895
Passivhaus S. 901
Flachdächer in Holzbauweise S. 913

11.2 Schallschutz, Schwingung
Schall- und schwingungsoptimierte Holzdecken Bemessungshilfen für die Praxis S. 919
Schwingungstechnische Optimierung von Holzdecken S. 929
Akustikbauteile aus natürlichem Holz S. 937

11.3 Brandschutz
Brandschutz im Holzbau S. 943
Sicher hoch hinaus im Holzbau S. 949
Hochgefüllte Papiere als Holzfaserverbundwerkstoff – Potential im Brandschutz S. 957
Mehrschnittige Stabdübelverbindungen und Brandschutz S. 965
Modell zum Nachweis der raumabschließenden Funktion von Holzbauteilen S. 973

11.4 Dauerhaftigkeit
Dauerhaftigkeit im Holzbau S. 983

11 Bauphysik
Einleitung

Holz hat hervorragende bauphysikalische Eigenschaften, die sich sowohl auf die Konstruktion als auch auf die Nutzung eines Gebäudes vorteilhaft auswirken. Es zeichnet sich durch hohe Festigkeit und Tragkraft bei gleichzeitig geringem Eigengewicht aus. Durch seinen niedrigen Wärmeleitwert können Wärmebrücken verhindert und Kosten für Heizmaterial gespart werden. Die Elastizität von Holz sorgt für gute Standfestigkeit und Erdbebensicherheit: Obwohl Holzgebäude schwingen, stürzen sie nicht so leicht ein wie Gebäude aus steifen Materialien. Seine innere Struktur macht Holz zu einem extrem dauerhaften Baustoff, sofern damit richtig konstruiert und seine Oberfläche im Bedarfsfall geschützt wird. Beim Brandschutz erfüllt der moderne Holzbau alle gesetzlichen Bestimmungen; dies bedeutet, dass entgegen aller Vorurteile kein erhöhtes Sicherheitsrisiko im Vergleich zu anderen Baustoffen besteht. Insgesamt sind Holzhäuser sehr behaglich und sie erhöhen das subjektive Wohlbefinden durch die positive Anregung der Sinne.

Dennoch: Wie alle anderen Baustoffe ist auch Holz den Einflüssen der Natur ausgesetzt. Vor allem gegen Feuchtigkeit kann es je nach natürlicher Dauerhaftigkeit empfindlich regieren. Daher gilt es, bereits in der Entwurfsphase eines Gebäudes ein ganzheitliches Planungskonzept zu erstellen, welches die Bereiche des Wärme-, Feuchte-, Schall- und Brandschutzes berücksichtigt. Aufgrund der Vielfalt dieser Faktoren sind vor allem seitens der Planer bauphysikalische Fachkenntnisse unerlässlich. Die einzelnen bauphysikalischen Faktoren werden nachfolgend näher erläutert.

Wärme- und Feuchteschutz

Ein guter Wärmeschutz ist bei Neubauten inzwischen selbstverständlich geworden. Passivhäuser können durch moderne Holzgebäude problemlos erfüllt werden. Dabei bezeichnet der Passivhausstandard solche Bauten, deren Heizwärmebedarf im Jahr weniger als 15 kWh pro m^2 Gebäudenutzfläche betragen.

Die Holzrahmenbauweise, die sich in den meisten Holzgebäuden wieder findet, hat den Vorteil, dass der Anteil des Wandvolumens, der mit Wärmedämmung gefüllt werden kann, sehr hoch ist. Eine außen liegende Dämmschicht, wie bei der Massivbauweise üblich, kann zusätzlich ausgebildet werden. Durch die Vergrößerung der Dämmstoffdicken (z.B. durch eine gedämmte Installationsebene oder durch auf die äußere Beplankung angebrachte Holzweichfaserplatten) sind U-Werte ≤ 0,1 W/m^2K problemlos erreichbar. Mit ein Grund dafür ist, dass Holz selbst sehr niedrige Wärmeleitwerte besitzt, so dass beim Holzbau bereits die tragenden Bauteile hervorragende Dämmeigenschaften mit sich bringen.

Weitere Voraussetzung für einen guten Wärme- und Feuchteschutz ist die Luftdichtigkeit der Gebäudehülle. Wird durch warme Innenluft Feuchtigkeit in die Konstruktion getragen, kann die Wand in einzelnen Fällen dauerhaft durchfeuchten, mit der Folge schwerer Schäden (vgl. auch Kapitel 12). Daher sollte auf eine nach außen diffusionsoffene Bauweise geachtet werden, um so eine sommerliche Rücktrocknung des Bauteils zu ermöglichen: „So diffusionsdicht wie nötig, so offen wie möglich“, lautet das Motto. Die Luftdichtigkeit wird mittels des Blower-Door-Tests geprüft, vorhandene Undichtigkeiten können somit behoben werden.

Dämmstoffe aus Holz

Global gesehen ist die konsequente Dämmung des Gebäudebestandes eine der wenigen Möglichkeiten, die Energie- und Klimaproblematik wirklich in den Griff zu bekommen. Hier finden sich auch äußerst große Potenziale für Dämmstoffe auf der Basis von Holzcellulose oder Holzfasern. Der Beitrag „Innendämmung von massiven Außenwänden“ (Robert Borsch-Laaks) macht

deutlich, dass sich Holz basierte Dämmstoffe nicht nur an der Außenseite von Gebäuden, sondern durchaus auch als innenseitige Dämmung der Außenwände verwenden lassen. Die Angst vor der Verlagerung des Taupunktes in die Wand, samt der damit verbundenen Feuchteschäden, erweist sich in der Praxis in den allermeisten Fällen als unbegründet.

Der Beitrag zeigt im Detail, dass die Wände älterer Gebäude hinter der Innendämmung über Jahrzehnte lang trocken blieben. Ursache hierfür ist die kapillare Saugfähigkeit und das Sorptionsvermögen der historischen Wandbaustoffe. Bevor es zur befürchteten Tauwasserbildung kommen kann, wird möglicherweise entstandene Feuchtigkeit an der kalten Seite der Dämmschicht durch die Fähigkeit der massiven Wand zum kapillaren Flüssigkeitstransport weiterverteilt. Nur dort, wo Betonwände von innen ohne Dampfbremse gedämmt worden waren, konnte zuweilen der befürchtete Tauwasserfilm festgestellt werden.

Borsch-Laaks berührt noch ein anderes Problem, das allerdings weitgehend unabhängig vom verwendeten Dämmstoff ist: Wenn feuchte Innenraumluft in vorhandene Hohlräume zwischen Wand und Dämmstoff einfließt, kann es an der kälteren Wand ebenfalls zu Kondensation kommen und damit zur Gefahr der Schimmelbildung. Dieser Schadensfall kann aber durch eine sorgfältige Ausführung der Dämmung samt Dampfbremse verhindert werden.

Hoch gedämmte Gebäudehüllen

Die sehr guten Chancen der Wärmedämmung mit Holz unterstreicht auch der Beitrag „Passivhaus“ (Till Schaller). Dieser zeigt, dass sich Holz als tragender und dämmender Baustoff auf Grund seiner hohen Tragfähigkeit mit gleichzeitig geringer Wärmeleitfähigkeit für hoch gedämmte Gebäudehüllen ideal eignet. Dies beweist übrigens auch eine in 2008 errichtete „Zero-Emission Polarforschungsstation“ für die Antarktis, bei der man bei der Entwicklung der Wärme dämmenden Hüllkonstruktion mit dem Baumaterial Aluminium einfach nicht mehr weiter kam und sich schließlich für Holz entschied.

Der Beitrag von Schaller verdeutlicht, dass ein Passivhaus von den Erstellungskosten etwa 6 bis 8 % teurer ist, als ein konventionelles Gebäude mit einem Dämmstandard nach Stand der Technik; zudem sind die bauhandwerklichen Details bezüglich der Luftdichtigkeit besonders sorgfältig auszuführen. Dieser Mehraufwand wird allerdings innerhalb weniger Jahre kompensiert, zum einen durch die reduzierte Haus- und Heiztechnik eines Passivhauses, zum anderen durch die Einsparung teurer Energieträger.

Passivhaus in Ottbergen. Architekt: Carsten Grobe

Einen umfassenden Überblick über die Möglichkeiten der Dämmung von Wänden und Dächern gibt der Beitrag „Außendämmung aus Holz“ (Norbert Rüther). Er zeigt den Stand der Technik für Dämmungen mit Holzwerkstoffen für die Anwendungsgebiete „Dach“ und „Wand“. Diese Anwendungen unterscheiden sich danach, ob zwischen Dämmschicht und Wetterschutz eine Luftschicht liegt (wie unter Dachdeckungen bzw. hinter Bekleidungen) oder auf eine Hinterlüftung verzichtet wurde (wie bei Dachabdichtungen

bzw. unter Wandputz). Der Beitrag zeigt deutlich, dass auch in diesen wetternahen Gebäudebereichen Holz schon seit geraumer Zeit Einzug gefunden hat; dieses Potenzial ist noch lange nicht ausgeschöpft.

Ein weiteres realistisches Potenzial für den Baustoff Holz erschließt der Beitrag „Flachdächer in Holzbauweise“ (Daniel Schmidt). Besonders wirtschaftliche Flachdächern aus Holz existieren auf vielen Gebäuden in Form nicht belüfteter Bauteile, bei denen sich die Dämmung innerhalb der Tragebene befindet. Mit Spannweiten bis zu 10 m liegen für den Wohnungs-, Bildungs- und Verwaltungsbereich ausreichende Elementtragfähigkeiten vor. Hier gibt es auch seitens des Brandschutzes heute keine Bedenken mehr.

Bei den größeren Dachflächen des Industrie- und Gewerbebaus sieht dies aufgrund der baurechtlichen Anforderungen für den Baustoff Holz leider noch anders aus, so der Autor. Die Funktionstüchtigkeit von Holzelementen in Bezug auf die Begrenzung der Brandweiterleitung im Bereich der geschlossenen Dachfläche konnte zwar durch Versuche nachgewiesen werden; nun ist es erforderlich, die baurechtlichen Randbedingungen in Bezug auf die Musterrichtlinien für Industriebauten und Versammlungsstätten zu schaffen, um die Leistungsfähigkeit dieser Holzkonstruktionen anwendbar machen zu können.

Brandschutz

Dass Holz brennt ist eine Binsenweisheit, die Bilder vom Inferno brennender Wälder hat jeder im Kopf. Beim Brand eines Gebäudes jedoch ist Holz gegenüber anderen Baustoffen gewissermaßen im Vorteil, da es auf Grund seiner Eigenschaften berechenbarer ist. So bildet Holz eine schützende Kohleschicht, die ein weiteres Abrennen verhindert. Darunter bleibt, bei entsprechender Dimensionierung, ein tragfähiger Kern übrig. Auch aufgrund der Geräuschentwicklung der Konstruktion im Brandfall kann die Feuerwehr relativ gut abschätzen, wann Gefahr im Verzug ist. Insgesamt kann aus der heutigen Sicht der Forschung und Praxis gesagt werden, dass bei Einhaltung der gesetzlichen Rahmenbedingungen bzw. bei einer gewissenhaften Planung und Realisierung eines Holzgebäudes ein erhebliches Brandschutzniveau erreicht wird.

Den aktuellen Stand in Deutschland erläutert der Beitrag „Brandschutz im Holzbau“ (Dirk Kruse, Michael Dehne). Aufgrund umfangreicher theoretischer und experimenteller Grundlagenuntersuchungen ist es gelungen, die Bedenken der Bauaufsicht und der Feuerwehr gegenüber der Holzbauweise auszuräumen. Die Musterbauordnung 2002 erlaubt in Verbindung mit der Musterrichtlinie für Brandschutzanforderungen an hochfeuerdämmende Bauteile in Holzbauweise (M-HFHHolzR) die Erschließung der innerstädtischen Quartiere in mehrgeschossiger Holzbauweise.

Wenn die konstruktiven Anforderungen der M-HFHHolzR erfüllt werden, können die mit der Brandschutzbekleidung eingekapselten Holzkonstruktionen als gleichwertig zu Mauerwerks- oder Stahlbetonbauteilen betrachtet werden. Über ganzheitliche Brandschutzkonzepte ist es sogar möglich bis zu sieben Geschoße zu realisieren. Aktuelle Projekte beschäftigen sich mit der Entwicklung von sicheren normal entflammbaren Fassadenkonstruktionen sowie transparenten Brandschutzbeschichtungen, um Holz auch sichtbar verbauen zu können.

Der Ermittlung des Feuerwiderstands von massiven und zusammengesetzten Holzbauteilen widmet sich der Beitrag „Modell zum Nachweis der Raum abschließenden Funktion von Holzbauteilen“ (Vanessa Schleifer). Da tragende Holzbauteile zumeist mit Gipsplatten o.ä. verkleidet werden, um die Zeit des Feuerwiderstands (und damit die Eingriffszeit der Feuerwehr) zu erhöhen, wurden

auch jene Zeiten berechnet, nach deren Ablauf sich die Hölzer hinter der Verkleidung entzünden würden. Nach dieser Zeit würden zwar die Bauteile noch nicht nachgeben, durch entstehende Undichtigkeiten könnten jedoch giftige bzw. tödliche Rauchgase in benachbarte Räume entweichen.

Mit dem thermischen Verhalten von Holzverbindungen bei größeren Bauwerken und Hallen beschäftigt sich der Beitrag „Mehrschnittige Stabdübelverbindungen und Brandschutz“ (Carsten Erchinger). An dieser Stelle sei auch auf Kap. 10 „Verbindungstechniken“ verwiesen. Einen ganz anderen Ansatz verfolgt der Beitrag „Hochgefüllte Papiere als Holzfaserverbundwerkstoff – Potenzial im Brandschutz“ (Andreas Hofenauer). Er betrachtet den Brandschutz aus Sicht der Hersteller von mineralischen gebundenen Holzwerkstoffen mit der Möglichkeit, einen leichten Baustoff mit hoher Brandschutzqualifizierung herzustellen.

Fazit: Die Brandgefahr ist in einem modernen Holzhaus sicher nicht höher als in jedem anderen Haus. Diese Erkenntnis setzt sich allerdings erst langsam durch, und das Thema „Brandschutz“ ist noch immer eines der Hauptgründe, warum der Holzbau – im wahrsten Sinne des Wortes - nicht nach oben kommt.

Schallschutz, Schwingung

Der Schallschutz von Holzbausystemen kann durch die Wahl geeigneter Bauteilaufbauten und Detailausbildungen ein hohes Niveau erreichen und dabei viele andere Bauweisen qualitativ übertreffen. Die Anforderungen sind in DIN 4109 „Schallschutz im Hochbau“ enthalten.
Der Holzrahmenbau nutzt das Prinzip der Mehrschaligkeit, das durch den vielschichtigen Aufbau mit verschiedenen Beplankungen, Aufbauten, abgehängten Unterdecken usw. gegeben ist. Durch die Kombination mit Dämmstoffen in den Hohlräumen und den Beplankungsstoffen mit unterschiedlicher Masse lassen sich die jeweiligen Schallschutzanforderungen erfüllen. Ein guter Schallschutz wird auch durch eine sorgfältige Konstruktion und Ausführung der Anschlüsse (z.B. Wand-/ Deckenanschluss) erreicht. Um eine Weiterleitung des Schalls über Nebenwege zu verhindern, müssen alle Anschlüsse Schall entkoppelt ausgebildet werden.

Gerade im mehrgeschossigen Holzbau mit mehreren Nutzern muss dem Schallschutz besonderes Augenmerk entgegengebracht werden, da das niedrige Gewicht des Holzes – sonst ein großer Vorteil der Holzbauweise – die Schallausbreitung oft nicht ausreichend dämpft. Durch die konstruktive Entkoppelung von einzelnen Bauteilen oder Geschossen, durch biegeweiche und damit schallschluckende Beplankungen von Wänden und Fußböden bzw. Decken und durch die Ausbildung von Fugen werden sowohl Trittschall als auch Luftschall ausreichend unter Kontrolle gebracht und die gesetzlich geregelten Vorgaben an den Schallschutz in Mehrfamilienhäusern eingehalten.

Epilog: Zum Begriff der „Dauerhaftigkeit“

Die Bauphysik spielt naturgemäß in alle Bereiche des Bauens hinein. Im Rahmen dieser Studie finden sich bauphysikalische Themen in fast in allen Kapiteln wieder, vor allem im Kapitel 10 („Verbindungstechniken“) sowie im Kapitel 12 („Holzschutz, Oberflächenbehandlung“).

Ob ein Bauwerk nun sorgfältig durchdacht und gebaut wurde, hat unmittelbaren Einfluss auf seine Dauerhaftigkeit. Im Holzbau liefert die DIN 1052 (ab Ausgabe 2004) folgende Definition: „Die Forderung nach einem angemessen dauerhaften Tragwerk gilt als erfüllt, wenn es während der vorgesehenen Nutzungsdauer seine Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit ohne wesentlichen Verlust der Nutzungseigenschaften und

mit einem vertretbaren Instandhaltungsaufwand behält."

Der Beitrag „Dauerhaftigkeit im Holzbau" (Norbert Rüther) untersucht diesen wichtigen Aspekt des Bauens näher. So sind bei der Betrachtung der Dauerhaftigkeit im Holzbau die Fragestellungen nach der Optik, dem Trag- und Verformungsverhalten, der Dichtheit und dem Wetterschutz zu beantworten. Als Beispiel wird die Dauerhaftigkeit einer Dichtfuge genannt: Diese wird erheblich von dem Verformungsverhalten der angrenzenden Bauteile beeinflusst. Erfüllt eine Dichtfuge nicht mehr ihre Funktion, so können andere – dahinter befindliche Bauteile – schnell in Mitleidenschaft gezogen werden. Insgesamt wird sich ein potenzieller Bauherr oder Käufer eines Holzhauses immer dafür interessieren, ob das Gebäude dauerhaft und damit wertbeständig ist.

11.1 Wärme- und Feuchteschutz
Sommerlicher Wärmeschutz

Daniel Kehl

1 Einführung

Es ist bekannt, dass es bei Wohn- und Bürogebäuden während der Sommermonate unter bestimmten Randbedingungen zu einem unbehaglichen Raumklima kommen kann. Dies ist umso bedeutsamer, da es auf Grund des Klimawandels [1] zukünftig immer wärmer wird. Zur Reduktion hoher Temperaturen können sowohl anlagentechnische als auch konstruktive Massnahmen eingesetzt werden.

Allerdings sind Klimaanlagen bei hoch effizienten Wohnbauten aus primärenergetischer Sicht kaum akzeptabel. Auch Lüftungsanlagen, die heute bei Niedrigenergie-Bauten eingesetzt werden und für einen Mindestluftwechsel im Winter ausgelegt sind, sind für notwendig hohe Luftwechsel im Sommer ungeeignet. Sie würden bereits beim doppelten Volumenstrom das Achtfache an Antriebsenergie benötigen [2].

2 Aktueller Stand

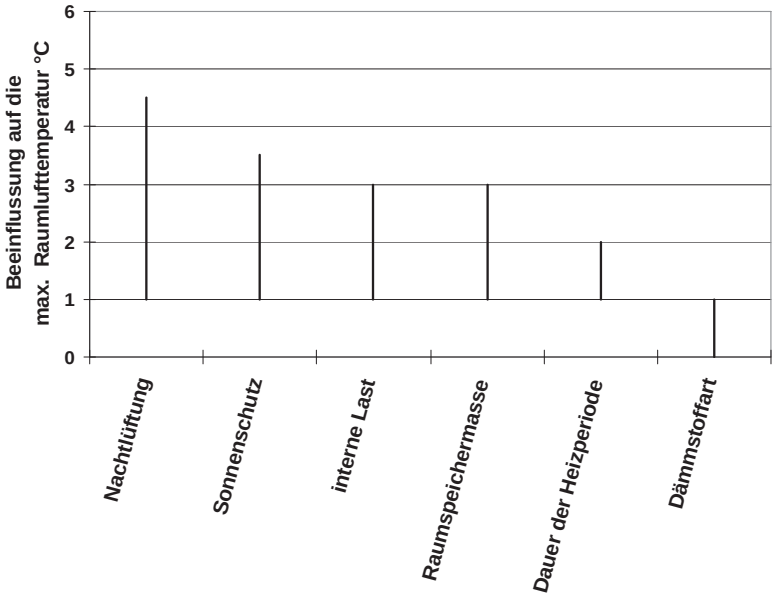


Abb. 1: Einfluss einzelner Parameter auf die max. Raumlufttemperatur (nachgebildet aus [13])

Die konstruktiven und nutzerbedingten Mechanismen, um die Temperaturen auf ein behagliches Mass zu reduzieren, sind prinzipiell bekannt, u.a. [2]-[9]. Zu Massivbauten liegen dazu Erkenntnisse aus Messungen und Simulationen vor. Da Holzbauten auf Grund ihrer unterschiedlichen inneren Speicherfähigkeit anders, teils kritischer, reagieren, können die Ergebnisse des Massivbaus nicht übertragen werden. Für Holzbauten mit ihren mittlerweile sehr unterschiedlichen Bauweisen (u.a. Holzrahmen-, Holzmassiv- und Holzbetonverbundbau) liegen nur vereinzelte Erkenntnisse vor. Hier fehlt es an detaillierten und umfangreichen Untersuchungen. Diese sind dringend erforderlich, da der Holzbau auf Grund der Nachkriegsbauten oftmals in der Bevölkerung mit Barackenklima gleichgesetzt wird und sich dies bis heute auf den Wiederverkaufswert von Holzgebäuden niederschlägt.

2.1 Aktuelle Planungswerkzeuge

Bisher stehen den Planenden verschiedene vereinfachte Nachweisverfahren zur Einhaltung des sommerlichen Wärmeschutzes zur Verfügung. Die so genannten „Ja-Nein“ - Nachweise treffen allerdings keine Aussage über die Qualität des Gebäudes. In der Regel sind sie außerdem für Holzbauten ungeeignet (s.u.a. [3], [7]). Eine Optimierung ist mit solchen Verfahren ist in der Regel nicht möglich. Hingegen sind Simulationen zu aufwendig, um einen Nachweis zu führen.

3 Forschungsbedarf

3.1 Messung bestehender Gebäude:

Unter anderem sind Messungen an verschiedenen Holzbauten notwendig. Dabei kann das Raumklima, die Einflussfaktoren wie z.B. das Nutzerverhalten, genauer untersucht werden. Letzteres ist besonders wichtig, da hierzu kaum Informationen vorliegen. So bleibt oftmals unberücksichtigt, dass sich das Nutzerverhalten dem Gebäude anpassen kann. Die Ergebnisse der Messungen beziehen sich allerdings immer nur auf

die tatsächlichen Raumsituationen. Sie sind auf andere Räume mit anderen Randbedingungen nicht übertrag- und quantifizierbar.

3.2 Parameteruntersuchung mittels Gebäudesimulation

Daher ist es sinnvoll, die Messungen mittels thermischer Gebäudesimulation zu erweitern. So können die einzelnen Einflussparameter wie Fensterfläche und -ausrichtung, Verschattung, Lüftung sowie Wärmespeicherfähigkeit der Holzbauten und besonders deren Wechselwirkung genau analysiert werden. Hier wird das Augenmerk besonders auf die unterschiedlichen Speichermassen und die natürliche Lüftung über Fenstern gelegt. Letzteres ist hoch effektiv [2] [9] und kann z.B. mittels geringer Fenstertechnik anwenderfreundlich und mit geringem Energieeinsatz realisiert werden.

Anhand der Messungen und der Parameteruntersuchung können so die Varianten herausgearbeitet werden, unter denen bei Holzbauten auf Anlagentechnik im Sommer verzichtet bzw. auf ein Minimum reduziert werden kann.

4 Ziele der Forschung

Mittels der Messungen und der thermischen Gebäudesimulation werden die wichtigen Einflussparameter auf das sommerliche Raumklima untersucht. Zunächst ist das wesentliche Ziel der Messungen ein aktuelles Bild der tatsächlich vorhandenen Temperaturen in Wohngebäuden zu erlangen. Zudem wird das Nutzerverhalten genau untersucht. Die Messergebnisse dienen parallel dazu, das Simulationswerkzeug zu validieren und ggf. anzupassen. Mittels der gewonnenen Erkenntnisse kann genau spezifiziert werden, mit welchen konstruktiven Maßnahmen es im Holzbau möglich ist, die Behaglichkeit im Sommer ohne bzw. mit nur sehr geringer Anlagentechnik zu gewährleisten.

Die Ergebnisse müssen anschließend so aufbereitet werden, dass Architekten, Ingenieure und Holzbauer das sommerliche Verhalten von Gebäuden besser eingeschätzten und planen können. Damit dies möglich ist, soll neben Veröffentlichungen ein einfach handhabbares Planungstool entwickelt werden, das zum einen einen einfachen Nachweis ermöglicht und zum anderen eine qualitative Aussage über das Bauwerk trifft. Sehr gute Ansätze finden sich bspw. in [2]. Parallel dazu werden die Erkenntnisse in der Normung einfliesen, so dass der Holzbau differenzierter abgebildet wird.

Quellen

[1] Brunner, C.; Steinemann, U.:Bauen, wenn es wärmer wird – Notwendige Umkehrung normativen Denkens, Beitrag zum 14. Schweizerischen Status Seminar „Energie- und Umweltforschung im Bauwesen“ , Zürich 2006

[2] Hrsg.: Feist, W.: Lüftungsstrategien für den Sommer, Protokollband 22 des Passivhausinstitutes, Eigenverlag, Darmstadt 2003

[3] Zweifel, G.; Ragonesi, M.: Holzbauten: Wärmeschutz im Sommer, Beiträge in der Zeitschrift Schweizer Holzbau, Ausgaben 7/2002 und 8/2002, Zürich 2002

[4] Hrsg.: Feist, W.: Passivhaus Sommerklima Studie, Fachinformation PHI-1998/10 des Passivhausinstitutes, Eigenverlag, Darmstadt 1998

[5] Stockinger, J.; Krec, K.; Seidl, J.: Thermisch optimierter Einsatz von Ziegel in Passivhäusern, Beitrag zur 8. Europäischen Passivhaustagung 2004, Zentrum für Bauen und Umwelt, Eigenverlag, Krems 2004

[6] Hrsg.: Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. München: Sommerliches Temperaturverhalten eines Dachzimmers bei unterschiedlichem Dachaufbau mit und ohne Berücksichtigung eines Sonnenschutzes, Bericht C1-14b/00 München 2000

[7] Borsch-Laaks, R.: Ist das Sommerklima berechenbar – Teil 1: Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes nach DIN 4108-2, Beitrag aus der Zeitschrift Holzbau – die neue quadriga, Wolznach 2004

[8] Borsch-Laaks, R.: Ist das Sommerklima berechenbar – Teil 2: Fallstudie zum sommerlichen Wärmeschutz mit PHPP 2004, Beitrag aus der Zeitschrift Holzbau – die neue quadriga, Wolznach 2004

[9] Borsch-Laaks, R.: Die richtige Sommerlüftung – Erkenntnisse und Empfehlungen für die natürliche Kühlung, Beitrag aus der Zeitschrift Holzbau – die neue quadriga, Wolznach 2008

[10] Otto, F.; Ringeler, M.: Verbesserung des sommerlichen Wärmeverhaltens von Wohngebäuden durch Holzfaser-Dämmplatten, Studie im Auftrag des Verbandes Holzfaserdämmstoffe e.V., Eigenverlag 2005

[11] SIA 180 1999: Wärme- und Feuchteschutz im Hochbau, Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich 1999

[12] Önorm B 8110-3 Wärmeschutz im Hochbau – Wärmespeicherung und Sonneneinflüsse, Österreichisches Normeninsitut, Wien 1999

[13] Frank, Th.: Sommerlicher Wärmeschutz von Dachräumen, Vorlesung an der ETH Zürich „Spezialfragen Bauphysik HS 2007“, Zürich 2007

11.1 Wärme- und Feuchteschutz
Hygrothermische Kennwerte von Holz

Daniel Kehl

1 Einleitung

Durch die steigende Nachfrage an ökologischen, energieeffizienten und nachhaltigen Bauweisen hat die Verwendung von Holz und Holzwerkstoffen sowohl im Neubau als auch im Altbau in den letzten Jahren zugenommen. Parallel dazu wurden neue Holzwerkstoffe entwickelt und bewehrte Materialien modifiziert. Oftmals werden aber für solche Produkte im Wesentlichen Materialkennwerte für statische Nachweise ermittelt, da diese bauordnungsrechtlich erforderlich sind. Eine Vielzahl der Holzwerkstoffe übernehmen aber nicht nur tragende Funktionen sondern gleichzeitig auch bauphysikalische Aufgaben bzw. sind bauphysikalischen Einflüssen ausgesetzt.

2 Aktueller Stand

Heute ist es in anderen Bereichen des Bauwesens wie z.B. der Tragwerksplanung üblich, zur Optimierung von Details und Anschlüssen komplexe Software anzuwenden. In der Bauphysik hingegen wird von den Planern weitestgehend ein sehr vereinfachtes Berechnungsverfahren, das sogenannte Glaser-Verfahren [1-2], verwendet. Dafür reichen einzelne hygrothermische Kennwerte aus [3-5]. Wie bei allen vereinfachten Verfahren, liegen dieses in der Regel auf der sicheren Seite. Bei vielen Wand- und Dachaufbauten hat sich das Glaser-Verfahren durchaus bewährt. Allerdings kommt es vor, dass Konstruktionen in der Praxis funktionieren, aber mit den vereinfachten Berechnungsregeln nicht nachweisbar sind.

Infolge dessen wurden solche Konstruktionen in der Norm als nachweisfrei definiert [1][6]. Umgekehrt konnten Konstruktionen berechnet werden, die in der Praxis zu Bauschäden geführt haben [7], [8]. Daher wurden bestimmte Aufbauten aus den Konstruktionskatalogen ausgeschlossen. Hinzu kommt, dass man mit dem Glaser-Verfahren keine Aussagen über die tatsächlichen Feuchteverhältnisse im Bauteil erhält. Somit ist eine Bewertung der Konstruktion nur begrenzt möglich.

Durch die angesprochenen Aspekte werden u.a. neue innovative Baumaterialien ausgeschlossen, da sie bei Erscheinen der Normen (bspw. DIN 68800-2: 1996 [6]) noch nicht existierten bzw. nicht verbreitet waren. Dies ist aktuell z.B. bei ökologischen Dämmstoffen sowie bei der Verwendung von Holzwerkstoffen und bestimmten Folienmaterialien (z.B. OSB; feuchteadaptive Dampfbremsen) der Fall. Allerdings können die Eigenschaften dieser Baustoffe dazu beitragen, dass sichere Holzkonstruktionen entstehen und auch auf chemischen Holzschutz verzichtet werden kann.

So weisen Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen im Gegensatz zu mineralischen Fasern sorptive Eigenschaften auf. Kurzzeitige erhöhte Feuchten innerhalb der Konstruktion werden abgepuffert. Holzwerkstoffplatten und Dampfbremsen mit feuchtevariablen Eigenschaften reduzieren im Winter den Dampfdiffusionseintritt in die Konstruktion und erhöhen durch ihr diffusionsoffenes Verhalten im Sommer das Austrocknungspotenzial des Bauteils [9].

Aus all den Punkten wird ersichtlich, dass Vereinfachungen in der Berechnung und die damit einhergehenden Begrenzungen in der Normung zu teils unbefriedigenden Ergebnissen führen und für neue Entwicklungen im Holzbau ein Hemmnis darstellen.

Eine Alternative zu der vereinfachten Nachweisführung stellen hygrothermische Simulationsprogramme dar [10], [11].

Allerdings fehlt es an einer ausreichenden Anzahl von hygrothermischen Kennwerten für Holzwerkstoffe. Zwar liegen bereits Kennwerte für Holz und Holzwerkstoffe vor [13], sie stellen aber nur

einen Teil der auf dem Markt befindlichen Werkstoffe dar bzw. sind bereits wieder verändert worden. Hinzu kommt, dass z.B. OSB-Platten von Hersteller zu Hersteller teils stark unterschiedliche hygrothermische Eigenschaften aufweisen.

Mit den vorhandenen Daten konnte bereits an einigen Stellen aufgezeigt werden, dass die Begrenzungen aus der Normung teils ungerechtfertig sind. Um bspw. auf einen vorbeugenden chemischen Holzschutz verzichten zu können, müssen laut DIN 68800-2 „besondere bauliche Maßnahmen als Voraussetzung für die Zuordnung von Holzbauteilen zur Gefährdungsklasse (GK) 0“ ergriffen werden. Für geneigte Dächer bedeutet dies den zwingenden Einsatz einer diffusionsoffenen „oberen Abdeckung“ mit einem $s_{d,e}$-Wert von maximal 0,20 m. Die Einstufung in die GK 0 gilt nach dieser Norm jedoch nur dann, wenn mineralische Faserdämmstoffe nach DIN 18165-1 eingesetzt werden oder für alle anderen Dämmstoffe ein Verwendbarkeitsnachweis z.B. im Rahmen ihrer Allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung vorliegt. Die Hersteller ökologischer Dämmstoffe mussten daraufhin ein teures und teils nicht nachvollziehbares Prüfverfahren für die Zulassung beantragen bzw. aufwendige und langwierige Freilandversuche durchführen [14]. In anderen Fällen ergaben sich ebenfalls Diskrepanzen zwischen normativen Einschränkungen und aktuellen Entwicklungen [15].

Simulationen mit den passenden bauphysikalischen Kennwerten können helfen, Konstruktionen zu berechnen und zu analysieren, da bei der Simulation realistische Temperaturen, Luft- und Materialfeuchten innerhalb des Bauteils ermittelt werden. Ein Kritikpunkt an den Simulationen ist allerdings, dass sie optimal konstruierte Bauteile voraussetzen und die Ergebnisse daher keinerlei Sicherheiten gegen unplanmäßige Feuchte durch Konvektion oder Baufeuchte aufweisen. In den aktuellen Simulationsprogrammen sind allerdings solche „Feuchtequellen“ implementiert. Es fehlt hingegen an weitreichenden Erkenntnissen, welche Größenordnung diese Feuchteeinträge haben.

Erste Ansätze bei Holzkonstruktionen [16] basieren nur auf einer Untersuchung. Ergänzend dazu wäre es hilfreich, ein Bewertungskriterium der relativen Holz- und Holzwerkstofffeuchte sowie der Oberflächenfeuchte innerhalb der Konstruktion festzulegen. Vielmals werden heute die 20 M-% relative Holzfeuchte als Begrenzung für die Zerstörung durch Pilze oder Insekten gesehen. Schulze schreibt dazu: „Da aber - ebenso wie die übrigen Eigenschaften des Holzes - auch die Holzfeuchte innerhalb desselben Holzteils stark streuen kann, wird aus Sicherheitsgründen unterstellt, dass die Holzfeuchte u ≤ 30 % an jeder Stelle als eingehalten gilt, wenn die Einzelmessung (z.B. mit Einschlagelektrode und möglichst an ungünstig erscheinender Stelle) einen Wert u ≤ 20 % ergibt. Pilzwachstum wird vermieden, wenn dieser Zustand dauerhaft gegeben ist“ [8]. Daraus wird ersichtlich, dass Feuchten bis zur Fasersättigung von ca. 30 % toleriert werden. Unberücksichtigt bleiben bei der Betrachtung der Materialfeuchte der Temperatureinfluss und die Zeitdauer auf den Befall. Für Schimmelpilze im Innenraum wurde ein zuverlässiges Modell entwickelt [17], was aber nicht auf das Bauteilinnere und holzzerstörende Pilze übertragbar ist.

3 Forschungsbedarf

Um sowohl heute als auch zukünftig den stetig veränderten Konstruktionen und Werkstoffen im Bauwesen gerecht zu werden, ist es daher sinnvoll, hygrothermische Simulationen anzuwenden. Aus den oben genannten Gründen besteht daher an verschiedenen Stellen folgender Forschungsbedarf:

3.1 Hygrothermische Kennwerte

Hygrothermische Materialkennwerte für Holz und Holzwerkstoffe liegen nur begrenzt vor, wodurch bauphysikalische Optimierungen bzw. Risikobewertungen von Bauteilen nicht durchgeführt werden können. Um diese Lücke zu schliessen, ist es erforderlich solche Kennwerte von verschiedensten Holz und Holzwerkstoffen zu ermitteln. Erst dadurch können die genannten Simulationsprogramme genutzt werden. Die Ermittlung soll außerdem dazu dienen, bisher zum Teil kaum erklärbare festgestellte Eigenschaften, wie sie z.B. in Massivholzplatten oder OSB-Platten vorkommen, besser analysieren und auswerten zu können. Ein Augenmerk sollte daher u.a. auf die Erforschung dieser Vorgänge gelegt werden. Die gewonnen Erkenntnisse kann man nutzen, neue maßgeschneiderte bauphysikalische Produkte zu entwickeln.

3.2 Hygrothermische Bauteilsimulationen

Die ermittelten Kennwerte ermöglichen es hygrothermische Simulationen durchzuführen. Zur Kontrolle sollten sie zunächst mit Freilandversuchen aus der Vergangenheit und parallel laufenden Untersuchungen validiert werden. So können z.B. unbelüftete flach geneigte und voll gedämmte Dächer, aussen dampfdichte Steildächer, wie sie im Altbau (Bitumenbahn) oder Neubau (Zinkblech) vorkommen simuliert und analysiert werden. Auch Innendämmung von historischen Massivbauten wird simulierbar, um nur einige zu nennen.

3.3 Risikobewertung der Konstruktionen

Da innerhalb von Simulationen i.d.R. von optimal gebauten Zuständen ausgegangen wird, ist es erforderlich, dass Feuchteeinträge durch Konvektion und Baufeuchte berücksichtigt werden. Mittels der Auswertung von Literatur und Freilandversuchen kann es möglich werden, Randbedingungen für die Simulationen festzulegen, die zu sicheren und fehlertoleranten Konstruktionen führen, so dass auf den chemischen Holzschutz verzichtet werden kann. Dazu zählt auch ein flexibles Bewertungskriterium für die relative Holzfeuchte, je nach Temperatur und Zeitdauer.

Quellen

[1] DIN 4108-3: 2001-07: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz, Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung, Beuth Verlag, Berlin, 2001

[2] DIN EN ISO 13788: 2001-11: Raumseitige Oberflächentemperatur zu Vermeidung kritischer Oberflächenfeuchte und Tauwasserbildung im Bauteilinneren – Berechnungsverfahren, Beuth Verlag, Berlin, 2001

[3] DIN V 4108-4: 2007-06: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 4: Wärme- und feuchteschutztechnische Bemessungswerte, Beuth Verlag, Berlin 2007

[4] DIN EN 12524: 2000-07: Baustoffe und -produkte, Wärme- und feuchteschutztechnische Eigenschaften, Tabellierte Bemessungswerte, Beuth Verlag, Berlin 2000

[5] DIN V 20000-1: 2005: Anwendung von Bauprodukten in Bauwerken, Holzwerkstoffe, Beuth Verlag, Berlin 2005

[6] DIN 68800: 1996-05: Holzschutz – Teil 2: Vorbeugende bauliche Maßnahmen im Hochbau, Beuth Verlag, Berlin 1996

[7] Schulze, H.: Holzbau – Wände, Decken, Bauprodukte, Dächer, Bauphysik, Holzschutz, Teubner Verlag, Wiesbaden 2005

[8] Hrsg. DGfH Innovations- und Service GmbH: Schriftenreihe des Informationsdienst Holzes: Reihe 3 - Teil 5 - Folge 2: Holzschutz, Eigenverlag, Düsseldorf 1997

[9] Borsch-Laaks, R., Walther, Wilfried: Wärmetechnische Sanierung von außen, Artikelserie aus der Zeitschrift Holzbau – die neue quadriga, Kastner Verlag, Wolznach 2008

[10] WUFI: Simulationsprogramm zur Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchte-Transports in Bauteilen, Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Holzkirchen, basierend auf [12]

[11] DELPHIN: Simulationsprogramm zur Berechnung des gekoppelten Wärme-, Feuchte- und Salz-Transports in Bauteilen, Institut für Bauklimatik, TU Dresden

[12] Künzel, H.M.: Verfahren zur ein- und zweidimensionalen Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen mit einfachen Kennwerten; Dissertation Universität Stuttgart 1994

[13] Künzel, H.M.; Fitz, C; Krus, M.; Zillig, W: Untersuchungen zum Feuchteschutz von Leichtbaukonstruktionen mit Bauplatten aus Holzwerkstoffen, IBP-Bericht HTB-10/2004

[14] H.M. Künzel: Einfluss des Dämmstoffs auf die Austrockung von Leichtbauteilen, IBP-Bericht HTB-8/1996, Fraunhofer Institut für Bauphysik, Holzkirchen 1996

[15] Borsch-Laaks, R.; Wagner, G.: Alles Öko oder was? - Holzschutz bei Naturdämmstoffen, Beitrag in der Zeitschrift Holzbau – die neue quadriga, Ausgabe 2-2004, Kastner Verlag Wolznach 2004

[16] Künzel, H.M.: Dampfdiffusionsberechnung nach Glaser - Quo vadis?, IBP Mitteilung 355, Fraunhofer Institut für Bauphysik, Holzkirchen 1999

[17] Sedlbauer, K. Vorhersage von Schimmelpilzbildung auf und in Bauteilen, Dissertation Universität Stuttgart 2001

[18] Krus, M.: Bestimmung feuchtetechnischer Kennwerte und Berechnung des Feuchtehaushalts von Holz-Prüfkörpern bei natürlicher Bewitterung; Festschrift zum 60. Geburtstag von Prof. Gertis; IRB-Verlag, Stuttgart 1998, S. 345-370

[19] Krus, M., Holm, A.: Approximationsverfahren für die Bestimmung feuchtetechnischer Materialkennwerte. Proceedings 10. Bauklimatisches Symposium Dresden, 27.-29. September 1999, S. 423-432

[20] DIN EN 15026: 2007-07. Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen - Bewertung der Feuchteübertragung durch numerische Simulation, Beuth Verlag, Berlin, 2007

[21] Künzel, H.M.: Außen dampfdicht, vollgedämmt? Beitrag in der Zeitschrift bauen mit holz, 1998, Bruder Verlag Karlsruhe 1998.

[22] Künzel, H.M.; Kehrer, M.: Einfluss der Hinterlüftung auf das Feuchteverhalten von Holzbauwänden, Beitrag in Umweltbewusstes Bauen, IRB Verlag, 2008

[23] Winter, St.; Bauer, P.; Kehl, D.: Freilandbewitterungsversuche von Holztafelbauwänden mit Mauerwerkvorsatzschale ohne zusätzliche Feuchteschutzschicht auf der Außenbekleidung der Holztafelelemente und mit hinterlüfteten, kleinformatigen Holzbekleidungen, gefördert durch das Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, Bonn 2006

11.1 Wärme- und Feuchteschutz
Außendämmung aus Holz

Norbert Rüther

1 Allgemeines

Im Holzbau gelten Dämmungen, die auf der Außenseite der tragenden Konstruktion sind, als „Außendämmungen". Gemäß DIN 4108 Teil 10 sind dies Dämmungen in den Anwendungsgebieten DAD, DAA, WAB, WAP (Tab.1). Die Anwendungsgebiete DUK, WAA, PW und PB sind für Dämmungen aus Holz praktisch nicht geeignet. Neben diesen gibt es noch die sogenannten „Gefachdämmungen", die sich innerhalb der tragenden Holzkonstruktion befinden (im Massivbau würde der Begriff der „Kerndämmung" verwendet, wobei keine Analogiebildung möglich ist) und die sogenannten „Innendämmungen". Diese sind jedoch im reinen Holzbau relativ unüblich und werden vorrangig zur nachträglichen thermischen Ertüchtigung von Altbauten, besonders im Denkmalschutz, verwendet. In den Anforderungen unterscheiden sich die Dämmungen dahingehend, dass die Außendämmungen mit hohen Temperaturschwankungen und ggf. erhöhter relativer Luftfeuchte beansprucht werden, als Gefach- oder Innendämmungen. Die Übergänge sind jedoch fließend. So ist z.B. die äußere Schicht einer Gefachdämmung, die z.B. ausschließlich mit einer Unterspannbahn abgedeckt ist, wesentlich höher beansprucht, als die mittlere Schicht einer z.B. 6 cm dicken Außendämmung. Dennoch werden an Gefachdämmungen und Außendämmungen erheblich unterschiedliche Anforderungen gestellt. So werden z.B. gemäß DIN 4108-10 an Außendämmungen Anforderungen an die kurzzeitige Wasseraufnahme (WS) gestellt, an Gefach- und Innendämmungen hingegen nicht. Aus Sicht des Autors ist es ausreichend, wenn bei Außendämmungen aus Holzfasern (WF gemäß DIN EN 13171) mit größeren Dämmdicken, die äußeren Lagen des Dämmpaketes die Anforderungen gemäß DIN 4108-10, Anwendungsgebiet DAD, DAA, WAB oder WAP, erfüllen.

Mit Ausnahme von Perimeterdämmungen (Kontakt mit Erdreich) sowie der Dämmung von Umkehrdächern (Dämmung oberhalb einer Flachdachabdichtung) sind Dämmstoffe aus Holz / Holzfasern in allen Hochbauanwendungen einsetzbar.

Tab. 1: Anwendungsgebiete, Kurzzeichen und Anwendungsbeispiele von Außendämmungen gem. DIN 4108-10

Anwedungsgebiet	Kurzzeichen	Anwendungsbeispiel
Dach	DAD	Außendämmung von Dach oder Decke, vor Bewitterung geschützt, Dämmung unter Deckungen
	DAA	Außendämmung von Dach oder Decke, vor Bewitterung geschützt, Dämmung unter Abdichtungen
Wand	WAB	Außendämmung der Wand hinter Bekleidung
	WAP	Außendämmung der Wand unter Putz

Während die Außendämmungen grundsätzlich auf der Außenseite der tragenden Struktur angebracht sind, wird vorrangig nur noch unterschieden zwischen Dämmungen, die z.B. über eine Hinterlüftung direkt mit der Außenluft in Verbindung stehen (Anwendungsgebiete DAD und WAB, Aufsparrendämmung, Unterdeckplatten, hinterlüftete Fassade) und Dämmungen, die

durch eine direkt aufgebrachte Schicht vor Witterungseinflüssen geschützt sind (Anwendungsgebiete DAA und WAP, Flachdach, Wärmedämmverbund-Systeme). Alle Anwendungen haben jedoch wiederum gemeinsam, dass sie die Holzkonstruktion und deren Nutzer vor klimatischen Einwirkungen schützen.

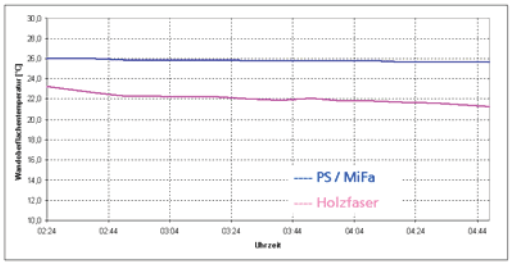


Abb. 1: Raum-Oberflächentemperaturen eines Daches mit unterschiedlichen Dämmungen in einer heißen Sommernacht unter Berücksichtigung des Nutzerverhaltens

2 Hinterlüftete Konstruktionen

2.1 Dach, Anwendungsgebiet DAD

2.1.1 Unterdeckungen

Für den Anwendungsbereich im Steildach, unter einer belüfteten Dacheindeckung werden seit über 50 Jahren hydrophobierte Holzfaserdämmplatten als Unterdeckplatten eingesetzt. Während früher in der Regel die als „Bitumen-Holzfaserplatten“ in DIN 68752 genormten Platten zur Anwendung kamen, sind diese bituminierten Platten heute eher die Ausnahme, da üblicherweise andere Hydrophobierungsmittel wie z.B. Latex verwendet werden. Platten in diesem Anwendungsbereich müssen als zusätzliche wasserableitende Schicht unter der Eindeckung von geneigten Dächern eine Zusatzmaßnahme für die Regensicherheit des Daches darstellen. Der Begriff „Unterdeckung“ ist im Regelwerk des Zentralverbandes des Deutschen Dachdeckerhandwerks (ZVDH) definiert. Die Ausführung von Unterdeckungen mit Unterdeckplatten wird wiederum im ZVDH-Merkblatt „Unterdächer, Unterdeckungen und Unterspannungen“ beschrieben. Die Eigenschaften, Anforderungen und Prüfverfahren von Unterdeckplatten aus Holzfasern werden in DIN EN 14964 beschrieben. Holzfaser-Unterdeckplatten, die mit Latex, Naturharz, Paraffin o.ä. hydrophobiert sind, werden auf Grundlage von Prüfungen gemäß DIN EN 14964 als „wasserundurchlässig“ eingestuft. Die Hersteller der Unterdeckplatten geben für ihre eigenen Produkte jeweils die möglichen Freibewitterungszeiten an, die häufig sogar bis zu einem Freibewitterungszeitraum von drei Monaten ausgelobt werden. Wichtig bei der Verarbeitung der Unterdeckplatten, zur Sicherstellung der geforderten Zusatzmaßnahme (Unterdeckung) ist die Art der Verarbeitung der Platten. So wird z.B. hinsichtlich der Verlegetechnik unterschieden, ob die Unterdeckplatten über die Verfalzung der Plattenkanten, in der Regel eine Nut- und Feder-Profilierung, verbunden werden, oder ob eine zusätzliche Verklebung oder Abklebung der Plattenfugen mit Systemzubehör erfolgt. Dabei sind die produkt- und herstellerspezifischen Mindestdachneigungen zu beachten. Unterdeckungen dürfen die Regeldachneigung des Eindeckungsmaterials um höchstens sechs Grad unterschreiten.

Holzfaser-Unterdeckplatten werden zunächst mit Klammern, Breitkopfnägeln o.ä. auf der Unterkonstruktion (Sparren) fixiert und später mit Hilfe der Konterlatte befestigt. Die Konterlatten werden jedoch erst montiert, nachdem eventuell erforderliche Abklebungen der Anschlüsse an First, Kehlen, Graten, Durchdringungen usw. durchgeführt wurden. Die schub- und sogsichere Befestigung der Konterlatten – und somit auch der Unterdeckplatten – erfolgt mit üblichen stiftförmigen metallischen Verbindungsmitteln wie z.B. maschinengängige Nägel oder Klammern durch die Platten hindurch in den Sparren. Da die Unterdeckplatten nicht über die Holzbaunorm, DIN 1052 geregelt sind, ist bei der Bemessung der Verbindungsmittel der Abstand der Latten zum Sparren zu berücksichtigen. Die neue

DIN 1052 (ab Ausgabe 2004) zeigt entsprechende Möglichkeiten über die Theorie von Johansen auf. Die Hersteller der Unterdeckplatten haben jedoch für ihre Produkte in der Regel entsprechende Bemessungstabellen vorbereitet. Neben den vorhandenen Nachweisen der Hersteller gibt es eine produktneutrale Bemessungstabelle für Holzfaser-Unterdeckplatten bis 60 mm Dicke, herausgegeben vom Bund Deutscher Zimmermeister (BDZ) als „Merkblatt Unterdeckplatten aus Holzfaserdämmplatten". Die Befestigung größerer Dämmstoffdicken erfolgt mit entsprechend allgemein bauaufsichtlich zugelassenen Schrauben für sogenannte Aufsparrendämmmungen (s.a. 2.1.2).

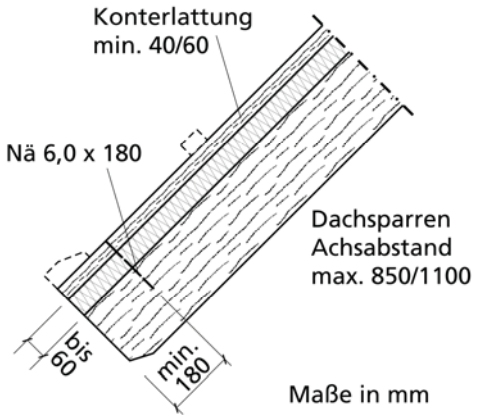


Abb. 2: Befestigung von Unterdeckplatten bis zu einer Dicke von 60 mm gemäß Herstellerangaben

2.1.2 Aufsparrendämmung

Die Definitionen von Unterdeckplatten und Aufsparrendämmung zeigen ganz klare Grenzen der beiden Systeme auf. Der Übergang kann jedoch auch hier wiederum fließend sein. Eine ganz klare, jedoch weitestgehend willkürliche Grenze ist bei der Dicke zu sehen. Während die Lastabtragung bei Unterdeckplatten bis ca. 60 mm Dicke gemäß DIN 1052 berechnet wird, sind für Dicken ab 80 mm allgemein bauaufsichtlich zugelassene Schraubensysteme für Aufsparrendämmungen zu verwenden. Bei weichen Dämmplatten (< 50 kPa Druckfestigkeit) kann diese nicht mit zum Lastabtrag herangezogen werden, so dass die Befestigung mit Doppelgewindeschrauben in V-förmiger Anordnung durchgeführt wird. Das Unterkopfgewinde trägt die Konterlattung und damit die Eigen- und Schneelasten des Daches. Einzelne Schrauben zur Windsogsicherung werden senkrecht zu den Sparren eingeschraubt. Dämmplatten mit mindestens 50 kPa Druckfestigkeit können mit Einfachgewindeschrauben in sogenannter „kontinuierlicher Verschraubung" befestigt werden. Hierbei trägt der Dämmstoff die Belastung aus Druck rechtwinklig zur Plattenebene, und es werden auch einige Schrauben zur Windsogsicherung senkrecht eingeschraubt. Bei beiden Befestigungstechniken werden die Konterlatten in den Bereichen zwischen den Schrauben als elastisch gebettete Balken gerechnet. Die Schraubenhersteller stellen jeweils Typenstatiken zur Verfügung, und die objektbezogene Statikempfehlung wird in der Regel als kostenloser Service angeboten.

Aufsparrendämmungen weisen den Vorteil auf, dass die innenliegenden, tragenden Bauteile kontrollierbar bleiben und nicht mit den Temperatur- und Feuchteschwankungen des Außenklimas beansprucht werden und sind damit der Gefährdungsklasse 0 zuzuordnen. Aufsparrendämmungen weisen üblicherweise auf den sichtbar bleibenden Sparren zunächst eine tragende und aussteifende Schalung aus gespundeten Brettern oder aus Holzwerkstoffplatten auf, auf welcher dann als luftdichte Ebene eine Schalungsbahn mit verklebten Stößen verlegt wird. Die Anschlüsse an Durchdringungen, Traufe und Ortgang werden mit entsprechendem Systemzubehör luftdicht angeschlossen. Die Hersteller von Aufsparrendämmsystemen und DIN 4108-7 geben praktische Beispiele zur Verarbeitung an. So gibt z.B. DIN 4108-7 im Traufbereich einen zusätzlichen Kontersparren bzw. Aufschieblingen an, damit die ansonsten zahlreichen, fehlerträchtigen Bah-

nendurchdringungen vermieden werden. Auf dieser sauber verlegten Schalungsbahn wird dann das Dämmpaket verlegt. Für die ein- oder mehrlagige Dämmschicht, die bei der Aufsparrendämmung nicht durch Sparren in ihrer Dämmwirkung geschwächt wird, kommen Holzfaserdämmplatten des Anwendungsbereiches DAD zum Einsatz. Auch wenn es normativ noch nicht sauber geregelt ist, so kann es doch sinnvoll sein, die Dämmpakete in ihrer Dicke den Anforderungen anzupassen. Während die äußerste Lage thermisch, hygrisch und mechanisch am stärksten beansprucht wird, sind die Beanspruchungen der innersten Lage direkt auf der Schalung wesentlich geringer. Die Druckfestigkeit der Platten hat dabei Einfluss auf die spätere Ausführung der Konterlattenbefestigung. Die Dämmschicht wird üblicherweise vorrangig mit einer Unterdeckung aus Holzfaser- Unterdeckplatten abgedeckt, wobei jedoch auch diffusionsoffene Unterdeckbahnen zur Abdeckung möglich sind. Bei Dächern mit Dachüberstand ist die Verlegung der Holzfaser-Unterdeckplatten bis über die Vordachschalung vorteilhaft. Neben der ungestörten, übergangslosen Wasserableitung wird damit die starke nächtliche Auskühlung des Dachüberstandes durch die Dämmwirkung der Holzfaserplatten wirksam reduziert. Dadurch reduziert sich die Gefahr der Schimmelpilzbildung an der Unterseite des Dachüberstandes erheblich. Aufsparrendämmungen aus Holzfaserdämmplatten kommen bei Neubaumaßnahmen und Altbausanierungen gleichermaßen zum Einsatz und überzeugen durch ihre hervorragenden bauphysikalischen Eigenschaften.

So wirken die natürlichen Dämmstoffe besonders ausgleichend hinsichtlich Wärme, Feuchte und Schall. Abb. 3 zeigt beispielhaft die Materialfeuchte hinter einer Außendämmung aus Holzfasern in einem konsequent diffusionsoffenen Bauteil. Die hohe Speicherfähigkeit und das gute Diffusionsvermögen bewirken selbst bei extremen klimatischen Bedingungen eine kontinuierlich niedrige Materialfeuchte. Die Mineralfaserdämmung und die PE-Foile (Abb. 4) können hingegen keine Feuchte puffern, so dass sich hier Kondensat an der PE-Folie bilden kann (Lastfall Umkehrdiffusion).

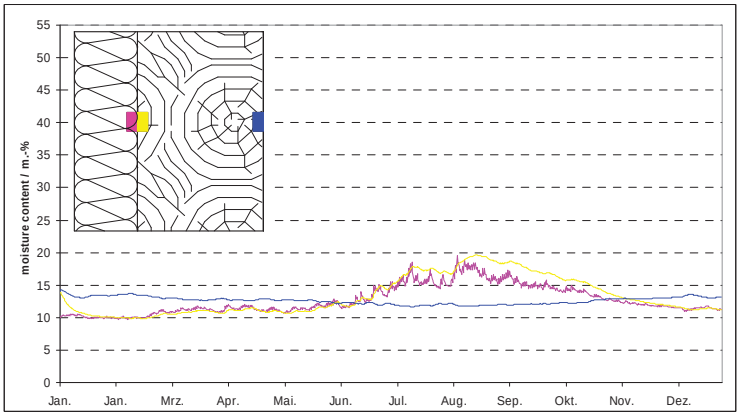


Abb. 3: In und hinter der Holzfaserdämmung ist permanent eine niedrige Feuchte

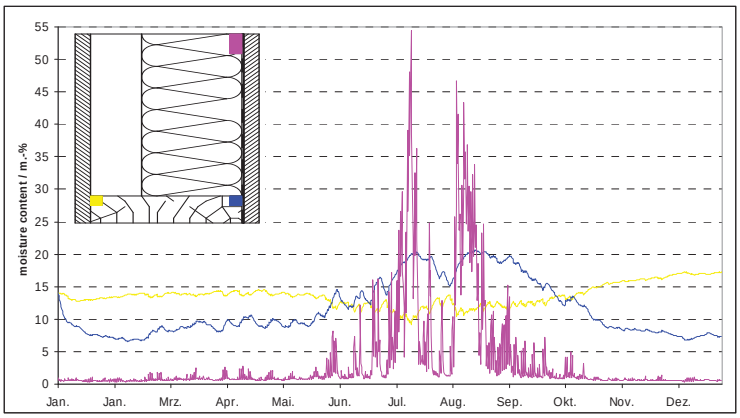


Abb. 4: Bei nicht sorptionsfähigen Dämmstoffen und Dampfsperren kann es schon mal zu Kondenswasserbildung kommen

2.2 Wand, Anwendungsgebiet WAB

Bei Außenwänden in Holzständer-, Holztafel- oder Holzrahmenbauweise kann die Gefachdämmung (Typ WH) gleichermaßen mit Holzfaserdämmplatten, -dämmkeilen oder flexiblen Holzfaserdämmplatten erfolgen wie bei Außenwänden mit WDVS-Fassade. Während aber bei den Wärmedämmverbundsystemen der dauerhafte

Wetterschutz durch das auf die Dämmplatte abgestimmte Putzsystem erfolgt (Anwendungsgebiet WAP), besteht der Wetterschutz bei Außenwänden mit Vorhangfassade aus der eigentlichen Fassade sowie der gegebenenfalls erforderlichen dahinter liegenden „wasserableitenden Schicht“ (Anwendungsgebiet WAB). Diese sogenannte wasserableitende Schicht kann bei Fassaden, die nicht regendicht sind, erforderlich werden. Besonders die Mauerwerkvorsatzschalen („Klinker“) lassen bei Schlagregen viel Wasser durchdringen. Während bei den Mauerwerkvorsatzschalen zusätzlich die Problematik besteht, dass diese faktisch nicht belüftet sind, sind andere Fassaden aus Fassadentafeln oder Holz bei korrekter Ausbildung in der Regel gut belüftet. In diesen Fällen kann die notwendige Funktion der „wasserableitenden Schicht“ sehr gut von vergüteten Holzfaser-Unterdeckplatten bzw. Holzfaserdämmelementen (Typ WAB) mit Unterdeckplattenfunktion übernommen werden. Praktisch ergeben sich die gleichen bauphysikalischen Vorzüge wie bei der Anwendung auf dem Dach. Auch hier kann für die Tragkonstruktion aus Holzständern und Wandbausystemen aus massivem Holz oder Holzwerkstoffen die GK 0 erreicht werden. Bei Mauerwerkvorsatzschalen wird wegen der fehlenden Belüftung in der Regel eine zusätzliche Schalungsbahn erforderlich, die die Holzfaserdämmung vor der hohen Luftfeuchte im Zwischenraum schützt. Die Meinungen gehen hier jedoch weit auseinander, da die Anwendung von Holzfaser-Unterdeckplatten als „wasserableitende Schicht“ bei Wänden in Holzständer-, Holztafel- oder Holzrahmenbauweise mit Mauerwerksvorsatzschalen derzeit bauaufsichtlich noch nicht geregelt ist.

Bei den üblichen Vorhangfassaden wie z.B. Bretterschalungen, Schiefer, Schindeln und andere kleinformatige Bekleidungen, sowie bei großformatige Fassadentafeln und hinterlüfteten Putzträgerplatten ist die Sachlage jedoch vollkommen klar. Hier sind Holzfaserdämmplatten des Typs WAB sehr gut geeignet. Neben der Anwendung in der Holztafel-, Holzständer- und Holzrahmenbauweise kommen Holzfaserdämmplatten und Holzfaser-Unterdeckplatten auch als Fassadendämmung bei flächigen Wandbausystemen aus massiven Holz- und Holzwerkstoffelementen zum Einsatz. Dabei wird die Dicke der Dämmplatten den Erfordernissen des Wärmeschutzes angepasst und die Dämmschicht anschließend mit einer wasserableitenden Schicht aus Holzfaser-Unterdeckplatten abgedeckt. Die lastabtragende Befestigung erfolgt wie bei Aufsparrendämmungen über entsprechend dimensionierte Grundlatten, die mit bauaufsichtlich zugelassenen Holzbauschrauben befestigt werden. Mit Fassadendämmungen auf Mauerwerkswänden erschließt sich dem Zimmererhandwerk ein weiteres interessantes Tätigkeitsfeld, vor allem, wenn anschließend Vorhangfassaden angebracht werden.

Abb. 5: Holzfaserdämmplatten als Außendämmung in der Wand; oben als WDVS (Typ WAP), unten hinter einer (noch nicht montierten) hinterlüfteten Fassade (Typ WAB).

3 Nicht hinterlüftete Konstruktionen

3.1 Dach, Anwendungsgebiet DAA

Bei der Verwendung von Holzfaserdämmplatten in Dächern mit Abdichtungen (Anwendungsbereich DAA) werden verschärfte Forderungen hinsichtlich der Wasseraufnahme (WS 1,0) gestellt. Zudem kommen nur Holzfaserdämmstoffe mit einer Druckfestigkeit von 70 oder 100 kPa (CS(10/Y)70 oder CS(10/Y) 100) und einer Querzugfestigkeit von 7,5 kPa (TR7,5) zur Anwendung. Dieser Anwendungsbereich wurde erst vor einigen Jahren erschlossen und in das Regelwerk des ZVDH aufgenommen. Hinsichtlich des Schall- und Hitzeschutzes können vor allem Dächer in Leichtbauweise mit Dämmschichten aus Holzfaserdämmplatten deutlich aufgewertet werden. Damit keine durchgehenden Fugen entstehen, wird die Dämmung entweder in mehreren Lagen mit versetzten Fugen verlegt oder es kommen profilierte Dämmplatten zur Anwendung. Alle Bahnenmaterialien, die in den Flachdachrichtlinien des ZVDH aufgeführt sind, können als Dachabdichtung verwendet werden. Die notwendige Lage- und Windsogsicherung des gesamten Dachaufbaus kann durch Verkleben, mechanische Befestigung oder Auflast aus Kies, Betonplatten usw. erfolgen.

3.2 Wand, Anwendungsgebiet WAP

Das Anwendungsgebiet WAP ist ausschließlich in Wärmedämmverbundsystemen (WDVS) gegeben. WDVS werden im Holzbau, zusätzlich zur Reduzierung von Heizenergie, auch zum Schutz der Holzkonstruktion vor schädigenden Umwelteinflüssen eingesetzt. Dabei wird der Schutz der Holzkonstruktion durch das gesamte System gewährleistet, das neben seinen Komponenten wie Dämmstoff, Putzsystem, Gewebe, Verbindungsmittel und Anschlussprofilen auch die Qualität der Ausführung, vor allem der Detailausbildung beinhaltet. Der Dämmstoff wird wiederum nur durch das Putzsystem geschützt. Seit der Markteinführung von WDVS mit Holzfaserdämmplatten, in etwa Mitte der 90er Jahre des letzten Jahrhunderts, hat diese innovative Anwendung von Holzfaserdämmplatten (Typ WAP) vor allem im Holzbau in den letzten Jahren einen beachtlichen Zuwachs erfahren, da sie insbesondere dem Zimmererhandwerk zusätzliche Märkte erschlossen hat. Erstmals konnten bauaufsichtlich zugelassene WDVS direkt auf die tragenden Holzständer montiert werden; ein vollflächiger Untergrund aus einer Plattenbekleidung ist nicht mehr erforderlich. Abb. 6 zeigt einen typischen Wandaufbau eines WDVS, jedoch mit einem vollflächigen Untergrund aus einer Holzwerkstoffplatte, die für das WDVS aber nicht erforderlich ist.

Holzfaserdämmplatten bis 160 mm Dicke können direkt auf den Holzständern befestigt werden, größere Dicken nur auf flächigen Untergründen wie z.B. Massivholzelementen (z.B. Lignotrend®, LenoTec®), Brettstapelwänden usw.. Diese Einschränkungen existieren, da von Seiten der Bauaufsicht die Befürchtung besteht, dass die relativ schmalen Rippen einer Holztafelwand durch ein dickeres Dämmpaket nicht mehr sicher mit den Verbindungsmitteln der Dämmung getroffen werden können.

Abb. 6: Querschnittsaufbau einer Holztafelwand mit WDVS; hier mit einer Spanplatte zwischen WDVS und Holzrippen

Kleinformatige, profilierte Ein–Mann-Platten, die im Verband ohne Bezug zu den Holzrippen verlegt und geschosshohe Platten, die ohne Kantenprofilierung auf den Rippen gestoßen werden, finden im Holzbau Anwendung. Die geschosshohen Platten werden dabei in der Regel bei der werkseitigen Vorfertigung von Wandelementen verwendet. Die jeweils für das System gültige allgemeine bauaufsichtliche Zulassung ist hinsichtlich Anwendung, Verarbeitung, Bemessung, Systemkomponenten, Putzbeschichtung, Befestigungsmittel und Zubehör zu beachten und es sind ausschließlich die Systemkomponenten der jeweiligen Hersteller zu verwenden und die Verarbeitungsrichtlinien zu beachten. Die Systemanbieter stellen dem Verarbeiter und Planer umfangreiche Detailinformationen zur Verfügung.

Quellen

[1] Informationsdienst Holz – holzbau handbuch Reihe 3, Teil 3, Folge 3

[2] Informationsdienst Holz – holzbau handbuch Reihe 4, Teil 5, Folge 2

[3] Informationsdienst Holz – holzbau handbuch Reihe 3, Teil 4, Folge 1

[4] Informationsdienst Holz – holzbau handbuch Reihe 4, Teil 5, Folge 2

[5] Lange, U.; Rüther, N.: Natürlich. Holzfaserdämmplatten als Unterdeckungen im Dach. in Bauhandwerk 3/2008, S. 42 ff

[6] Rüther, N.: Rechnerischer Nachweis der Randverformungen bei WDVS mit Holzfaserdämmplatten und großer Dämmdicke bis ca. 200 mm. Bauphysik 29 (2007) Heft 5, S. 323ff

[7] Herlyn, J.W.; Rüther, N.: Gefährdung von Holzkonstruktionen bei Verzicht auf wasserableitende Schichten in Außenwänden ohne vorbeugenden chemischen Holzschutz nach DIN 68800-2. Abschlussbericht 2006. Fraunhofer IRB-Verlag

[8] Schliesing ,S.: Numerische Simulation des Feuchteverhaltens moderner Wand- und Dachkonstruktionen in Holzbauart unter Variation der Bauteilgeometrien, Materialkennwerte und Klimarandbedingungen zur Ableitung repräsentativer experimenteller Bewitterungsversuche. Diplomarbeit, Fraunhofer-Institut für Holzforschung WKI u. Fachhochschule Eberswalde, 2003

[9] Rüther, N.: Wärmedämmverbundsysteme mit Holzfaserdämmplatten. Vortrag, Bau Symposium Braunschweig, 04.11.2008, Braunschweig

[10] DIN EN 13171:2001-10 Wärmedämmstoffe für Gebäude – Werkmäßig hergestellte Produkte aus Holzfasern (WF)

[11] DIN 4108-10:2008-06 Anwendungsbezogene Anforderungen an Wärmedämmstoffe

[12] DIN EN 14964:2007-01 Unterdeckplatten für Dachdeckungen

[13] ZVDH-Fachregeln für Dächer mit Abdichtungen, 2003-09, Zentralverband des Deutschen Dachdeckerhandwerkes, Bonn

[14] ZVDH-Hinweise Holz und Holzwerkstoffe, 2005-09, Zentralverband des Deutschen Dachdeckerhandwerkes, Bonn

[15] BDZ-Merkblatt Unterdeckplatten aus Holzfaserdämmplatten, 2006-01, Bund Deutscher Zimmermeister im ZDB, Berlin

[16] Schlussbericht „Verbesserung des sommerlichen Wärmeverhaltens von Wohngebäuden durch Holzfaserdämmplatten“, Ingenieurbüro Prof. Dr. Gerd Hauser, 2005-04, Verband Holzfaser Dämmstoffe e.V., Wuppertal

[17] Schlussbericht „Neue Einsatzmöglichkeiten von Holzfaserdämm-platten im Holzbau“. VDI/VDE-IT Verbundprojekt Nr. IN-5027. Fraunhofer WKI und Universität Karlsruhe. Dezember 2008.

11.1 Wärme- und Feuchteschutz
Balkendurchdringungen in historischen Außenwänden

Robert Borsch-Laaks

1 Einleitung

In historischen Holzbauten (Fachwerkhäusern) gehören Balkendurchdringungen zum Erscheinungsbild des Konstruktionsprinzips. Vielfach fordern der Denkmalschutz oder die Ortssatzungen die Erhaltung von Sichtfachwerk oder gar dessen Freilegung. Dabei werden oft feuchtetechnische Gefahren missachtet.

Bei Sanierungen in Kombination mit Innendämmungen kommen durch die Wasserdampfkonvektion neue Risiken hinzu. Dies wird auch für alte Massivbauten mit Holzbalkendecken (z.B. Gründerzeithäuser) befürchtet. Dieser Beitrag will Lösungen präsentieren, die die Anwendung von Innendämmungen in Wänden mit Balkenanbindungen feuchtetechnisch sicher umsetzbar machen.

2 Schlagregen, der Feind des Holzes

Gravierende Schädigungen an Sichtfachwerken sind nahezu immer auf mangelhaften Schlagregenschutz zurückzuführen. Die Wetterseiten von historischen Fachwerkgebäuden waren daher schon seit alters her meist mit einer zusätzlichen Wetterschale bekleidet (Vorhangfassade mit ortstypischem Behang oder Verputz auf Trägerplatte). Die DIN 4108 Teil 3 erlaubt daher nur in Gebieten der Schlagregengruppe (SRG) 1 allseitiges Sichtfachwerk. Wird in SRG 2 eine Freilegung dennoch vorgenommen, so ist der Nachweis zu erbringen, dass es sich um eine besonders geschützte Lage handelt oder das Gebäude selber (z.B. durch große Dachüberstände) den Fassadenschutz übernimmt.

Aber auch die weniger betroffenen Gebäudeseiten sollten keinen Schlagregendurchtritt nach innen zulassen. Dies wird in der Regel durch eine innen durchlaufende Putzschicht gewährleistet. Beidseitig sichtbare Fachwerke sind grundsätzlich zu vermeiden. Wird eine Innendämmung angebracht, so ist deren Dampfsperrwert zu begrenzen ($s_{d,i} \leq 2{,}0$ m) [1]. Der Grund: In den unvermeidlichen Fugen zwischen Holz und Gefachen eingedrungene Regenfeuchte soll auch nach innen hin verdunsten können.

3 Dampf- und Wärmetransport durch Luftströmung

Insbesondere die Vielzahl der Balkendurchdringung führt bei Fachwerkgebäuden nahezu zwangsläufig zu großen Luftundichtheiten (Abb. 1). Die Folge sind gravierende Wärmeverluste und ungemütliche Auswirkungen auf die thermische Behaglichkeit im Raum. Aus feuchtetechnischer Sicht sind diese Luftleckagen in der Regel unproblematisch. Kurze Strömungswege entlang des Balkens führen meist nicht zu einer Unterschreitung der Taupunkttemperatur der vorbeiströmenden Raumluft. Hohe Strömungsgeschwindigkeiten, die für diese Leckagen ebenfalls typisch sind, führen nach Untersuchungen der Uni Kassel sogar zu einer Erwärmung der Oberflächen in den Fugen [2].

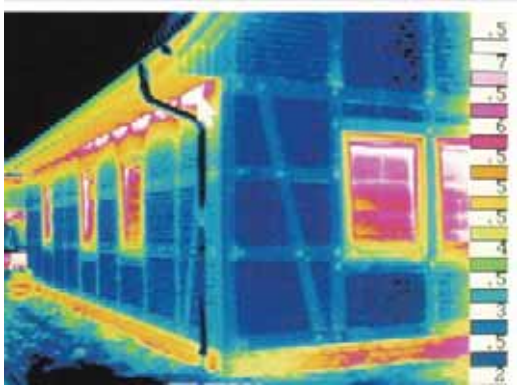


Abb. 1: Luftströmung am Anschluss der Deckenbalken eines Fachwerkhauses durch Thermografie bei Überdruck sichtbar gemacht..
Bildquelle: Dr. Specht, Taunusstein.

Aber in Kombination mit Innendämmungen können neue Strömungsmuster entstehen, die feuch-

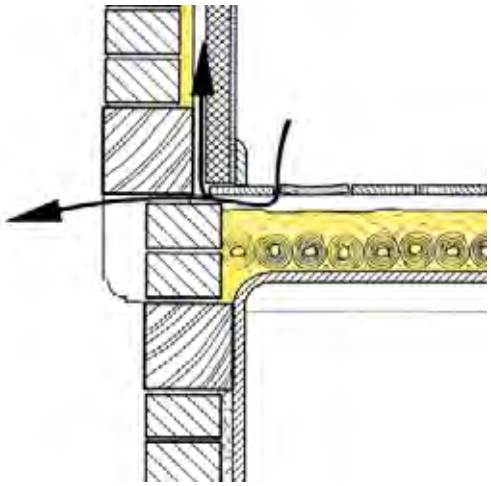


Abb. 2: Luftströmungspfade am Deckenanschluss mit Innendämmung [3].

tetechnisch riskant sind. Angesichts der Maßtoleranzen der alten Wände können auf der kalten Seite der Dämmung durchströmbare Hohlräume entstehen (vgl. Beitrag Innendämmung). Wenn z.B. im Bereich des Bodenanschlusses oder von Installationen innerhalb der Vorsatzschale Raumluft in diese Hohlräume eintreten kann, entstehen lange Strömungspfade, bis hin zu den Leckagen der alten Wandkonstruktion, insbesondere den Balkendurchdringungen, s. Abb. 2. Führen diese Strömungspfade an der nunmehr kalten Oberfläche der Wand entlang, so hat die Luft genügend Zeit, abzukühlen und dabei ihre Taupunkttemperatur zu unterschreiten.

4 Beispielhafte Lösung am Deckenanschluss

Eine solide innenseitige Ertüchtigung der alten Fachwerkwand kann die Anwendung moderner Holzbauweisen bei der Sanierung sein. Eine Innendämmungsschale aus Konstruktionsvollholz vorgestellt und ggfs. punktweise mit dem alten Fachwerk verankert, bietet den Untergrund für eine doppelte innere Bekleidung: Eine Holzwerkstoffplatte übernimmt die Funktion von Dampfbremse und (quasi unzerstörbarer) Luftdichtheitsebene. Eine darauf angebrachte Gipsbekleidung stellt die raumseitige Oberfläche dar.

Das Ständerwerk kann u.U. auch statische Hilfsfunktionen übernehmen, wenn dies erforderlich ist. Der besondere Charme dieser Lösung liegt darin, dass sowohl in der Fläche als auch bei den Balkendurchdringungen ein solider Untergrund vorhanden ist, um die notwendigen Abklebemaßnahmen zur Sicherstellung der Luftdichtheit ausführen zu können. Abb. 3 zeigt dies am Beispiel eines Deckenanschlusses.

Um die Strömungspfade an der kritischen, kalten Seite zwischen Dämmung und altem Putz sicher auszuschließen, ist der Einsatz von Einblasdämmungen (insbesondere Zellulose-Dämmstoff) vorteilhaft. Bei Verwendung von faserförmigen Dämmstoffmatten sollten diese auf die maximale vorkommende Hohlraumtiefe dimensioniert werden und fest eingepresst werden, so dass ein Kontakt zur Altsubstanz hergestellt wird. Eventuelle Hohlräume innenseitig der Dämmung sind feuchtetechnisch unkritisch.

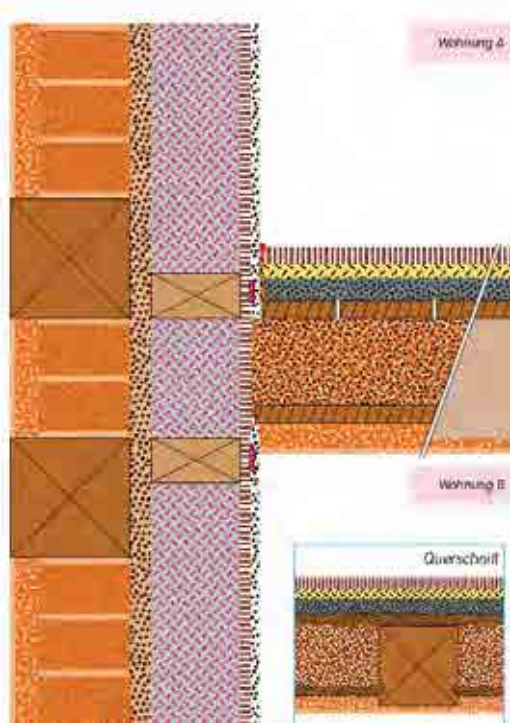


Abb. 3: Deckenanschluss Fachwerk mit Innendämmung (condetti® Detail) [4].

5 Holzbalkenköpfe im Massivmauerwerk

In nahezu allen Wohngebäuden, die bis zum ersten Weltkrieg gebaut wurden, finden wir im Bestand Holzbalkendecken – auch bei massivem Mauerwerk. Bis in die 50er Jahre des letzten Jahrhunderts wurde diese Deckenkonstruktion zumindest im Bereich von Siedlungshäusern und z.T. auch bei obersten Geschossdecken mehrgeschossiger Gebäude weiter fortgeführt.

Schädigungen im Bereich dieser eingemauerten Balkenköpfe gehören zum Alltagsgeschäft der Holzschutzgutachter. Ursache für das Verfaulen von Balkenköpfen ist in aller Regel eindringendes (flüssiges) Wasser, z.B. durch mangelhaften Schlagregenschutz auf der Außenseite , oft auch durch Undichtheiten an Kastenrinnen auf den Mauerwerksköpfen und durch den unsachgemäßen Einbau von Bädern in die Altbausubstanz.

In diesem Anschlussbereich sind Feuchtebelastungen durch Dampfkonvektion in Folge von Luftströmungen im Bereich der Balkenauflager denkbar. Diesbezüglich diagnostizierte Schäden sind bisher jedoch nicht bekannt geworden. Die Ursache hierfür mag sein, dass zum einen die Undichtheiten wesentlich geringer sind, als z.B. bei Fachwerkwänden, da die Balken nicht bis nach außen durchdringen. Nennenswerte Strömungen können nur dann entstehen, wenn das Mauerwerk vor Kopf der Balken stark luftdurchlässig ist. Dies kann jedoch nur bei unverputztem Sichtmauerwerk oder stark geschädigtem Außenmauerwerk eintreten. Aber auch in diesem Fall ist das Befeuchtungsrisiko durch Schlagregen von außen sicherlich der dominante Einflussfaktor.

6 Deckenanschluss bei Innendämmung

Der Einbau einer Innendämmung vor einer alten Massivwand ist bei vorhandenen Holzbalkendecken mit Zusatzaufwand verbunden, wenn größtmögliche Feuchtesicherheit gewährleistet werden soll.

Grundsätzlich empfiehlt es sich, vor Beginn der Sanierungsmaßnahmen die Decken im Anschlussbereich zu öffnen. Nach Herausnahme von 2 - 3 Dielenbrettern kann der Zustand der Balkenköpfe geprüft und ein ggfs. vorhandener Feuchteschaden entdeckt und beseitigt werden. Des Weiteren ist es in diesem Bauzustand möglich, mit Hilfe der Blower- Door festzustellen, ob Konvektionsströme am Balkenanschluss überhaupt vorhanden sind. Ist dies nicht der Fall (Regelsituation bei durchgehendem Außenputz), so sind Sondermaßnahmen zur Luftdichtung bei der Innendämmung überflüssig.

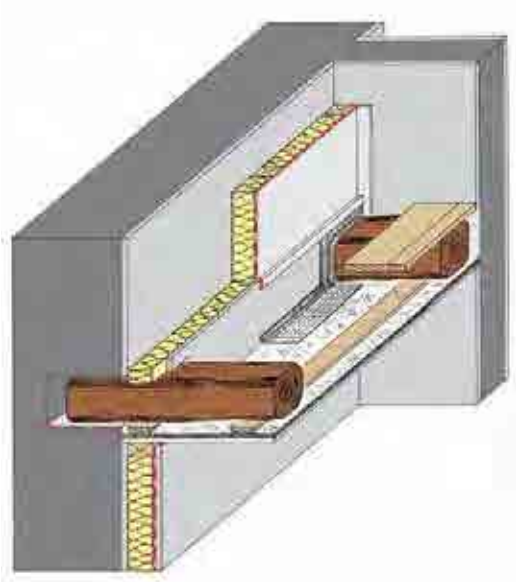


Abb. 4: Innendämmung bei Holzbalkendecke in Massivmauerwerk.
Bildquelle: Energieagentur NRW

In jedem Falle sollte jedoch die Wärmedämmung in den Deckenbereich hineingeführt werden. Dies vermeidet kalte Oberflächen, die Quelle von Schimmelpilzbildung im Deckenhohlraum sein können. Diese Gefahr besteht auch dann, wenn Anschlussbereich zwischen den Balken mit diffusionsoffenen Faserdämmstoffen ohne weitere Bekleidung ausgestopft wird. Unproblematischer wäre hier der Einsatz von Dämmstoffen mit einen μ-Wert > 10.

Um den Dämmraum optimal vom Innenklima abzukoppeln, ist eine Konstruktionswahl entsprechend Abb. 4 zu empfehlen. Zwischen die Balken werden Stellbretter aus Holzwerkstoffplatten grob eingepasst, um den Dämmraum zu begrenzen. Je nach Anforderung an die Nachbesserung der Luftdichtheit kann zwischen dieser Abstellung und den Balkenköpfen bzw. der Oberseite der Deckenbekleidung abgedichtet werden. Für den Balkenanschluss eignen sich hier am Besten spezielle Eckklebebänder, die sich gut anformen lassen (bei staubigem Untergrund ggf. primern).

Abb. 5: Luftdichtung bei geöffneter Holzbalkendecke: Abstellung und Abdichtung mit Gipsschlämme gegenüber Unterdecke, aus: [7].

Zwischen den Balken ist der Putzträger unter der Decke eine höchst schwierige Klebeoberfläche. Hier hat sich der Einsatz von mineralischen Spachtelmassen bewährt (vgl. Abb. 5). Die Bewegungen in alten Holzbalkendecken sind in aller Regel so gering, dass die Spachtelungen auch langfristig weitgehend rissfrei bleiben können.

7 Fazit

Balkendurchdringungen in alten Außenwänden bedürfen der besonderen Beachtung, insbesondere beim Einbau von Innendämmungen. Die Hohlräume in den Deckengefachen sollten mit unverminderter Dämmstärke gefüllt werden. Risiken durch Dampfkonvektion lassen sich am besten eingrenzen, wenn vor der Sanierungsmaßnahme die Luftdichtheit der Anschlüsse kontrolliert wird. Hiernach kann ein abgestufter und den Verhältnissen angepasster Dichtungsaufwand geplant und ausgeführt werden.

Quellen

[1] Helmut Künzel: Der Feuchtehaushalt von Holz-Fachwerkwänden. Fraunhofer IRB-Verlag, Stuttgart 1996

[2] Gerd Hauser, Christoph Kempkes: Der Einfluss von windinduzierten Druckschwankungen auf das thermisch-hygrische Verhalten von durchströmten Leckagen, ZUB e.V., Kassel 2005, AIF - Forschungsvorhaben Nr. 13625N.

[3] Reinhard Lamers, Innendämmung von Fachwerkwänden. In: die neue quadriga 1/2003.

[4] Autorenteam: Deckenanschluss – Fachwerk mit Innendämmung. In: HOLZBAU 5-2005.

[5] Robert Borsch-Laaks / Paul Simons: Wie dick darf die Innendämmung sein? In: WTA-Journal 3-2006.

[6] Paul Simons, Fachwerksanierung mit 12 cm Innendämmung, in: die neue quadriga 1/ 2000.

[7] Robert Borsch-Laaks und Wilfried Walther: Wärmetechnische Dachsanierung von außen (Teil 3). In: HOLZBAU 2-2007.

11.1 Wärme- und Feuchteschutz
Innendämmung - eine Chance für den Holzbau?

Robert Borsch-Laaks

1 Einleitung

Angesichts der wachsenden Nachfrage nach wärmetechnischer Sanierung von Bestandsgebäuden ist ein Thema verstärkt auf der Tagesordnung der bautechnischen und bauphysikalischen Diskussion: Die Innendämmung von schützenswerten Fassaden. Um dieses Thema haben viele Planer und Handwerker lange Zeit einen großen Bogen gemacht, weil die Innendämmung generell als äußerst riskante Sanierungsmaßnahme angesehen wurde, wegen der „Verlagerung des Taupunktes in die Wand".

Andererseits hat die mittlerweile 30 Jahre andauernde Bauforschung den eindeutigen Nachweis erbracht, dass problembewusst geplante und ausgeführte Innendämmungsmaßnahmen eine feuchtetechnisch beherrschbare Konstruktionsweise sind.

2 Feuchtetransport in der Innendämmung

Die Im Lande weit verbreiteten Vorbehalte gegenüber der Innendämmung werden verursacht durch die Anwendung der Dampfdiffusionsberechnung (Glaser-Verfahren) gem. DIN 4108-3. Diese Berechnungen führen bei Innendämmungen vor massiven Altbauwänden stets zur Tauwasserbildung an der Grenzschicht zwischen dem Innenputz der alten Wand und der vorgesetzten Innendämmung. Bei diffusionsoffenen Innendämmungen ohne Dampfbremse (z.B. verputzte Mineralfaserplatten) können rechnerisch durchaus 3.000 g/m² Tauwasser anfallen. In manchen Fällen ist auch die rechnerische Austrocknung nicht gewährleistet, so dass ein Aufschaukeln der Feuchtigkeit befürchtet werden kann, vgl. [4].

Schon Laboruntersuchungen des FIW aus der Mitte der 80er Jahre, bei denen innen gedämmte Massivwände in einer Doppelklimakammer dem Blockklima nach Berechnungsnorm ausgesetzt wurden, machten deutlich, dass sich die Wandkonstruktionen praktisch ganz anders verhalten [1]. Nach Öffnung der Konstruktionen wurde in keinem Fall der rechnerisch ermittelte Tauwasserfilm an der Grenzschicht festgestellt – auch nicht bei diffusionsoffenen Dämmungen vor hygroskopischem Mauerwerk nach DIN 1053. Ursache hierfür ist die kapillare Saugfähigkeit und das Sorptionsvermögen der historischen Wandbaustoffe. Bevor es zur Tauwasserbildung kommen kann, werden die Feuchteerhöhungen an der kalten Seite der Dämmschicht durch die Fähigkeit der Baustoffe zum kapillaren Flüssigtransport weiterverteilt. Von daher ist nicht verwunderlich, dass einzig bei den untersuchten Innendämmungen, die ohne Dampfbremse vor Betonwände angebracht wurden, der befürchtete Tauwasserfilm festgestellt werden konnte.

Diese kapillaren und sorptiven Feuchtetransportprozesse werden von der Glaser-Berechnung nicht berücksichtigt. Deshalb ist dieses Verfahren zur feuchtetechnischen Bewertung dieser Dämmmethode nicht empfehlenswert [4]. Mit den zwischenzeitlich entwickelten und vielfach validierten hygrothermischen Simulationsverfahren gem. [5] sowie neuerdings nach DIN EN 15026 [8] können feuchtetechnische Nachweise für Innendämmungen realitätsgerecht unter Berücksichtigung aller Feuchtetransportprozesse und mit realen Klimadaten kalkuliert werden.

Im Entwurf zum WTA-Merkblatt 6.4:2008 D [6] sind die wesentlichen Einflussfaktoren in einem Diagramm zusammengefasst (Abb. 1). Hierin wird auch die oft diskutierte Frage geklärt, ob und wieweit eine Begrenzung der Dämmdicke bei Innendämmungen sinnvoll ist. In der zitierten Grafik wird der erforderliche innere Dampfbremswert des Innendämmungsaufbaus für verschiedene Untergründe (Putzschicht und / oder Mauerwerk, das an die Innendämmung grenzt) dargestellt.

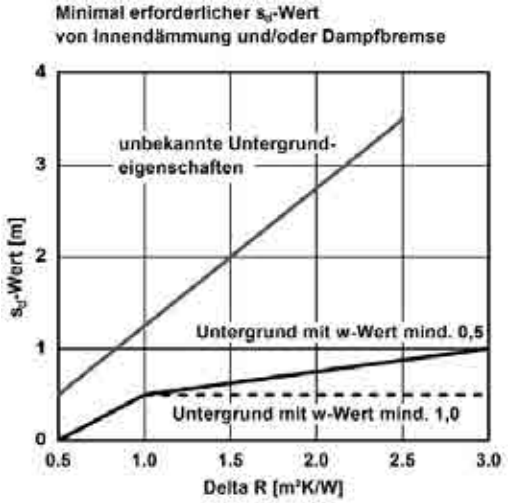


Abb. 1: Zusammenhang zwischen wärmeschutztechnischer Verbesserung ΔR und erforderlichem Diffusionssperrwert des Innendämmsystems für verschieden kapillaraktive Untergründe [6]

Der Kurvenverlauf zeigt, dass mit steigender Dämmdicke die erforderlichen Dampfbremswerte zunehmen. Bis zu einer Dämmdicke von 100 mm (WLS 040) können Innendämmungen auf beliebigem Untergrund ausgeführt werden, wenn deren s_d-Wert die Anforderungen der Grafik erreicht.

Hat der Untergrund aufsaugende Eigenschaften, so können Innendämmungen bis 120 mm Stärke auch mit geringeren Sperrwerten realisiert werden. Der Mindestwert ($s_{d,i} \geq 0{,}5$ m) entspricht den Anforderungen für nachweisefreie Konstruktionen aus der DIN 4108-3:1981 [7].

3 Hinterströmung: Das besondere Risiko

Jenseits der Feuchteberechnungen, ob nun nach Glaser oder mit modernen Methoden, gibt es ein feuchtetechnisches Problem von Innendämmungen, das äußerst unberechenbar ist. Wenn

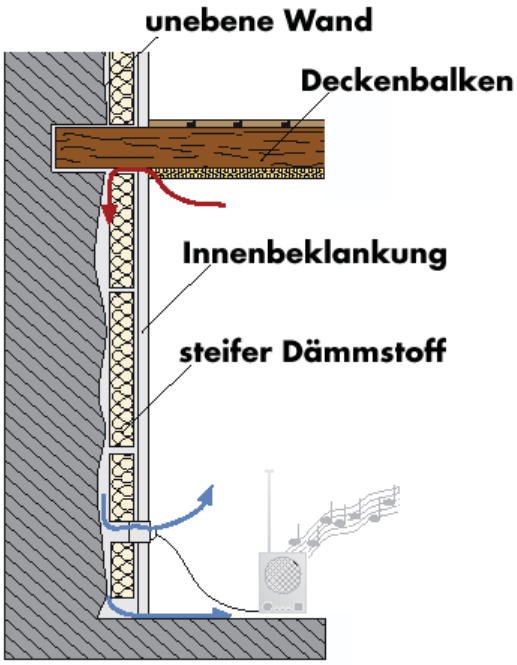


Abb. 2 Hinterströmung einer Innendämmung mit Hohlräumen.

Innendämmungen so ausgeführt werden, dass zwischen alter Wand und Dämmstoff Hohlräume verbleiben, so kann es durch Warmlufteintritt in Folge von Luftundichtheiten zur Hinterströmung der Dämmschicht kommen (Abb.2).

Insbesondere dann, wen die feuchtwarme Raumluft auf längeren Strömungspfaden entlang der kühleren Wandoberfläche streicht, ist eine Feuchteerhöhung, die zur Schimmelbildung führen kann, möglich. Diese Gefahr besteht insbesondere, wenn die Bestandswände größere Unebenheiten aufweisen und steife Dämmstoffplatten eingesetzt werden, oder Verbundplatten mit der Mörtelbatzentechnik angesetzt werden (Abb. 3).

Die Höhe der hieraus resultierenden Feuchtebelastungen lassen sich nicht durch Nachweisrechnungen abschätzen. Hier kann nur die Vermeidungsstrategie weiterhelfen. Von Vorteil sind

Hohlraum füllende Dämmverfahren (z.B. Einblasdämmung). Bei Gefahr der Durchströmung, z.B. bei Balkendurchdringung, Luftundichtheiten bei Sichtmauerwerk) sind zusätzlich Luftdichtungsmaßnahmen an allen Anschlüssen anzuraten.

Abb. 3: Nach Entfernung einer Innendämmung aus EPS-Verbundsplatten: Schimmelbildung ringsum die Gipsbatzen.

4 Übliche Innendämmungen und die Holzbaualternative

Übliche Innendämmungsmethoden bestehen bislang vorherrschend als Verbundplatten aus EPS-Hartschaum und Gipskarton oder Metallständerwerken mit eingelegter Mineralfaserdämmung, Dampfsperre und innenseitiger Gipsbauplatte. Beide Methoden sind unter Fachleuten feuchtetechnisch umstritten – insbesondere wegen der o.g. Gefahr der Hinterströmung (Dampfkonvektion). Bei Verwendung von Stahlblech-Trockenbauprofilen, die am alten Mauerwerk anliegen, werden Wärmebrückenwirkungen befürchtet, die zum einen die erhoffte Wärmeschutzwirkung herabsetzen und zum anderen zu niedrigen Oberflächentemperaturen auf der Innenseite führen.

Weiterhin ist die Akzeptanz dieser Maßnahmen bei Hauseigentümern und Mietern nicht besonders hoch, da „hohle Wände“, an denen nur mit Spezialdübeln Regale, Wandschränke etc. montiert werden können, als eine Verschlechterung der Nutzbarkeit der Räume empfunden wird. Vor diesem Hintergrund erfreut sich eine Innendämmungsmethode wachsender Beliebtheit, die dem Holzrahmenbau entlehnt ist. Hierbei wird ein wärmebrückenfreies Holzständerwerk vor die alte Wand gestellt und innen mit Holzwerkstoffplatte (z.B. OSB) und direkt darauf montierter Gipskartonplatte bekleidet (Abb. 4).

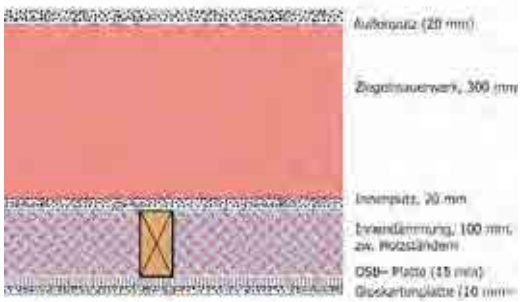


Abb. 4: Innendämmung á la Holzrahmenbau

Die Holzwerkstoffplatte übernimmt hierbei analog zum heutigen Holzrahmenbau nicht nur mechanische Aufgaben (z.B. als Befestigungsgrund für das Aufhängen von Schränken etc.), sondern wirkt auch als moderate Dampfbremse. Je nach Anforderungen an die Herstellung einer zusätzlichen Luftdichtheitsebene kann diese Platte mit den aus dem Holzbau bekannten Methoden zur luftdichten Schicht ertüchtigt werden. Sofern keine besonderen Undichtheiten in der alten Wandkonstruktion vorliegen, (z.B. beidseitig verputzte Wände und Massivdecken) sind zusätzliche Abklebungsmaßnahmen nicht erforderlich. Eine Hohlraumfüllende Dämmung und eine rissfreie Verarbeitung der Gipsbauplatten können Hinterströmungen ausschließen.

5 Hygrothermischer Nachweis der Holzbauinnendämmung

Die hier vorgeschlagene Innendämmungskonstruktion in Holzbauweise wurde vom Autor auch durch hygrothermische Simulation mit dem Berechnungsprogramm WUFI® des Fraunhofer Instituts für Bauphysik, Holzkirchen, auf ihre bauphysikalische Tauglichkeit untersucht. Abb. 5 zeigt den Verlauf des Wassergehaltes der innenseitigen OSB- Platte über drei Jahre. Es ergibt sich eine jahreszeitliche Schwankung zwischen knapp 40 und gut 60 kg/m³ (= 8 – 13 M.-%). Das Maximum des Holzfeuchtegehaltes tritt im Spätsommer auf und ist Folge der Diffusion von Mauerwerksfeuchtigkeit in Richtung Innenraum. Die Größenordnung der Auffeuchtung bleibt aber weit unterhalb der Holzschutzgrenze nach DIN 68800 (u_m = 20 M- %).

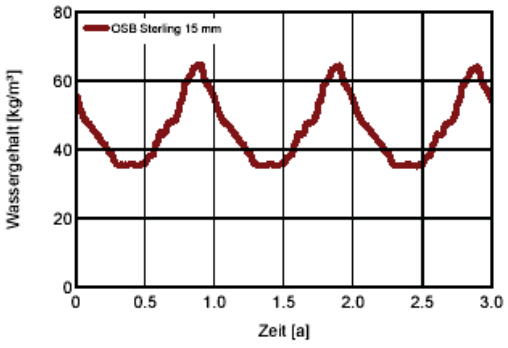


Abb. 5: Jahreszeitliche Schwankungen der Holzwerkstofffeuchte (10 kg/m³ = 1 Vol- %).

Abb. 6 zeigt die relative Luftfeuchte in den Porenhohlräumen von Baustoffschichten, an denen es kritisch werden könnte. Der oben beschriebene Wassergehalt der inneren Holzwerkstoffplatte korrespondiert mit einer Porenluftfeuchtigkeit an der OSB-Oberfläche zum Dämmraum hin und liegt zwischen 40 und 70 % rel. Feuchte. Demgemäß ist dieser Holzwerkstoff an dieser Stelle der Nutzungsklasse 1 (Trockenbereich) zuzuordnen.

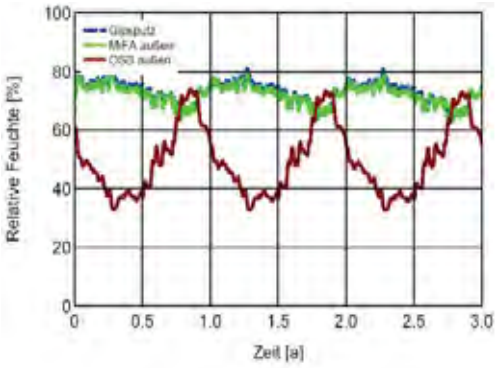


Abb. 6: Relative Luftfeuchte in den Baustoffporen an den kritischen Grenzschichten

An der Grenzschicht zwischen Dämmung und vorhandenem Gipsputz schwanken die rel. Luftfeuchten zwischen rd. 60 % rel.F. im Sommer und einem Wintermaximum von knapp 80 % rel.F. Tauwasserbildung (= 100 % rel.F.) tritt nicht auf. Auch Schimmelbildung ist an dieser Grenzschicht praktisch ausgeschlossen. Wird überdies ein Dämmstoff aus nachwachsenden Rohstoffen mit der hierbei üblichen Schimmelpilzschutzausrüstung eingesetzt, so kann auch ausgeschlossen werden, dass an der alten Wandoberfläche und den dort verbliebenen Tapeten oder anderen Nährböden eine Schimmelpilzbildung erfolgt.

Fazit 1

Durch Innendämmungen in „Holzbauweise“ können feuchtesichere und energetisch wirksame Innendämmungen in Trockenbauweise konstruiert werden, die kostengünstig und vor allem sicher zu kalkulieren sind. Für die Nutzer hat die doppelte Innenbekleidung einen besonderen Charme einer festen, tragfähigen Oberfläche.

6 Innendämmung mit Holzfaserstoffen

Eine neue Generation von Innendämmungsmaterialien setzt auf eine andere Methode zur Begrenzung des Tauwasserproblems. Kapillaraktive Innendämmungen können die Feuchteerhöhungen an der Grenzschicht zur alten Wand über Flüssigwassertransport in den Materialhohlräumen von

der kritischen Stelle weg in Richtung Innenraum hin zurücktransportieren. Antriebskraft für diesen Transportweg ist das Sorptionsgefälle. Bekanntlich ist die Ausgleichsfeuchte von hygroskopischen Materialien abhängig von der relativen Luftfeuchte ihrer Umgebung. Dieses Feuchtespeicher- und Transportverhalten ist bei Holz von Natur aus stark ausgeprägt. Diese Eigenschaft kann auch bei „hölzernen“ Dämmstoffen (Holzfaserdämmplatten) beobachtet werden.

Zurzeit wird von verschiedenen Herstellern diese Dämmmethode propagiert. Ein bauphysikalischer Nachweis kann hierfür nur über hygrothermische Simulation geführt werden.

Abb. 7: Innendämmung mit Holzfaserplatten (Pavadentro) mit Lehm als Ansetzmörtel, aus [3].

Im Rahmen einer Langzeituntersuchung wurde ein solches System im Herbst 2007 beim öffentlichen Baulabor am Energie- und Umweltzentrum am Deister, Springe, ausgeführt (vgl. Abb. 7). Mit Messtechnik der TU Dresden ausgestattet, sollen über eine dreijährige Messperiode die Feuchteverhältnisse untersucht werden. Erste publizierte Ergebnisse aus der Trocknungsphase belegen den Kapillareffekt (vgl. Abb. 8). Die Dämmkonstruktion wurde durch hohe Einbaufeuchte beaufschlagt (Untergrundausgleich und Ansetzmörtel aus Lehmmörtel). Dennoch erfolgte schon in der ersten Winterperiode eine rasche Abtrocknung an der Grenzschicht zwischen Dämmplatte und alter Wand. Der hiermit verbundene Feuchtigkeitsabtransport war um ein Vielfaches höher, als dies aus reiner Diffusionsbetrachtung hätte sein können. Die Messergebnisse aus dem ersten „Normalwinter“ werden in der Zeitschrift HOLZBAU – die neue quadriga, Heft 3-2009 publiziert.

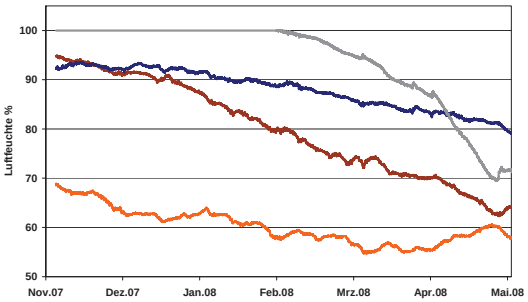


Abb. 8: Relative Luftfeuchte an der Grenzschicht zwischen Innendämmung und alter Wand im ersten Winter nach Ausführung im Herbst 2007. [3]

Fazit 2

Innendämmungen aus kapillaraktiven Dämmstoffen, die dem Holz entstammen, sind eine viel versprechende Option. Gerade für den historischen Holzbau, sprich: Fachwerkhäuser, wird diese Dämmmethode gerne verwendet und auch in den Fachwerk-Merkblättern der WTA empfohlen. Die wissenschaftliche Auswertung solcher Vorhaben ist nach Meinung des Autors noch nicht ausreichend erfolgt. Insbesondere fehlen den Planern vielfach die herstellerspezifischen Kennwerte, um hygrothermische Simulationen für diesen Anwendungsfall durchführen zu können. Diese sind aber notwendig, da Kapillaritätseffekte von der klassischen Glaserberechnung nicht berücksichtigt werden können.

Quellen

[1] Joachim Achtziger: Praktische Untersuchung der Tauwasserbildung im Innern von Bauteilen mit Innendämmung. In: wksb Sonderausgabe 1985.

[2] Robert Borsch-Laaks: Innendämmung – Wo ist das Risiko? In: WTA- Journal 3-2006, München.

[3] Robert Borsch-Laaks und Wilfried Walther: Innendämmung mit und ohne Dampfbremse, Teil 1 und 2. In: HOLZBAU, Heft 2 und 4/2008, Verlag Kastner, Wolnzach.

[4] Kurt Kießl. Wärmeschutzmaßnahmen durch Innendämmung. Beurteilung und Anwendungsgrenzen aus feuchtetechnischer Sicht. In: wksb 31/1992.

[5] Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. - WTA - WTA-Publications (Hrsg.): WTA-Merkblatt 6-1-und 6-2:2001. Leitfaden für hygrothermische Simulationsberechnungen. München: 2001

[6] WTA (Hg.): WTA-Merkblatt E 6-4. Innendämmung im Bestand – Planungsleitfaden. München: 2008:10

[7] DIN 4108-3:1981, Normenausschuss Bauwesen im DIN: Wärmeschutz im Hochbau. Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz,. Beuth Verlag, Berlin August 1981.

[8] DIN EN 15026: 2007, Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen - Bewertung der Feuchteübertragung durch numerische Simulation, Beuth Verlag Berlin, 2007-07

11.1 Wärme- und Feuchteschutz
Holzfaserplatten für die Innendämmung

Stefan Müller, Karl-Heinz Knedlitschek

Die Innenwanddämmplatte mit Funktionsschicht für die raumseitige Dämmung von Außenwänden speziell für die Altbausanierung.

1 Anwendung

Anwendungsbereich ist die raumseitige Anordnung bei Außenwänden im Trockenbereich. Räume mit konstant hoher Feuchte sind ausgeschlossen.

Eine ausreichende Schlagregendichtheit der Aussenwand ist zwingend erforderlich.

Die Installationsebene sollte in die bestehenden Bauteile bzw. ggf. in die Absorberschicht (Abdichten!), in den Aufputz oder in den Fussboden bzw. Sockel verlegt werden.

2 Vorteile

- Wirksamer, nachträglicher Wärmeschutz für Gebäude mit denkmalgeschützten oder erhaltenswerten Fassaden.
- Verzicht auf Dampfsperren dank innovativer Funktionsschicht und Feuchtepufferung.
- Hervorragende Basis für kapillar leitfähige Lehm- und Kalkputze.
- Spürbare Verbesserung der Schalldämmung gegen Außenlärm.
- Angenehmes Raumklima auch im Sommer durch hohe Wärme- und Feuchtespeicherfähigkeit.
- Die Außenfassade kann belassen werden
- Die Montage ist einfach
- Bei temporär genutzten Räumen erfolgt ein schnelles Aufheizen

Die Holzfaserdämmplatte ist eine diffusionsoffene, ökologische, Innendämmung, die die kapillare Leitfähigkeit sowie die hygroskopischen Eigen-

Abb. 1: Ausgangsmaterial Holzfaser

Abb. 2: Wohnhaus, stark sanierungsbedürftig, Ansicht, Buetzberg CH

Abb. 3: Wohnhaus, stark sanierungsbedürftig, Innenseite Außenwand, Buetzberg CH

schaften von Holzfasern aktiv nutzt und so eine zerstörende Kondensatbildung vorbeugt. Das Trocknungspotenzial der kapillaraktiven Innendämmung bleibt erhalten. Dadurch kann unter Umständen sogar eine längerfristige Trocknung bereits vorgeschädigter Bauteile erreicht werden.

Dadurch wird der Wasserdampftransport schon in der Dämmebene abgebremst und Feuchtespitzen werden in der Holzfaserplatte gepuffert. Durch die nach innen gerichteten Kapillarkräfte wird ein Großteil des Kondensats wieder an die Raumluft abgegeben. Deshalb muss die HF- Platte stets mit kapillar leitfähigen Putzen auf Lehm- oder Kalkbasis kombiniert.

Abb. 4 Systemaufbau Pavadentro

3 Wirkungsweise der Holzfaserplatte

Jeder kennt die Vorzüge von atmungsaktiver Funktionsbekleidung. Diese Materialien schützen vor Regen sowie Wind und transportieren die Feuchtigkeit von der Haut weg. Eine raumseitige Dämmung von Außenwänden muss ähnlich funktionieren. Einerseits soll die Dampfdiffusion von innen nach außen gewährleistet sein. Andererseits darf es jedoch nicht zu Kondensat im bestehenden Bauteil kommen

Die hygroskopische Speicherfähigkeit der diffusionsoffenen, kapillaraktiven Innendämmung puffert Feuchtespitzen der Innenraumluft und trägt zur Regulierung des Innenklimas bei. Die Kapillaraktivität sorgt für eine schnelle und großflächige Verteilung der Feuchte in der Dämmung während der Winterperiode, d. h. die Feuchte bleibt im Faserverbund nicht an der kalter Stelle (Taupunkt), wie z. B. bei mineralischen Fasern, sondern verteilt sich im Medium und verdunstet dann an der Oberfläche. Dadurch wird die Trocknung beschleunigt und die Dämmwirkung verbessert.

In untenstehender Abbildung ist das Wirkprinzip der kapillaraktiven HF- Innendämmung dargestellt:

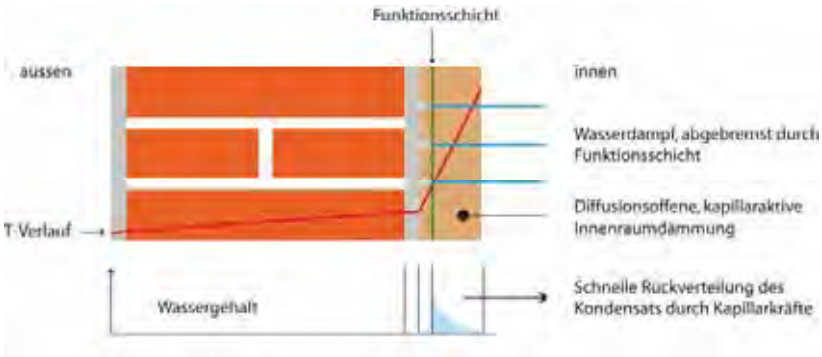


Abb. 5 Feuchteverlauf mit Funktionsschicht, Die Kondensatebene liegt in der kapillaraktiven Dämmung.

Aufgrund der bestehenden Temperaturdifferenz zwischen Innen- und Aussenwand diffundiert Wasserdampf in die Konstruktion. An der grünen Funktionsschicht akkumulieren sich die Wasserdampfmoleküle im Porenraum des Dämmstoffes. Die nach innen gerichteten Kapillarkräfte und mit dem Vermögen Wasser in seinen Poren zu leiten, transportiert die HF- Platte einen Teil des Kondenswassers zurück an die Oberfläche, von wo aus die Feuchtigkeit in den Raum zurückverdunstet.

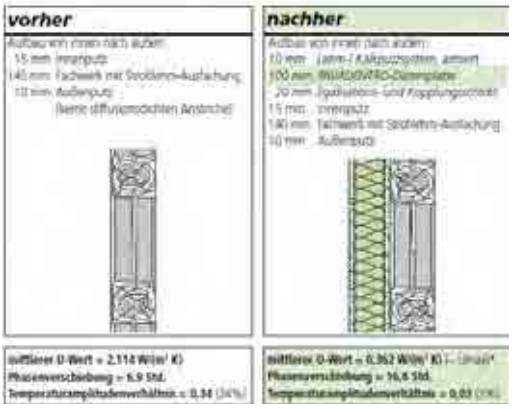


Abb. 6 Konstruktionsbeispiele Fachwerk-Außenwand

4 Bauphysikalische Besonderheiten

Die Sanierung von Gebäuden, deren Fassaden sichtbar bleiben sollen, kann wegen der Kondensatbildung im Bauteil problemanfällig sein.

Unsachgemäße Innendämmung kann zu bedenklichen Zuständen der Gebäudehülle Führen. Durchfeuchtungen und biologischer Abbau sind häufige Schadensbilder in alten Bauteilen.

Der Einsatz üblicher Dampf sperrender Innendämmsysteme kann in dieser Hinsicht risikoreich, fehleranfällig und für historische Bauwerke mit erhaltenswerten Fassaden ungeeignet sein.

Da bei dieser HF-Platte durch den Nichtgebrauch einer Dampfsperre ein Arbeitsschritt wegfällt, direkt auf Platte verputzt werden kann und somit weniger Material benötigt wird, besitzt die Holzfaserdämmplatte Vorteile beim Kosten- und Arbeitsaufwand. Die klassische Variante mit Dampfsperre kann allein beim U-Wert punkten. Doch kann dies nicht wirklich ein Vorteil sein, da immer ein hohes Gefahrenpotenzial besteht, dass die Hauswand in kurzer Zeit feucht und die Mauer deshalb zerstört wird sowie das Raumklima unangenehm ist.

Die im bewährten Nassverfahren hergestellte Holzfaserdämmplatte besitzt eine hohe Speicherfähigkeit für Feuchte und kann anfallenden Wasserdampf aus der Raumluft aufnehmen. Das Nassverfahren erlaubt es aber auch, eine spezielle mineralische Funktionsschicht in die Holzfaserdämmplatte einzubringen. Diese Funktionsschicht sorgt für eine kontrollierte Akkumulierung der Feuchte, welche dann kapillar rückverteilt und an das Raumklima abgegeben wird, was die Wandkonstruktion bauphysikalisch sicher macht.

Wie bei Innenraumdämmsystemen üblich, ist eine vollflächige Kopplungsschicht zwischen Wandkonstruktion und Dämmplatte zwingend erforderlich. Bei der HF- Platte muss diese Kopplungsschicht zusätzlich noch kapillarleitfähig sein; Rotkalk und Lehm sind Materialien, die diese Anforderung erfüllen und sich deshalb sehr gut eignen. Wärmebrücken gilt es unbedingt zu beachten, wenn Bauteile wie Decke oder Innentrennwände eingebunden werden.

5 Feuchtegehalt

Mit Pavadentro ist die durchschnittliche Feuchte im bestehenden Bruchsteinmauerwerk und dem Holzriegel um 0,03 kg/m^2 niedriger verglichen mit der Dampfsperrevariante. Somit erreicht die Holzfaserdämmplatte bei der Kondensatmenge wesentlich bessere Werte: Dieser liegt stationär bei 1,524 kg/m^2. Die Dampfsperrenvariante kommt mit 14,19 kg/m^2 auf einen fast zehnfach höheren Wert. Bei der Einstellzeit – bis diese stationäre Feuchte erreicht wird – zeichnen sich ebenfalls sehr deutliche Unterschiede ab: Die Variante mit der Dampfsperre erreicht bereits nach 17,7 Jahren die maximale Kondensatmenge, während mit Pavadentro sich diese erst nach 268 Jahren einstellt. Das heißt, dass im Fall der Variante mit Dampfbremse die sehr hohe Feuchte von über 10 kg/m^2 nach sehr kurzer Zeit bereits erreicht wird, während es mit dieser HF-Platte

sehr lange dauert, bis das wesentlich kleinere Maximum von 1,524 kg/m^2 erreicht ist.

6 Eigenschaften, Abmessungen

Die wandseitige Funktionsschicht der HF-Platte im Format von 60 x 102 cm ist in den Dicken 40, 60, 80 und 100 mm erhältlich.

Die Funktionsschicht der Platte muss immer wandseitig sein, bzw. bei 40 mm Platte befindet sich diese in der Plattenmitte.

Die mit umlaufender Nut-Feder ausgestattete Holzfaserdämmplatte hat eine Rohdichte von 180 kg/m^3 und einen Bemessungswert für die Wärmeleitfähigkeit λ von 0,045 W/mK.

Abb. 7 Schematischer Wandaufbau

7 Sonstige Anwendungen

Die HF-Platte eignet sich für die raumseitige Anwendung, wobei auch ein Einsatz in Räumen wie Dusche/Bad zulässig ist, wenn nach der Benutzung für genügend Lüftung bzw. Ablüftung gesorgt wird. Eine Anwendung in Räumen mit konstant hoher Luftfeuchte wie Hallenbädern etc. ist nicht zulässig. Die Außenwand muss eine ausreichende Schlagregendichtigkeit aufweisen und aufsteigende Feuchtigkeit muss sicher verhindert werden.

8 Befestigung

Zur Befestigung sind mindestens vier Tellerdübel pro Platte oder mindestens 13 Breitrückenklammern notwendig.

9 Bauphysikalische Berechnung

Die Berechnungsergebnisse setzen eine absolut einwandfreie Montage voraus. Erfahrungsgemäß gestaltet sich die exakte Montage von Dampfsperren als schwierig. Die Holzfaserdämmplatte ist hier durchaus toleranter. Diese Toleranz beweist die Platte auch bei den einzubindenden Bauteilen, was bei der Innendämmung oft heikel ist. Bei dieser HF- Platte kann der Dampf kontrolliert über die gesamte Fläche diffundieren und rückverteilt werden. Bei einer Dampfsperre besteht die Gefahr, dass sich die Feuchtigkeit an einem einzubindenden Bauteil, wie z.B. einem Holzbalken, ansammelt und diesen entsprechend durchfeuchtet.

Unter Berücksichtigung, dass es sich bei Pavadentro um eine hygroskopische, kapillaraktive Dämmung handelt, liefern Berechnungen mit Programmen, die diesem Umstand nicht Rechnung tragen, nur teilweise korrekte Resultate. Deswegen erfolgte die Berechung nach Jenisch mit dem Programm Dämmwerk.

Die wichtigsten Punkte:

- Wenn eine Pavadentro- Konstruktion die DIN 4108 nach Jenisch erfüllt, gibt es grundsätzlich noch viel Reserven
- Berechnungen können deshalb mit Jenisch durchgeführt und bis an die Grenzwerte der Norm bedenkenlos freigegeben werden
- Wenn eine Konstruktion die Norm mit Jenisch nicht erfüllt, kann/soll COND oder ein ähnliches Programm verwendet werden

Material

Die Holzfaserdämmplatten entsprechen:

- DIN EN 13171, Baustoffklasse B2, WDV 045
- speziell entwickelte mit Funktionsschicht für raumseitige Dämmung von Außenwänden
- nach Herstellervorschrift auf das vorhandene Mauerwerk mit Kalk- / Kalk-Zement Klebemörtel, MG P II / CS II nach DIN V 18550/DIN EN 998-1
- Klebemörtel mit 10er Zahntraufel auf die HF-Dämmplatten auftragen und vollflächig im Leibungsbereich verkleben
- anschließend gleich verdübeln.
- Vor Weiterarbeit mind. 48 Std. Standzeit einhalten.
- Dämmstoffdicken: 40 / 60 / 80 / 100 mm
- Dämmplatten: z.B. Marmorit pavadentro (1002 x 600 mm)

Kennwerte	Einheit	Wert
Dichte ρ	kg m^{-3}	180
Wärmeleitfähigkeit λ_D	W (mK)$^{-1}$	0.045
Druckspannung bei 10 % Stauchung	N mm^{-2}	≥ 0.7
Zugfestigkeit senkrecht zur Ebene	N mm^{-2}	≥ 0.005
Spez. Wärmekapazität c	J (kgK)$^{-1}$	2100
Längenspezifischer Strömungswiderstand	kPa s m^{-2}	≥ 100
Brandkennziffer	BKZ	4.3 – B2 – E
Dampfdiffusion bei 50 % RLF W_{dd}	g m^{-2} (24 h)$^{-1}$	ca. 45.5
S-Werte (40, 60, 80 und 100 mm Pavadentro)	m	0.65 – 0.75 – 0.85 – 0.95
Holzfaserdämmplatte gemäss DIN EN 131 171		WF – EN 13 171 – T4 – CS(10\Y)70 – TR5,0 – AF100
Anwendungstypen gemäss DIN V 4108-10, Tabelle 13		DI-dm, WI-dm
DIBt-Zulassung		Z-23.15-1429

Abb. 8: Kennwerte

Eigenschaft	Einheit	Wert
Holzfaserdämmplatte		DIN EN 13171
DIBt-Zulassung		Z-23.15-1429
Wärmeleitfähigkeit Bemessungswert λ	W/(m K)	0,045
Rohdichte ρ	kg/m³	ca. 180
Spez. Wärmekapazität c	J/(kgK)	2.100
s_d-Wert PAVADENTRO 40 / 60 / 80 / 100 mm		0,65 / 0,75 / 0,85 / 0,95 m
Baustoffklasse DIN 4102-1		B2
Euroklasse DIN EN 13501-1		E

Abb. 9 Technische Daten

Ausführung	Einheit	Wert
Breite/ Länge	cm	60 x 102
Dicke	mm	40 / 60 / 80 / 100
Deckmaß	cm	59 x 101
Kante	-	Nut+Feder umlaufend

Abb. 10: Lieferform

Inhaltsstoffe:	Anwendungstypen/ Deklaration:
Schweizer Nadelholz Zusatzstoffe: max. 4,0 % Silikate max. 2,0 % Weissleim (PVAc zur Schichtenverklebung)	**Gemäß DIN 4108-10** DI-zk/-zg, WI-zk/-zg **Gemäß DIN EN 13171** T4-CS(10\Y)70-TR5,0-AF100

Abb. 11: Inhaltsstoffe, Anwendungstypen, Deklaration

11.1 Wärme- und Feuchteschutz
Passivhaus

Till Schaller

Als ob es wirklich noch dieses weiteren Hinweises bedurft hätte: Im Verlauf der Entwicklung der "Princess Elisabeth", der weltweit ersten „Zero-Emission Polarforschungsstation“ für die Antarktis kam man mit dem Baumaterial Aluminium bei der Entwicklung der wärmedämmenden Hüllkonstruktion einfach nicht mehr weiter. Selbst die wenigen, die Hülle durchdringenden Befestigungen aus Metall verschlechterten den U-Wert erheblich.

Ein tragfähiger, leichter Werkstoff mit gleichzeitig geringer Wärmeleitfähigkeit wurde für die hoch gedämmte Außenwand immer noch gesucht, und schließlich entschied man sich für … Holz.

Als autarke und nach dem Prinzip des Passivhauses konzipierte Station versorgt sie sich ausschließlich aus erneuerbaren Energien und ermöglicht den Forschern gleichzeitig in der Antarktis Klimaforschung zu betreiben. Zudem soll sie demonstrieren, dass selbst unter antarktischen Bedingungen eine nachhaltige Energieversorgung möglich ist.

Die komplett in Belgien vorgefertigten Gebäudeteile wurden für den Transport zerlegt, in Containern verschifft und im Februar 2008 in der Antarktis installiert.

Als ob es also noch eines weiteren Hinweises bedurft hätte, dass das Bauprinzip Passivhaus und der Baustoff Holz wirklich vorzüglich zusammen passen – selbst unter den denkbar härtesten Bedingungen auf der Erde, in der Antarktis.

1 Baukonzept Passivhaus

Gleich ob im Neubau oder in der energetischen Sanierung von Altbauten: Der U-Wert für Außenwände im Passivhausstandard verbessert sich entsprechend der erhöhten Dämmstärken auf etwa U = 0,12 - 0,15 W/m²K und ist damit um den Faktor 10 besser als der von Häusern der 60er und 70er Jahre mit etwa U = 1,2 W/m²K.

Abb. 1: Dämmständerfassade, Allensbach

Dies bedeutet nichts anderes, als dass durch jeden Quadratmeter der Außenhülle des Passivhauses nur noch ein Zehntel der Wärme verloren geht, die durch die gleiche Fläche eines, heute vielleicht erst 40 Jahre alten Hauses vergeudet wird.

Eine sehr gut gedämmte und möglichst luftdicht ausgeführte Gebäudehülle und eine 3- fach Verglasung sind also obligatorisch. Die geringe Wärmemenge, die das Haus nun als Wärmebedarf noch benötigt, wird diesem über eine Lüftungsanlage zugeführt.

Die Wärme der Abluft, wird dieser zusätzlich noch vor Verlassen des Hauses über einen Wärmetauscher der Lüftungsanlage weitgehend entzogen.

Erst durch diese konsequente Verlustvermeidungsstrategie - ein Passivhaus benötigt nur noch etwa 20 % der Heizenergie eines typischen heutigen Neubaus - kann deshalb, über eine Wärmeverteilung durch Lüftung hinaus, auf ein herkömmliches Heizungssystem im Prinzip verzichtet werden.

Allerdings ist ein Passivhaus in der Errichtung derzeit erfahrungsgemäß etwa 6 – 8 % teurer als herkömmliche Gebäude, hat aber dafür während seiner gesamten Standzeit im Betrieb verschwindend geringe Betriebskosten für Heizung und Warmwasser - vor dem Hintergrund weiter steigender Energiepreise ein nicht zu unterschätzender Vorteil, der eine größtmögliche Zukunftssicherheit bietet.

Diese etwas höheren Kosten für den zusätzlichen Wärmeschutz, die Dreifachverglasung der Fenster und die Lüftungsanlage können jedoch zum Teil noch durch den Wegfall der herkömmlichen Heizungsanlage wieder kompensiert werden.

Die Investition in den erhöhten Dämmstandard wird sich auf jeden Fall je nach Steigerungsrate der zukünftigen Energiepreisentwicklung in nur wenigen Jahren amortisiert haben.

Um eine bessere Leistungsreserve zur Verfügung zu haben und unter dem Motto „ Passivhaus meets Romantik“ entstehen jedoch auch vermehrt Passivhäuser, in denen noch ein kleiner im Wohnraum aufgestellter Holzpelletofen für die Bereitstellung des Restwärmebedarfs sorgt. Holz sorgt dort also nicht nur als Baustoff für eine sehr gut gedämmte Gebäudehülle, sondern liefert auch noch den regenerativen Brennstoff dazu.

Betrachtet man in diesem Zusammenhang unseren großen Gebäudebestand, so könnten überschlägig von den über 35 Millionen Wohnungen in Deutschland mit einem durchschnittlichen Heizwärmebedarf von 150 kWh/m² im jetzigen unsanierten Zustand nur etwa 5 % theoretisch ihre modernen Holzheizungen mit dem Brennstoff Holz aus nachhaltiger Forstwirtschaft versorgen. Sollte uns jedoch in den kommenden Jahrzehnten die Sanierung aller Gebäude auf den durchschnittlichen Standard von Drei-Liter-Häusern gelingen, so könnte dann immerhin ein Viertel aller Wohnungen nachhaltig mit Holz beheizt werden. Das Ziel der zunehmenden Nutzung erneuerbarer Energien erfordert also grundsätzlich die Steigerung der Energieeffizienz durch die Verbesserung unserer Gebäudehüllen im Bestand.

Die Wohnqualität im Passivhaus aus Holz ist durch eine große Behaglichkeit geprägt. Warme Innenoberflächen der Außenwand und geringe Temperaturdifferenzen zwischen diesen oder den hochwärmegedämmten Fenster, sowie der Lufttemperatur im Wohnraum führen zu einem angenehmen Wohnklima, auch im Winter. Durch die Lüftungsanlage wird das ganze Jahr immer ausreichend Frischluft zur Verfügung gestellt. Zugerscheinungen und Geräusche gibt es bei den erforderlichen geringen Luftgeschwindigkeiten bei korrekt dimensionierten Anlagen praktisch keine.

Bei der Verwendung von Luft als Heizmedium wird jedoch im Winter kalte trockene Außenluft erwärmt und in das Gebäude eingebracht. Dies führt bei großen Luftmengen fallweise auch zu relativ trockener Raumluft. Deshalb wird neuerdings teilweise auch wieder mit Wasser als Heizmedium in Fußboden- oder Wandheizflächen im Passivhaus gearbeitet. Der Vorteil ist dabei, dass vermehrter Wärmebedarf nicht durch größere Luftmengen, als für den Frischluftbedarf eigentlich erforderlich, eingebracht werden muss.

2 Bauteile und Komponenten eines Passivhauses

Heute werden schon viele für Passivhäuser geeignete Komponenten aus Holz in großen Serien hergestellt. Architekten und Bauherren können inzwischen unter vielen konkurrierenden Anbietern beispielsweise für Holzdämmständer, Holzweichfaserplatten oder auch Passivhausfenster aus Holz auswählen.

Zu den vielen bereits vom Passivhaus-Institut zertifizierten Produkten und Komponenten kommen

mindestens noch einmal so viele, die wegen der Gebühren für die Zertifizierung von den Firmen dort nicht zur Prüfung vorgelegt werden.

Dazu trägt derzeit auch die rasche Folge der Innovationsschritte in vielen mittelständischen Unternehmen bei, denn jede Veränderung einer einzelnen Komponente, beispielsweise eines Fensters, würde jedes Mal wieder eine erneute Zertifizierung erfordern.

2.1 Bodenplatte / Kellerdecke

Um die sehr guten U-Werte von 0,15 W/m²K zu erreichen, sind in der Regel Dämmpakete erforderlich, die vor ein paar Jahren noch für großes Aufsehen gesorgt haben. Dämmstärken von ca. 30 cm mit den heute üblichen Dämmstoffen sind hier einzuplanen. Im Bereich der Bodenplatte sind dabei vor allem aber auch die Themen der Wärmebrückenfreiheit und die Systemlage der beheizten Hülle anzusprechen.

Bodenplatten, auf denen massive Wände aufsitzen und die von oben gedämmt sind, haben ein erhebliches Problem mit der Wärmebrücke entlang der aufgehenden Wand, wo der Systemsprung der Dämmebene stattfindet. Was im Niedrigenergiehaus noch tolerierbar ist, wird durch zu große Wärmeabflüsse im Passivhaus zum Leck.

Dämmung unterhalb der Bodenplatte ist deshalb für das Passivhaus, vor allem im Massivbau zur Regel geworden. Im Holzbau dagegen gibt es den Vorteil, wärmebrückenfrei auf der ebenerdigen und unterseitig nicht gedämmten Bodenplatte (bei Häusern ohne Keller) oder auf der Kellerdecke aufzubauen. In diesem Zusammenhang ist es entscheidend, dass der Keller als unbeheiztes Volumen errichtet wird oder ganz entfällt und beispielsweise durch ebenerdige Abstellräume ersetzt wird.

2.2 Außenwand

Auch bei den Außenwänden sind die sehr guten U-Werte von 0,15 W/m²K zu unterschreiten, heute spricht man sogar oft schon von 0,12 - 0,10 W/m²K. Dies kann am einfachsten im modernen Holzbau erreicht werden. Ausgeklügelte Dämmständer, die nur noch wenige Stegverbindungen zwischen statisch nutzbarem Tragständer und der Fassade aus verschiedenen Holzwerkstoffplatten haben, bilden Kammern in der Fassade, die entweder mit Zellulosedämmstoff oder Schüttungen aus Holzspänen ausgeblasen oder mit Mineralwolle ausgefüllt werden können. Die U-Werte liegen hier je nach Produkt in den Wärmeleitfähigkeitsgruppen WLG 035 und WLG 040. Dämmstärken von 32 – 40 cm sind dabei die Regel. Diffusionsoffene Bauweisen ermöglichen auf Dauer, dass selbst beim Eindringen von Feuchtigkeit durch Leckagen, diese immer wieder nach außen abgeführt werden kann.

Abb. 2: Dämmständer Wandaufbau

Dicker werden die Wände gleicher Dämmqualität eindeutig im Massivbau. Die Wandstärken addieren sich hier auf 45 - 50 cm.

Die im Holzbau als innere Schale fungierende Holzwerkstoffplatte, soll gleichzeitig dampfbremsend und luftdicht sein. Hier wird derzeit häufig eine OSB-Platte eingesetzt. Deren Qualität und Ausdehnungsverhalten ist für das Haus von zentraler Bedeutung. Hier sollten nach unserer Erfahrung nur noch OSB 4 Platten zum Einsatz kommen, weil an OSB 3 Platten bei sehr hoher Luftfeuchtigkeit von weit über 80 %, wie sie auf Baustellen in der kalten Jahreszeit vorkommen kann, eine bis zu zehnfach höhere Längenausdehnung zu beobachten ist.

Diese großen Längenausdehnungen führen aber dann fallweise zu Rissen in der Innenoberfläche aus Gipsplatten, die meist direkt mit der OSB verschraubt werden. Außerdem könnten durch daraus resultierende Verschiebungen im Baukörpergefüge Leckstellen in der Luftdichtheitsebene entstehen, die es zu vermeiden gilt.

In letzter Zeit ist bei Luftdichtheitsmessungen auch erstmals von Kollegen der Verdacht geäußert worden, dass selbst OSB 4 Platten in der Fläche, also nicht am verklebten Stoß, punktuell nicht luftdicht sein könnten. Dieser Vermutung sollte zumindest einmal nachgegangen und die Qualität der auf dem Markt angebotenen Platten in dieser Hinsicht geprüft werden.

2.3 Dach

Die Dachkonstruktionen von Passivhäusern müssen ebenfalls U-Werte von 0,15 W/m²K oder besser erzielen. Gerade beim Dach ist es sinnvoll, falls möglich, diese Werte noch weiter in Richtung von 0,10 W/m²K zu unterschreiten. Je nach Bauform hat es etwa ein Viertel bis ein Drittel Flächenanteil an den Hüllflächen und damit auch an den Gesamtverlusten. Da sich für Raumluft wegen ihrer temperaturabhängigen unterschiedlichen Dichte bei nur schwach bewegten Luftströmen Temperaturschichtungen ergeben, bleibt die etwas kühlere Luft eher unten, die etwas wärmere Luft eher oben. Da Verluste immer auch abhängig von der Differenz der Innen- und Außentemperaturen sind, sind deshalb etwas höhere Verluste über das Dach zu erwarten.

Da Dächer meistens in Holz konstruiert werden, herrschen hier verschiedene Sparrenkonstruktionen aus schmalen hohen Hölzern, oder mit Nebenträgerlagen in Querrichtung vor, damit Wärmebrückenübergänge über das Holz minimiert werden können. Durchgehende Dämmstoffschichten aus kaschierten Elementen sind hier ebenfalls sehr sinnvoll, für sie ist jedoch eine Unterkonstruktion mit Schalung oder Plattenwerkstoffen erforderlich.

Im Unterschied zum bereits erheblich breiteren Angebot an Dämmständern für die Wandkonstruktion, ist das Angebot an geeigneten Holz-Dämm-Sparren für das Dach derzeit leider noch sehr dünn und passivhaustaugliche Entwicklungen wünschenswert.

2.4 Fenster und Türen

Den Fenstern und Fenstertüren sowie Haustüren kommt im Passivhausbau eine besonders wichtige Rolle zu. Erst durch die Entwicklung der extra gut gedämmten Holzrahmenkonstruktionen mit Zwischenlagen aus druckfesten Schaumdämmstoffen oder mehreren hintereinander geschalteten Luftkammern war es möglich, Rahmen zu fertigen, die für die Anforderungen des Passivhausbaus geeignet sind. Die Glasanteile sind auf eine dreifache Isolierverglasung angewiesen, sonst können U-Werte für die gesamte Fensterkonstruktion von höchstens 0,8 W/m²K nicht eingehalten werden. Darüber hinaus kommen in diesem Bereich jährlich neue Entwicklungen auf den Markt, schon sind U-Werte von 0,5 - 0,3 W/m²K bei passablen g-Werten (Maß der Lichtdurchlässigkeit) in greifbare Nähe gerückt. Schon beim ersten Passivhaus in Darmstadt wurden übrigens zum Begrenzen der nächtlichen

Verluste zusätzliche spezielle Außendämmläden entwickelt, die die ermittelten Werte nochmals nach unten verbessern können. Da die beweglichen Teile, wie Schiebe-, Klapp-, oder Rollläden jedoch derzeit nicht für die U-Wertberechnungen der Fenster herangezogen werden dürfen, entsteht in dieser Hinsicht leider jedoch noch kein ausreichender Innovationsdruck.

Da sich Dämmläden als nächtlicher und winterlicher Wärmeschutz besonders gut eignen würden, die Gesamtbilanz des derzeit schwächsten Bauteils am Passivhaus, des Fensters, noch deutlich zu verbessern, ist eine Anpassung der Berechnungsverfahren an die technischen Möglichkeiten anzustreben.

2.5 Konstruktives Detail

Abb. 3: Dämmständer mit Ortgang

Dem konstruktiven Detail ist im Gesamtkonzept des Passivhauses eine nicht zu unterschätzende Rolle zugewachsen. So ist allein das Thema der Vermeidung von Wärmebrücken in der Summe entscheidend für das Einhalten der Gesamtkriterien. Diese Wärmebrücken drohen bei falscher Planung an den bereits angesprochenen Anschlusspunkten der Bodenplatte zur aufgehenden Wand, an den Außenecken, an den Durchstoßpunkten für Medien und Rohre, sowie an den Anschlüssen der Wand zum Dach. Hauptziele der Detaillierung sind die Herstellung einer größtmöglichen Luftdichtheit und die Reduzierung der Holzanteile in der Wand.

2.6 Luftdichtheit

Um den unkontrollierten Luftwechsel in befriedigender Weise unter die definierte Schwelle von weniger als dem 0,6-fachen des eingeschlossenen Luftvolumens pro Stunde zu drücken, sind an allen Bauteilübergängen und Durchstoßpunkten eine sorgfältige Planung und vor allem auch eine gewissenhafte Bauleitung erforderlich. Überlappende Stöße von Baupapieren oder Folien müssen mit den jeweils für das System geeigneten Klebebändern oder Dichtschnüren verschlossen werden. OSB-Platten mit verklebten Stößen dienen als luftdichte Ebene auf der Wandinnenseite. Wand-Dach-Anschlüsse sind dabei nicht mehr auf herkömmliche Weise ausreichend luftdicht zu lösen, denn das fehlerfreie Umkleben eines jeden einzelnen über die Außenwand auskragenden Sparrenkopfes ist nahezu unmöglich. Das ist auch ein Grund für die häufig knappen Traufen und Ortgänge von Passivhäusern.

3 Vor- und Nachteile der Holzbauweise gegenüber anderen Bauweisen

Am augenfälligsten unterscheidet sich die Passivhausbauweise natürlich durch die großen Dämmstärken. Außenwände mit U-Werten von 0,12 – 0,15 W/m²K können dabei auf völlig unterschiedliche Weise und im Prinzip mit allen herkömmlichen Baustoffen errichtet werden.

Der Baustoff Holz ist hier jedoch im Bezug auf die notwendigen Mindestwandstärken eindeutig im

Vorteil. Die im Vergleich dünnste Wandkonstruktion mit insgesamt 30 – 35 cm ist dabei derzeit nur mit Hilfe von besonderen Holzständerkonstruktionen möglich, die innen- und außenseitig mit Holzwerkstoffplatten beplankt werden. Alle etwa 60 cm wird ein so genannter Holz-Dämmständer gestellt, der meist aus einem vorderen und hinteren Tragprofil (Querschnitte 6/6 bis 6/12 und Ständerbreiten z.B. 24-30-36 cm), und je nach Hersteller unterschiedlichen horizontalen Verbindungselementen aus Holz oder Holzwerkstoffen besteht. In die zwischen den Dämmständern entstehenden, teilweise geschosshohen Kammern wird als Wärmedämmung Zellulose aus ungebrauchten, zerkleinerten Tageszeitungen geblasen. Alternativ kommen auch noch andere, idealerweise nachwachsende Rohstoffe für die Füllung in Frage: Holzfaserdämmung, Holzspäneschüttungen, Flachs oder Schafwolle.

Der Regel einer von innen nach außen zunehmenden Diffusionsoffenheit folgend, wird die innere Schale möglichst luftdicht und diffusionsbremsend durch eine OSB-Platte (Oriented-Strand-Board) gewährleistet, deren Stöße sorgfältig verklebt werden müssen; die äußere Beplankung bildet meist eine nur winddichte und diffusionsoffene Holzweichfaserplatte, DWD-Platte oder andere Holzwerkstoffplatte, die entweder als Putzträgerplatte dienen kann oder selbst wiederum durch eine Unterkonstruktionslattung mit einer hinterlüfteten Schale aus Holz oder anderen Plattenwerkstoffen geschützt wird.

Theoretisch könnten die Ständer jedoch auch aus herkömmlichen Holzquerschnitten bestehen, allerdings erhöht sich mit steigendem Holzanteil dann auch die notwendige Mindeststärke des Wandaufbaus rapide. Da eben auch Holz Wärme leitet, wird deshalb versucht den durchgehenden Holzanteil in der Wand so gering wie möglich zu halten. Gleichzeitig muss jedoch die Maßhaltigkeit und Verwindungssteifigkeit der Konstruktion auch unter den wechselnden Feuchtebelastungen während des Bauzustands gewährleistet sein.

Vergleichbare Dämmqualitäten sind mit einschaligen Massivwandkonstruktionen aus den neuesten Wärmedämmziegeln mit Kammerfüllungen oder auch sehr leichten Porenbetonsteinen derzeit nicht realisierbar. Mit einem 36,5 cm breiten Dämmstein einschließlich Putz kommen diese bei Gesamtwandstärken von etwa 40 cm auf U-Gesamtwerte von etwa 0,18 - 0,20.

Nur durch weitere Dämmschichten oder Schalen kann dieser Wert weiter in Richtung 0,15 gesenkt werden. Im Massivbau wird die Wand dadurch mit ca. 45 cm jedoch noch deutlich stärker.

Im Einfamilienhausbau bedeuten jedoch 10 cm Unterschied bei der Außenwandstärke und einer angenommenen Abwicklung bei 100 m² von 40 m ringsum, einen Gewinn an Wohnfläche von etwa 4 m² bei gleichen Außenmaßen des Gebäudes.

Dieser Aspekt ist angesichts der immer kleiner werdenden Grundstücke ein echter Wettbewerbsvorteil für den Holzbau.

Eine Variante des Wandaufbaus, die sich als Mischkonstruktion auch für die energetische Gebäudesanierung bis hin zum Passivhausniveau anbietet, besteht darin, auf einer neuen oder bestehenden Massivwand außenseitig Holzunterkonstruktionen aus vorgehängten Holzrippen oder Dämmständern zu befestigen, in die Kammern dazwischen die weichen Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen oder auch Schüttungen aus Zellulose einzubringen, mit einer Fassadenbahn vor Schlagregen zu schützen und mit hinterlüfteten Holzwerkstoffen oder Tafeln zu bekleiden. Eventuell notwendige Befestigungspunkte aus Metall senken auch hier allerdings die Dämmqualität erheblich, was dann mit einer

Mehrstärke an Dämmung kompensiert werden muss. Interessant sind hier daher auch neue Entwicklungen mit Holzverbindungselementen, die auf eine geringst mögliche Wärmeübertragung vom Massivbau auf die aufgeschraubten Holzträger oder Massivholzrippen setzen.

Vergleicht man identische gut gedämmte Gebäude in Massivbauweise mit Leichtbaukonstruktionen, wie beispielsweise dem Holzrahmenbau, werden beide am Jahresende einen ähnlichen Energieverbrauch ausweisen, mit allenfalls kleinen Nachteilen für den Leichtbau - ein überraschendes Ergebnis.

Natürlich neigt der Holzbau wegen der geringeren Speichermassen schneller zur Überhitzung bzw. Auskühlung. Bei effektiven, außenliegenden Sonnenschutzmaßnahmen ist dieser Unterschied aber marginal. Der Effekt einer sehr gut gedämmten Hülle mit präzise zur Sonne ausgerichteten Öffnungen (das ganze Haus als Kollektor) scheint zudem in der Jahresbilanz der eigentlich bestimmende Faktor zu sein, weil die großen Speichermassen ja auch erst aufgeheizt werden müssen.

Auch die Bauteildicke ist für die Abpufferung von Temperaturspitzen nicht so wichtig.

Wirksam für das kurzzeitige Abpuffern des Raumklimas sind eigentlich nur die wenigen ersten Zentimeter einer Innenwand. Damit kann man aber auch einen modernen Holzleichtbau ausstatten: massive Estriche und Bodenbeläge, massive flächige Deckenelemente oder Wandverkleidungen aus Holz etwa, dickere Bauplatten aus Gips und viele weitere Bauteile könnten hier herangezogen werden. Bei neuen Entwicklungen sind Gips-Bauplatten zusätzlich mit eingekapselten „Latentwärmespeichern“ ausgestattet, kleinsten Paraffinkügelchen, die beim Phasenwechsel von fest nach flüssig kurz über die Raumtemperatur viel passiv gewonnene Wärme einlagern können (PCM = phase change materials), um sie später wieder bei gesunkener Innentemperatur an den Raum abzugeben.

Schließlich zeigen erste Versuchsbauten mit den extrem dünnen Vakuum-Isolationspaneelen, dass mit der Verfügbarkeit besserer und auch wirtschaftlich einsetzbarer Dämmstoffe in der Folge die Gesamtwandstärken wieder kleiner werden können. Fraglich ist nur, wo hier eine sinnvolle Untergrenze liegen wird. Der sommerliche Wärmeschutz von Holzhäusern konnte nämlich auch durch den vermehrten Einsatz von immer dickeren Holzweichfaserplatten oder auch Holzspäneschüttungen in Wänden kontinuierlich verbessert worden. Auch in dünneren Wandaufbauten müssen noch die Speichermassen für die Temperaturamplitudendämpfung ihren Platz finden.

Hinsichtlich der Bauzeit ist der moderne Passivhausbau mit Holz und Holzwerkstoffen angesichts seines hohen Vorfertigungsgrades und witterungsunabhängiger Arbeitsvorbereitung ebenfalls deutlich im Vorteil.

Die Zeit während auf der Baustelle der Aushub erfolgt, sowie die Fundamente und die Bodenplatte gegossen werden, genügt bei guter Planung häufig bereits als Vorlauf für die Holzbaufirma, um die Wand- und Deckenelemente in der Halle vorzufertigen und nach Fertigstellung der Gründungsarbeiten nahtlos den Bauablauf fortzusetzen. Ein Einfamilienhaus in Holz kann dabei bereits nach zwei Tagen unter der regendichten Dachhaut aus Holzweichfaserplatten stehen. Wir stellen immer wieder fest, dass diese Vorstellung bei noch unentschlossenen Bauherren schließlich den Ausschlag für die Entscheidung zugunsten des Holzbaus geben kann.

Daraus ergibt sich für Passivhäuser ein weiterer wichtiger Systemvorteil des Holzbaus: der gerin-

gere Feuchteeintrag in das Gebäude während der Bauzeit. Bei Passivhäusern wird der zusätzliche Energiebedarf, der für das so genannte „Trockenheizen“ in der ersten Heizperiode benötigt wird, mehr und mehr zum bestimmenden Kriterium für die von der Gebäudetechnik vorzuhaltenden Leistungsreserven. Sind bei einem herkömmlichen Neubau in Massivbauweise etwa 30 % mehr Energiebedarf in der ersten Heizperiode zu veranschlagen, kann dieser Anteil bei einem Haus mit nur noch 20 % des Energiebedarfs in der normalen Heizperiode, zu einem um Faktor 5 höheren Mehrverbrauch von bis zu 150 % in der Anfangszeit führen. Bei der typischerweise sehr geringen Leistungsreserve der Gebäudetechnik der Passivhäuser, wird genau dieser Umstand zu einem Hauptargument für den Holzbau, kombiniert mit Ausbaumaterialien im Trockenbau und nur noch sparsam eingesetzten Massivbauteilen im Sockelbereich.

Unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten betrachtet, kann das Bauen von Passivhäusern mit Holz noch zusätzliche Pluspunkte sammeln.

Holz schneidet dabei schon grundsätzlich sehr gut ab, weil der Baustoff selbst, als nachwachsender Rohstoff regenerativ ist, lokal oder regional verfügbar ist, mit relativ kurzen Transportwegen zwischen den Verarbeitungsschritten und beim Abbruch die Wiedereinführung in die Ressourcenkreisläufe ermöglicht.

Holz hat darüber hinaus hinsichtlich der CO_2-Bindung noch eine Sonderstellung unter den Baustoffen, Holzkonstruktionen speichern das CO_2 in der Masse des verbauten Materials. Dieses CO_2 wird erst wieder bei Rückbau des Gebäudes, beispielsweise durch Verbrennung der Holzwerkstoffe wieder an die Umwelt abgegeben.

In der Gesamtbetrachtung, die ja zunehmend bei allen Bewertungen in den Vordergrund rückt, geht also das nachhaltige und CO_2 Emissionen vermeidende Baukonzept Passivhaus mit dem Baustoff Holz eine sinnfällige und auch überzeugende Verbindung ein.

4 Gesetzliche Regelungen

Über die letzten Jahre sind die bautechnischen Anforderungen an die Gebäudehülle, und deren Mindeststandards in immer schnelleren Schritten verschärft worden. Die Energieeinsparverordnung (EnEV) 2007 ist nach der ersten EnEV von 2001 und der Novelle von 2004, gerade erst in Kraft getreten und schon steht die EnEV 2009 kurz vor dem Inkrafttreten. Die weitere Verschärfung der Anforderungen um etwa 30 % wird damit kommen und eine zukünftige „Bodenbildung“ dieser Entwicklung, lässt sich auf einem Niveau nahe des Passivhausstandards bereits am Horizont absehen.

Da ein Passivhaus die derzeit geforderten Mindeststandards im Bereich Wärmedämmung und Energieverbrauch weit übertrifft, sind im Unterschied zu Festlegungen in der Energieeinsparverordnung (EnEV) die Kennwerte des Passivhauses derzeit jedoch in keiner Weise gesetzlich geregelt und auch nicht rechtlich bindend. Die Kriterien wurden bisher einzig und allein vom Passivhaus-Institut (PHI) in Darmstadt unter der Leitung von Prof. Dr. Feist erarbeitet und festgelegt. Selbst der Nachweis für ein Passivhaus wird mit anderen Berechnungsmethoden, nämlich dem Passivhaus-Projektierungs-Paket des Passivhaus-Instituts, kurz PHPP erstellt, als die Nachweise entsprechend der Energieeinsparverordnung (EnEV).

Allerdings sind kommende Verschärfungen der Anforderungen für Gebäude mit der EnEV 2009, die voraussichtlich zum 1. September 2009 in Kraft treten wird, bereits auf dem Weg. Auch wenn das Passivhausniveau für Neubauten in dieser neuen Verordnung noch nicht als verbindlich

festgelegt wird, so wird doch ein weiterer großer Schritt dahin bereits vollzogen.

Darüber hinaus wird auch im EU Rahmen bereits über eine weitere Verschärfung der Anforderungen für Neubauten bis hin zum Passivhausniveau nachgedacht.

Eine dringend notwendige Vergleichbarkeit der Bewertungsverfahren ist dennoch auf absehbare Zeit noch nicht zu erwarten.

Damit die Gesamtbilanz eines Hauses die als Grenzwerte erkannten Kennwerte für ein Passivhaus erreicht, sind laut Passivhaus Institut gleich mehrere Anforderungen zu erfüllen:

Diese Kennwerte definieren das Passivhaus-Prinzip:

4.1 Jahresheizwärmebedarf < 15 kWh/m²a
Der gesamte Energiebedarf zur Gebäudebeheizung muss geringer sein als 15 kWh/m² und Jahr.

Also die Wärmemenge, die durch die Außenwände und die Lüftungsanlage dem Haus in einem Jahr noch verloren geht, abzüglich der Gewinne aus solarer Einstrahlung durch die Fenster und der internen Wärmegewinne durch Abwärme von Geräten und Bewohnern.

Diese Wärmemenge muss dem Haus in Form von Nachheizung wieder zugeführt werden. Sie darf pro Quadratmeter beheizter Fläche bei normierten Außentemperaturbedingungen, nur noch bis zu 15 kWh betragen, das entspricht etwa der Wärmemenge, die man mit 1,5 Litern Heizöl erzeugen kann. Das Passivhausniveau wird jedoch wegen des unterschiedlichen Klimas in Europa nicht überall mit den gleichen Dämmstärken erreicht. Es leuchtet einem sofort ein, dass diese Schwelle dabei in Malmö oder Mailand, jeweils etwas höher oder niedriger liegen muss.

4.2 Maximale Heizlast < 10 W/m²
Es müssen weniger als 10 Watt Heizleistung pro Quadratmeter beheizter Grundrissfläche ausreichend sein. Die kältesten Tage des Jahres, meist im Januar und Februar, bestimmen die so genannte maximale Heizlast, die erforderlich ist, um die Verluste zu ersetzen, damit die als angenehm empfundene Innentemperatur noch aufrecht erhalten werden kann. Der Wert dafür muss hier unter 10 W/m² bleiben. Die Energie, die für die Warmwasserbereitung benötigt wird, ist dabei jedoch noch nicht eingerechnet. Bei einem Gebäude mit z.B. 150 m² beheizter Fläche sind dies 150 m² x 10 W/m² = 1.500 W = 1,5 kW.

4.3 U-Werte opaker Bauteile < 0,15 W/(m²K)
Der Wärmedurchgang durch alle geschlossenen, lichtundurchlässigen Außenbauteile darf im rechnerischen Mittel nicht mehr als 0,15 W/m² Bauteilfläche betragen, wenn eine Temperaturdifferenz von einem Kelvin zwischen Innen- und Außenraum zugrunde gelegt wird.

Für einen Gesamt U-Wert von max. 0,15 W/m²K von geschlossenen, nicht lichtdurchlässigen und nicht beweglichen Bauteilen, also Bodenplatte, Wand, Decke und Dach benötigt man mindestens 30 cm Dämmung der Wärmeleitfähigkeitsgruppe 040, also zum Beispiel Zellulose.

4.4 U_w -Werte von Fenstern < 0,8 W/(m²K)
U_w-Werte – w steht für window – bezeichnen den definierten Wärmedurchgang der gesamten Fensterkonstruktion. Diese U_w-Werte setzen sich zusammen aus den einzelnen U_g-Werten der eingebauten Gläser – wobei g für glass steht -, der U_f-Werte der „frames“, der Fensterrahmen, sowie den Werten der Wärmebrücken am Glas-Randverbund und der Einbausituation der Fenster. Ein U_w-Wert von 0,8 W/m²K verlangt eine Dreifach-Verglasung und besonders gedämmte Rahmenkonstruktionen, hier stehen inzwischen

viele verschiedene Holz-Komposit-Rahmen zur Verfügung.

4.4 Wärmebrückenfreie Konstruktionen (phi < 0,01 W/(mK))

Mit der heutigen Bautechnik ist es bei vorausschauender Planung durchaus möglich praktisch wärmebrückenfrei zu bauen. Die Anschlusspunkte verschiedener Bauteile müssen im Passivhaus so gelöst werden, dass der Wärmedurchlasskoeffizient in den Bereichen der schwächsten Punkte kleiner als 0,01 W/mK ist. Sind einzelne Wärmebrücken dennoch nicht vermeidbar, muss in der Berechnung der wärmebrückenbezogene Verlust ermittelt und eingerechnet werden.

4.5 Luftdichtheit $n_{50} < 0{,}6\ h^{-1}$

Mit dem so genannten Druckdifferenztest, häufig auch als „Blower-Door-Test" bekannt, wird die Luftdichtheit von Gebäuden kontrolliert. Bei diesem Verfahren erzeugt ein, in die Türöffnung des zu messenden Gebäudes integrierter Ventilator Überdruck und Unterdruck, dabei misst man die Verluste über die Gebäudehülle. Darf bei normalen Neubauten mit Lüftungsanlage noch maximal ein 1,5-facher Luftaustausch des gesamten Innenvolumens des Gebäudes pro Stunde bei 50 Pascal Differenzdruck (dem so genannten n_{50}-Wert) stattfinden, muss dieser Wert für Passivhäuser mit 0,6 deutlich kleiner sein. Die hohe Luftdichtheit wird benötigt, um Schäden durch eindringende Feuchte aus Kondensat im Wandaufbau zu vermeiden und um den Transportweg des unkontrollierten Luftaustauschs für Wärmeverluste weitgehend auszuschließen.

Abb. 4: Druckdifferenz-Test

4.6 Abluft-Wärmerückgewinnung mit Wirkungsgrad > 75 %

Der Wirkungsgrad von Lüftungswärmerückgewinnungsanlagen in Passivhäusern muss mindestens 75 % betragen, bei einem gleichzeitigen Stromverbrauch von höchstens 0,4 Wh/m³. Die Kennwerte für Wärmepumpen sind nochmals extra festgelegt. Effizientere Anlagen führen die Zuluft in der Heizperiode durch einen Luftkanal im Erdreich oder über einen zwischengeschalteten Solewärmetauscher der die angesaugte Frischluft bereits vorerwärmt. Die Temperaturdifferenz zur Zieltemperatur des Heizmediums Luft sollte dabei natürlich möglichst gering sein.

5 Ausbildungs- und Wissensstand der Baubeteiligten

Waren Passivhausarchitekten noch vor wenigen Jahren nur ein paar Exoten, hat sich die „Wissenslandschaft" in diesem Bereich nun bereits erkennbar verändert. Parallel mit den rapide ansteigenden Energiekosten und der stark wachsenden

Klientel von Bauherren, die für die Zukunftssicherheit ihres eigenen Projekts den derzeit bestmöglichen Energiestandard wünschen, entstand eine noch kleine „Szene" von Passivhausarchitekten, Holzbauunternehmen und Fensterbauern, sowie Gebäudetechnikspezialisten, die sich des Themas Passivhaus in Holz angenommen haben. Ein Beispiel dafür ist die deutsch-schweizer Architektengruppe „Architos", deren 20 Mitgliedsbüros seit über zehn Jahren energieeffiziente Holzhäuser und Passivhäuser bauen. Weit mehr als 200 Wohneinheiten im Passivhausstandard sind von diesen Büros in den letzten Jahren allein in Deutschland realisiert worden. Die beteiligten Büros, die bisher vor allem im süddeutschen Raum vertreten sind, intensivieren seit Jahren ihren fachlichen Austausch untereinander und haben sich gemeinsame Standards gesetzt. Auch in der Fortbildung für Architekten sind die Mitglieder von „Architos" seit einigen Jahren über die Architekten- und Ingenieurkammern tätig. In diesem Jahr leiten sie nun bereits zum zweiten Mal einen Passivhausplaner-Lehrgang und geben dort ihr Wissen und ihre praktische Erfahrung an Kollegen weiter. Weitere Kurse und Fortbildung bietet auch das „Passivhaus Institut" in Darmstadt selbst an. Hier wird seit kurzem auch die Zertifizierung zum „Passivhaus Fachplaner" durchgeführt. Erfreulicherweise sind viele der engagierten Holzbaufirmen im Südwesten bereits kompetente Partner im Passivhausbau. Viele der Innovationen entstehen tatsächlich auch erst durch die Zusammenarbeit der Passivhausarchitekten mit den Holzbauunternehmen.

Als interessanter Marktplatz für den Passivhausbau hat sich neben der jährlichen „Passivhaustagung", die an wechselnden Standorten stattfindet, auch die Messe „Clean Energy Power" CEP mit ihrem „Passivhaus-Forum" in Stuttgart etabliert, die vor zwei Jahren aus der bisherigen Passivhausmesse in Böblingen hervorgegangen ist.

Öffentlichkeitswirksam sind darüber hinaus die Veröffentlichungen des „Passivhausinstituts", der „IG Passivhaus" und das jährlich erscheinende „Passivhaus-Kompendium". Diese Zeitschrift und der jährlich im November stattfindende „Tag des Passivhauses", mit Besichtigungsmöglichkeiten vieler realisierter Passivhäuser, sind derzeit Schaufenster und Transformator für interessierte Bauherren.

11.1 Wärme- und Feuchteschutz
Flachdächer in Holzbauweise

Daniel Schmidt

1 Einleitung

Holz ist das klassische Konstruktionsmaterial für Dächer. Für flache oder flach geneigte Dächer werden Holzbaukonstruktionen im Neubau als oberer Abschluss energetisch optimierter Gebäudehüllen im Wohnungsbau, bei Schulen, Kindergärten und bei Verwaltungsbauten eingesetzt. Darüber hinaus birgt die nachträgliche Verdichtung des städtischen Raumes ein großes Marktpotential für Flachdächer, so zum Beispiel für Aufstockungen oder Anbauten. Der Verunsicherung in Bezug auf Zuverlässigkeit und Langlebigkeit von Dachabdichtungen wurde durch die Entwicklung neuer, dauerhafterer Materialien und alternativer Dachdeckungssysteme begegnet.

Während sich Flachdachkonstruktionen in Holzbauweise bei kleineren und mittleren Baumaßnahmen seit langem etabliert haben, sind sie dagegen bei großen Bauwerken, z.B. im Industrie- und Gewerbebau, völlig unterrepräsentiert. Dabei besteht gerade hier für den Holzbau ein großes Marktpotential, welches aufgrund von baurechtlichen Anforderungen derzeit nicht genutzt werden kann. Diese Hemmnisse gegen den Einsatz von Holz als Konstruktionsmaterial werden nachfolgend benannt und es werden Anforderungen für die Weiterentwicklung der Bauweise beschrieben.

Eine Weiterentwicklung ist auch dahingehend erforderlich, dass die Nutzung der Oberflächen von flachen und flach geneigten Dächern hinsichtlich des Feuchte- und des Holzschutzes genauer bewertet werden kann. Hierzu zählt der Einfluss von Dachbegrünungen, die aufgrund ihres ökologischen Nutzens einen Ausgleich zur Flächenversiegelung ermöglichen und gleichzeitig eine Verbesserung des Wärmeschutzes bewirken. Flache und flach geneigte Dächer sind darüber hinaus wertvolle Flächen zur Energiegewinnung durch Photovoltaikelemente, was zu einer Verschattung der Oberflächen führt. Und mit der Nutzung als Erholungsfläche wird ein Oberflächenschutz (z.B. Dachterrassen aus Holzbohlen oder Betonplatten) hergestellt, der ebenfalls wesentliche Auswirkung auf das Feuchteverhalten des Bauteils hat.

2 Bauliche Aspekte von Holzkonstruktionen als Flachdach

Die Holzbauweise findet gerade im Dachbereich bevorzugte Anwendung, weil damit hoch wärmegedämmte Bauteile vorgefertigt auf die Baustelle geliefert und in kurzer Zeit ein vor Bewitterung geschützter Bauteilabschluss hergestellt werden kann. Holz als Konstruktionsmaterial zeichnet sich dabei durch eine hohe Tragfähigkeit bei geringem Eigengewicht und eine geringe Wärmeleitfähigkeit aus. Im Gegensatz zu anderen Baustoffen ist es dadurch möglich, Tragkonstruktion und Wärmedämmung in einer Bauteilebene anzuordnen. Durch die Verfügbarkeit moderner Holzwerkstoffe kann der Anteil der Wärmedämmung in den Bauteilen maximiert werden und es werden Dämmdicken realisiert, die zeitgemäße Anforderungen an eine Minimierung der Wärmeverluste durch die Gebäudehülle erfüllen.

Besonders wirtschaftliche Konstruktionen liegen in Form nicht belüfteter Bauteile mit Dämmung in der Tragebene vor. Die stabförmige Tragkonstruktion wird ober- und unterseitig beplankt, wodurch eine gegenüber mechanischen Beanspruchungen robuste Konstruktion entsteht, die eine flächenfertige Untersicht aufweisen kann. Mit Spannweiten bis zu 10 m liegen für den Wohnungs-, Bildungs- und Verwaltungsbau ausreichende Elementtragfähigkeiten vor. Im Bereich großflächiger Sport-, Industrie- und Gewerbehallen werden die Holzelemente als Sekundärtragwerk auf einer weitspannenden Tragkonstruktion montiert. Durch eine schubfeste Verbindung der Elemente können komplette Hallendächer ausgesteift werden.

Wesentliche Merkmale nicht belüfteter Flachdächer mit Dämmung in der Tragebene sind (Abb. 1):

- effektive Querschnittsnutzung durch Dämmung in Ebene der aufgelösten Tragkonstruktion
- vorelementierbar als Holztafelbauelement
- einfache Anschlussdetails, da keine Be- und Entlüftungsöffnungen erforderlich
- Einstufung zum Verzicht auf chemischen Holzschutz derzeit nur durch gesonderten rechnerischen Nachweis
- wärmespeichernde Deckschichten reduzieren das Rücktrocknungsvermögen
- bauphysikalische Nachweise sind in Verbindung mit wärmespeichernden Deckschichten derzeit nicht eindeutig möglich

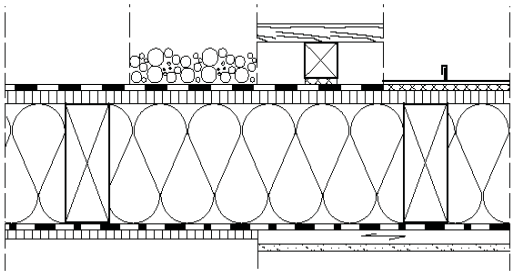


Abb. 1: Nicht belüftetes Flachdach, vollgedämmt

3 Hemmnisse aus brandschutztechnischer Sicht

Einschränkungen für die Umsetzung von Dachkonstruktionen in Holzbauweise bestehen derzeit für Bedachungen (Sekundärtragwerk) von Gebäuden, die nach Industriebaurichtlinie [2] und Versammlungsstättenrichtlinie [3] zu bewerten sind.

3.1 Anforderungen nach Muster-Industriebaurichtlinie (M IndBauRL)

Während die Tragkonstruktion (Primärtragwerk) z.B. bei erdgeschossigen Hallentragwerken in Holzbauweise bis 10.000 m² Grundfläche für Sicherheitsklasse K4 nach Industriebaurichtlinie unter Einhaltung einer Feuerwiderstandsdauer von 30 Minuten im Regelfall ohne besondere Brandschutzkonzepte möglich ist, gelten für Bedachungen ab 2.500 m² besondere Anforderungen. Danach müssen Brand- bzw. Brandbekämpfungsabschnitte ab einer Dachfläche von mehr als 2.500 m² so ausgebildet werden, dass eine Brandausbreitung über das Dach behindert wird.

Als maßgebende Anforderung gilt eine Prüfung nach DIN 18234-1 „Baulicher Brandschutz großflächiger Dächer, Brandbeanspruchung von unten, Teil 1: Anforderungen an Prüfungen; geschlossene Dachflächen". Alternativ können tragende Schalen aus mineralischen Baustoffen oder Bedachungen aus nichtbrennbaren Materialien verwendet werden. Die DIN 18234-1 legt hierbei brandschutztechnische Anforderungen und Prüfungen für großflächige Dächer mit großformatigen Deckungswerkstoffen bis 20° Neigung fest. Nach dieser Norm geprüfte oder klassifizierte Dächer müssen das Schutzziel einer Begrenzung der Brandweiterleitung im Bereich der geschlossenen Dachfläche bei unterseitiger Brandbeanspruchung durch einen begrenzten Entstehungsbrand erfüllen.

Holzbauteile sind bisher nicht nach DIN 18234-1 geprüft worden. Es existieren derzeit in Deutschland und Europa auch keine Brandöfen, mit denen die entsprechenden Prüfungen durchgeführt werden können. Eine Beurteilung des Brandverhaltens von Holzkonstruktionen kann derzeit nur auf der Grundlage von Prüfungen in Anlehnung an DIN 18234-1 zusammen mit einer auf der Erfahrung aus anderen Brandprüfungen resultierenden erweiterten gutachterlichen Beurteilung

erfolgen. Die baurechtliche Anwendbarkeit muss danach über eine Zustimmung im Einzelfall erfolgen. Oftmals werden zusätzlich aufwändige bauliche Maßnahmen zur Umsetzung einer Holzbauweise gefordert, z.B. eine Sprinklerung.

Abb. 2: Dachelemente einer Industriehalle bei der Zwischenlagerung und Montage (Bild: Schwörer Haus)

3.2 Anforderungen nach Muster-Versammlungsstättenverordnung (M VStättV)

Nach dieser Verordnung müssen Bedachungen für Brandabschnitte ab 1.000 m² aus nichtbrennbaren Baustoffen bestehen, wodurch der Einsatz von Holzkonstruktionen z.B. in großen Hallen mit Publikumsverkehr ab 200 Personen nicht möglich ist. Diese Regelung findet allerdings nicht in allen Bundesländern uneingeschränkt Anwendung (Ausnahme ist derzeit Baden-Württemberg) und sie ist anhand einer jahrzehntelangen Baupraxis u.a. wegen fehlender Schadensereignisse nicht nachvollziehbar. Der Einsatz von Holz im Dachbereich bringt gegenüber anderen Baustoffen kein erhöhtes Risiko, zumal Konstruktionen verfügbar sind, die durch Kapselung der brennbaren Baustoffe über ein hohes Maß an Brandsicherheit verfügen.

Dieser planerische und bauliche Mehraufwand ist ein wesentliches Hemmnis für die Etablierung von Holzkonstruktionen bei großen Dachflächen im Industrie- und Hallenbau.

3.3 Erkenntnisse aus Brandversuchen

Anhand durchgeführter Versuche an der TU München konnte festgestellt werden, dass vorelementierte Dachelemente in Holzbauweise mit unterseitiger OSB-Beplankung das in DIN 18234-1 formulierte Schutzziel einer Begrenzung der Brandweiterleitung im Bereich der geschlossenen Dachfläche erreichen können. Die Brandversuche zeigten, dass der Brand nach Bildung der Kohleschicht auf der Holzwerkstoffplatte in sich zusammenfällt, so dass ein selbstständiges Weiterbrennen oder Glimmen innerhalb der Konstruktion nicht beobachtet werden konnte. Durch umlaufende Rippen und die zusätzlichen Füllrippen kann zudem davon ausgegangen werden, dass eine selbstständige Brandweiterleitung über Einzelgefache hinaus nicht stattfindet. Entsprechende Prüferfahrungen wurden an vergleichbaren Decke-Wand-Anschlüssen im Rahmen eines Forschungsvorhabens [4] vorgelegt.

Darüber hinaus können in Bezug auf die Erkenntnisse gekapselter Holzbauteile [5] Konstruktionen entwickelt werden, welche die gestellten Anforderungen erfüllen. Weiterhin ist zu überprüfen, ob die in DIN 18234-1 aufgestellten Randbedingungen zur Erfüllung des Schutzzieles

auf Holzkonstruktionen uneingeschränkt übertragbar sind - erforderlichenfalls sind diese anzupassen.

4 Forschungsbedarf hinsichtlich des Feuchteverhaltens

Wesentliches Merkmal für die Funktionstüchtigkeit nicht belüfteter Flachdachkonstruktionen ist aus Sicht des Feuchte- und des Holzschutzes die Möglichkeit einer Rücktrocknung zur Raumseite bei ungewollt eingedrungener Feuchte. Deshalb stellt nach heutigen Erkenntnissen eine beidseitig diffusionsdichte Ausführung keine ausreichend sichere Konstruktion dar, die einen Verzicht auf chemische Holzschutzmaßnahmen der tragenden Holzbauteile ermöglicht. Maßgebende Voraussetzung für eine Rücktrocknung ist die Verwendung einer diffusionsfähigen inneren Bekleidung und die Möglichkeit einer Erwärmung der Dachoberflächen, um die sogenannte Umkehrdiffusion anzuregen (Abb. 3). Mit Hilfe moderner Rechenwerkzeuge kann das Feuchteverhalten der Konstruktionen unter realistischen Randbedingungen simuliert und bewertet werden. Hierbei ist jedoch noch unzureichend der Einfluss von Deckschichten auf die äußeren Klimabedingungen erforscht.

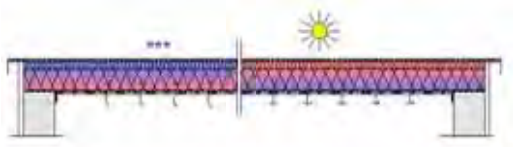


Abb. 3: Wirkungsprinzip von Dampfbremsen in nicht belüfteten Flachdächern (im Winter Diffusion ins Bauteil hinein; im Sommer Umkehr- bzw. Rückdiffusion)

4.1 Laufende Forschungsvorhaben

Derzeit werden an verschiedenen Institutionen Forschungen durchgeführt, um Erkenntnisse zum hygrothermischen Verhalten von flach geneigten Dächern in Holzbauweise mit oberer dampfdichter Abdichtung zu erhalten. Hierbei geht es insbesondere darum, Erkenntnisse über den Einfluss verschiedener Deckschichten auf das Feuchteverhalten der Konstruktion zu erlangen. Die Forschungsvorhaben beinhalten im Regelfall experimentelle Freilandversuche an verschiedenen Teilaufbauten sowie eine hygrothermische Simulation nach DIN EN 15026. Teilweise erfolgt zusätzlich eine Abfrage zur Funktionstüchtigkeit bestehender Flachdachkonstruktionen in Holzbauweise. Nachfolgend erfolgt eine kurze Darstellung der Forschungsziele.

- TU München mit MFPA Leipzig - Untersuchung des hygrothermischen Verhaltens von flach geneigten Dächern in Holzbauweise:
  Das von der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung e. V. koordinierte und bis Frühjahr 2009 laufende Vorhaben hat zum Ziel, anhand von Freilandversuchen und numerischen Bauteilsimulationen sichere und schadensfreie Flachdachkonstruktionen zu entwickeln. Dabei soll geklärt werden:
  a) inwieweit durch den Einsatz feuchtevariabler Dampfbremsen und Holzwerkstoffe sowie diffusionshemmender Abdichtungsbahnen das Gefährdungsrisiko der Konstruktion gesenkt wird,
  b) unter welchen Randbedingungen eine Gefährdung der Holzbauteile ausgeschlossen und auf chemischen Holzschutz verzichtet werden kann,
  c) welche Kriterien zum Einsatzes von ökologischen Gefachdämmstoffen zu erfüllen sind.

  Das Forschungsvorhaben wird gefördert aus Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) und des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung (BBR).
- Ermittlung des Wärmedämmverhaltens von Gründächern:
  Das Zentrum für Umweltbewusstes Bauen e.V. (ZUB, Kassel) untersucht verschiedene Gründachaufbauten hinsichtlich des thermischen

und hygrischen Verhaltens der verwendeten Materialien. Anhand von Messungen soll eine praxisgerechte Bewertung von Gründachaufbauten hinsichtlich ihrer positiven Wirkung auf den winterlichen und sommerlichen Wärmeschutz sowie das Feuchteverhalten ermöglicht werden. Förderer: Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU)

Weitere Untersuchungen erfolgen z.B. durch das Fraunhofer Institut für Bauphysik an der Außenstelle Holzkirchen durch Freilandversuche an Gründächern mit Begleitung durch wissenschaftliche Arbeiten. Ziel ist es, die Forschungsergebnisse zusammenzuführen, diese in die Normung einfließen zu lassen, um Planern und Ausführenden eindeutige Regelungen und Randbedingungen für schadensfreie Flachdachkonstruktionen in Holzbauweise geben zu können.

Weiterer Forschungs- und Entwicklungsbedarf

Auf diesem Weg gibt es eine ganze Reihe weiterer Forschungslücken zu schließen, die insbesondere wichtig für die anzusetzenden Randbedingungen zur Bauteilsimulation und Berechnung des Feuchteverhaltens nicht belüfteter Flachdächern sind:

1. Es gibt bislang keine Felduntersuchung, welche die Bewährung von begrünten Flachdachkonstruktionen an praktischen Objekten systematisch geprüft hat.
2. Es fehlt eine Parameterstudie, welche die Zusammenhänge der wesentlichen Einflussgrößen auf das Feuchteverhalten darstellt. Hierzu zählen die inneren und äußeren Klimabedingungen, der Einfluss von Deckschicht, Dämmdicke, Dämmstoff, Diffusionswiderstand der Dampfbremse und die Bauteilfeuchte im Anfangszustand.
3. Es fehlen weiterhin Kennwerte für die hygrothermische Simulation des Einflusses von
   - extensiver Begrünung bei größeren Schichtdicken, insbesondere von ökologischen Begrünungssystemen mit hohem Feuchtespeichervermögen,
   - Bekiesung als Oberflächenschutz, z.B. bei Anforderung für harte Bedachungen,
   - Holzrosten oder Steinbelägen als Terrassenkonstruktion,
   - Dachaufbauten mit geringem Abstand zur Dachfläche, z.B. Photovoltaikanlagen,
   - Teilverschattungen durch Nachbarbebauung oder Bäume.
4. Untersuchung zur Quantifizierung des Feuchteeintrags durch Leckageströme.
   - Die bislang diskutierte Feuchtemenge von 250 g/m² welche bei hygrothermischen Berechnungen als erforderliche Verdunstungsreserve zur Beurteilung der Feuchtesicherheit hinzugezogen wird, wurde bisher nicht durch Untersuchungen an mitteleuropäischen Baukonstruktionen und dem vorherrschenden Klima belegt.
   - Es wird derzeit diskutiert, dass diese Feuchtemenge für hinsichtlich der Luftdichtheit geprüfte Bauteilaufbauten eine zu ungünstige Annahme ist, weil diese bei Untersuchungen an Holzbauwänden in Holzhäusern der USA ermittelt wurde. Im Gegensatz zu dem weit entwickelten Holzbau Mitteleuropas werden Holzbauteile in den USA meist auf der Baustelle hergestellt und eine Übertragung auf das Bauteil Dach ist nicht unmittelbar möglich.
5. Des Weiteren sollen durch In-Situ-Messungen von Baustellenfeuchte und die Reaktion von Hölzern und Holzwerkstoffen hierauf Erkenntnisse darüber gewonnen werden, welche Baustellenrandbedingungen einzuhalten sind, um feuchtetechnisch fragile Konstruktionsaufbauten über die bekannt schwierige Anfangsphase schadensfrei in einen eingeschwungenen Zustand zu bekommen.

6. Zum Abgleich der Vor- und Nachteile nicht belüfteter Dachkonstruktionen sind darüber hinaus Untersuchungen der Belüftung flacher und flach geneigter Dachkonstruktionen erforderlich. Hierbei geht es insbesondere um die Qualifizierung des Einflusses der Belüftungsquerschnitte, der Zu- und Abluftöffnungen und der Belüftungslängen.

5 Zusammenfassung

Flachdächer in Holzbauweise haben ein erhebliches Entwicklungspotential. Konstruktionen aus dem einzig verwendbaren nachwachsenden Baustoff Holz finden derzeit im wesentlichen im Bereich kleiner und mittlerer Bauvorhaben Anwendung. Der mit dem Industrie- und Gewerbebau größte Anteil an Dachflächen ist aufgrund der baurechtlichen Anforderungen für den Baustoff Holz derzeit nur vereinzelt mit erheblichem zusätzlichem Aufwand zu erschließen. Die Funktionstüchtigkeit von Holzelementen in Bezug auf die Begrenzung der Brandweiterleitung im Bereich der geschlossenen Dachfläche konnte durch Versuche nachgewiesen werden. Es ist nun erforderlich, die baurechtlichen Randbedingungen in Bezug auf die Musterrichtlinien für Industriebauten und Versammlungsstätten zu schaffen, um die Leistungsfähigkeit dieser Konstruktionen anwendbar machen zu können.

Weiterhin liegt Entwicklungsbedarf in Bezug auf die hygrothermische Funktionstüchtigkeit nicht belüfteter Flachdächer mit verschiedenen Deck- bzw. Schutzschichten vor. Hierbei ist insbesondere der Einfluss von Dachbegrünungen von Bedeutung, die zur Kompensation versiegelter Flächen von zunehmender Bedeutung sind. Teilweise können hierfür Erkenntnisse aus laufenden Forschungsvorhaben zusammengeführt und bewertet werden.

Die Größenordnung der allein in Deutschland gebauten Flachdächer beträgt nach Schätzungen über 100 Mio. m². Eine Steigerung des hierbei bisher verschwindend geringen Holzbauanteils hätte erhebliche Auswirkung auf das Holzbaugewerbe. Ein willkommener Nebeneffekt ist hierbei die Stärkung regionaler Strukturen u.a. aufgrund kürzerer Transportwege. Die durch Holzkonstruktionen mögliche Verbesserung des Wärme- und Schallschutzes gegenüber anderer Leichbauweisen hat darüber hinaus eine nachhaltig positive Auswirkung auf die Umwelt.

Quellen

[1] Schmidt, D.; Winter, S.: Flachdächer in Holzbauweise. Informationsdienst Holz spezial, Oktober 2008, Holzabsatzfonds, Bonn.

[2] M IndBauRL: Muster-Richtlinie über den baulichen Brandschutz im Industriebau (Muster-Industriebaurichtlinie), Fassung März 2000; www.is-argebau.de

[3] MVStättV: Musterverordnung über den Bau und Betrieb von Versammlungsstätten (Muster-Versammlungsstättenverordnung), Fassung Juni 2005; www.is-argebau.de

[4] Winter, S.; Stein, R.: High-Tech-Offensive Zukunft Bayern - Holzbau der Zukunft. Teilprojekt 11 - Brandweiterleitung bei Gebäuden in Holzbauweise, TU München 2008

[5] Musterrichtlinie über brandschutztechnische Anforderungen für hochfeuerhemmende Holzbauteile - M-HFHHolzR, Fassung Juli 2004; www.is-argebau.de

11.2 Schallschutz, Schwingung
Schall- und schwingungsoptimierte Holzdecken Bemessungs- und Konstruktionshilfen für die Praxis

Andreas Rabold, Patricia Hamm

1 Einleitung

Die Holzbauweise wird zunehmend auch in öffentlichen Gebäuden wie Verwaltungsgebäuden, Schulen und Kindergärten eingesetzt. Gerade bei Schulen und Kindergärten werden dadurch bereits junge Menschen mit dem natürlichen Baustoff Holz durch seine angenehme Optik und Haptik in positiver Weise vertraut gemacht.

Diesen „Wohlfühlkriterien" vorangestellt sind natürlich gerade in öffentlichen Gebäuden die Sicherheitsaspekte der Statik und des Brandschutzes. Auch die Anforderungen an die Raumakustik, den Schallschutz und das Schwingungsverhalten der Decken sind zu berücksichtigen. Hierbei beziehen sich die Anforderungen an das Schwingungsverhalten auf spürbare Schwingungen, die in einem Frequenzbereich unterhalb des menschlichen Hörbereichs liegen. Die Anforderungen an den (Tritt-) Schallschutz beziehen sich hingegen auf abgestrahlte Körperschallschwingungen innerhalb des Hörbereichs.

Während die Kriterien des Brandschutzes und der Statik bereits bei der Entwicklung eines Holzbauelements zur Marktreife berücksichtigt werden und auch für die Raumakustik optimierte Holzbauelemente mit integriertem Schallabsorber zur Verfügung stehen, liegen zum Schwingungsverhalten weitgespannter Holzdecken und dem entsprechenden Nachweis nach DIN 1052 [2] noch zu wenige allgemein gültige Aussagen bzw. Konstruktionsregeln vor. Auch Decken mit geringen Trittschallübertragungen bei den subjektiv dominanten tiefen Frequenzen sind bislang nur vereinzelt zu finden. Diese Ausgangssituation wurde von zwei aktuellen Forschungsprojekten der TU München, des ift-Rosenheim und des IBP Stuttgart (Fraunhofer Institut für Bauphysik), unter Koordination der DGfH aufgegriffen. Nachfolgend wird der bisherige Stand der z.T. noch laufenden Projekte dargelegt, konstruktive Lösungsansätze aufgezeigt und eine gelungene Umsetzung an einem Schulgebäude in Rosenheim vorgestellt.

2 Ausgangssituation

Obwohl in der Fachwelt schon sehr lange bekannt ist, dass ein Schwingungsnachweis bei Wohnungsdecken sinnvoll ist und durch Kreuzinger und Mohr [6] viele Grundlagen erarbeitet worden sind, herrscht immer noch Unsicherheit darüber, wie genau der Schwingungsnachweis geführt werden und wie eine Holzdecke inkl. Aufbau ausgeführt sein soll, so dass sie nicht zu unangenehmen Schwingungen angeregt werden kann. In [5] wurde ein möglicher Weg für den Schwingungsnachweis aufgezeigt, der sich v.a. an DIN 1052 und den zughörigen Erläuterungen zur DIN 1052 [4] anlehnt, allerdings schon mit dem Hinweis, dass „selbst bei erfolgreichen Nachweisen ein leichtes Vibrieren nicht ganz ausgeschlossen werden kann und Schwingungen für empfindliche Personen spürbar sein können". Da tatsächlich immer wieder Beschwerden seitens der Bauherrn und Nutzer über unangenehm schwingende Decken aufgetreten sind, startete im Herbst 2007 an der TU München das AiF-Forschungsvorhaben „Schwingungs- und Dämpfungsverhalten von Holz- und Holz-Beton-Verbunddecken" [7].

Bereits 2006 startete an der TU München ein Kooperationsprojekt [8] mit dem IBP Stuttgart und dem ift Rosenheim, das die Wechselwirkungen der einzelnen Funktionsschichten bei der Trittschallübertragung von Holzdecken detailliert untersucht. Der Fokus dieses Projektes liegt auf den Einflussparametern der tieffrequenten Trittschallübertragung, um daraus ein besseres Verständnis für die Ursachen der tieffrequenten Trittschallübertragung und Maßnahmen zur Reduzierung ableiten zu können.

Die übergeordnete Zielsetzung der Projekte liegt in der Entwicklung von Konstruktionshilfen und Bemessungsregeln für Holzdecken mit geringer Schwingungsanfälligkeit und guter Trittschalldämmung. Hierzu waren zunächst die Zielwerte der Bauteilentwicklung festzulegen.

3 Zielwerte der Bauteilentwicklung

Zur Festlegung der Zielwerte für eine geringe Schwingungsanfälligkeit und eine gute Trittschalldämmung ist das subjektive Empfinden des Bewohners bzw. Nutzers zu berücksichtigen.

Bei Umfragen zum subjektiven Empfinden des Schallschutzes wird in der Regel die Trittschallübertragung aus fremden Wohnbereichen als die störendste Geräuschquelle genannt [9], [10]. Während in der Praxis die Trittschallübertragung meist durch das Begehen einer Decke erzeugt wird, erfolgt die Überprüfung durch die Messung mit einem mechanischen Norm-Hammerwerk. Umfangreiche Untersuchungen haben gezeigt, dass gerade bei leichten Decken eine ausreichende Korrelation zwischen der realen Trittschallübertragung und der Messung mit dem Norm-Hammerwerk nur dann gegeben ist, wenn der bewertete Norm-Trittschallpegel inklusive des erweiterten Spektrumsanpassungswerts ($L_{n,w}$ + $C_{I,50\text{-}2500}$) ausgewertet wird.

Abb. 1 zeigt diesen Zusammenhang zwischen Messergebnissen mit dem Norm-Hammerwerk und der realen Anregung beim Begehen der Decke. Aus diesen Darstellungen lassen sich die Zielwerte für die Bauteilentwicklung ablesen. Die in einigen Europäischen Länder bereits umgesetzte Anforderung an den $L_{n,w}$ + $C_{I,50\text{-}2500}$ ≤ 53 dB [9] entspricht in Abb. 1 in etwa einem $L_{A,F,max}$ ≤ 35 dB(A). Erfahrungsgemäß ist oberhalb dieser Grenze mit störenden Trittschallübertragungen zu rechnen [11]. Für einen $L_{n,w}$ + $C_{I,50\text{-}2500}$ ≤ 46 dB beträgt der A-bewertete Trittschallpegel in etwa $L_{A,F,max}$ ≤ 30 dB(A) und ist, je nach Umgebungsgeräusch, kaum noch wahrnehmbar.

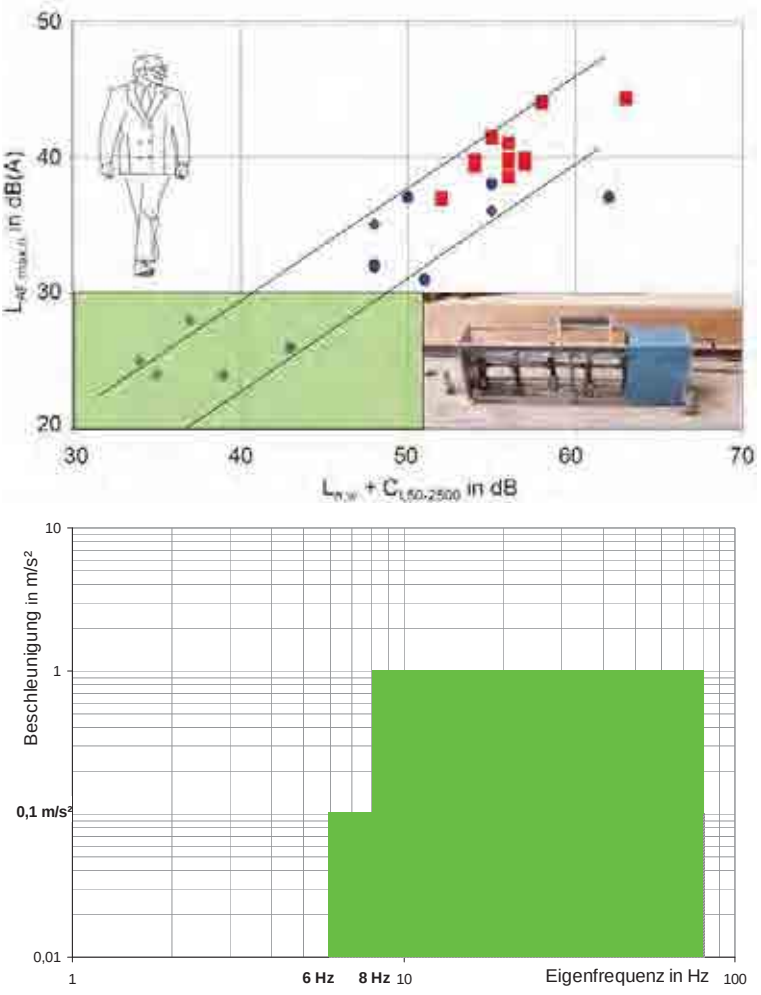


Abb. 1: Zielwerte für Trittschall- und Schwingungsbegrenzung. Der anzustrebende Bereich ist grün unterlegt. Links Zusammenhang Norm-Messung und Trittschallübertragung beim Begehen der Decke. Rechts maximale Beschleunigung in Abhängigkeit der Eigenfrequenz

Zur Beurteilung des Schwingungsverhaltens einer Decke ist nach [2] die Eigenfrequenz maßgebend, ausgedrückt über eine Durchbiegungsbegrenzung. Die bisherigen Untersuchungen des aktuellen Forschungsvorhabens [7] zeigen jedoch, dass eine Mindesteigenfrequenz als alleiniges Kriterium zu unbefriedigenden Ergebnissen führen

kann. Die Ausführungen in DIN 1052 gehen von „relativ schweren“ Decken aus, d.h. Decken mit einem Aufbau, die auch die Schallschutz- Anforderungen an eine Wohnungstrenndecke erfüllen. Schwingungsnachweise „leichter“ Decken, die nicht als Wohnungstrenndecken konzipiert wurden, sind mit diesem vereinfachten Nachweis nach DIN 1052 nicht abgedeckt.

In Erläuterungen zur DIN 1052 ist eine Fülle von weiterführenden Nachweisen angegeben. Ein mögliches Kriterium stellt die Begrenzung der maximalen Beschleunigung dar, wie sie in Abb. 1 angegeben ist. Im aktuellen Vorhaben werden Messungen und Berechnungen ausgewertet und die Ergebnisse mit der subjektiven Bewertung der Bewohner verglichen, um einfache Konstruktions- und Bemessungsregeln für angenehme Decken angeben zu können.

4 Bemessungsregeln und Konstruktionshilfen

In den folgenden Abschnitten werden Bemessungsregeln für den Schwingungsnachweis und Konstruktionshilfen für den Schallschutz aufgezeigt. Sie geben den aktuellen Stand aus den beiden genannten Forschungsvorhaben wieder.

4.1 Bemessungsregeln für den Schwingungsnachweis

Für den Schwingungsnachweis gibt es in den Normen und in der Literatur mehrere Kriterien.

Tab. 1: Grenzwerte für die Untersuchung des Steifigkeitskriteriums

Grenzwert für Steifigkeit	Durchlaufträger mit	Einfeldträger mit
$w(1\ kN) \leq 1{,}0\ mm$	-	geringer Anforderung
$w(1\ kN) \leq 0{,}5\ mm$	geringer Anforderung	höherer Anforderung
$w(1\ kN) \leq 0{,}25\ mm$	höherer Anforderung	sehr hohe Anforderung

Die wichtigsten werden hier kurz genannt. Im Beitrag „11.2 Schallschutz, Schwingung – Schwingungstechnische Optimierung von Holzdecken“ werden sie ausführlich beschrieben und ihre Bedeutung im Rahmen des Schwingungsnachweises aufgezeigt.

4.1.1 Frequenzkriterium

Das auf Holzdecken angewendete Frequenzkriterium zielt auf die Vermeidung von Resonanz aus Gehen. Dafür soll die Eigenfrequenz der Decke so hoch gewählt werden, dass Resonanz mit der dritten Harmonischen vermieden wird. Die aktuellen Grenzwerte für die Eigenfrequenz sind abhängig von der zugrunde gelegten Norm. Sie liegen zwischen 6 Hz nach [4] und 8 Hz nach EC 5 [12].

4.1.2 Steifigkeitskriterium

Im Rahmen der Untersuchungen in [6] und [7] wurde festgestellt, dass das Steifigkeitskriterium mindestens ebenso wichtig einzustufen ist wie das Frequenzkriterium. Dabei sollte die Steifigkeit der Decke so hoch sein, dass die Durchbiegung unter einer Kraft von 1 kN in Feldmitte einen bestimmten Wert (Tab. 1) nicht übersteigt. Welcher Grenzwert verwendet wird, hängt vom System der Decke, von den Anforderungen des Bauherrn und der geplanten Nutzung ab.

4.1.3 Begrenzung der Schwinggeschwindigkeit

Der dritte nach EC 5 [12] empfohlene Nachweis untersucht die Einheitsimpulsgeschwindigkeitsreaktion. Nach bisherigem Forschungsstand kann gesagt werden, dass dieser Nachweis der Geschwindigkeit bei Decken mit „üblichem“ (Tritt-) Schallschutzaufbau (Tab. 2) nicht maßgebend wird.

4.1.4 Begrenzung der Schwingbeschleunigung

Der Nachweis der Schwingbeschleunigung wird nur in den Erläuterungen [4] nach DIN 1052 und nur für Decken im Frequenzbereich zwischen 6 Hz und 7,2 Hz gefordert. Mit diesem Nachweis wird die Tatsache berücksichtigt, dass das Emp-

finden der Schwingungen bei Frequenzen kleiner als ca. 8 Hz von der Schwingbeschleunigung, bei Frequenzen größer als 8 Hz von der Schwinggeschwindigkeit abhängig ist.

Nach neueren Erkenntnissen und dem derzeitigen Stand des Forschungsvorhabens kann der Nachweis entfallen, wenn ein schwimmender Nassestrich oder ein schwimmender Trockenestrich auf schwerer Schüttung vorhanden ist und die Anforderungen an den (Tritt-) Schallschutz eingehalten sind (Tab. 2).

4.1.5 (Tritt-) Schallschutz-Aufbau

Messungen an Decken ohne Aufbauten, d.h. noch während des Rohbauzustandes, zeigten, dass die Anordnung einer schwimmenden Estrichschicht sehr wichtig ist – nicht nur für den (Tritt-) Schallschutz sondern auch für das Schwingungsverhalten. Ein solcher (Tritt-)Schallschutz-Aufbau sollte gegeben sein.

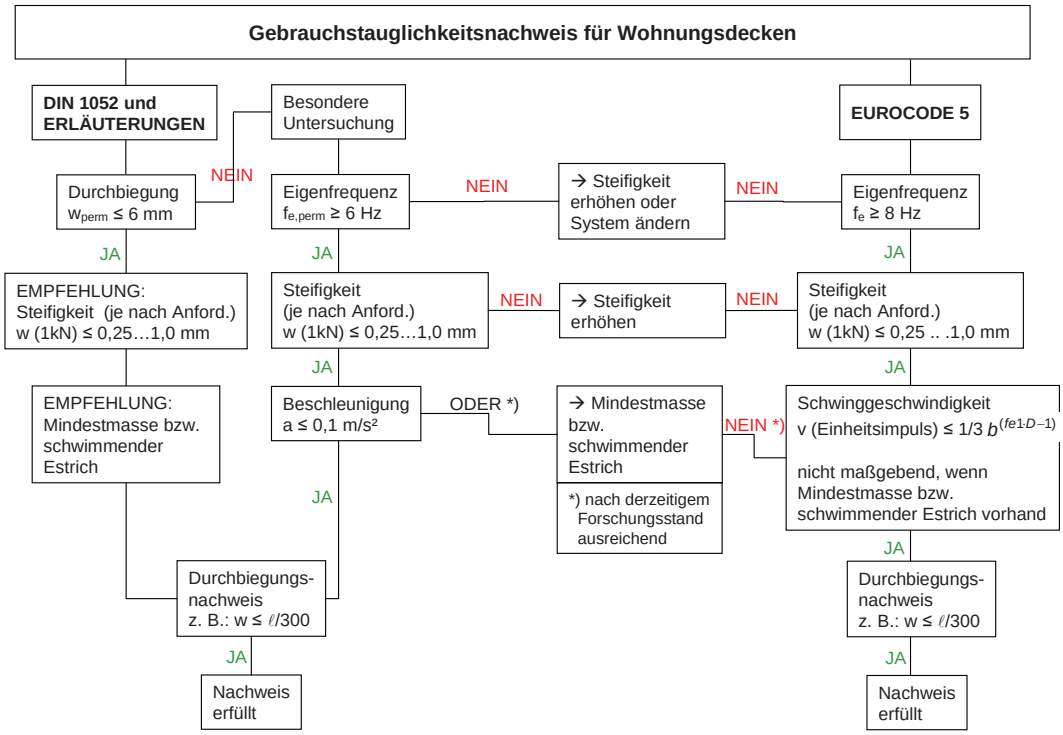


Abb. 2: Ablaufdiagramm für den Schwingungsnachweis bei Holzdecken nach DIN 1052 und EC 5

4.2 Konstruktionshilfen für schalltechnisch optimierte Decken

Die Erarbeitung von Konstruktionshilfen für schalltechnisch optimierte Deckenaufbauten erfolgte durch numerische Berechnungen der Trittschallübertragung [8]. Hierzu wurde an der TU München ein Berechnungsmodell auf Basis der Finiten Elemente Methode (FEM) erarbeitet und anhand von Messergebnissen aus der Datenbank des ift Schallschutzzentrums validiert. Anhand der numerischen Berechnungen des validierten Modells konnten die Wechselwirkungen der Deckenkomponenten mit geringem Aufwand untersucht und optimierte Konstruktionen erarbeitet werden. Nach der messtechnischen Überprüfung der optimierten Konstruktionen wurden die Ergebnisse, unterstützt durch eine systematische Auswertung der Decken-Datenbank am ift-Schallschutzzentrum, in Form von Konstruktionshilfen zusammengestellt (Tab. 1).

Als Beispiel für auf diesem Weg optimierte Deckenkonstruktionen zeigt Abb. 1 den Vergleich der Messergebnisse einer Massivholzdecke und einer Holzbalkendecke mit den Norm-Trittschallpegeln konventioneller Stahlbetondecken. Die Gegenüberstellung zeigt, dass bei entsprechender Konstruktion die gute Trittschalldämmung einer Stahlbetondecke auch mit deutlich leichteren Decken erreicht werden kann.

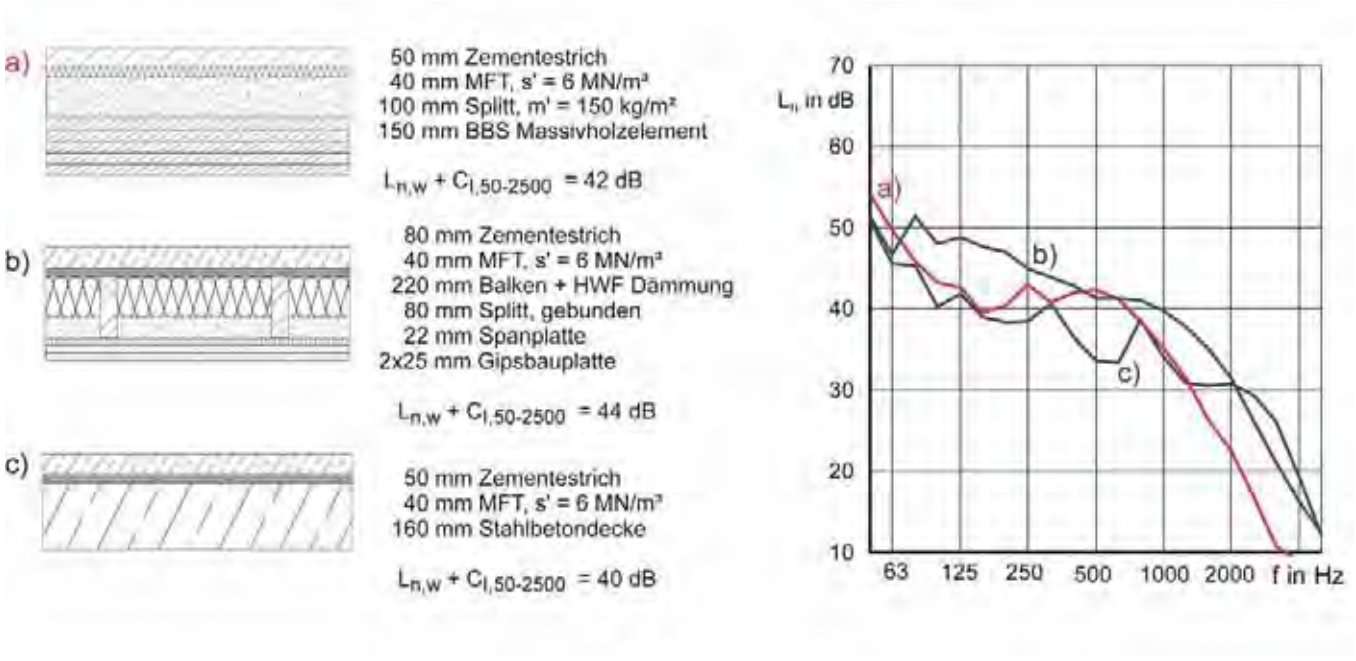


Abb. 3: Messwerte optimierter Holzdecken im Vergleich zu Stahlbetondecken

Tab. 1: Konstruktionshilfen für Massivholzdecken

Konstruktionshilfen	Zielwert: $L_{nw} + C_{I,50-2500} \leq 53$ dB, Verkehrslast $p < 2{,}5$ kN/m²	Zielwert: $L_{nw} + C_{I,50-2500} \leq 53$ dB, Verkehrslast $p < 5$ kN/m²	Zielwert: $L_{nw} + C_{I,50-2500} \leq 46$ dB, Verkehrslast $p < 2{,}5$ kN/m²	Zielwert: $L_{nw} + C_{I,50-2500} \leq 46$ dB, Verkehrslast $p < 5$ kN/m²
	≥ 50 mm ZE, m' ≥ 120 ≥ 40 mm TSD, s' ≤ 7 ≥ 60 mm Splitt, m' ≥ 90 ≥ 150 mm MHD, m' ≥ 50	≥ 25 mm TE, m' ≥ 25 ≥ 12 mm TSD, s' ≤ 40 ≥ 120 mm Splitt, m' ≥ 180 ≥ 150 mm MHD, m' ≥ 50	≥ 80 mm ZE, m' ≥ 190 ≥ 20 mm TSD, s' ≤ 20 ≥ 120 mm Splitt, m' ≥ 180 ≥ 150 mm MHD, m' ≥ 50	≥ 50 mm ZE, m' ≥ 120 ≥ 40 mm TSD, s' ≤ 7 ≥ 120 mm Splitt, m' ≥ 180 ≥ 150 mm MHD, m' ≥ 50	-
	≥ 50 mm ZE, m' ≥ 120 ≥ 40 mm TSD, s' ≤ 7 ≥ 70 mm Beton, m' ≥ 170 ≥ 150 mm MHD, m' ≥ 50	≥ 12 mm TE, m' ≥ 13 ≥ 28 mm V20, m' ≥ 16 ≥ 30 mm TSD, s' ≤ 15 ≥ 120 mm Beton, m' ≥ 280 ≥ 150 mm MHD, m' ≥ 50	≥ 60 mm ZE, m' ≥ 190 ≥ 30 mm TSD, s' ≤ 15 ≥ 120 mm Beton, m' ≥ 290 ≥ 150 mm MHD, m' ≥ 50	≥ 50 mm ZE, m' ≥ 120 ≥ 40 mm TSD, s' ≤ 7 ≥ 120 mm Beton, m' ≥ 290 ≥ 150 mm MHD, m' ≥ 50	-
-	≥ 50 mm ZE, m' ≥ 120 ≥ 40 mm TSD, s' ≤ 7 ≥ 70 mm Beton, m' ≥ 170 ≥ 100 mm Splitt, m' ≥ 150 ≥ 150 mm MHD, m' ≥ 50	≥ 25 mm TE, m' ≥ 25 ≥ 12 mm TSD, s' ≤ 40 ≥ 70 mm Beton, m' ≥ 170 ≥ 100 mm Splitt, m' ≥ 150 ≥ 150 mm MHD, m' ≥ 50	≥ 80 mm ZE, m' ≥ 120 ≥ 20 mm TSD, s' ≤ 20 ≥ 70 mm Beton, m' ≥ 170 ≥ 100 mm Splitt, m' ≥ 150 ≥ 150 mm MHD, m' ≥ 50	≥ 50 mm ZE, m' ≥ 120 ≥ 40 mm TSD, s' ≤ 7 ≥ 70 mm Beton, m' ≥ 170 ≥ 100 mm Splitt, m' ≥ 150 ≥ 150 mm MHD, m' ≥ 50	≥ 80 mm ZE, m' ≥ 190 ≥ 30 mm TSD, s' ≤ 15 ≥ 70 mm Beton, m' ≥ 170 ≥ 100 mm Splitt, m' ≥ 150 ≥ 150 mm MHD, m' ≥ 50

ZE: Zement-, Anhydrit-, oder Flüssestrich mit der angegebenen flächenbezogenen Masse m' in kg/m²
TE: Gipsfaser Trockenestrichelemente, mit der angegebenen flächenbezogenen Masse m' in kg/m²
V20: Verlegespanplatten, mit der angegebenen flächenbezogenen Masse m' in kg/m²
TSD: Mineralfaser- oder Holzweichfaser Trittschalldämmplatte mit der angegebenen dynamischen Steifigkeit s' in MN/m³
Splitt: Kalksplitt in Pappwaben, oder gebundener Splitt mit Latexmilch, oder Zementemulsion, mit der angegebenen flächenbezogenen Masse m' in kg/m²
Beton: Holzbetonverbund, mit der angegebenen flächenbezogenen Masse m' in kg/m²
MHD: Brettstapel-, Brettschichtholz-, Brettsperrholz-, Hohlkasten- oder Leimrostholzdecken, mit der angegebenen flächenbezogenen Masse m' in kg/m², Elementhöhe nach Statik

5 Ausführungsbeispiel

Als Ausführungsbeispiel wurde eine bereits im Vorfeld der Projekte von der Lignotrend Produktions GmbH entwickelte Massivholzdecke in Holz-Beton-Fertigbauweise gewählt, die im Neubau der staatlichen Fachoberschule (FOS) und Berufsoberschule (BOS) Rosenheim zum Einsatz kam. Die Außenwände und die Flurwände des Bauvorhabens wurden aus Brettsperrholzelementen mit zusätzlicher Installationsebene ausgeführt. Die Stützen wurden aus Brettschichtholz, die nichttragenden Klassenraumtrennwände als Metallständerwände mit getrennten Ständern gefertigt. Um allen Anforderungen an den Schallschutz gerecht zu werden, wurde bereits in der Planungsphase das ift Schallschutzzentrum für die schalltechnische Begleitung herangezogen. Die schalltechnischen Messungen am ausgeführten Bau wurden von der Fachhochschule Rosenheim durchgeführt. Die schwingungstechnischen Untersuchungen erfolgten durch die TU München im Rahmen des genannten Forschungsvorhabens.

Die abschließenden Messungen zum Schwingungsverhalten und zur Trittschallübertragung der Deckenkonstruktion im Bauvorhaben zeigten, dass sowohl die in Abb. 1 dargestellten Zielwerte, als auch das Steifigkeitskriterium nach Abschnitt 4.1.2 weit übertroffen wurden. Der bewertete Norm-Trittschallpegel am Bau betrug inklusive erweitertem Spektrumanpassungswert $L'_{nw}+C_{I50-2500}$ = 41 dB. Die Trittschallübertragung beim Begehen der Decke war mit $L_{A,F,max}$ = 20-30 dB(A) auch unter günstigsten Bedingungen – in den Schulferien und mit ausgeschalteter Lüftung – kaum noch messbar und wahrnehmbar. Die maximale Beschleunigung bei Resonanzanregung mit der 3. Harmonischen im Bereich der ersten Eigenfrequenz lag bei a_{max} = 0,043 m/s², die rechnerische Durchbiegung unter einer Einzellast von 1kN bei w = 0,06 mm.

Die Messergebnisse sind in Tab. 3 zusammengefasst und in Abb. 6 bis Abb. 8 illustriert. Abb. 6

zeigt neben den Beschleunigungsspitzen bei der ersten Decken-Eigenfrequenz (7,2 Hz) auch deutliche Maxima bei der Resonanz zwischen Estrichaufbau und Rohdecke (ca. 30 Hz).

Abb. 4: Neubau der Staatlichen Fachoberschule und Berufsoberschule Rosenheim

Anzumerken ist, dass es sich bei der ausgeführten Decke um einen Prototypen handelte, weshalb eine deutlich höhere statische Sicherheit als normativ gefordert eingeplant wurde. Diese Überdimensionierung wirkte sich durch die daraus resultierende hohe Steifigkeit entsprechend positiv auf das Schwingungsverhalten und durch die hohe Masse positiv auf die Trittschalldämmung aus. Sowohl die vorausgegangenen Untersuchungen im Labor als auch die hier gezeigten Ergebnisse der Baumessung zeigen jedoch, dass auch bei einer Ausführung mit den üblichen statischen Sicherheitsreserven sehr gute Werte zu erwarten sind.

Tab. 3: Zusammenstellung der Messergebnisse am Bau

Ergebnisse der Schwingungsmessungen	Ergebnisse der Schallmessungen
1. Eigenfrequenz der Decke: f_e = 7,2 Hz	Bewerteter Norm-Trittschallpegel am Bau: L'_{n} = 44 dB
Maximale Beschleunigung bei f_e: a_{max} = 0,043 m/s²	Erweiterter Spektrumsanpassungswert: $C_{I,50\text{-}2500}$ = -3 dB
Schwinggeschwindigkeit nach Heeldrop v = 9 mm/s	Trittschallübertragung beim Begehen der Decke: $L_{A,F,max}$ ≈ 20 – 30 dB(A)
Rechnerische Durchbiegung unter 1 kN Einzellast: w = 0,06 mm	

Abb. 5: Foto Messaufnehmer auf der Rohdecke

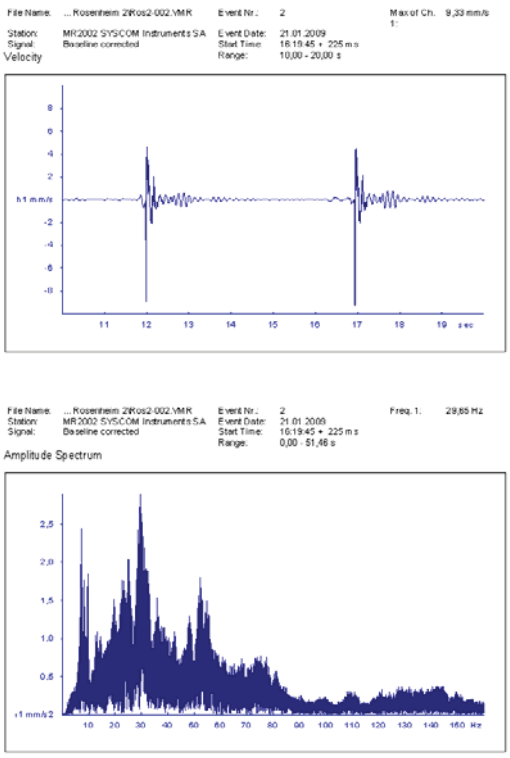


Abb. 6: Zeitschrieb Geschwindigkeit für Anregung durch Heeldrop (oben), Amplitudenspektrum mit f_{e1} = 7,2 Hz und höhere Anteile bei 30 und 50 Hz wegen Estrich (unten)

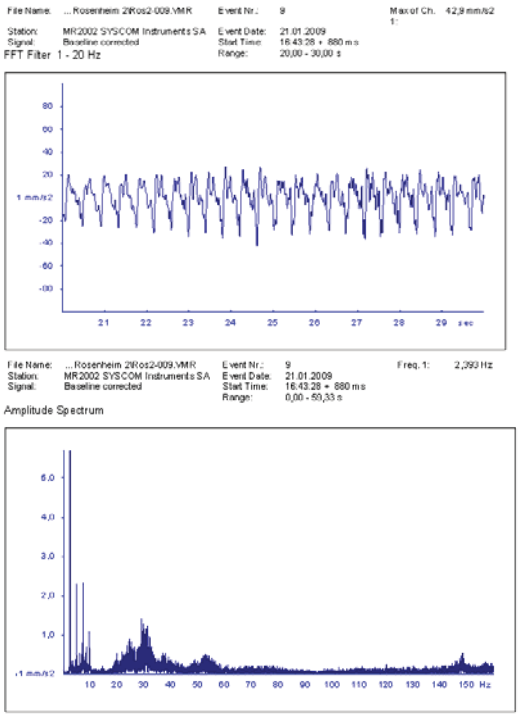


Abb. 7: Zeitschrieb Beschleunigung für Anregung durch Laufen mit 1/3 f_{e1} = 2,4 Hz, gefiltert mit FFT-Filter 1 bis 20 Hz, zeigt a_{max} = 0,043 m/s² (oben), Amplitudenspektrum (unten)

Abb. 8a: Rohdeckenelemen; Deckenaufbau und Norm-Trittschallpegel im Labor und am Bau

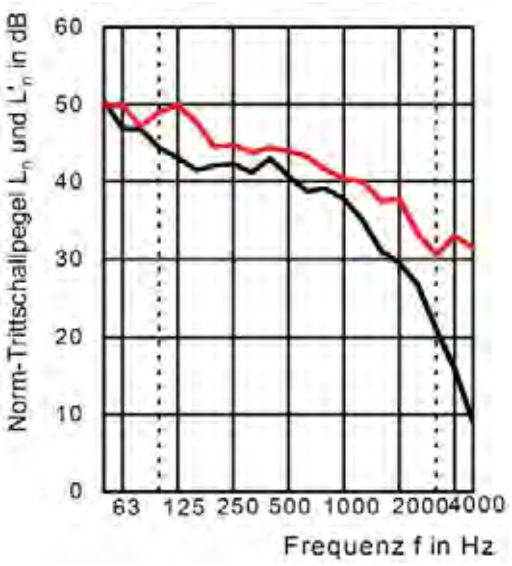


Abb. 8b: Deckenaufbau und Norm-Trittschallpegel im Labor und am Bau

6 Zusammenfassung

Durch den zunehmenden Einsatz von Holzdecken als Trenndecken auch in öffentlichen Gebäuden ergab sich die Notwendigkeit, ihr schall- und schwingungstechnisches Verhalten in Bezug auf das subjektive Empfinden des Nutzers genauer zu beurteilen und Bemessungsregeln für optimierte Decken zu erarbeiten. Die bisherigen Ergebnisse von zwei aktuellen Forschungsprojekten zu diesem Thema zeigen das Potenzial von Holzdecken für diese Anwendung auf und geben praxisnahe Umsetzungshilfen. Am ausgeführten Beispiel einer Trenndecke in Holz-Beton-Fertigteilbauweise beim Neubau der FOS-BOS-Rosenheim wurden Werte ermittelt, die sicherlich im gesamten Lebenszyklus des Gebäudes deutlich über den schall- und schwingungstechnischen Anforderungen liegen werden und damit einerseits der Philosophie des Herstellers für ein nachhaltiges Bauen voll entsprechen, andererseits aber auch noch genügend Spielraum für eine wirtschaftlich optimierte Ausführung lassen.

Quellen

[1] DIN 4109, Schallschutz im Hochbau, Anforderungen und Nachweise November 1989 und Beiblatt 1 zur DIN 4109 Schallschutz im Hochbau, Ausführungsbeispiele und Rechenverfahren, November 1989

[2] DIN 1052: 2004-08: Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken – Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau. Berlin. August 2004

[3] DIN EN ISO 140-1:2005-03, Bauakustik; Messung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen; Teil 1: Anforderungen an Prüfstände mit unterdrückter Flankenübertragung; Deutsche Fassung EN ISO 140-1: 1997+ A1:2004

[4] Blaß, H.J.; Ehlbeck, J.; Kreuzinger, H.; Steck, G.: Erläuterungen zu DIN 1052: 2004-08; Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken. 1. Auflage; Hrsg.: DGfH Innovations- und Service GmbH, München, 2004

[5] Hamm, P. : Warum Decken zu schwingen beginnen. bauen mit holz. 3/2006. S. 24-29

[6] Kreuzinger, H.; Mohr, B.: Gebrauchstauglichkeit von Wohnungsdecken aus Holz; Abschlussbericht Januar 1999. TU München, Fachgebiet Holzbau. Forschungsvorhaben durchgeführt für die EGH in der DGfH

[7] Winter, S.; Hamm, P.; Richter, A. (2009): Zwischenbericht zum Forschungsvorhaben: Schwingungs- und Dämpfungsverhalten von Holz- und Holz-Beton-Verbunddecken. DGfH 2009

[8] Rabold, A., Rank, E., Anwendung der Finiten Elemente Methode auf die Trittschallberechnung, Teilbericht zum Kooperationsprojekt: Untersuchung der akustischen Wechselwirkungen von Holzdecke und Deckenauflage zur Entwicklung neuartiger Schallschutzmaßnahmen, ibp Stuttgart, TU München, ift Rosenheim, DGfH 2009

[9] Lang, J., Schallschutz im Wohnungsbau, Forschungsbericht ifip TU Wien, 2006

[10] Reichelt, H., Schall- und schwingungstechnische Lösungen im Holzbau, Projektarbeit, , Hochschule Rosenheim, 2008

[11] Burkhart, C., Tieffrequenter Trittschall – Messergebnisse, mögliche Ursachen, Tagungsband DAGA 2002

[12] DIN EN 1995-1-1: 2004, Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten - Teil 1-1: Allgemeines - Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1995-1-1:2004 (D)

aus: bauen mit holz, 4 / 2009, S. 38-43

11.2 Schallschutz, Schwingung
Schwingungstechnische Optimierung von Holzdecken

Patricia Hamm

1 Einleitung

Durch den modernen Holzbau stehen Holzwerkstoffe und Holz-Beton-Verbund-Konstruktionen zur Verfügung, mit denen fast beliebige Grundrisse im Büro-, Verwaltungs-, Bildungs- und Wohnungsbau wirtschaftlich realisiert werden können. Die in diesen Bereichen erforderlichen großen Spannweiten beeinflussen jedoch meist negativ das Schwingungsverhalten der Decken. Gleichzeitig sind die Komfortansprüche der Nutzer und damit die Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit gestiegen – schon ein leichtes Schwingen der Decke wird teilweise als Mangel empfunden.

Damit rückt das Vermeiden unangenehmer Schwingungen, ausgelöst z.B. durch das Begehen (Abb. 1) oder das Herumtoben von Kindern, bei der Bemessung im Neubau wie auch bei der Sanierung von Altbauten in den Vordergrund. Diese Entwicklung – verursacht durch größere realisierbare Spannweiten und eine Erweiterung der Einsatzgebiete für Holzkonstruktionen - spiegelt sich auch in der aktuellen Normung wider:
DIN 1052:2004-08 [1], Eurocode 5: 2004 [2]und SIA 265: 2003 [3] haben darauf reagiert und Schwingungsnachweise für Decken aufgenommen. Die Erläuterungen [5] zur DIN 1052 enthalten ein umfangreiches Kapitel zu diesem Thema.

- Die in der Praxis vorkommenden Systeme und Aufbauten sind jedoch so vielfältig, dass immer wieder Fragen von Seiten der Planer auftauchen, wie nun bei diesen und jenen speziellen Fällen der Schwingungsnachweis geführt werden soll.
- Auf der anderen Seite gibt es auch noch Defizite in den normativen Regelungen:
  Denn obwohl der rechnerische Schwingungsnachweis oft bemessungsrelevant ist, gibt es immer wieder Klagen seitens der Bauherren bzw. der Nutzer über unangenehm empfundene, die Gebrauchstauglichkeit einschränkende Schwingungen der Decken. Dies betrifft vor allem leichte Decken mit nur geringen Anforderungen an den Schallschutz. Diese können, angeregt durch einen Impuls, spürbar unangenehm schwingen und zu Beanstandungen führen.
- Ein dritter Punkt, der zu Verunsicherungen führen kann, ist dass bei Vergleichsmessungen an ausgeführten Decken festgestellt wurde, dass die tatsächlichen dynamischen Eigenschaften oft deutlich von den vereinfachten rechnerischen Annahmen abweichen.

Aus dieser Ausgangssituation startete im Herbst 2007 das AiF-Forschungsvorhaben „Schwingungs- und Dämpfungsverhalten von Holz- und Holz-Beton-Verbunddecken“ [8] mit einer geplanten Laufzeit von zwei Jahren, gefördert vom BMBF, betreut von der DGfH, durchgeführt an der TU München.

Das Ziel sind die optimale Ausschöpfung des Dämpfungspotentials sowie einfach handhabbare aber wirtschaftliche Konstruktions- und Bemessungsregeln für die Planer. Durch die Bereitstellung von Konstruktions- und Bemessungsregeln in Ergänzung zum vorhandenen Wissensstand werden die Wirtschaftlichkeit und die Planungssicherheit der Planer und ausführenden Firmen und gleichzeitig die Attraktivität des Baustoffes Holz erhöht.

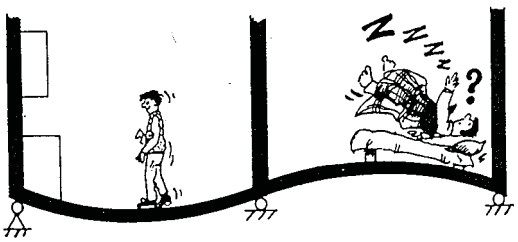


Abb. 1: Schwingungen von Decken und deren Übertragung in benachbarte Räume, aus [10]

Tab. 1: Dämpfungswerte für Holzdecken aus [5]

Material und Aufbau	Lehr´sches Dämpfungsmaß D
(Holz-) Decken ohne schwimmenden Estrich	1,0 %
Decken aus verleimten Brettstapelelementen mit schwimmendem Estrich	2,0 %
Holzbalkendecken und mechanisch verbundene Brettstapeldecken mit schwimmendem Estrich	3,0 %

2 Grundlagen der Schwingungen

2.1 Begriffsklärung am Beispiel Schaukel

Eine der wichtigsten Eigenschaften zur Beurteilung des Schwingungsverhaltens ist die Eigenfrequenz und damit verbunden die Resonanz.

Anschaulich wird das Phänomen von Eigenfrequenz und Resonanz am Beispiel einer Schaukel. Ein Kind hat zwei Möglichkeiten hoch hinauf zu schaukeln:
Entweder wird die Schaukel weit ausgelenkt und losgelassen, so dass das Kind ausschaukeln kann. Dann finden die Bewegungen in der Eigenfrequenz des Systems Schaukel-Kind statt und werden wegen der natürlichen Dämpfung immer kleiner.
Oder das Kind nimmt selbst Schwung. Dabei reichen schon sehr kleine Kräfte, wenn genau zur richtigen Zeit wieder Schwung geholt wird. Das ist die Anregung in der Eigenfrequenz des Systems, d.h. in Resonanz. Bei jedem Mal Schwung holen wird Energie in das System eingebracht und die Amplituden werden jedes Mal größer.

Dieser Vorgang wird als Einschwingvorgang bezeichnet. Er ist beendet, wenn der so genannte Eingeschwungene Zustand erreicht wird. Im Eingeschwungenen Zustand werden die Amplituden nicht mehr größer, weil die eingebrachte Energie genau so groß ist wie die Energie, die über die Dämpfung des Systems in andere Energieformen umgewandelt wird, z.B. über die Reibung in Wärmeenergie. Dies bedeutet, dass ein System ohne jede Dämpfung nie den Eingeschwungenen Zustand erreicht, weil der Einschwingvorgang, bei dem die Amplituden immer größer werden, nie endet.

2.2 Übertragung auf Balken

Im Unterschied zur Schaukel hat ein Balken theoretisch unendlich viele Eigenformen und zugehörige Eigenfrequenzen. Als Eigenfrequenzen eines Balkens werden die Frequenzen bezeichnet, in welchen er „am liebsten“ schwingt. Für die Betrachtung der personen- induzierten Deckenschwingungen ist i.A. nur die niedrigste (= erste) Eigenfrequenz relevant. Sie wird im Falle eines gelenkig gelagerten Einfeldträgers (Abb. 2) nach Gl. 1 berechnet.

$$f_{e,1} = \frac{\pi}{2 \cdot l^2} \cdot \sqrt{\frac{EI}{m}} = f_{Balken} \qquad \text{Gl. 1}$$

$$\text{mit } I = \frac{b_{Balken} \cdot h^3}{12} \qquad \text{Gl. 2}$$

$$\text{oder } f_{e,1} = \frac{5}{\sqrt{0{,}8 \cdot w[cm]}} \qquad \text{Gl. 3}$$

mit w: Durchbiegung unter der ständigen bzw. quasi-ständigen Gleichlast

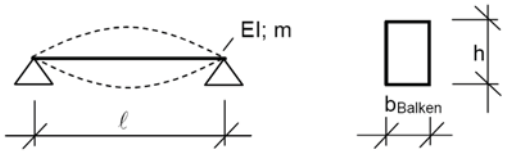


Abb. 2: Einfeldträger: Schwingungen in der ersten Eigenfrequenz und Querschnitt

Wird der Balken wiederholt angeregt und entspricht die Anregungsfrequenz genau einer der Eigenfrequenzen, spricht man von Resonanz. Bei Belastung eines Balkens nach Bild 3, einmal durch eine statische Kraft F_{stat} und einmal durch eine dynamische Kraft F(t), erhält man die beiden Amplituden w_{stat} und w_{dyn} nach Erreichen des eingeschwungenen Zustandes im Resonanzfall:

$$w_{stat} = \frac{F \cdot l^3}{48 \cdot EI} \qquad \text{Gl. 4}$$

$$w_{dyn} = \frac{1}{2D} \cdot w_{stat} = V_{max} \cdot w_{stat} \qquad \text{Gl. 5}$$

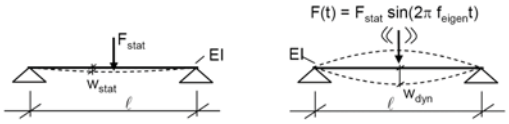


Abb. 3: Vergleich statische und dynamische Last

3 Bemessungsvorschlag für den Schwingungsnachweis

Die Nachweise der Schwingungen gehören – wie die Nachweise der Verformungen – zu den Nachweisen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit. Für diese Nachweise sind die charakteristischen Werte der Einwirkungen und die charakteristischen Mittelwerte der Steifigkeiten zu verwenden.

Liegt die Decke auf Unterzügen auf, so ist bei der Berechnung der Eigenfrequenz und der Durchbiegung unter der Einzellast F die Durchbiegung der Unterzüge zusätzlich zu berücksichtigen. D.h. die Summe der Durchbiegungen muss die Grenzwerte einhalten. Ein ausführlicher Beitrag zur Berücksichtigung der Lagerung auf Unterzügen findet sich in [7].

3.1 Frequenzkriterium

Allgemeines

Die Eigenfrequenz der Decke soll so hoch gewählt werden, dass Resonanz aus den ersten drei harmonischen Anteilen der Einwirkung „Gehen" vermieden wird. Bei einer max. Schrittfrequenz beim Gehen von 2,4 Hz sind das 3 · 2,4 = 7,2 Hz. Die Grenzwerte und angesetzten Massen sind abhängig von der zugrunde gelegten Norm. Nach Eurocode 5 wird für die Masse m nur vom „Eigengewicht der Decke und anderen ständigen Einwirkungen" (vgl. Eurocode 5 7.3.3 (3)) ausgegangen. Im Gegensatz dazu legt die DIN 1052 die quasi-ständige Einwirkung zugrunde, analog Gl. 7.

Grenzwerte nach DIN 1052

„Bei Decken unter Wohnräumen sollten, um Unbehagen verursachende Schwingungen zu vermeiden, die am ideellen Einfeldträger ermittelten Durchbiegungen $w_{G,inst} + \psi_2 \cdot w_{Q,inst}$ aus ständiger und quasi-ständiger Einwirkung auf 6 mm begrenzt werden. Die Spannweite des Einfeldträgers ist bei Mehrfeldträgern die größte Feldweite *l*. Die elastische Einspannung in Nachbarfelder darf bei der Berechnung der Durchbiegung $w_{G,inst} + \psi_2 \cdot w_{Q,inst}$ berücksichtigt werden."

$$w_{perm} \leq 6 \text{ mm} \qquad \text{Gl. 6}$$

$$\text{mit } w_{perm} = w_{G,inst} + \psi_2 \cdot w_{Q,inst} \qquad \text{Gl. 7}$$

und $\psi_2 = 0{,}3$ bei Wohnungsdecken

Nach Umrechnung mit Gl. 3 steckt hinter dieser Durchbiegungsbeschränkung (Gl. 6) eine Frequenzbegrenzung auf mindestens 7,2 Hz.

$$f_{e,perm} \geq 7{,}2 \text{ Hz} \qquad \text{Gl. 8}$$

Grenzwerte nach Erläuterungen

Die Durchbiegungsbegrenzung auf 6 mm ist unabhängig von der Spannweite der Decke einzuhalten. Vor allem bei Decken mit großen Spannweiten wird dieser Nachweis bemessungsrelevant.

Nach den Erläuterungen können Decken mit Eigenfrequenzen kleiner 7,2 Hz ausgeführt werden. Die Eigenfrequenz der Decke unter quasi-ständiger Einwirkung $f_{e,perm}$ sollte jedoch mindestens 6 Hz betragen. Bei einem Einfeldträger entspricht das einer Durchbiegung von 9 mm.

Von Decken mit Eigenfrequenzen kleiner als 6,0 Hz wird nach derzeitigem Kenntnisstand abgeraten. Im eingangs erwähnten Forschungsvorhaben, siehe [8], werden Decken mit Eigenfre-

quenzen kleiner als 6 Hz untersucht. Die Auswertungen hierzu stehen noch aus.

$f_{e,perm} \geq 6{,}0$ Hz Gl. 9

$w_{perm} \leq 9$ mm Gl. 10

Grenzwerte nach Eurocode 5

Wohnungsdecken sollten unter ständigen Einwirkungen eine Eigenfrequenz von mindestens 8 Hz aufweisen. Bei einem Einfeldträger entspricht das einer Durchbiegung unter Gleichlast von 5 mm (wieder unabhängig von der Spannweite).

$f_e \geq 8{,}0$ Hz Gl. 11

$w \leq 5$ mm Gl. 12

3.2 Steifigkeitskriterium

Allgemeines

Im Rahmen der Untersuchungen in [9] und [8] wurde festgestellt, dass das Steifigkeitskriterium mindestens ebenso wichtig einzustufen ist wie das Frequenzkriterium. Dabei sollte die Steifigkeit der Decke so hoch sein, dass die Durchbiegung unter einer Kraft von 1 kN in Feldmitte einen bestimmten Wert nicht übersteigt. Die Durchbiegung kann für einen Balken nach Abb. 2 oder bei einer Platte vereinfachend für einen 1 m breiten Plattenstreifen nach Gl. 4 berechnet werden.

Grenzwerte nach DIN 1052 mit Erläuterungen und Eurocode 5

In den genannten Normen sind variable Grenzwerte für das Steifigkeitskriterium angegeben mit je einer Spannweite von 0,5-4,0 mm/kN. Als Ergebnis aktueller Untersuchungen wird empfohlen, Grenzwerte nach Tab. 2 einzuhalten. Welcher Grenzwert verwendet wird, hängt vom System der Decke und von den Anforderungen des Bauherrn ab.

$w_{stat}(1\text{kN}) \leq 0{,}25...0{,}5...1{,}0$ mm Gl. 13

Tab. 2: Grenzwerte für die Untersuchung zur Steifigkeit

Grenzwert für Steifigkeit	Durchlaufträger mit	Einfeldträger mit
$w(1\ kN) \leq 1{,}0$ mm	-	geringer Anforderung
$w(1\ kN) \leq 0{,}5$ mm	geringer Anforderung	höherer Anforderung
$w(1\ kN) \leq 0{,}25$ mm	höherer Anforderung	sehr hohe Anforderung

3.3 Begrenzung der Schwingbeschleunigung bzw. der Schwinggeschwindigkeit

Allgemeines

Der Nachweis der Schwingbeschleunigung wird nur in den Erläuterungen nach DIN 1052 und nur für Decken im Frequenzbereich zwischen 6 Hz und 7,2 Hz gefordert. Damit wird berücksichtigt, dass in diesem Frequenzbereich erstens Anregung in Resonanz mit der dritten Harmonischen aus Gehen möglich ist (Schrittfrequenz gleich 1/3 der Eigenfrequenz) und zweitens verstärkt die Schwingbeschleunigung wahrgenommen wird. Bei Frequenzen größer als 8 Hz wird die Schwinggeschwindigkeit verstärkt wahrgenommen. Dementsprechend werden im Eurocode 5, nach welchem Decken mit Frequenzen über 8 Hz vorausgesetzt werden, die Schwinggeschwindigkeiten untersucht.

Grenzwerte der Schwingbeschleunigung nach DIN 1052 bzw. Erläuterungen

Die Beschleunigung der Decke infolge eines Gehers sollte nicht größer sein als 0,1 m/s², Gl. 14:

$$a \leq 0{,}1 \frac{m}{s^2} \qquad \text{Gl. 14}$$

Für ein einachsig oder zweiachsig gespanntes Deckenfeld als Einfeldträger mit der Breite b:

$$a\left[\frac{m}{s^2}\right] = \frac{F_{dyn}}{M^* \cdot 2D} = \frac{56}{m \cdot b \cdot l \cdot D} \qquad \text{Gl. 15}$$

Nach derzeitigem Forschungsstand ist der Nachweis der Schwingbeschleunigung nicht erforderlich, wenn ein schwimmender Nassestrich oder ein schwimmender Trockenestrich auf schwerer Schüttung aufgebracht ist.

Grenzwerte der Schwinggeschwindigkeit nach Eurocode 5

Nach Eurocode 5 wird für Decken mit Eigenfrequenzen größer 8 Hz die Schwinggeschwindigkeit nach einem Einheitsimpuls untersucht (Gl. 16 bis Gl. 18). v ist die Geschwindigkeit nach einem Einheitsimpuls (Einheitsimpulsgeschwindigkeitsreaktion in [m/(Ns²)]) und darf für rechteckige, an allen Rändern gelenkig gelagerte Decken nach Gl. 17 berechnet werden.

Im Rahmen der Untersuchungen in [8] wurde festgestellt, dass dieses Kriterium nur äußerst selten maßgebend wird (vgl. Kapitel „Zusammenfassung").

$$v \le b^{(fe1\cdot D-1)} \quad \left[\frac{m}{Ns^2}\right] \qquad \text{Gl. 16}$$

$$v = \frac{4\cdot(0{,}4+0{,}6\cdot n_{40})}{m\cdot b\cdot l+200} \qquad \text{Gl. 17}$$

$$n_{40} = \left\{\left(\left(\frac{40}{f_{Balken}}\right)^2 - 1\right)\cdot\left(\frac{b}{l}\right)^4\cdot\frac{(EI)_l}{(EI)_b}\right\}^{0,25} \qquad \text{Gl. 18}$$

n_{40} ist die Anzahl der Schwingungen 1. Ordnung mit einer Resonanzfrequenz bis zu 40 Hz:
$(EI)_l$ bzw. $(EI)_b$ sind die äquivalenten Plattenbiegesteifigkeiten der Decke in Längs- bzw. in Querrichtung mit, $(EI)_l \ge (EI)_b$,
f_{Balken} ist die erste Eigenfrequenz des Systems, bei Einfeldträgern nach Gl. 1,
D ist die Dämpfung nach Tabelle 1,
b ist ein Grenzwert nach Eurocode 5 zwischen 50 und 150, empfohlen wird b =150.

Grenzwerte der Schwinggeschwindigkeit infolge Heeldrop

Weil der Einheitsimpuls eine theoretische, unter normalen Bedingungen nicht messbare Größe ist, wird in [9] vorgeschlagen, den Vergleich über die Geschwindigkeit nach einem Heeldrop (Gl. 20 und Gl. 21) zu führen. Als Grenzwert für die Geschwindigkeit nach einem Heeldrop wird der 6-fache Wert der Einheitsimpulsgeschwindigkeitsreaktion (Gl. 19) vorgeschlagen.

$$v_{Heeldrop} \le 6\cdot b^{(fe1\cdot D-1)} \quad \left[\frac{m}{s}\right] \qquad \text{Gl. 19}$$

Nach den Erläuterungen kann die Geschwindigkeit eines Balkens (Gl. 20) bzw. einer zweiachsig gespannten Deckenplatte (Gl. 21) nach einem Heeldrop wie folgt berechnet werden:

$$v = \frac{55}{\frac{m\cdot e\cdot l}{2}+50} \quad \frac{m}{s} \qquad \text{Gl. 20}$$

e ist der Balkenabstand bzw. die Einflussbreite des Balkens, m die flächenbezogene Masse in [kg/m²]

$$v = \frac{0{,}6}{m^{0,5}\cdot EI_l^{0,25}\cdot EI_b^{0,25}} \approx \frac{950\cdot\alpha}{f_{Balken}\cdot m\cdot b\cdot l} \qquad \text{Gl. 21}$$

Grenzwerte der Schwinggeschwindigkeit nach [9]

Nach [9] sollten die Grenzwerte für die Geschwindigkeiten nach einem Einheitsimpuls und nach einem Heeldrop auf ein Drittel der Werte nach Gl. 16 bzw. Gl. 19 reduziert werden.

4 Übersicht zum aktuellen Stand der Normung

Um einen besseren Überblick über die beschriebenen Nachweise nach DIN 1052 und Eurocode 5 zu bekommen, sind diese in einem Ablaufdiagramm dargestellt (Abb. 4).

5 Zusammenfassung

Holzdecken haben gegenüber Stahl- oder Stahl-Beton-Verbunddecken das Schwingungsverhalten betreffend den Vorteil einer höheren Dämpfung. Um das Dämpfungsvermögen von Holzdecken optimal nutzen zu können, werden im aktuellen Forschungsvorhaben unterschiedliche Rohdecken

mit unterschiedlichen Aufbauten untersucht. Bis jetzt gilt Tab. 1. Allerdings haben Holzdecken gegenüber Stahlbetondecken schwingungstechnisch den Nachteil einer geringen Eigenmasse. Deshalb ist es wichtig, den Schwingungsnachweis zu führen.

Als erste Ergebnisse des genannten Forschungsprojekts können folgende Punkte genannt werden, deren Einhaltung zu einer gebrauchstauglichen Decke führen.

1. Messungen an Decken ohne Aufbauten, d.h. noch während des Rohbauzustandes, zeigten, dass die Anordnung einer schwimmenden Estrichschicht (Nassestrich oder Trockenestrich mit schwerer Schüttung) sehr wichtig ist – nicht nur für den Schallschutz sondern auch für das Schwingungsverhalten. Ein solcher (Tritt-) Schallschutz-Aufbau sollte gegeben sein.
2. Zur Nachweisführung ist das Frequenzkriterium entweder nach DIN 1052 (Gl. 6 bzw. Gl. 8) oder nach Eurocode 5 (Gl. 9) einzuhalten.
3. Zusätzlich wird dringend empfohlen, das Steifigkeitskriterium nach (Gl. 8) mit einem Grenzwert je nach Anforderung zwischen 0,5 mm und 1 mm, bei sehr hohen Anforderungen 0,25 mm einzuhalten.
4. Für Decken unter Räumen, die für rhythmische Bewegungen genutzt werden, wie z.B. Tanz- oder Gymnastikräume oder Turnhallen, sollten genauere Untersuchungen durchgeführt werden.

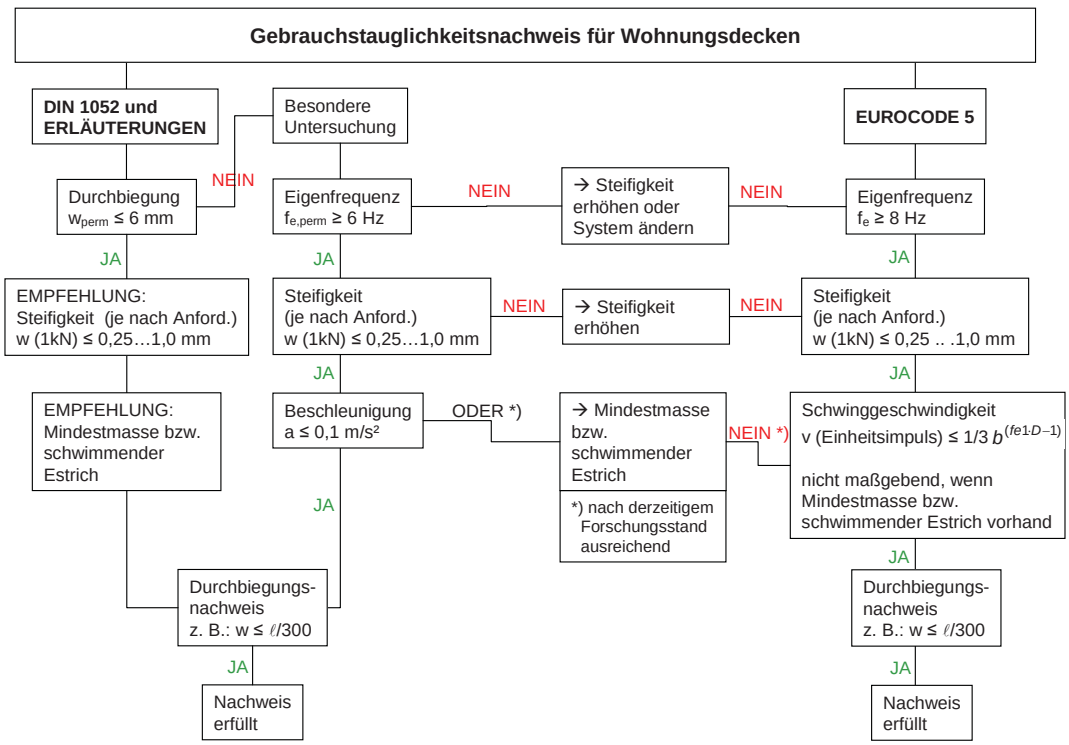


Abb. 4: Ablauf des Gebrauchstauglichkeitsnachweises nach DIN 1052 mit Erläuterungen und Eurocode 5

Nachweis der Geschwindigkeit:

Der dritte nach Eurocode 5 empfohlene Nachweis untersucht die Einheitsimpulsgeschwindigkeitsreaktion. In allen 50, im Rahmen des erwähnten Forschungsvorhabens untersuchten Decken war der Nachweis der Geschwindigkeit nach dem Einheitsimpuls eingehalten, sogar bei Rohkonstruktionen und anderen als unangenehm eingestuften Decken. Der in [9] vorgeschlagene 1/3 Grenzwert wurde nur bei manchen Rohkonstruktionen überschritten, bei Decken mit üblichen Aufbauten nicht. Aufgrund dieser Erfahrung kann gesagt werden, dass der Nachweis der Geschwindigkeit bei Decken mit „üblichem“ (Tritt-) Schallschutzaufbau nicht maßgebend wird. Vereinfachend kann man sich bei diesen Decken auf die Nachweise Eigenfrequenz und Steifigkeit beschränken.

Quellen

[1] DIN 1052: 2004-08: Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken – Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregelen für den Hochbau. Berlin. August 2004.

[2] Eurocode 5: EN 1995-1-1: Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten - Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau. Deutsche Fassung. November 2004.

[3] SIA 265. Holzbau. 2003 by SIA Zürich.

[4] Bachmann, Hugo et al. (1997): Vibration Problems in Structures - Practical Guidelines. 2nd Edition, Birkhäuser Verlag Basel, Berlin, Boston.

[5] Erläuterungen: Blaß, H.J.; Ehlbeck, J.; Kreuzinger, H.; Steck, G.: Erläuterungen zu DIN 1052: 2004-08; Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken. 1. Auflage; Hrsg.: DGfH Innovations- und Service GmbH, München, 2004.

[6] Hamm, Patricia (2006): Warum Decken zu schwingen beginnen. bauen mit holz. 3/2006. S. 24-29.

[7] Hamm, Patricia (2008): Schwingungsverhalten von Decken bei Auflagerung auf Unterzügen. holzbau, die neue quadriga. 1/2008.

[8] Winter, S.; Hamm, P.; Richter, A. (2009): Zwischenbericht zum Forschungsvorhaben: Schwingungstechnische Optimierung von Holz- und Holz-Beton-Verbunddecken. DGfH 2009.

[9] Kreuzinger, Heinrich; Mohr, Bernhard (1999): Gebrauchstauglichkeit von Wohnungsdecken aus Holz; Abschlussbericht Januar 1999. TU München, Fachgebiet Holzbau. Forschungsvorhaben durchgeführt für die EGH in der DGfH.

[10] Ohlsson, S. (1982): Floor vibrations and human discomfort. Department of Structural Engineering, Chalmers University of Technology. Göteborg, Sweden. 1982.

11.2 Schallschutz, Schwingung
Akustikbauteile aus natürlichem Holz

Ralf Bräuchle, Werner Eckert

1 Einleitung

Das Thema Raumakustik stellt neben dem Themenbereich Schallschutz einen Komplex dar, der von Investoren als wichtiger Qualitätsfaktor wahrgenommen wird. In diesen Themenbereichen hat der Holzbau jedoch immer noch ein negatives Image, obwohl es bereits eine ganze Palette individueller Lösungen gibt. Lösungen, bei denen Holz sogar in seiner natürlichen, unbehandelten Form als Vollholz oder Leimholz verwendet wird – in der Form also, die beim Endverbraucher eigentlich das positivste Image hat.

Die Kommunikation vorhandener Lösungen wie auch die Weiterentwicklung zu verbesserten Vollholz-Lösungen für die Planungsaufgaben Bau- und Raumakustik birgt daher in Zukunft Wachstumspotenziale.

2 Stand der Technik

In Holzbaukonstruktionen werden parallel zu den klassischen Bauweise aus stabförmigen Balken und Ständern bereits seit den 90er Jahren statisch tragende Flächenbauteile aus Massivholz eingesetzt. Im Wesentlichen handelt es sich dabei um drei Produktkategorien:

- verschiedene Brettsperrholz-Varianten
- als Platten eingesetzte Brettschichtholzteile
- sowie Brettstapelelementen

Flächenbauteile bieten besondere Potenziale im Bereich der Vorfertigung. Die industriell präzise Herstellung zum „Halbfabrikat“ ermöglicht die Verlagerung kostenintensiver Arbeitsschritte in das Werk und bietet damit ökonomische Vorteile.

Diese ökonomischen Vorteile kommen vor allem dann zum Tragen, wenn mit der Vorfertigung die Bereitstellung zusätzlicher Bauteilfunktionen verbunden ist oder wenn sie die Lösung der Bauteilanforderungen auf der Baustelle vereinfacht. Mögliche Aspekte sind:

- Statik (Grundfunktion des Bauteils)
- Gestaltung (Sichtoberflächen)
- Schallschutz (Hohlraum für Gewichtsschüttung)
- Installation (Hohlräume)
- Brandschutz (Zusatzlagen)
- Wärmeschutz (Raum für Dämmung)
- Raumklimawirksamkeit (Innere Oberflächen)
- Raumakustik (Absorberintegration)

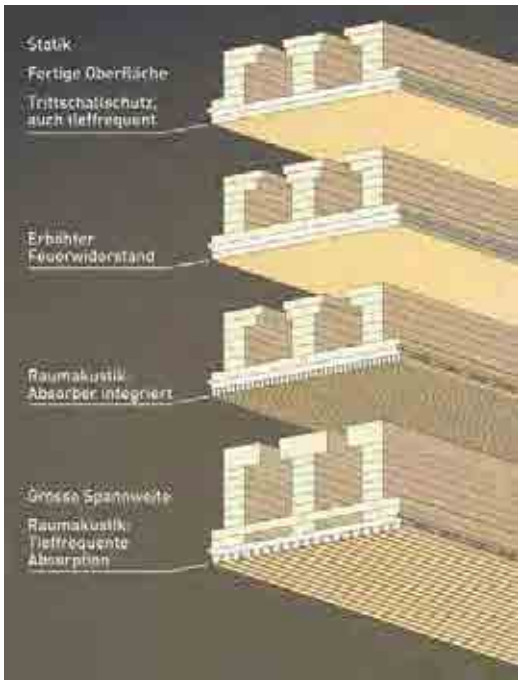


Abb. 1: Beispiel für integrierte Brettsperrholz-Decken-Elemente: Ligno Rippe Q3 (von oben nach unten: mit geschlossener Untersicht, mit erhöhtem Feuerwiderstand, mit integriertem Absorber, mit verbesserter Akustikabsorption für große Spannweite)

Einige Hersteller bieten beispielsweise Elemente mit hochwertigen Sichtoberflächen an, die die gestalterische Aufgabe lösen. Im Gegensatz zur

konventionellen Bauweise mit untergehängten Deckenverkleidungen erübrigt sich der nachträgliche Innenausbau nahezu völlig.

An der in den vergangenen Jahren bereits angestiegenen Produktionskapazität bei den Brettsperrholzherstellern ist ablesbar, dass solche Bauteillösungen mit fertiger Oberfläche erfolgreich eingesetzt werden – sowohl im Wohnungsbau wie auch im kommunalen und gewerblichen Objektbau.

Auch die Integration von raumakustisch wirksamen Absorbern wird von einzelnen Herstellern praktiziert. Sie kommt steigenden Ansprüchen an die raumakustische Qualität von Räumen entgegen.

Abb. 2: Element nach obigem Schema bei der Montage.

3 Raumakustik

In nahezu allen Bereichen des Bauwesens spielt die akustische Qualität von Innenräumen eine Rolle – teils durch normative Regelungen vorgeschrieben, teils allenfalls durch „Empfehlungen" angeraten. Häufig scheint jedoch auch trotz normativer Regelungen durch die am Bau beteiligten Parteien einvernehmlich auf eine raumakustische Planung verzichtet zu werden. Argumente der Wirtschaftlichkeit erweisen sich jedoch bei späterer Erfordernis von akustischen Nachbesserungen als falsch.

Im Folgenden einige Anwendungsbereiche, hinter denen sich Marktchancen für den Holzbau verbergen.

3.1 Schulgebäude

Wo Wissen vermittelt werden soll, kommt es auf Kompetenz der Lehrenden und auf Lehrmethoden an. Letztlich spielen aber auch die Wahrnehmbarkeit und das Verständnis des gesprochenen Wortes eine wesentliche Rolle für den Lernerfolg.

In Räumen mit hohen Nachhallzeiten oder hohen Hintergrundgeräuschpegeln ist die Anstrengung für das menschliche Gehirn bei der Umsetzung der gehörten Information und der Erkennung der relevanten Inhalte erhöht. In der Folge nimmt die Konzentrationsfähigkeit im Laufe langer Schultage durch Ermüdung stetig ab, wesentlich schneller, als das in akustisch optimierten Räumen geschieht.

Dieser Effekt betrifft lernende Kinder ebenso wie Erwachsene. Bei Schülern im Grundschulalter kommt jedoch ein weiterer Aspekt hinzu: Die Fähigkeit, gehörte Sprache in Information umzuwandeln, ist beim jungen Gehirn noch deutlich schwächer ausgeprägt.

Auswertungen der PISA-Studie resümieren, dass die akustische Qualität von Klassenräumen einen wesentlichen Anteil an Erfolg oder Misserfolg von Unterricht hat.

Um beim Neubau von Schulen, Hörsälen oder Seminarräumen die raumakustische Aufgabe möglichst wirtschaftlich zu lösen, kann die Absorberfunktion bereits bei der Produktion in das tragende Bauelement integriert werden. Im gleichen Zug wird eine endgefertigte Holzoberfläche angebracht.

Abb. 3: Neuentwicklung, z.B. für die Sanierung: Als Akustiksegel eingesetztes Verkleidungselement Ligno Light alpha 28 aus Vollholz. Raumklimatisch evtl. erforderliche Speichermasse bleibt für Luftzirkulation zugänglich.

Nicht nur tragende Bauteile, auch Verkleidungselemente aus Vollholz mit Oberflächen in gleicher Qualität stellen ein Marktpotenzial für den Holzabsatz dar, z.B. wenn schallharte Oberflächen (Mauerwerk, Glas etc.) bei der Sanierung kompensiert werden sollen.

Im Schulbau häufig gestellte erhöhte Anforderungen an Feuerwiderstand oder beim Trittschallschutz von Decken stellen weitere Faktoren für die Entwicklung von Holzbauelementen dar, ebenso wie der Wunsch nach großen Spannweiten.

3.2 Büros, Gewerbe

Der Charakter der Arbeitsstätte und die Leistungsfähigkeit wie auch Zufriedenheit der Mitarbeiter hängen zusammen. Möglichst geringe Lärmpegel haben gleich mehrere positive Effekte auf das Arbeitsergebnis:
Die Gesundheit der Beschäftigten wird direkt beeinflusst: Stimmt die Raumatmosphäre am Arbeitsplatz, profitiert der Unternehmer von sinkenden krankheitsbedingten Ausfallzeiten.

Die durch eine weniger störende Geräuschkulisse erhöhte Konzentrationsfähigkeit der Beschäftigten verringert die Fehlerquote bei der Produktion. Optimale Produktqualität kann hier entstehen.

Schließlich steigt mit der Konzentration auch die Arbeitssicherheit. Gefahren und Warnsignale werden besser wahrgenommen.

Es lohnt sich also, zu untersuchen, ob die Berücksichtigung von raumakustischen Faktoren wirklich nennenswerte Mehrkosten produziert:

Die Integration von Schallabsorbern in die ohnehin zu erstellende tragende Holzkonstruktion ist häufig nahezu kostenneutral. Die Bilanz kann gar positiv ausfallen, wenn die nachhaltige Chance der Verbesserung von Effizienz, Produktivität und Qualität berücksichtigt wird.

Die genannten Faktoren gelten offensichtlich nicht nur für industrielle oder handwerkliche Produktionsstätten. Auch die Qualität von Büroräumen profitiert.

3.3 Kindergärten, Kindertagesstätten

Die in den vorangehenden Abschnitten benannten Aspekte beim Schul- und Gewerbebau betreffen in Kombination die raumakustischen Überlegungen beim Bau von Kindergärten:

Der schulische Lernprozess verlagert sich zum einen zunehmend auf das Vorschulalter, womit das Ziel einer Optimierung der Verständlichkeit des Gelehrten raumakustische Maßnahmen auch in Kindergärten begründet.

Andererseits tut es dem Klima im Kindergarten gut, wenn der Geräuschpegel durch schallabsorbierende Maßnahmen begrenzt ist: Kinder sind ausgeglichener und weniger laut, der Lärm schaukelt sich nicht so leicht hoch. In der Folge ist auch die Belastung der Erzieherinnen und Erzieher geringer.

3.4 Sport- und Mehrzweckhallen, Säle

Beim Bau von Sport und Veranstaltungshallen ist Raumakustik Pflichtthema: Je größer das Raumvolumen, umso heikler sind zu hohe Nachhallzeiten für deren Nutzungsqualität. Häufig verstärken schallharte Glas- oder auch Betonflächen den Halleffekt.

Akustische Mängel hat jeder ganz real erlebt – es liegt in der Natur der Sache, dass sie eher auffallen als eine gute Qualität: Etwa wenn beim Gemeinde- oder Stadtfest gute Kommunikation möglich ist, wenn man nicht nur schreiend gegen eine dröhnende Geräuschkulisse ankommt.

Zum Bespiel wenn bei Kabarett- oder ähnlichen kulturellen Veranstaltungen in größeren Hallen die vorgetragene Sprache überall, auch in den hinteren Reihen gut verständlich ist.

Oder wenn bei Konzerten – unabhängig von ihrer Art – der Klang ausgewogen beim Zuhörer ankommt, wenn die Töne einzelner Instrumente nicht auf der Strecke bleiben oder verzerrt werden.

Aus der Kombination von Tragfunktion und akustischer Funktion erwachsen wiederum Kostenvorteile. Spezialisierte Elemente erfüllen neben der Tragfunktion als Dach- oder Deckenplatte auch die aussteifende Aufgabe als statische Scheibe und ersetzen so Verbände. Abhängungsarbeiten über Kopf entfallen.

Als effiziente Absorber haben sich z.B. Holzfaserplatten erwiesen, die bei der Produktion der Brettsperrholzelemente eingelegt werden können.

3.5 Wohnräume

Akustik ist im privaten Bereich nur scheinbar kein wichtiges Thema.

Die Aufenthaltsqualität kann allerdings leicht auf der Strecke bleiben, wenn glatte, schallharte Flächen die architektonische Gestaltung an Wand, Decke oder Boden prägen, wenn in großen Räumen eher spärlich möbliert wird oder wenn große Glasflächen zur Belichtung angeordnet werden.

4 Zusammenfassung

4.1 Ökologie

Die grundsätzlichen ökologisch-nachhaltigen Qualitäten des Baustoffs Holz sind unstrittig und in der Bevölkerung auch anerkannt. Für die weitere Verbreitung von multifunktionalen Bauelementen sind die folgenden Aspekte von Relevanz.

4.2 Ökonomie

Die oben beschriebenen integrierten, statisch tragenden Bauteillösungen sind häufig ökonomisch im Vorteil – wenn man den gesamten Funktionszyklus des Gebäudes betrachtet.

Reine Massivholzprodukte ohne Zusatznutzen dürften bei den im Holzbau oft hohen Qualitätsansprüchen aus ökonomischen Gründen auf Dauer weniger neue Absatzpotenziale bieten als leistungsfähige multifunktionale Bauelemente mit Zusatzfunktionen.

Da Raumakustik häufig Sache der Innenraumgestaltung bzw. Innenarchitektur ist, ist über die Konstruktion oft zu dem Punkt bereits entschieden oder gar in Ausführung, an dem die Gestaltung festgelegt wird. Zu spät also, um ein konstruktives Element einzubauen, das den Innenausbau „erledigt".

4.3 Planerische Aspekte

Information von Planern über die technischen Eigenschaften integrierter Elemente sowie die Bereitstellung von vergleichbaren Bauteildaten verschiedener Systeme sind für den Hochbauplaner essentiell und entscheiden über die Einbeziehung im Planungsprozess.

Die frühzeitige Einbeziehung der Innenarchitektur birgt zusätzliche Chancen.

4.4 Nachhaltigkeit

Nachhaltigkeit wird zunehmend nicht nur durch gesundes und ökologisches Bauen definiert, sondern erweitert nach funktionalen Aspekten beurteilt sowie aus dem Blickwinkel der Werts bzw. der Wertbeständigkeit des Gebäudes.

Der funktionale Aspekt guter Raumakustik und die Dauerhaftigkeit dieser Funktion beeinflussen die Nachhaltigkeit des Gebäudes wie die Lebensdauer der Konstruktion deutlich. Denn Nutzungsqualität und -flexibilität sowie die Tatsache, dass auch möglichst langfristig keine Nachbesserungen erforderlich sind, bestimmen letztlich den Wert des Gebäudes.

11.3 Brandschutz
Brandschutz im Holzbau

Dirk Kruse, Michael Dehne

1 Allgemeines

Das deutsche Baurecht fällt aufgrund der föderalen Struktur in den Kompetenzbereich der einzelnen Bundesländer. Maßgebend sind daher die einzelnen Landesbauordnungen (LBO), welche sich an der Musterbauordnung (MBO) orientieren. Aus Gründen der Vereinfachung wird nur die MBO 2002 herangezogen. Es ist zu beachten, dass die einzelnen LBO teilweise erheblich abweichen.

Die allgemeinen Schutzziele des deutschen Baurechts

- der Entstehung eines Brandes und der Ausbreitung von Feuer und Rauch vorzubeugen,
- die Rettung zu ermöglichen und
- wirksame Löscharbeiten zu gewährleisten

gelten für jede bauliche Anlage völlig unabhängig von den verwendeten Konstruktionsbaustoffen.

Die aus diesen Schutzzielen abgeleiteten materiellen Anforderungen orientieren sich an dem Risiko einer baulichen Anlage. Das Risiko wird dabei nicht durch die Konstruktion und die verwendeten Baustoffe sondern durch die konkrete Nutzung bestimmt. Neben den Landesbauordnungen, die im wesentlichen Wohn- und Verwaltungsnutzungen abdecken, existieren daher eine Reihe unterschiedlicher Sonderbauverordnungen.

Die Landesbauordnungen stellen ein konservatives Standardbrandschutzkonzept dar. In Abhängigkeit von der Nutzung, Höhe und Grundfläche des Gebäudes ist auch der Einsatz der Holzbauweise in gewissen Grenzen möglich. Unter dem Gesichtspunkt der brandschutztechnischen Anforderungen in Verbindung mit der Holzbauweise lassen sich die fünf Gebäudeklassen in drei Hauptgruppen unterteilen.

2 Gebäude geringer Höhe (GK2 – GK3)

Die Gebäude geringer Höhe sind auf eine Fußbodenhöhe des obersten Aufenthaltsraumes von bis zu 7 m begrenzt. Bis zu dieser Fußbodenhöhe ist der Einsatz von üblichen Feuerwehrsteckleitern möglich.

Für die tragenden und raumabschließenden Bauteile der oberirdischen Geschoße gilt die Anforderung feuerhemmend (F30-B). In der Gebäudeklasse 3 werden an das Untergeschoß erhöhte Anforderungen gestellt. Hier sind die tragenden und raumabschließenden Bauteile feuerbeständig (F90-A) auszuführen. Außenwandbekleidungen dürfen in der Baustoffklasse DIN 4102-B2 gemäß DIN 4102-1:1998-05 ausgeführt werden. Diese Anforderungen stellen den Holzbau vor keine größeren Herausforderungen. Es existiert eine Vielzahl von Standardkonstruktionen, die den Anforderungen genügen und in der Praxis bewährt sind. Sofern Sonderlösungen angestrebt werden, ist ein rechnerischer Nachweis über eine heiße Bemessung oder ein entsprechender Brandversuch möglich.

Die Bauteile sind vergleichsweise wirtschaftlich, so dass am Markt kein Nachteil gegenüber anderen Bauweisen besteht.

2 Gebäude mittlerer Höhe (GK4)

Die Gebäudeklasse 4 umfasst Gebäude mittlerer Höhe, die eine Fußbodenhöhe des obersten Geschosses mit Aufenthaltsräumen von bis zu 13 m und Nutzungseinheiten bis zu 400 m² aufweisen. Durch die Musterbauordnung 2002 [1] wird in Verbindung mit der Musterrichtlinie für Brandschutzanforderungen an hochfeuerhemmende Bauteile in Holzbauweise (M-HFHHolzR) [2] die Errichtung bis zu fünfgeschossiger Holzbauten ermöglicht. Die Grundsatzanforderungen an die tragenden und raumabschließenden Bauteile ist die hochfeuerhemmende Ausführung. Die hochfeuerhemmenden Bauteile erfüllen die Anforde-

rung F 60 (Feuerwiderstand nach DIN 4102-2 [9]) und K 60 (Kapselklasse nach DIN EN 13501 [10]

Die Grundlagen für diese Erleichterungen wurden durch theoretische Untersuchungen und ein umfangreiches Brandversuchsprogramm am Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (iBMB) der TU Braunschweig gelegt. Dabei wurde der Nachweis erbracht, dass das hohe brandschutztechnische Sicherheitsniveau in Deutschland auch bei Gebäuden in Holzbauweise im mehrgeschossigen Bereich aufrechterhalten werden kann.

Dabei wurden folgende Gefahrenpotentiale untersucht und durch geeignete konstruktive Maßnahmen entschärft:

- Zusätzlicher Eintrag von Brandlasten durch die Holztragkonstruktion,
- Beteiligung an der Rauchgasentwicklung und an Pyrolyseprodukten,
- Gefahr von Nachentzündungen,
- Bildung von Glutnestern innerhalb der Bauteile,
- Brandentstehung innerhalb der Konstruktion (durch Kurzschluss o.ä.),
- Brandeinleitung und Brandweiterleitung über Installation und
- Rauchweiterleitung über Anschlüsse.

Da alle brennbaren Bestandteile der Konstruktion im mehrgeschossigen Holzbau durch nicht-brennbare Bekleidungen eingekapselt werden, nimmt die Holztragkonstruktion für definierte Zeiträume nicht am Brandgeschehen teil. Weil wie bei allen anderen Bauweisen zunächst das im Brandraum vorhandene Mobiliar und sonstige Brandlasten (Fußbodenbeläge, Vorhänge etc.) am Brandgeschehen teilnehmen, ergibt sich bei Einkapselung der brennbaren Konstruktionsbrandlast kein erhöhtes Risiko im Vergleich zu Massivbauten.

Durch die Einkapselung der Holztragkonstruktion kann für definierte Zeiträume auch eine vermehrte Rauchgasentwicklung und die Entstehung von zusätzlichen Pyrolysegasen verhindert werden.

Die Verhinderung der Entzündung der Holztragglieder innerhalb der Konstruktion eliminiert außerdem die Gefahr von Nachentzündungen und eines verzögerten Tragfähigkeitsverlustes durch ggf. vorhandene Glutnester im Inneren der Bauteile nach dem Ablöschen des Primärbrandes.

Die Brandentstehung innerhalb der Konstruktion durch Installationen kann praktisch ausgeschlossen werden, indem alle gebündelten Installationsbrandlasten in Vorwandebenen geführt werden. Die Brandweiterleitung über Installationen in andere Nutzeinheiten kann verhindert werden, indem geeignete Abschottungsmaßnahmen angeordnet werden.

Das Problem der Rauchweiterleitung über Bauteilanschlüsse Wand / Wand und Wand / Decke kann beseitigt werden, indem die in der M-HFHHolzR genannten konstruktiven Mindestanforderungen erfüllt werden.

2.1 Kapselklasse K60

Im Zuge des Übergangs auf die europäische Klassifizierung von Bauteilen und der Einbindung in das deutsche bauaufsichtliche Verfahren wurde eine Norm zur Bestimmung der Brandschutzwirkung von Bekleidungen entwickelt. Diese europäische Norm DIN EN 14135 [11] legt ein Prüfverfahren zur Bestimmung der Fähigkeit einer Brandschutzbekleidung fest, den darunter liegenden brennbaren Baustoff gegen Entzündung, Verkohlung und andere Schäden während einer definierten Normbrandbeanspruchung (ETK) zu schützen.

Werden die in dieser Norm festgelegten Leistungskriterien (Verhinderung der Entzündung bzw. Verkohlung des Holzes) eingehalten, wird die Brandschutzbekleidung je nach Dauer ihrer

Schutzwirkung einer Kapselklasse nach DIN EN 13501 Teil 2 zugeordnet.

Zur Prüfung wird die Brandschutzbekleidung gemäß Abb. 1 auf eine Norm-Trägerplatte (gewöhnliche, nicht mit Flammschutzmitteln behandelte Holzspanplatte) montiert, die ihrerseits auf Holzbalken befestigt ist. An der Grenzschicht zwischen der Brandschutzbekleidung und der Holzspanplatte werden Thermoelemente angebracht, die die Temperaturerhöhung im Probekörper messen.

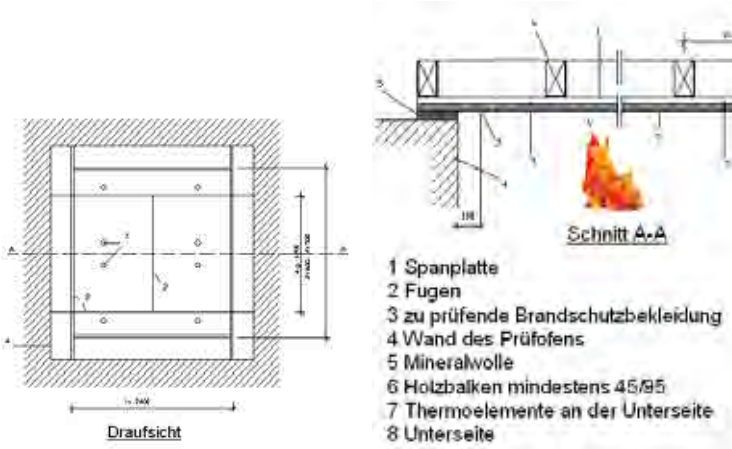


Abb. 1: Bestimmung der Brandschutzwirkung (Kapselkriterium K) im Deckenofen

Im Gegensatz zur Prüfung des Feuerwiderstandes nach DIN 4102-2 wird bei der Prüfung der Kapselwirkung der Brandschutzbekleidung, das heißt bei der Überprüfung der Fähigkeit der Bekleidung, den dahinter liegenden brennbaren Baustoff vor der Entzündung zu schützen, die Temperatur direkt hinter der Bekleidung betrachtet. Im Mittel muss die Temperaturerhöhung dort kleiner als 250 K und an der ungünstigsten Stelle kleiner als 270 K sein. Dieses Leistungskriterium resultiert aus der Erkenntnis, dass die Entzündungstemperatur von Holzständern unter schneller Erwärmung bei ca. 270 °C bis 300 °C liegt. Zudem darf keine Entzündung oder Verkohlung auf der Holzwerkstoffplatte auftreten. Schmelzen oder Schrumpfung wird als Schaden angesehen, Verfärbungen dagegen nicht. Die Brandprüfung wird nach Erreichen der angestrebten Kapselungsdauer beendet. Unmittelbar danach wird die Brandschutzbekleidung von der Norm-Trägerplatte entfernt, um diese auf Beschädigungen (Verkohlung oder Abbrand) zu untersuchen.

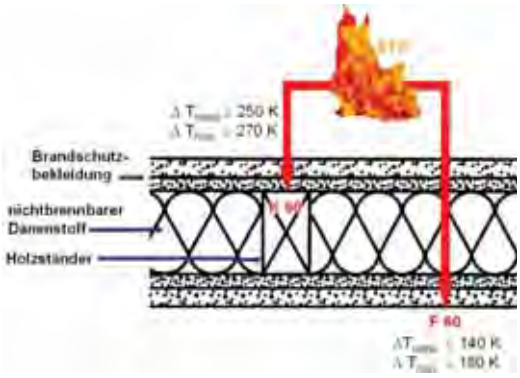


Abb. 2: Leistungskriterien K 60 und F 60 im Vergleich bei hochfeuerhemmenden, raumabschließenden Bauteilen in Holzbauweise

Die Ausführung in F 60-Qualität bereitet den Holzbauunternehmen keine Probleme, da diese Feuerwiderstandsklasse mit den Standardkonstruktionen ohne weiteres erreicht werden kann und eine relativ große Auswahl an geprüften Wand- und Deckenkonstruktionen existiert [7]. Auch die Anforderungen an die Rauchdichtigkeit der Anschlüsse gemäß M-HFHHolzR können mit relativ einfachen konstruktiven Maßnahmen erfüllt werden. Die Standardanschlussdetails der Unternehmen lassen sich mittels Fugenversätzen, sowie der Einhaltung von Verbindungsmittelabständen und durch die Anordnung von komprimierten, nichtbrennbaren Dämmstreifen problemlos ertüchtigen [8].

Problematisch ist dagegen die Erfüllung der Anforderung der Kapselklasse K 60 durch eine Brandschutzbekleidung. Wirtschaftliche Konstruktionen sind damit schwierig herzustellen, weil die Erfüllung der Leistungskriterien der Kapselklasse K 60 bei der Brandprüfung nach

DIN EN 14135 [5] die Verwendung von relativ dicken nichtbrennbaren Bekleidungen (z.B. 2 x 18 mm GKF) oder sogar spezieller Brandschutzplatten erfordert, die eine vorzeitige Rissbildung verhindern. Hinzu kommt, dass die konstruktiven Mindestanforderungen der M-HFHHolzR (z.B. Fugenversatz) zurzeit noch einen erhöhten Fertigungsaufwand verursachen, weil für viele Detailprobleme (z.B. die Öffnungsausleibung von Bauteileinbauten in der Art der brandschutztechnisch wirksamen Bekleidung) weiterhin noch keine industriell vorgefertigten Standardlösungen existieren.

Weitere Praxisprobleme bestehen darin, dass Bauherren mehrgeschossiger Holzbauten meist auch sichtbare Holzelemente und / oder (normalentflammbare) Holzfassaden wünschen. Dies ist jedoch gemäß MBO 2002 und M-HFHHolzR derzeit nicht zulässig.

In der Regel lassen sich jedoch mit einem ganzheit-lichen Brandschutzkonzept, welches speziell auf den Einzelfall zugeschnitten ist und nicht allein auf baulichen Maßnahmen beruht, viel wirtschaftlichere Lösungen erzielen. Die gezielt aufeinander abgestimmten baulichen, anlagentechnischen, abwehrenden und organisatorischen Komponenten führen zu einem optimalen Gesamtkonzept, mit dem die bauaufsichtlichen Schutzziele oftmals sogar zuverlässiger erfüllt werden, als mit dem „Brandschutzkonzept von der Stange“ der Landesbauordnungen bzw. der MBO.

Ein relativ hohes Kosteneinsparpotential im mehrgeschossigen Holzbau bietet die Reduzierung der Kapselklasse K 60 auf K 30. Um diese Anforderung sinnvoll kompensieren zu können, muss man sich zunächst die Frage stellen, welches Schutzziel damit verfolgt wird.
Die Anforderung K 60 dient nicht dem Ziel der Sicherstellung von Flucht und Rettung der Bewohner. In der Regel dürfte eine Evakuierung eines fünfgeschossigen (und damit relativ kleinen) Gebäudes 10 Minuten nach Brandentdeckung spätestens jedoch nach 20 Minuten abgeschlossen sein. Vielmehr bestanden seitens der Feuerwehren Bedenken, ob in mehrgeschossigen Holzbauten das Schutzziel der Ermöglichung einer wirkungsvollen Brandbekämpfung erfüllt werden kann. Die Befürchtungen bestanden darin, dass mögliche Brände im Innern der Holzbauteile sowie eine unkontrollierte Brandausbreitung über Hohlräume einen Löscherfolg erschweren könnten. Zudem wurde befürchtet, die Einsatzkräfte könnten nach dem Löschangriff noch durch ein möglicherweise eintretendes verzögertes Tragwerksversagen infolge eines versteckten Weiterbrandes hinter der Bekleidung gefährdet werden [12].

Um diese Gefährdungen auszuschließen, wurde vereinbart, Holzbauteile in der Gebäudeklasse 4 so auszubilden, dass sie während der ersten 60 Minuten nach Brandbeginn einem nichtbrennbaren Massivbauteil gleichgesetzt werden können. Dies setzt voraus, dass sich die brennbaren Holztragglieder während dieser Zeitspanne nicht entzünden dürfen.

Die Anforderung K 60 resultiert daher in erster Linie aus der Gewährleistung einer wirkungsvollen Brandbekämpfung durch die Feuerwehr. Wenn nun mittels geeigneter Anlagentechnik dafür Sorge getragen wird, dass der Brand rasch entdeckt wird und die Feuerwehr dementsprechend eher alarmiert wird, erscheint es vertretbar, die Kapselung der Holzbauteile entsprechend zu verringern.

Geeignet ist in diesem Zusammenhang eine automatische Brandmeldung über eine vernetzte Anlage nach DIN 14676 [15]. Die „echte“ Brandmeldeanlage nach DIN VDE 0833 Teil 2 [13] und DIN 14675 [14] sollte jedoch Sonderbauten, wie

Versammlungsstätten, Hochhäusern, Krankenhäusern, Pflegeheimen oder Verkaufsstätten, vorbehalten bleiben.

3 Gebäude mittlerer Höhe (GK 5)

Die Gebäudeklasse 5 schließt die Lücke von der fünfgeschossigen Bauweise bis zur Hochhausgrenze von 22 m für den Fußboden des obersten Aufenthaltsraumes. Die Grundsatzanforderung an die tragenden und aussteifenden Bauteile in der GK 5 ist die feuerbeständige Ausführung. Derartige Bauteile weisen per Definition einen Feuerwiderstand von 90 Minuten auf und müssen aus nicht-brennbaren Baustoffen bestehen. Damit bietet sich baurechtlich zunächst keine Möglichkeit sechs oder siebengeschossige Gebäude in Holzbauweise zu errichten.

Eine Umsetzung solcher Projekte ist derzeit daher nur im Rahmen von ganzheitlichen Brandschutzkonzepten mit entsprechenden Kompensationsmaßnahmen möglich.

Einige grundsätzliche Konstruktionsmerkmale sind dabei zu beachten. Die tragende Holzkonstruktion muss in Holzmassivbauweise hergestellt werden, um die Gefahr von Hohlraumbränden auszuschließen. Die Bauteile müssen auf einen Feuerwiderstand von 90 Minuten ausgelegt werden und mit einer brandschutztechnisch wirksamen Bekleidung der Kapselklasse $K_2$60 versehen werden. Die Geschoßdecken sollten zweckmäßigerweise als Holz-Beton-Verbundelemente realisiert werden, um eine absolute Rauchdichtigkeit über die Geschoße zu gewährleisten. Ein besonderes Augenmerk ist dabei auf die vertikale Installationsführung zu legen.

Besondere Bedeutung hat auch die Auslegung der Flucht- und Rettungswege. Die Ausbildung eines eigenen Treppenturmes in Massivbauweise, der permanent luftdurchspült ist und das Gebäude über Brücken erschließt, führt zu einer erheblich gesteigerten Sicherheit. Ein Ausfall des erstens Fluchtweges kann damit mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden. In Verbindung mit einer vernetzten Brandmeldeanlage ist damit die Flucht der Nutzer innerhalb kurzer Zeiträume absolut sichergestellt. Für die Rettungskräfte der Feuerwehr steht ein sicherer Angriffsweg zur Verfügung.

Bei Umsetzung dieser und anderer konstruktiver Merkmale erreicht ein siebengeschossiges Gebäude in Holzbauweise eine höhere Sicherheit als ein Massivbauwerk vergleichbarer Höhe in klassischer Konstruktion.

Abb. 3: Siebengeschossiges Gebäude in Holzbauweise in Berlin.

4 Zusammenfassung

Aufgrund der umfangreichen theoretischen und experimentellen Grundlagenuntersuchungen [2] ist es gelungen, die Bedenken der Bauaufsicht und der Feuerwehr gegenüber der Holzbauweise auszuräumen. Die MBO 2002 erlaubt in Verbindung mit der M-HFHHolzR die Erschließung der innerstädtischen Quartiere in mehrgeschossiger Holzbauweise. Wenn die konstruktiven Anforderungen der M-HFHHolzR erfüllt werden, können die mit der Brandschutzbekleidung eingekapselten Holzkonstruktionen für den Zeitraum der Kapselklasse als vollkommen gleichwertig zu Mauerwerks- oder Stahlbetonbauteilen betrach-

tet werden, da sich die Holztragglieder während dieser Zeitspanne nicht am Brand beteiligen. Die Feuerwehren sind in der Regel in der Lage, innerhalb der Zeitspanne der Kapselklasse wirksame Löscharbeiten durchzuführen. Über ganzheitliche Brandschutzkonzepte ist es sogar möglich bis zu sieben Geschoße zu realisieren.

Aktuelle Projekte beschäftigen sich mit der Entwicklung von sicheren normal-entflammbaren Fassadenkonstruktionen sowie transparenten Brandschutzbeschichtungen, um Holz auch sichtbar verbauen zu können.

Quellen

[1] Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an hochfeuerhemmende Bauteile in Holzbauweise (M-HFHHolzR). Fassung 2004; www.is-argebau.de

[2] Hosser, D.; Dehne, M.; Zehfuß, J.: Theoretische und experimentelle Grundlagenuntersuchungen zum Brandschutz bei mehrgeschossigen Gebäuden in Holzbauweise; Forschungsauftrag der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung unter Beteiligung des iBMB/MPA der TU Braunschweig sowie der VHT Heusenstamm; Stufe 1: Theoretische Grundlagenuntersuchungen, Stufe 2: Experimentelle Grundlagenuntersuchungen; Abschlussbericht Juli 2000

[3] Brandschutzkonzept 2005G103-B1 „Mehrfamilienhaus im Vauban". Dehne, Kruse & Partner Brandschutzingenieure, Gifhorn August 2005

[4] Kerbl, R.; Peter, M.; Dehne, M.: Sechsgeschossiges Pflegeheim in Holzbauweise. Bauen mit Holz, Fachzeitschrift für konstruktiven Holzbau und Ausbau, Ausgabe 01/2005, S. 34-38, (2005)

[5] Dehne, M., Pape, H., Kruse, D., Krolak, M.: Informationsdienst Holz spezial, Brandschutzkonzepte für mehrgeschossige Gebäude und Aufstockungen in Holzbauweise. Dezember 2005

[6] Musterbauordnung (MBO) Fassung 2002; www.is-argebau.de

[7] Fraunhofer Informationszentrum Raum und Bau IRB. www.irbdirekt.de

[8] Hosser, D.; Zehfuß, J.; Dehne, M.: Brandschutz bei Gebäuden mittlerer Höhe in Holzständerbauweise. vfdb-Zeitschrift, Heft 2 (2001), S. 71-78

[9] DIN 4102 Teil 2, Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen. Bauteile: Begriffe, Anforderungen und Prüfungen, Fassung September 1977

[10] DIN EN 13501-2, Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten – Teil 2: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Feuerwiderstandsprüfungen (mit Ausnahme von Produkten für Lüftungsanlagen), Deutsche Fassung Dezember 2003

[11] DIN EN 14135, Bestimmung der Brandschutzwirkung, Deutsche Fassung 14135:2004

[12] Dehne, M.; Kruse, D.: Mehrgeschossiger Holzbau – Erhöhte Risiken für die Feuerwehr? Brandschutz Deutsche Feuerwehrzeitung, Ausgabe 6/2005, Seite 426 – 437

[13] ISO 5660 – Fire tests – Reaction to fire, Part 1: Heat release rate from building products (Cone calorimeter method)

[14] DIN 4102 Teil 9, Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen, Kabelabschottungen, Begriffe, Anforderungen und Prüfungen, Fassung Mai 1990

[15] Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an Leitungsanlagen. Muster-Leitungsanlagenrichtlinie MLAR, Fassung März 2000

11.3 Brandschutz
Sicher hoch hinaus im Holzbau
Übertriebener Ehrgeiz oder zwingende Notwendigkeit?

Karsten Tichelmann

1 Mehrgeschossiger Holzbau – warum?

Holz und Holzwerkstoffe für mehrgeschossige Wohn- und Bürogebäude zu zulassen scheint für einige unverständlich und wird als riskante Spielerei angesehen. Doch weder ist dies riskant und auch die Motivation ist eine grundsätzlich andere.

Die Unsicherheit bezüglich der tatsächlichen Leistungsfähigkeit von Holz führt dazu, diesen Werkstoff oft profan zu verwenden. Architekten, Ingenieure und auch Genehmigungsbehörden sind mit ihren Ansprüchen an den Baustoff Holz oft zu bescheiden. Die mit dem Werkstoff Holz erstellten Bauwerke und Gebäudestrukturen spiegeln nur unseren heutigen Kenntnisstand und die nur mäßig umgesetzten technischen Möglichkeiten wieder. Seit einigen Jahren widmet man sich der der Frage, ob das Potential des Werkstoffs Holz für mehrgeschossige Gebäude erschöpft ist.

Die Antwort darauf ist eindeutig, der Weg dahin wird jedoch nur zögerlich beschritten. Die Verwendung von Holz und Holzwerkstoffen für den mehrgeschossigen Wohnungs- und Bürobau ist wirtschaftlich und auch im Hinblick auf alle sicherheitsrelevanten Belange – im Besonderen des Brandschutzes – ohne Einschränkung möglich und ökologisch zwingend notwendig.

Wenn der Bausektor zur Sicherung einer zukunftsfähigen Wirtschaft beitragen soll, so setzt dies voraus, dass verstärkt Bauweisen und Baustoffe eingesetzt werden, welche die Anforderung eines niedrigeren Material-, Massen- und Energieeinsatzes erfüllen. Holz als Baustoff mit der höchsten Ressourceneffizienz ist ein maßgeblicher Hoffnungsträger für ein künftiges ökologisches und ökonomisches Bauen - auch in mehrgeschossigen Gebäuden.

Abb. 1: Mehrgeschossiger Holzbau in Vancouver/Kanada (VHT)

Dem stehen jedoch noch eine verbreitete konservative Haltung und ein auf Marktanteile fixierter Lobbyismus massiver Bauweisen entgegen. Dies ist mit den globalen gesellschaftspolitischen Zielsetzungen und der zukunftsfähigen Sicherung unseres Wohlstandes nicht vereinbar.

Weltweit wird nach Lösungen gesucht, den bereits vorhandenen Anteil des Treibhausgases CO_2 in unserer Atmosphäre zu reduzieren. Im Hinblick auf das Weltklima ist nicht mehr der Minderverbrauch das Ziel sondern die schnellstmögliche Reduktion des CO_2-Gehaltes unserer übersättigten Atmosphäre. CO_2 „Speicherseen“ im Erdinneren oder in den Tiefen unserer Ozeane sind Gegenstand internationaler Sonderforschungsbereiche. Die Eisendüngung unserer Meere für Algen-

und Planktonfarmen sind Hoffnungsträger unser Klima zu stabilisieren. Doch im Bauwesen, den ressourcenintensivsten Sektor der Wirtschaft in Österreich und Deutschland, ignorieren wir, dass die verstärkte Verwendung von Holz und Holzwerkstoffen ein zwingend notwendiger Beitrag sein muss.

Die Reduktion des Heizenergieverbrauches wird weltweit forciert. Dass die Energie- und Ressourcenverbräuche unserer konservativen Bauweisen der bei der Entstehung eines Gebäudes ein Vielfaches des Heizenergieverbrauches des gesamten Lebenszykluses betragen ist oft nicht bekannt. Einen nachdenklichen Aufschluss geben die Untersuchungen des Mipshaus-Instituts. Die Bewertung von Material-Input pro Service-Einheit (MIPS) ist ein anerkanntes Verfahren zur Bewertung der Umweltinanspruchnahme von Produkten wie Baustoffen und gesamten Gebäuden entlang des gesamten Lebenswegs. In Analogie zum Nachweis des Jahres- Primärenergiebedarfs wird der Nachweis der verbrauchten Ressourcen von Luft, Boden, Wasser und nicht regenerierbarer Energien geführt. Empfehlungen für die zulässigen und wirtschaftlich vertretbaren Grenzwerte werden derzeit vom Mipshaus-Institut erarbeitet.

Die Unsicherheit bezüglich der tatsächlichen Leistungsfähigkeit von Holz führt dazu, diesen Werkstoff oft profan zu verwenden. Architekten, Ingenieure und auch Genehmigungsbehörden sind mit ihren Ansprüchen an den Baustoff Holz oft zu bescheiden. Die mit dem Werkstoff Holz erstellten Bauwerke und Gebäudestrukturen spiegeln nur unseren heutigen Kenntnisstand und die technischen Möglichkeiten wieder. Seit einigen Jahren widmet man sich der der Frage, ob das Potential des Werkstoffs Holz für mehrgeschossige Gebäude erschöpft ist.

Die Antwort darauf ist eindeutig, der Weg dahin wird jedoch nur zögerlich beschritten. Die Verwendung von Holz und Holzwerkstoffen für den mehrgeschossigen Wohnungs- und Bürobau ist wirtschaftlich und auch im Hinblick auf alle sicherheitsrelevanten Belange – im Besonderen des Brandschutzes – möglich.

Dies erfordert eine ganzheitliche Betrachtung von Gebäudestrukturen aus Holz und Holzwerkstoffen, unter Berücksichtigung modernster, konzeptioneller Lösungen die auf der Grundlage der „K-Bauweise“ (auch als „Kapseltechnik“ bezeichnet) basieren.

Abb. 2: Viergeschossiger Holzbau in Mischbauweise, Düsseldorf (Petzinka Pink Architekten)

2 Entwicklungen im Brandschutz mehrgeschossiger Holzhäuser

Die wesentlichen Ziele der Regelungen bezüglich des Brandschutzes sind (in gewichteter Reihenfolge):

Entstehung und Ausbreitung von Feuer und Rauch verhindern,

- Rettung von Menschen und Tieren,

- Löschangriff zu ermöglichen ,
- Sachwerte- und Umweltschutz.

Die Brandentwicklung, Brandausbreitung und das Einsatzgeschehen der Feuerwehren wird maßgeblich durch die Brandlasten (mobile und immobile Brandlasten) beeinflusst, wie

- Mobiliar,
- Lager- und Produktionsstoffe,
- Bauteiloberflächen usw.

Die wesentlichen Brandlasten ergeben sich damit aus den Einrichtungen (Mobiliar) und der Nutzung - nicht aus den verwendeten Baustoffen (Bauprodukten) und Bauarten. Diese bleiben in der Regel bauordnungsrechtlich unberücksichtigt (mit Ausnahme von DIN 18230-1). Der Anteil und die Wirksamkeit der immobilen Brandlasten resultieren aus den verwendeten Baustoffen der Trag- und Ausbaukonstruktionen. Die 'Wirksamkeit' der in einem Bauteil enthaltenen Brandlasten hängt vor allem ab von:

- dem konstruktiven Aufbau und Schichtung eines Bauteils,
- der Oberflächenausbildung und -behandlung,
- dem Verbund oder der Verbindung mit anderen Baustoffen.

Tab 1: Klassifizierung des Brandverhaltens (ohne Bodenbeläge) [Bauregelliste 2002/1]:

Bauaufsichtliche Benennungen	Zusatzforderungen		Europäische Klasse nach DIN EN 13501-1	Klasse nach DIN 4102-1
	Kein Rauch	Kein brenn. Abfallen/ Abtropfen		
Nicht brennbar	X	X	A1	A1
	X	X	A2 – s1 d0	A2
Schwerentflammbar	X	X	B, C – s1 d0	B1[1]
		X	B, C – s3 d0	
	X		B, C – s1 d2	
			B, C – s3 d2	
Normalentflammbar		X	D – s3 d0 E	B2[1]
			D – s3 d2	
			E – d2	
Leichtentflammbar			F	B3
[1] Angaben über hohe Rauchentwicklung und brennendes Abtropfen/Abfallen im Verwendbarkeitsnachweis und in der Kennzeichnung				

Der zusätzliche Eintrag der immobilen Brandlasten durch die Tragkonstruktion von Holzhäusern ist nur dann von Bedeutung, wenn

1. diese im Brandfall auch thermisch umgesetzt werden können, also dem Feuer zugänglich sind oder die zeitliche Umsetzung der Brandlasten durch die immobilen Brandlasten beeinflusst wird und
2. diese immobilen Brandlasten in einem bedeutenden Verhältnis zu den mobilen Brandlasten stehen.

Wie die Untersuchungen in [3] belegen, ist das Risikopotential durch die konstruktionsspezifischen Brandlasten von Gebäuden in konsequente BA-Bauweisen von geringer Bedeutung. Die Brandlasten können in ausreichendem Maße durch nichtbrennbare Plattenwerkstoffe wie Gipsbrandschutzplatten (z.B. Ridurit, Fireblock, Fireboard) aber auch Gipskarton- und Gipsfaserplatten, gekapselt werden.

Für die Entstehung und Weiterleitung eines Brandes ist die Brennbarkeit eines Baustoffes von Bedeutung. Gemäß DIN 4102-1: 1998-05 werden

Baustoffe entsprechend ihrem Brandverhalten in verschiedene Baustoffklassen eingeteilt. Das europäische Klassifizierungssystem regelt zusätzlich zum Brandverhalten die Brandnebenerscheinungen. Jeweils drei Klassen mit Angaben zur Rauchentwicklung (smoke release rate: s1, s2, s3) und zur brennenden Abtropfbarkeit (d0, d1, d2) sind festgelegt.

In Tab. 2 wird die europäische Klassifizierung bzgl. des Feuerwiderstandes von Bauteilen verbindlich zugeordnet. Die Hauptkriterien für die Klassifizierung des Feuerwiderstandes sind die Tragfähigkeit (R), der Raumabschluss (E) und die Wärmedämmung (I); weitere Leistungskriterien können angefügt werden. Das bisherige deutsche Klassifizierungssystem, basierend auf DIN 4102,

und das europäische Klassifizierungssystem werden für eine Übergangszeit gleichwertig und alternativ anwendbar sein.

Tab 2: Feuerwiderstandsklassen von Bauteilen nach DIN EN 13501-2 bzw. –3 und ihre Zuordnung zu den bauaufsichtlichen Benennungen [Bauregelliste 2002/1]:

Bauaufsichtliche Benennung	Tragende Bauteile		Nichttragende Innenwände	Nichttragende Außenwände	Doppelböden	Selbständige Unterdecken
	ohne Raumab.	mit Raumab.				
feuerhemmend	R 30	REI 30	EI 30	E 30 (i→o) und EI 30 (i←o)	REI 30 ETK (f)	EI 30 (a→b) EI 30 (a→b) EI 30 (a↔b)
	[F 30]	[F 30]	[F 30]	[W 30]	[F 30]	[F 30 von oben nach unten] [F 30 von unten nach oben) [F 30 von beiden Richtungen]
	R 60	REI 60	EI 60	E 60 (i→o) und EI 60 (i←o)		EI 60 (a→b) EI 60 (a→b) EI 60 (a↔b)
	[F 60]	[F 60]	[F 60]	[W 60]		[F 60 von oben nach unten] [F 60 von unten nach oben) [F 60 von beiden Richtungen]
feuerbeständig**	R 90	REI 90	EI 90	E 90 (i→o) und EI 90 (i i←o)		EI 90 (a→b) EI 90 (a→b) EI 90 (a↔b)
	[F 90]	[F 90]	[F 90]	[W 90]		[F 90 von oben nach unten] [F 90 von unten nach oben) [F 90 von beiden Richtungen
Feuerwiderstandsdauer 120 Min.	R 120	REI 120	--	--		--
	[F 120]	(F 120]	--	--		--
Brandwand	--	REIM 90	EI M 90	--		--

Tab. 3: Erläuterungen der Klassifizierungskriterien und der zusätzlichen Angaben zur Klassifizierung des Feuerwiderstands nach DIN EN 13501-2 und -3

Herleitung des Kurzzeichens	Kriterium	Anwendungsbereich
R Résistance)	Tragfähigkeit	zur Beschreibung der Feuerwiderstandsfähigkeit
E (Étanchéité)	Raumabschluss	
I (Isolation)	Wärmedämmung (unter Brandeinwirkung)	
W (Radiation)	Begrenzung des Strahlungsdurchtritts	
M (Mechanical)	Mechanische Einwirkung auf Wände (Stoßbeanspruchung)	
S (Smoke)	Begrenzung der Rauchdurchlässigkeit (Dichtheit, Leckrate)	Rauchschutztüren (als Zusatzanforderung auch bei Feuerschutzabschlüssen), Lüftungsanlagen einschließlich Klappen
C… (Closing)	Selbstschließende Eigenschaft (ggf. mit Anzahl der Lastspiele) einschl. Dauerfunktion	Rauchschutztüren, Feuerschutzabschlüsse (einschließlich Abschlüsse für Förderanlagen)
P	Aufrechterhaltung der Energieversorgung und/oder Signalübermittlung	Elektrische Kabelanlagen allgemein
I_1, I_2	unterschiedliche Wärmedämmungskriterien	Feuerschutzabschlüsse (einschließlich Abschlüsse für Förderanlagen)
… 200, 300, … (°C)	Angabe der Temperaturbeanspruchung	Rauchschutztüren
i→o i←o i↔o (in – out))	Richtung der klassifizierten Feuerwiderstandsdauer	Nichttragende Außenwände, Installationsschächte/-kanäle, Lüftungsanlagen/-klappen
a→b a←b a↔b (above – below)	Richtung der klassifizierten Feuerwiderstandsdauer	Unterdecken
f (full)	Beanspruchung durch „volle" ETK (Vollbrand)	Doppelböden
v_e, h_o (vertical, horizontal)	für vertikalen/horizontalen Einbau klassifiziert	Lüftungsleitungen/-klappen
u/u (uncapped/) uncapped	Rohrende offen innerhalb des Prüfofens/Rohrende offen'außerhalb des Prüfofens	Rohrabschottungen
c/u (capped/ uncapped)	Rohrende geschlossen innerhalb des Prüfofens/Rohrende offen außerhalb des Prüfofens	

3 Anforderungen und Möglichkeiten

Neu im Entwurf der Musterbauordnung in Deutschland (MBO) erfolgt eine Klassifizierung in fünf Gebäudeklassen. Insbesondere die Gebäudeklasse 4 für Gebäude mit einer Höhe bis zu 13 m des Fußbodens des obersten Geschosses und Nutzungseinheiten mit jeweils nicht mehr als 400 m² eröffnet dem mehrgeschossigen Holzbau neue Wege.

Auf der Grundlage eines durch das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt) über die Deutsche Gesellschaft für Holzforschung e. V. (DGFH) finanzierten Forschungsvorhabens wurden im Entwurf zur MBO – neu zusätzliche Bestimmungen aufgenommen, die Gebäude mittlerer Höhe in Holzbauweise betreffen. Die Forschungsergebnisse wurden in der „Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an hochfeuerhemmende Bauteile in Holzbauweise (M-HFH HolzR)" zusammengefasst. Mit der Feuerwiderstandsklasse F 60 (hochfeuerhemmend) in Verbindung mit dem ebenfalls neu eingeführten Kapselkriterium können so nun bis fünfgeschossige Gebäude in Holzbauweisen errichtet werden.

Abb. 3: Mode- und Bürozentrum KWS. Viergeschossiger Holzbau in Mischbauweise, Düsseldorf (Petzinka Pink Architekten)

Dabei kommt dem Konzept der „nichtbrennbaren Oberflächen“ eine neue Bedeutung zu. Bauteile in K-Bauweise (Bauteile mit einem Kapselkriterium oder auch "BA-Bauweise" genannt) ermöglichen es im Bauteilinneren bei gleichzeitiger Forderung nichtbrennbarer Oberflächen brennbare Baustoffe einzusetzen. Grundsätzlich zeichnen sich BA-Bauteile durch folgende Eigenschaften aus:

- brennbare Tragkonstruktion, z.B. Holz und Holzwerkstoffe [B-Baustoffe]
- nichtbrennbare Brandschutzbekleidung in Form von mehrlagigen Plattenwerkstoffen, z.B. Gipsplatten des Typs Ridurit, Fireboard, GKF [A-Baustoffe]

Durch ein solches Kapselkriterium wird die Anforderung an den Raumabschluss z.B. von Wohnungstrennwänden und eine definierte Tempera

Abb. 4: Fünfgeschossige Wohnanlage in Holzbauweise, Seattle/USA (VHT)

turgrenze von 300 °C, die eine Entzündung von Holz und Holzwerkstoffen nicht zulässt über einen nahezu beliebigen Zeitraum von den Brandschutzbekleidungen erfüllt.

Dabei kapseln diese so genannten "brandschutztechnisch wirksamen Bekleidungen" die Brandlasten der Holzkonstruktion über einen definierten Zeitraum. Ein Entzünden der Holzkonstruktion wird dadurch ausgeschlossen. Der tatsächliche Feuerwiderstand im Sinne von DIN 4102 ist bei diesen BA-Bauteilen sogar höher als der bezeichnete Feuerwiderstand. So weisen Bauteile der Klasse F60-BA (auch als K60 bezeichnet) in der Regel einen Feuerwiderstand von mehr als F90 nach DIN 4102 auf.

Abb. 5: Fünfgeschossiges Wohn- und Bürogebäude in Holzbauweise, Portland/USA (VHT)

Alle Untersuchungen zeigen, dass der Aspekt immobiler Brandlasten von mehrgeschossigen Holzhäusern bei konsequenter Kapselung (BA-Bauweise) für den Personenschutz ohne Bedeutung ist und durch den nicht beeinflussbaren Anteil der mobilen Brandlasten bestimmt wird. Die Materialität einer Bauweise verliert in einer Risikoabschätzung noch stärker an Bedeutung, wenn die Toxizität der Verbrennungsprodukte der Einrichtungsgegenstände (mobile Brandlasten) in die Betrachtungen mit einbezogen wird.

4 Brandschutzkonzept

Wie bereits erwähnt, repräsentieren die bauordnungsrechtlichen Einzelvorschriften an Bauteile und Baustoffe, an Brandabschnitte und Rettungswege ein vom Gesetzgeber gewünschtes Sicherheitsniveau und bilden damit „Standardbrandschutzanforderungen".

Abb. 6: Mehrgeschossiger Holzbau in Vancouver/ Kanada (VHT)

Um komplexere und anspruchsvollere Bauaufgaben mit Holz und Holzwerkstoffen zu ermöglichen, sind alternative Brandschutzkonzepte, die auf eine Sicherheitsbetrachtung für eine spezielle Bauaufgabe abgestimmt sind, notwendig. Dies geschieht durch ein individuell erstelltes Brandschutzkonzept. Ein erfolgreiches Beispiel ist die Landesvertretung des Landes Nordrhein-Westfalen (Abbildung). Dabei handelt es sich um ein viergeschossiges Gebäude mit 5.000 m² Nutzfläche mit verschiedenartigen Nutzungen. Konferenzbereiche, Wohnapartments, Gastronomie, Büros, Ausstellungsbereiche, Atrien, Wintergärten wurden in diesem besonderen Gebäude mit einem innovativen Brandschutzkonzept vereint.

5 Fazit

Holzbauteile sind heute für bis zu fünfgeschossige Gebäude normaler und eine Vielzahl von Bauwerken besonderer Art und Nutzung aus brandschutztechnischer Sicht problemlos verwendbar. Ergänzend sind Abweichungen von den Verordnungen sowie Sonderbaurichtlinien und daraus resultierend eine weitergehende Verwendung von Holz in Bauwerken möglich, wenn durch Brandschutzkonzepte nachgewiesen wird, dass die geforderten Schutzziele erreicht werden. Während der Planung und Ausführung ist in besonderem Maße zu berücksichtigen, dass die brandschutztechnische Wirksamkeit eines Bauteils in erheblichem Maße von der Detailausbildung abhängt. Eine undichte Rohrdurchleitung oder ein undichter Deckenanschluss können die Investition in die Brandschutzbekleidung eines hochwertigen Bauteils zunichte machen.

Abb. 7: Fünfgeschossige Wohnanlage in Holzbauweise, Seattle/USA (VHT)

Die Innovationspotentiale im mehrgeschossigen Holzbau sind noch immens und dessen Möglichkeiten scheinbar noch lange nicht erreicht. Ein gesellschaftlicher Fortschritt wäre es, wenn nicht

erst eines Tages ökologische Zwänge hierzu führen würden.

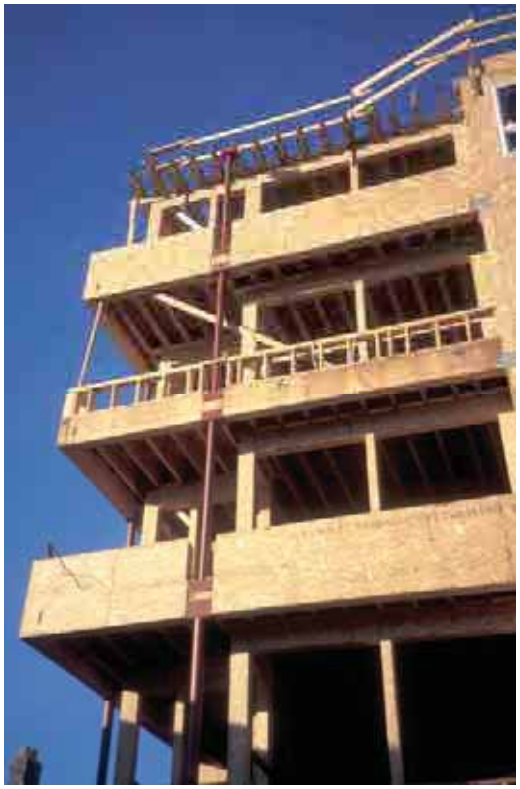


Abb. 8: Fünfgeschossige Wohnanlage in Holzbauweise, Lahti/ Finnland (VHT)

Quellen

[1] Tichelmann, K. 'Ergebnisse der Grundlagenuntersuchung zum Brandschutz bei mehrgeschossigen Gebäuden in Holzbauart', Tagungsband zur 9. DGfH-Brandschutztagung, Würzburg, 2001

[2] Winter, S., Schopbach, H.: Schutzregelungen für den Holzbau, Quadriga, Ausgabe 2/2004, Verlag Kastner Wolnach, 2004

[3] Hosser, Tichelmann, Wesche, 'Theoretische und Experimentelle Grundlagenuntersuchungen zum Brandschutz mehrgeschossiger Gebäude in Holzbauweise - Teil 1', IRB-Baufachliteratur, Fraunhofer IRB-Verlag, Stuttgart, 1998

[4] Tichelmann, Pfau: Forschungsbericht "Planungs- und Konstruktionsrichtlinie mehrgeschossiger Holzhäuser", Versuchsanstalt für Holz- und Trockenbau, im Auftrag der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung, München 1997

[5] Winter, S.: Informationsdienst Holz – holzbau handbuch, Reihe 3, Teil 4, Folge 1 – Grundlagen des Brandschutzes. Entwicklungsgemeinschaft Holzbau (EGH) in der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung e.V., München, 1997-08

[6] Winter, S.: Informationsdienst Holz – holzbau handbuch, Reihe 3, Teil 4, Folge 3 – Brandschutz im Holzbau – gebaute Beispiele. Entwicklungsgemeinschaft Holzbau (EGH) in der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung e.V., München, 2001-09

[7] Tichelmann, Pfau: Trockenbauatlas, Rudolf Müller Verlag, Köln, 2007, 3. Auflage

[8] Hausladen, Tichelmann: Ausbau-Atlas, Detail-Verlag, München 2008

11.3 Brandschutz
Hochgefüllte Papiere als Holzfaserverbundwerkstoff – Potential im Brandschutz

Andreas Hofenauer

1 Prinzip der Funktionalisierung von Papieren durch Füllstoffe

Im klassischen Sinne haben anorganische Füllstoffe im Kontext Papiererzeugung die Funktion einer Kostenreduktion bzw. Eigenschaftsverbesserung des Papiers z.B. hinsichtlich Oberflächenglätte, Bedruckbarkeit oder Opazität. Dabei werden in der Regel Füllstoffgehalte von 40 Gew.-% nicht überschritten. Ein neuer Ansatz besteht nun darin, den Füllstoffgehalt drastisch zu steigern mit dem Ziel, das Eigenschaftsprofil des Papiers durch den eingesetzten Füllstoff zu definieren. Bei der Papiertechnischen Stiftung (PTS) ist in Kooperation mit der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen Nürnberg ein Verfahren entwickelt worden, Papiere bis zu 85 Gew.-% mit anorganischen Füllstoffen anzureichern. Dies bedeutet, dass im Papiergefüge mindestens doppelt soviel an Volumen vom Füllstoff eingenommen wird als vom Zellstoff. Der Füllstoff liegt so zu sagen „im Papierformat“ vor. Es entsteht ein Holzfaserbasierter Verbundwerkstoff mit vielseitigen Anwendungsoptionen. Werden für diesen Zweck Füllstoffe verwendet, die besondere Eigenschaften aufweisen wie zum Beispiel Sinterfähigkeit oder Adsorptionseigenschaften, eröffnen sich neue Wege in der Werkstofftechnik. Denn die hochgefüllten Papiere sind so beschaffen, dass sie trotz des hohen Füllstoffgehaltes papiertechnologisch geformt und so in typische Papierstrukturen wie z.B. Wellpappen- oder Wabenstrukturen überführt werden können. Diese papierabgeleiteten Strukturen sind ebenfalls in erster Linie durch die Eigenschaften der Füllstoffe geprägt. Bei der PTS sind zunächst als Füllstoffe keramische Pulver in diesem Zusammenhang eingesetzt worden. Die mit keramischen Füllstoffen angereicherten Papiere wurden zu Wellpappe und weiteren typischen Papierstrukturen verarbeitet und thermisch in Keramik umgewandelt. Darüber hinaus sind Kohlenstoffpulver (Ruß, Graphit und Aktivkohle) in Papieren angereichert worden. Derartige Papiere zeigen durch die Füllstoffe interessante Eigenschaften wie elektrische Leitfähigkeit oder hohe Adsorptionsleistung. Kombiniert mit papiertechnologischer Formgebung ergeben sich auch hier neuartige Anwendungsfelder für den Holzabgeleiteten Werkstoff Papier.

2 Aktuelle Forschungsarbeiten

Hochgefüllte und dadurch funktionalisierte Papiere bieten die Möglichkeit, papierspezifische Vorzüge wie kontinuierliche Fertigung, Flächigkeit, Mehrlagigkeit, Wickelbarkeit und vielfältige Formbarkeit anderen Werkstoffen an die Hand zu geben. Die PTS beschäftigt sich seit rund fünf Jahren mit der Thematik und betreibt Forschungsarbeiten konkret in den Bereichen adsorptive Papiere sowie Sinterpapiere (Keramik und Metall).

2.1 Adsorptive Papiere

Im Bereich adsorptive Papiere ist es das Ziel, Papiere bereits beim Papierherstellungsprozess hochgradig mit adsorptiven Füllstoffen wie zum Beispiel Aktivkohle, Silicagel oder Zeolithen anzureichern. Wird zum Beispiel ein Papier mit 70 Gew.-% Aktivkohle angereichert, liegen bei einer Grammatur des Papiers von 300 g/m² rund 210 g/m² Aktivkohle flächig organisiert vor. Wird ein derartiges Papier zum Beispiel zu Wellpappen verformt können so effektiv gut zugängliche Strukturen mit hoher Adsorptionskraft realisiert werden. Anwendungsfelder für diesen Ansatz liegen zum Beispiel im Bereich der Luftreinigung und Filtration.

2.2 Sinterpapiere

Die Nutzung von Holz- basierenden Rohstoffen für die Herstellung von Technischer Keramik ist seit rund acht Jahren Gegenstand von Forschungsprojekten. Unterschiedlichste Holzarten wurden im großen Umfang z.B. bei der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen / Nürnberg mittels

Pyrolyse und anschließender Infiltration mit Silizium in biomorphe SiSiC-Keramik überführt [1]. Da derartige Keramiken aufgrund der natürlichen Schwankungen der Holzeigenschaften für technische Anwendungen oft nicht ausreichend definierte Eigenschaften sowie keine zuverlässige Reproduzierbarkeit aufweisen, ist der Ansatz auf Holzwerkstoffe ausgeweitet worden. In einem Kooperationsprojekt zwischen der Holzforschung München (TU München) sowie dem Institut für Bauweisen und Konstruktionsforschung des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Stuttgart konnte nachgewiesen werden, dass auf der Basis technischer Hölzer SiSiC-Keramiken mit handelsüblichen Eigenschaften hergestellt werden können [2]. Auch die Nutzung von Papierstrukturen für die Herstellung technischer Keramiken mit Leichtbaustruktur ist seit einigen Jahren Gegenstand von Forschungsprojekten. Hierbei werden Papierstrukturen mit keramischen Schlickern getränkt und thermisch in Keramik überführt [3,4]. Nachteilig hierbei ist, dass ein aufwendiger Infiltrationsprozess notwendig ist, um ausreichend präkeramische und / oder keramische Komponenten in das Papiergefüge einzubringen. Außerdem ist eine homogene Verteilung dieser Komponenten im Papiergefüge durch einen Infiltrationsvorgang nicht immer gewährleistet.

Die PTS hat in enger Kooperation mit der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen / Nürnberg im Rahmen öffentlicher Forschungsprojekte (Otto von Guericke) finanziert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) in einem neuen Ansatz Spezialpapiere entwickelt, welche bereits beim Papierherstellungsprozess mit bis zu 85 Gew.-% mit keramischen Pulver angereichert wurden. Trotz des hohen Füllstoffgehaltes können die Papiere geformt und z.B. in Wellpappen- oder Wabenstrukturen überführt werden. Der so resultierende keramische Grünkörper lässt sich im Anschluss über einen Sinterprozess in Keramik überführen [5], [6], [7].

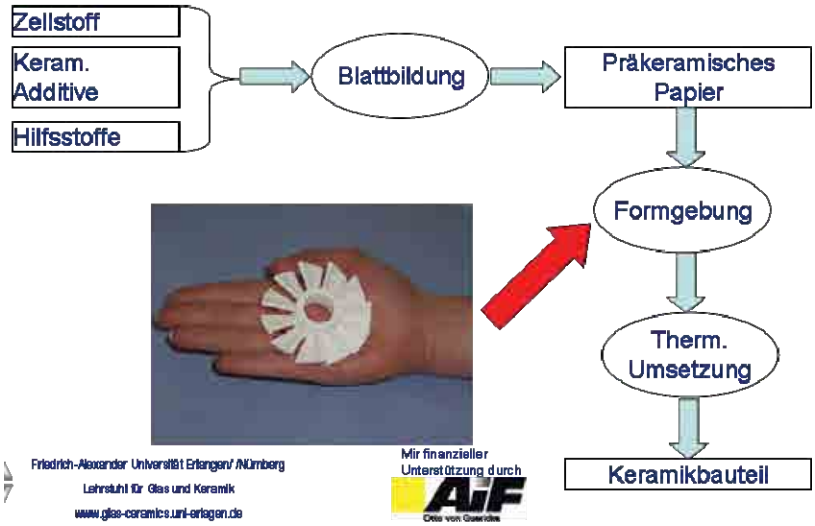


Abb. 1: Prinzip des keramischen Sinterpapiers

In Abb. 2 ist der Querschnitt eines keramischen Sinterpapiers mittels Rasterelektronenmikroskopie dargestellt. Man erkennt deutlich hell kontrastierend das Aluminiumoxidpulver. Dunkel sind die quer und längs geschnittenen Zellstofffasern zu erkennen. Es wird deutlich, dass das Mikrogefüge des Papiers durch den Füllstoff geprägt ist.

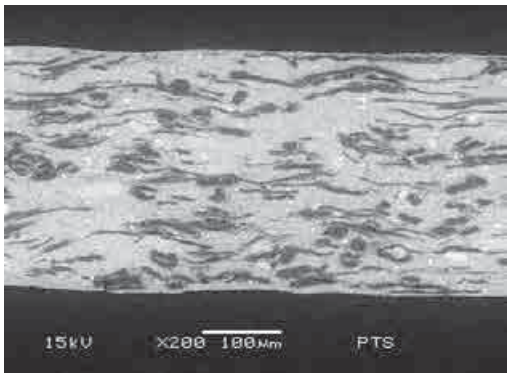


Abb. 2: Querschnitt eines Al_2O_3-Papiers, hell: Keramischer Füllstoff, dunkel: Zellstofffasern (Rasterelektronenmikroskopie, Rückstreumodus)

Die Verteilung des Füllstoffes ist dabei sowohl in Papierebene als auch senkrecht zu dieser hinreichend homogen. Eine ausreichende räumliche Nähe der keramischen Partikel zueinander sowie eine ausreichende Konektivität der Pulverphase sind gewährleistet, so dass ein Versintern der Partikel möglich ist.

2.2.1 Thermische Umsetzung

Die thermische Umsetzung der keramischen Sinterpapiere verläuft analog zu klassischen keramischen Grünkörpern in Abhängigkeit des vorliegenden keramischen Systems. Bei dem angeführten Bespiel der mit Aluminiumoxid angereicherten Papiere erfolgt die thermische Umsetzung in zwei Schritten. Zunächst wird der Entbinderungsbrand durchgeführt. Hier werden bei einer Spitzentemperatur von 800 °C die organischen Komponenten in erster Linie bestehend aus Zellstoff sowie Stärke und Latex oxidativ entfernt. Der entstehende sogenannte Braunling wird in einem zweiten Schritt bei einer Zieltemperatur von 1600 °C gesintert. Hierbei erfährt das Sintergut einen Schwund. Bei dem angeführten Beispiel liegt der lineare Sinterschwund zwischen 15 und 17 %.

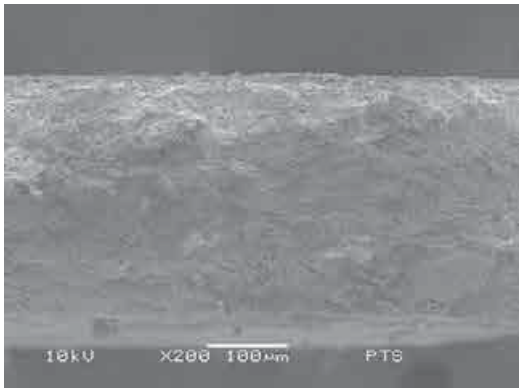


Abb. 3: Querschnitt eines Al_2O_3 -Papiers nach der Sinterung, Bruchfläche (Rasterelektronenmikroskopie)

Nach der thermischen Umsetzung liegt die ursprüngliche Papierstruktur als keramischer Werkstoff vor (Abb. 3), was unter anderem durch die für Keramik typischen Festigkeiten (z.B. Biegefestigkeit > 100 MPa) zum Ausdruck kommt.

2.2.2 Dimensionen der Formgebung

Dieses auf Holzfasern basierende Hybridmaterial ermöglicht den Brückenschlag zwischen Papiertechnologie und dem Werkstoff Keramik und hat zur Folge, dass eine Vielzahl papiertechnologischer Formgebungsverfahren für den Werkstoff Keramik nutzbar gemacht werden kann. Papierabgeleitete Strukturen sind ein gutes Beispiel für materialeffizienten Leichtbau. So funktionieren Wellpappenstrukturen nach dem Fachwerkbauprinzip. Mit wenig Material werden hohe Festigkeiten und hohe Steifigkeit erreicht. Neben Wellpappenstrukturen sind z.B. auch Wabengeometrien oder die Wickelhülsetechnologie für die Keramikherstellung von hohem Interesse. Was für die Papierindustrie Stand der Technik ist, stellt eine ernorme Erweiterung von Geometrieoptionen im Bereich der Keramikherstellung dar, welche in erster Linie traditionell Umformung in Gestalt von Pressen, Spritzguss oder Extrusion betreibt.

Trotz des hohen Füllstoffgehaltes von über 80 Gew.-% können die entwickelten Spezialpapiere wie Papier gefaltet und geformt werden, bevor sie thermisch in den keramischen Werkstoff überführt werden. Ermöglicht wird dies durch das Zusammenwirken des Zellstofffasernetzwerkes mit Stärke und Latex, welche bereits bei der Papierherstellung in der Masse zugeführt werden. In Abb. 4 sind Beispiele papierabgeleiteter Keramikstrukturen dargestellt.

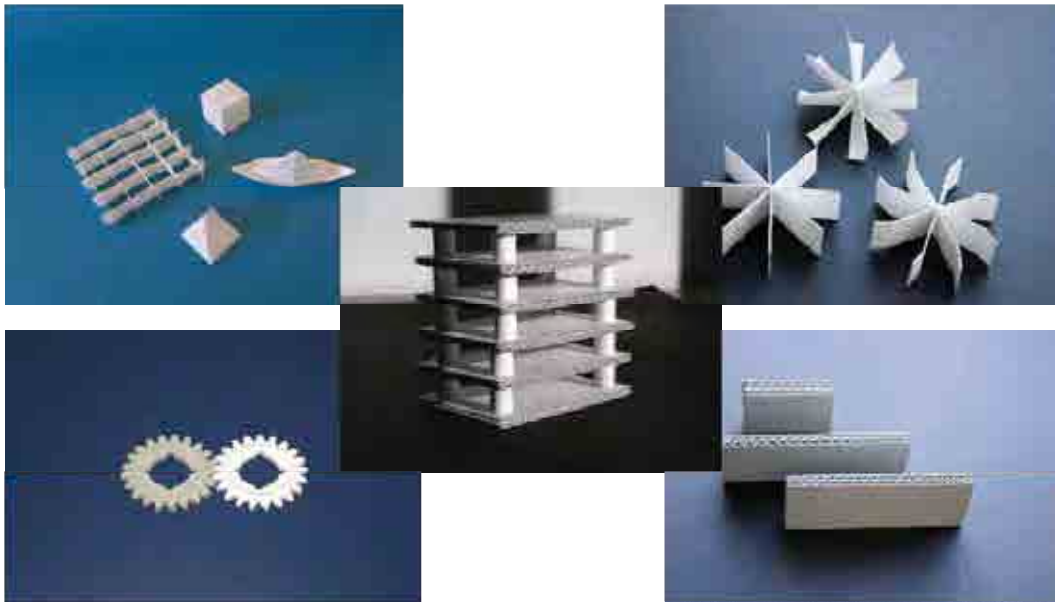


Abb. 4: Beispiele für papierabgeleitete Keramikstrukturen (PTS München)

2.2.3 Vorteilspotential für Keramikindustrie und Anwendungsoptionen

Der Ansatz der keramischen Sinterpapiere verfolgt das Ziel, ausgereifte etablierte Papiertechnologie (Herstellung, Beschichtung und Formgebung) der keramischen Industrie an die Hand zu geben.

Die papiertechnologischen Vorzüge kommen besonders bei solchen Anwendungsbereichen zum Tragen, bei welchen variable Formgebung oder Leichtbauweise verlangt wird. Anwendung wie im Bereich der Hochtemperaturtechnik, Filtration oder Brandschutz stehen hierbei im Vordergrund.

3 Option der Kombination mineralisch hochgefüllter Papiere mit Holzwerkstoffen – Brandschutz

Werden Papiere oder Pappen mit bis zu 85 Gew. % mit anorganischen Füllstoffen angereichert, ist die Brennbarkeit dieses Faserverbundes erheblich reduziert. Werden derartige Papiere z.B. in Form eines Wabenkerns mit ebenfalls schwer entflammbaren Holzwerkstoffen kombiniert, könnten Leichtbaustrukturen höherer Brandschutzklassen für den Baubereich realisiert werden. Derzeitig wird von der PTS zusammen mit der Holzforschung München ein Projekt geplant, in welchem diese Materialkombination gezielt entwickelt werden soll.

3.1 Ziel des geplanten Vorhabens

Das Hauptziel des geplanten Projektes besteht in der Entwicklung von mineralisch angereicherter Holzwerkstoffplatten und Spezialpapieren, die nicht brennbar sind, und im zweiten Schritt in der Herstellung eines Verbund- Leichtbaustoffes (mit Waben- und Wellpappenstruktur) aus den beiden Komponenten. Zur Herstellung der Leichtbaustrukturen sollen papiertechnologische Formgebungs- und Verarbeitungsverfahren genutzt werden können.

Bei den Holzwerkstoffplatten besteht das Forschungsziel in erster Linie darin, bei ausreichend hohem Anteil mineralischer Komponenten einen dünnen plattenförmigen Werkstoff mit hohen Brandschutzeigenschaften, einer Dichte im Be-

reich von 800 kg/m³ bis 900 kg/m³ und ausreichender Festigkeiten zu entwickeln. Es wird in der Entwicklung des weiteren das Ziel verfolgt, dass bei der angestrebten industriellen Fertigung der Spezialholzwerkstoff weitgehend mit der ausgereiften Verfahrenstechnik gearbeitet werden kann, die heute bereits zur Produktion von mineralisch gebundenen Holzwerkstoffen genutzt wird. Damit soll ein Verbundprodukt mit speziellen Eigenschaften geschaffen werden, das derzeit im Brandschutzbereich in dieser Kombination noch nicht existiert.

Im Rahmen des geplanten Projektes soll erforscht werden, inwieweit sich aus einer Kombination von mineralisch gefüllten Holzwerkstoffen und Papieren nicht brennbare und schwerentflammbare Leichtbaupaneele erzeugen lassen, die Vorteile im Hinblick auf die Anforderungen an Brandverhalten, Festigkeit, Gebrauchstauglichkeit sowie Preis besitzen. Die Arbeiten sollen zu einem Baustoff führen, dessen Masse deutlich unter denen der bisher üblichen Paneele (Blech und mineralisch gebundene Holzwerkstoffplatten z.B. abgehängte Decken) liegt und die somit für die Herstellung leichter Tragkonstruktionen verwendbar wären.

3.2 Forschungsbedarf

Mineralisch gefüllte Platten mit Holzfaserarmierung im Dickenbereich von 1 bis 3 mm (und auch dicker) werden bisher nicht produziert. Daher besteht grundlegender Forschungsbedarf bei der Herstellung von Platten bestehend aus mineralischen Füllstoffen, anorganischen sowie organischen Klebstoffsystemen und Holzfasern. Rezepturen sind zu entwickeln, mit denen derartige Holzfaserkompositwerkstoffe hergestellt werden können, die höchste Brandschutzanforderungen bei ausreichenden Festigkeiten erfüllen. Im Wesentlichen muss untersucht werden, bei welchem Auffaserungsgrad des Holzfaserstoffes, bei welcher Dichteverteilung und bei welcher Korngrößenstruktur des mineralischen Füllstoffes der beste Armierungseffekt mit den Holzfasern zu erreichen ist. Es sind Klebstoffsysteme zu untersuchen und Mischverfahren zu entwickeln, die die armierende Wirkung der Holzfaser steigern, wodurch eine Reduzierung der Plattendichte erreicht werden kann. Die Dichteverteilung über den Plattenquerschnitt (das sogenannte Dichteprofil) ist so zu gestalten, dass die äußeren Schichten der Platte stärker verdichtet sind als die Kernschicht. Des Weiteren ist zu evaluieren, inwieweit in den Holzfaserstoff oder in das organische Klebstoffsystem Brandschutzsalze (Bor- und Ammoniumsalze) eingebracht werden können, die die Brandeigenschaften verbessern und die mechanischen Eigenschaften nicht verschlechtern.

Die entwickelten mineralisch hochgefüllten Papiere und Platten müssen zu einem Leichtbaustoff zusammengefügt werden. Forschungsbedarf besteht bei der Verklebung der geformten Papierstrukturen (z.B. Waben- und Wellpappenstruktur) mit den Platten. Es werden Klebstoffsysteme auf anorganischer (z.B. Wasserglas) und organischer Basis (z.B. Reaktionsklebstoffe wie Epoxidharz mit Siliciumpulver, Polyurethan) untersucht, um an den Kontaktlinien zwischen Platten und den Papierstrukturen eine tragfähige Verklebung zu schaffen, die die Herstellung eines biegesteifen Verbund- Leichtbaustoffes möglich macht. Die Klebstoffsysteme sind so zu modifizieren (z.B. Gelierzeit, Viskosität), dass sie sich für den flächigen Auftrag oder für das klebstoffsparende Aufbringen auf die linienförmigen Kontaktflächen der Spezialpapiere eignen.

3.3 Leichtbaustoffe im Brandschutz Anwendungsbereiche und Anforderungen

3.3.1 Anwendungsbereiche

Leichtbaumaterialien werden im Brandschutz vor allem als nicht tragende innere Trennwände oder Paneele für abgehängte Decken (Unterdecken) eingesetzt.

Nicht tragende innere Trennwände werden mit und ohne nachgewiesenen Feuerwiderstand angeboten. Trennwände werden in der Baustoffklasse DIN 4102, Teile A1 und A2, in der Qualität F90 angeboten, wie sie in Flucht- und Rettungswegen größerer Gebäude gefordert werden.

Abgehängte Decken sind unterhalb der Rohdecke in Gebäuden angebracht und erzeugen einen darüber liegenden Hohlraum. Dieser wird für verschiedenste elektrische, lüftungstechnische und hydraulische Installationen verwendet. Unterdecken bestehen meist aus einer metallenen Rahmenkonstruktion, die an den angrenzenden Wänden und / oder über sog. Abhänger an der Rohdecke befestigt ist. Diese Rahmenkonstruktion ist so gestaltet, dass in ihre Aussparungen Deckenpaneele eingelegt oder eingehängt werden können.

Unterdecken sind in der Produktnorm DIN EN 13964 inkl. der verschiedenen Prüfverfahren genormt. Man unterscheidet Unterdecken mit und solche ohne Feuerwiderstand.

3.3.2 Anforderungen

Brandschutzmaterialien müssen leicht, temperaturbeständig und vor allem nicht brennbar sein. Sie müssen außerdem in der Regel mechanische Stabilität aufweisen, gut verarbeitbar und preiswert sein. Sie dürfen die Gesundheit nicht beeinträchtigen (z.B. durch die Abgabe gasförmiger Stoffe oder gesundheitsschädlicher Stäube). Oft ist zusätzlich eine Schallschutzfunktion erwünscht (vor allem bei Deckenpaneelen).

Nichttragende Wände können ortsfest oder verschieblich sein. Die Bauregelliste fordert den rechnerischen und / oder versuchstechnischen Nachweis nach DIN 4103-1. Dabei müssen verschiedene Belastungen wie z.B. Konsollasten und Linienlasten simuliert werden

3.4 Innovativer Beitrag der angestrebten Forschungsergebnisse

Durch Beplankung der mineralisch gefüllten Papierstrukturen (z.B. Waben- und Wellpappenstruktur) mit den mineralisch gefüllten Holzwerkstoffplatten hätten die Hersteller von mineralischen gebundenen Holzwerkstoffen die Möglichkeit, ihre Produktpalette durch einen leichten Baustoff hoher Brandschutz-Klassifizierung zu erweitern. Die heute gebräuchlichen Brandschutzplatten (Gipsfaser- und Gipsspanlatte, Zementspanplatte etc.) liegen in der Dichte im Bereich von 1.150 kg/m³ bis 1.500 kg/m³. Die weiterführenden Erkenntnisse von der Materialstruktur von mineralischen Werkstoffen mit Armierung durch organische Faser, ist die Basis für die Entwicklung neuer Baustoffe für den Brandschutz.

Im Gegensatz zu diesen schweren mineralisch gebunden Holzwerkstoffen könnten die Hersteller dieser Platten mit der Entwicklung der angestrebten Verbundplatte einen leichten Baustoff mit hoher Brandschutz-Klassifizierung (Klasse A, nicht brennbar) an die Hand bekommen, der weitgehend auf den vorhandenen Anlagen produziert werden kann.

4 Ausblick

Die hier geschilderten Materialentwicklungen im Bereich der Holzfaser basierenden Verbundwerkstoffe erfolgten in erster Linie im Rahmen vorwettbewerblicher Forschungsprojekte. Ziel ist es hier, auf der Basis dieser Projekte konkrete Produktoptionen zu identifizieren und Produktentwicklungen in Kooperationen mit der Anwenderindustrie durchzuführen. Es zeigt sich dabei immer wieder, das Holz zwar ein alter, aber auch ein hochmoderner Werkstoff ist, der auch als Komponente in Verbundwerkstoffen großes Potential beweist.

Quellen

[1] P. Greil, "Biomorphous Ceramics from Lignocellulosics," J. Eur. Ceram. Soc., 21, 105-18 (2001)

[2] A. Hofenauer, O. Treusch, F. Tröger, G. Wegener, J. Fromm, M. Gahr, J. Schmitt, W. Krenkel, „Dense reaction infiltrated Silicon/Silicon Carbide ceramics derived from wood based composites," Adv. Eng. Mater. 5, No. 11: 794 – 799 (2003)

[3] H. Sieber, H. Friedrich, Z. Zeschky, and P. Greil, "Light-Weight Ceramic Composites from Laminated Paper Structures," Ceram. Eng. Sci. Proc., 21, 129-43 (2000)

[4] H. Sieber, A. Kaindl, D. Schwarze, J.P. Werner, and P. Greil, "Light-Weight Cellular Ceramics From Biologically-Derived Preforms," Cerm. Forum Int.,77 [1,2] 21-5 (2000)

[5] O. Rusina, R. Kirmeier, A. Molinero, P. Greil, H. Sieber. „Manufacturing of highly porous SiC-ceramics from Si-filled cellulose fibre papers," Proceeding C17, 106th Annual Meeting, American Ceramic Society 2004

[6] H. Windsheimer, N. Travitzky, A. Hofenauer, and P. Greil, "Laminated Object Manufacturing of Preceramic-Paper-Derived Si-SiC Composites," Adv. Mater., 19 [24] 4515-9 (2007)

[7] N. Travitzky, H. Windsheimer, F. Fey, P. Greil, "Preceramic Paper-Derived Ceramics," J. Am. Ceram. Soc., 91 [11] 3477 – 3492 (2008)

11.3 Brandschutz

Mehrschnittige Stabdübelverbindungen und Brandschutz

Carsten Erchinger

Kurzfassung

Im Ingenieurholzbau wird das Verhalten eines Tragwerkes häufig durch den Tragwiderstand der Verbindungen bestimmt. Hochleistungsfähigen Verbindungen mit hohem Tragwiderstand kommt daher eine besondere Bedeutung zu. Für Holzbauwerke, an welche Brandschutzanforderungen gestellt werden, sind zuverlässige und realitätsnahe Berechnungsmodelle für die Bemessung von Verbindungen im Brandfall wichtig, da Verbindungen in der Regel dieselbe Feuerwiderstandsdauer wie die eigentlichen Holzbauteile aufweisen müssen. Häufig werden im Verbindungsbereich Stahlelemente eingesetzt, welche sich im Brandfall aufgrund ihrer geringen Masse und hohen Wärmeleitfähigkeit schnell erwärmen und Wärme ins Holz eintragen. Folglich ist mit steigenden Temperaturen im Verbindungsquerschnitt eine Abnahme der Steifigkeit und Festigkeit von Stahl und Holz zu beobachten, was zu einer Reduzierung des Tragwiderstandes führt.

Mehrschnittige Stahl-Holz-Stabdübelverbindungen mit innen liegenden Stahlblechen und durchlaufenden Stabdübeln gehören zu den leistungsfähigsten Verbindungen im konstruktiven Ingenieurholzbau und werden häufig eingesetzt. Allerdings wurde ihr Verhalten im Brandfall bislang noch nicht systematisch untersucht. Deshalb wurde am Institut für Baustatik und Konstruktion der ETH Zürich umfangreiche Versuche zum Verhalten von mehrschnittigen Stahl-Holz-Stabdübelverbindungen bei Raumtemperatur und im Brandfall durchgeführt, welche die Grundlage für das entwickelte Berechnungsmodell im Brandfall bildeten.

1 Einleitung

Die derzeit gültigen Brandschutzvorschriften in der Schweiz erlauben Holzbauwerke mit bis zu 6 Geschossen. Der damit verbundene vermehrte Einsatz der ökologischen Holzbauweise stellt hohe Anforderungen an den Brandschutz, da Holz im Gegensatz zu anderen Baustoffen ein brennbares Material ist. Dies bedeutet, dass verschiedene, aus der Brennbarkeit des Holzes entstehende Fragestellungen bezüglich Entwurf, Bemessung und Ausführung von Holzkonstruktionen genauer zu untersuchen sind. Damit soll das hohe Sicherheitsniveau auch für den mehrgeschossigen Holzbau beibehalten und die Ziele des Brandschutzes nicht beeinträchtigt werden.

Ein besonderes Kapitel bei der Brandschutzbemessung von Holzbauwerken stellen Verbindungen dar. Durch die Vielzahl an Verbindungsarten mit in der Regel metallischen Verbindungsmitteln (Stabdübel, Bolzen, Nägel, Schrauben, Dübel besonderer Bauart, Gewindestangen etc.) ist ein einheitliches Bemessungsverfahren im Brandfall quasi nicht möglich. Nicht nur die Kenntnis des zeitlichen Verlaufes des Holzabbrandes (Verringerung des Ausgangsquerschnittes) spielt eine wesentliche Rolle, sondern auch das thermische Verhalten der Stahlelemente sowie das Zusammenwirken von Holz und Stahl bei hohen Temperaturen. So wird in Brandversuchen an Holzbauteilen mit metallischen Verbindungsmitteln häufig ein erhöhter örtlicher Abbrand im Bereich der Stahlelemente beobachtet, was auf den Wärmeeintrag der Stahlelemente ins Holz zurückzuführen ist [1].

Abb. 1: Sechsschnittige Stahl-Holz-Stabdübelverbindung

Mehrschnittige Stahl-Holz-Stabdübelverbindungen mit innen liegenden Stahlblechen und durchlaufenden Stabdübeln finden bei hoch beanspruchten Knotenpunkten Anwendung, wie beispielsweise bei Fachwerkträgern. Die Kombination von Holz und Stahlelementen führt unter Einhaltung von normierten Mindestabständen der Verbindungsmittel nicht nur zu einem duktilen Versagensverhalten (Ausbildung von plastischen Deformationen in den Stabdübeln), sondern weist auch durch die innen liegenden Stahlbleche hinsichtlich des Brandverhaltens grosse Vorteile auf. Die durch den Abbrand des Seitenholzes entstehende Holzkohleschicht schützt die innen liegenden Stahlbleche vor einer direkten Brandbeanspruchung, so dass hohe Feuerwiderstandsdauern (ohne zusätzliche Brandschutzbekleidungen) erreicht werden können.

2 Brandverhalten Stabdübelverbindungen

2.1 Brandversuche

Im Rahmen des Teilprojektes B5 „Verbindungen der Feuerwiderstandsklassen R30 und R60“, welches sich in das von der Lignum geführte Forschungs- und Informationsprojekt „Brandsicherheit und mehrgeschossiger Holzbau“ [2] eingliedert, wurde das Brandverhalten von mehrschnittigen Stahl-Holz-Stabdübelverbindungen mit umfassenden experimentellen Untersuchungen analysiert. Die Tabelle 1 gibt eine Übersicht zum Versuchsprogramm. Im experimentellen Teil wurden für verschiedene Verbindungsgeometrien sowohl der Tragwiderstand bei Raumtemperatur F_u als auch die Feuerwiderstandsdauer unter vierseitiger ISO-Normbrandbeanspruchung ermittelt [1]. Die Versuchskörper der Brandversuche wurden in der Regel mit 30 % des mittleren Tragwiderstandes aus fünf Zugversuchen bei Raumtemperatur beansprucht. Es zeigte sich, dass die Stahlelemente einen wesentlichen Einfluss auf die Temperaturverteilung im Querschnitt haben. Mit Hilfe eines Laserscanners wurden anschließend die abgebrannten Versuchskörper vermessen, womit die Restquerschnitte als dreidimensionale Objekte erfasst und dargestellt werden konnten. Insgesamt wurden 18 Brandversuche mit konstanter Zugbeanspruchung von 30 % des mittleren Tragwiderstandes bei Raumtemperatur durchgeführt.

Tab 1: Übersicht zu den durchgeführten Kalt- und Brandversuchen

Art	Anzahl Versuche	Art	Beanspruchung [kN]	Mittlere Feuerwiderstandsdauer [Min.]	Bemerkungen
D01.1	5	Kalt	Bruch	---	200x200mm (GL24h), 3 Stahlbleche (5mm), 2x9 Stabdübel (d=6.3mm)
	2	Brand	$0.3 \cdot F_{u,D\,01.1} = 145$	33.0	
	2	Brand	$0.15 \cdot F_{u,D\,01.1} = 72$	36.0	
	2	Brand	$0.075 \cdot F_{u,D\,01.1} = 36$	41.0	
D01.2	5	Kalt	Bruch	---	280x280mm (GL24h), 3 Stahlbleche, 2x9 Stabdübel (d=6.3mm)
	2	Brand	$0.3 \cdot F_{u,D\,01.2} = 173$	73.0	
D01.3	2	Brand	$0.3 \cdot F_{u,D\,01.1} = 145$	64.5	s. Verbindung D01.1; Verbindungsbereich mit Dreischichtplatten (27mm) verkleidet
D01.4	2	Brand	$0.3 \cdot F_{u,D\,01.1} = 145$	60.5	s. Verbindung D01.1; Verbindungsbereich mit Gipsfaserplatten (15/18mm) verkleidet
D02.1	5	Kalt	Bruch	---	200x200mm (GL24h), 3 Stahlbleche, 3x9 Stabdübel (d=6.3mm)
	2	Brand	$0.3 \cdot F_{u,D\,02.1} = 188$	31.0	
D03.1	5	Kalt	Bruch	---	200x200mm (GL24h), 3 Stahlbleche, 3x3 Stabdübel (d=6.3mm)
	2	Brand	$0.3 \cdot F_{u,D\,03.1} = 69$	32.5	
D04.1	5	Kalt	Bruch	---	200x200mm (GL24h), 2 Stahlbleche, 2x4 Stabdübel (d=12mm)
	2	Brand	$0.3 \cdot F_{u,D\,04.1} = 124$	34.5	

In der Regel zeigte sich im Brandfall ein Versagen der Verbindungen auf Lochleibung ohne Deformation der Stabdübel, was in der Literatur allgemein als Versagensmodus I bezeichnet wird [3] (Abb. 2 Mitte). Durch den Abbrand der Seitenhölzer geht die Einspannwirkung der Stabdübel verloren. Die hohen Temperaturen am direkten Übergangsbereich zwischen Stabdübel und Holz führen zu einer Ovalisierung der Stabdübellöcher (Abb. 2 unten).

Abb. 2: Versuchsanordnung der Brandversuche (oben), Versagensmodus I (Mitte) und Ovalisierung der Stabdübellöcher (unten)

2.2 Thermische FE-Untersuchungen

In Ergänzung zu den Brandversuchen wurden transient thermische Finite- Elemente- Berechnungen mit dem Softwarepaket Ansys Workbench [4] unter Berücksichtigung der physikalischen und thermodynamischen Gesetzmässigkeiten durchgeführt, um den Einfluss der massgebenden Parameter, wie beispielsweise Stabdübeldurchmesser, Seitenholzdicke, Anzahl Bleche etc. auf den Abbrand zu untersuchen. Holz als brennbares Material zersetzt sich bei hohen Temperaturen unter Bildung von Holzkohle und brennbaren Gasen (Pyrolyse). Da die Effekte der Pyrolyse (Feuchte- und Massentransport, Risse in der Holzkohle etc.) von herkömmlicher Software nicht unterstützt werden, erfolgten die FE-Berechnungen durch Anpassung der thermischen Materialeigenschaften des Holzes (Wärmeleitfähigkeit, Wärmekapazität und Abnahme der Rohdichte) an Versuchsresultate. Der Vergleich zwischen numerisch und in Versuchen von König [5] ermittelten Temperaturverläufen für unterschiedliche Holztiefen eines Holzbauteiles zeigt Abb. 3 oben. Die gute Übereinstimmung, insbesondere im festigkeitsrelevanten Temperaturbereich bis etwa 300 °C (Abbrandgrenze), bestätigt die Annahmen des verwendeten thermischen Materialmodells für Holz. Für Stahl sind die thermischen Eigenschaften gut bekannt und können der Literatur entnommen werden. Vergleiche zwischen den in den Brandversuchen gemessenen und numerisch ermittelten Temperaturen sind in [6] zu finden.

Neben der Übereinstimmung von gemessenen und numerisch ermittelten Temperaturverläufen im Querschnitt ist die korrekte Erfassung des tragfähigen Restquerschnittes wichtig. Reicht der Restquerschnitt nicht mehr aus beziehungsweise sind die Temperaturen im Restquerschnitt zu hoch, versagt die Verbindung. Effekte aus Temperaturüberlagerungen an den Ecken lassen sich dabei numerisch genauso gut abbilden wie der

erhöhte Einbrand am direkten Übergangsbereich zwischen Stahlelementen und Holz (Abb. 3 unten rechts).

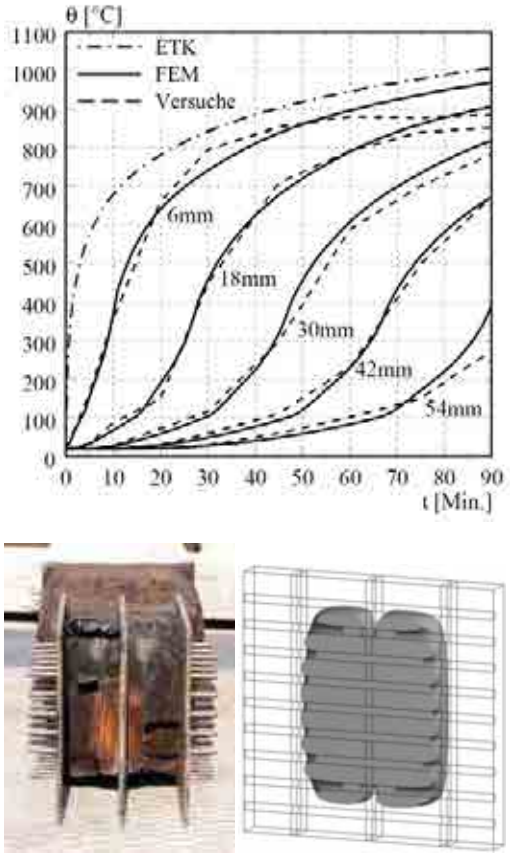


Abb. 3: Vergleich zwischen numerisch und experimentell [5] ermittelten Temperaturverläufen in einem Holzbauteil für unterschiedliche Holztiefen (oben); Vergleich zwischen experimentell und numerisch ermitteltem Restquerschnitt (unten) am Beispiel einer getesteten sechsschnittigen Verbindung beim Erreichen der Feuerwiderstandsdauer (Numerisch festgelegte Abbrandgrenze: 300 °C)

3 Bemessungsverfahren

3.1 Bemessungsverfahren für Holzbauteile im Brandfall

Die thermischen FE-Untersuchungen bildeten die Grundlage für das entwickelte Bemessungskonzept, welches in Anlehnung an die für die Bemessung von Holzbauteilen im Brandfall empfohlene „Methode mit reduziertem Querschnitt" gemäß EN 1995-1-2 [7] für mehrschnittige Stahl-Holz-Stabdübelverbindungen weiterentwickelt wurde. Die „Methode mit reduziertem Querschnitt" sieht vor, dass aus dem Restquerschnitt ein ideeller Restquerschnitt durch Reduzierung der brandbeanspruchten Flächen um den Wert $k_0 \cdot d_0$ ermittelt wird. Es wird angenommen, dass das Material nahe der Abbrandgrenze mit der Schichtdicke $k_0 \cdot d_0$ keine Festigkeit und Steifigkeit aufweist, während die Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften des verbleibenden Querschnittes als unverändert angenommen werden. Der Tragwiderstand im Brandfall kann folglich mit den Festigkeits- und Steifigkeitswerten bei Raumtemperatur ermittelt werden ($k_{mod,fi}$=1.0). Der Wert $k_0 \cdot d_0$ wird für eine Brandeinwirkungsdauer zwischen 20 und 60 Minuten konstant mit 7 mm angenommen.

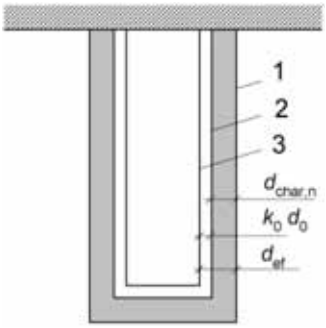


Abb. 4: Methode mit reduziertem Querschnitt
Legende:
1 Anfängliche Oberfläche des Bauteils
2 Grenze des Restquerschnittes
3 Grenze des ideellen Querschnittes

3.2 Vereinfachtes Bemessungsverfahren für mehrschnittige Stahl-Holz-Stabdübelverbindungen im Brandfall

Mit Hilfe der numerischen Untersuchungen war es möglich, eine Parameterstudie der relevanten Einflussgrössen durchzuführen und ein Bemessungsverfahren im Brandfall abzuleiten. Die Grundlage bildet der in den Brandversuchen be-

obachtete Versagensmodus I (Lochleibungsversagen im Holz). Das Berechnungsmodell verwendet den nicht-linearen und temperaturabhängigen Verlauf der Lochleibungsfestigkeit und betrachtet räumliche Temperaturfelder zwischen zwei in Beanspruchungsrichtung hintereinander liegend angeordneten Stabdübeln. Damit wird jeder Stabdübel entsprechend seiner Lage im Querschnitt differenziert betrachtet.

Zur Ermittlung des Tragwiderstandes von mehrschnittigen Stahl-Holz-Stabdübelverbindungen bei vierseitigem Normbrand wird in Anlehnung an die „Methode mit reduziertem Querschnitt" (vgl. Kap. 3.1) gemäß EN 1995-1-2 der verbleibende Restquerschnitt A_r (Werte $d_{char,s}$ und $d_{char,o}$) und daraus der ideelle Restquerschnitt A_{ef} (Wert d_{red}) ermittelt (Abb. 5). Zur Vereinfachung wird seitlich (Index s) und oberseitig (Index o) derselbe Wert d_{red} abgezogen, so dass folglich gilt:

$$d_{ef,s} = d_{cher,s} + d_{red} \quad \text{bzw.}$$
$$d_{ef,o} = d_{char,o} + d_{red} \quad [\text{mm}] \quad (1)$$

Der Bemessungswert des Tragwiderstandes im Brandfall für eine Zugbeanspruchung parallel zur Faserrichtung ergibt sich nach Gleichung (2). Der Wert k_{fi} berücksichtigt den im Brandfall zulässigen 20%-Fraktilwert einer Steifigkeits- oder Festigkeitseigenschaft gemäß EN 1995-1-2 und beträgt für auf Abscheren beanspruchte Verbindungen mit Seitenteilen aus Holz $k_{fi} = 1.15$.

$$R_{d,t,fi} = A_{ef} \cdot f_{t,0,k} \cdot k_{fi} \; [\text{N}]$$
$$\text{mit } A_{ef} \; [\text{mm}^2]$$
$$f_{t,0,k} = 16{,}5 \; \text{N/mm}^2 \; (\text{GL24h}) \quad (2)$$

Das entwickelte vereinfachte Bemessungsverfahren für mehrschnittige Stahl-Holz-Stabdübelverbindungen setzt die Einhaltung der folgenden Randbedingungen voraus:

- Die normierten, minimalen Rand-, End- und Zwischenabstände der Verbindungsmittel für die Bemessung bei Raumtemperatur gemäß EN 1995-1-1 [8] sind auch für die Bemessung im Brandfall gültig (Ausnahme: Zwischenabstand a_1=7d anstelle a_1=5d). Kleinere Abstände sind im Brandfall ungünstig, für grössere Abstände liegen die Berechnungen auf der sicheren Seite. Es wird eine Zugbeanspruchung parallel zur Faser vorausgesetzt.
- Die Mindestbreite der Verbindungen beträgt $b \geq 160$mm.
- Die zugrunde gelegten Festigkeitsklassen richten sich nach der Anzahl an hintereinander liegend angeordneten Stabdübelreihen n. Es wird die Festigkeitsklasse GL24h vorausgesetzt. Für hochbeanspruchte Verbindungen mit drei Stabdübelreihen (n=3) muss zur Vermeidung eines Holzbruches die Festigkeitsklasse GL36h verwendet werden.

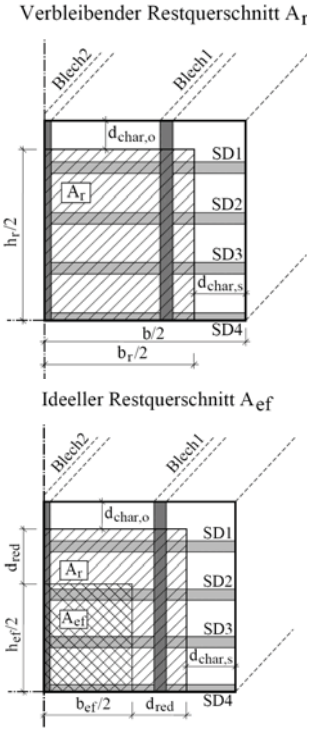


Abb. 5: Vorgehensweise zur Ermittlung des Tragwiderstandes von mehrschnittigen Stahl-Holz-Stabdübelverbindungen im Brandfall, dargestellt am Viertelsquerschnitt einer Verbindung (SD= Stabdübel)

Für mehrschnittige Stahl-Holz-Stabdübelverbindungen kann der seitliche Abbrand $d_{char,s}$ analytisch gemäß Abb. 6 für die Feuerwiderstandsdauern von 30 Minuten (oben) und 60 Minuten (unten) in Abhängigkeit der eindimensionalen Abbrandrate für Nadelholz β_0=0.65 mm/Min. ermittelt werden. Für eine geforderte Feuerwiderstandsdauern von 60 Minuten sind allseitige Holzaufdickungen (Vorhaltemasse c_s bzw. c_o) vorzusehen.

b < 200mm → Vorhaltemass $c_s = c_o$ = 45mm

b ≥ 200mm → Vorhaltemass $c_s = c_o$ = 40mm

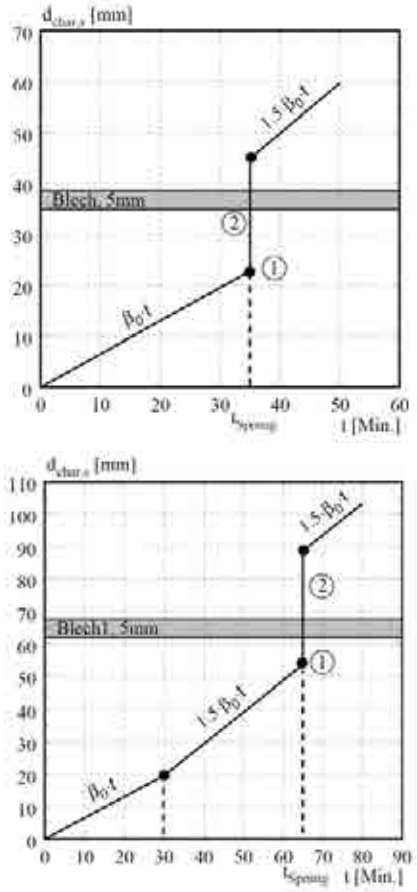


Abb. 6: Ermittlung des seitlichen Abbrandes von zwei-, vier- und sechsschnittigen Stahl-Holz-Stabdübelverbindungen für eine Feuerwiderstandsdauer von 30 Minuten (oben) bzw. 60 Minuten (unten)

Der Verlauf des seitlichen Abbrandes wird durch zwei wesentliche Punkte bestimmt: die Sprungzeit t_{Sprung} (Punkt 1 in Abb. 6) und die Sprunghöhe des Abbrandes vom Seiten- ins Mittelholz $d_{char,Sprung}$ (Punkt 2 in Abb. 6). Die Bestimmungsgleichungen sind für die unterschiedlichen Stabdübeldurchmesser von der Seitenholzdicke abhängig und können für eine geforderte Feuerwiderstandsdauer von 30 Minuten gemäß den Gleichungen (3)-(10) ermittelt werden. Den Gleichungen liegt die Auswertung einer Vielzahl von baupraktisch üblicherweise verwendeten Verbindungsgeometrien zugrunde [9]. Die Bestimmungsgleichungen für 60 Minuten sowie für weitere Feuerwiderstandsdauern sind in [6] zu finden.

Punkt 1: Ermittlung der Sprungzeit t_{Sprung}

- Vierschnittige Stahl-Holz-Stabdübelverbindung:

d=6-8mm:	$t_{Sprung} = 0.4t_1 + 14$	[Min.]	mit	$30 \le t_1 \le 70$mm	(3)
d=10-14mm:	$t_{Sprung} = 0.5t_1 + 14$	[Min.]	mit	$30 \le t_1 \le 70$mm	(4)
d=16-20mm:	$t_{Sprung} = 0.6t_1 + 13.5$	[Min.]	mit	$30 \le t_1 \le 70$mm	(5)

- Sechsschnittige Stahl-Holz-Stabdübelverbindung

d=6-8mm:	$t_{Sprung} = 0.4t_1 + 16$	[Min.]	mit	$30 \le t_1 \le 70$mm	(6)
d=10mm:	$t_{Sprung} = 0.45t_1 + 18.5$	[Min.]	mit	$30 \le t_1 \le 70$mm	(7)

Punkt 2: Ermittlung des Abbrandsprunges $d_{char,Srpung}$

$d_{char,Sprung} = 0.8t_1 - 7$	[mm]	für	b ≤ 240mm	(9)
$d_{char,Sprung} = 0.8t_1 - 11$	[mm]	für	b > 240mm	(10)

Der ober- / unterseitige Abbrandverlauf $d_{char,s}$, welcher mittig zwischen den Stahlblechen ermittelt wird (Abb. 5), kann unabhängig von der Brandeinwirkungsdauer konstant mit dem 1,1-fachen der eindimensionalen Abbrandrate β_0 ermittelt werden (Abb. 7).

Zur analytischen Ermittlung des ideellen Restquerschnittes A_{ef} wurde der Einfluss der Geometrie (Verhältnis der Ausgangsbreite b zur Breite des verbleibenden Restquerschnittes b_r), der Brandeinwirkungsdauer und der Anzahl an hintereinander liegend angeordneten Stabdübelreihen n auf den Wert d_{red} jeweils getrennt analysiert und anschliessend zu endgültigen Bestimmungsgleichungen zusammengefasst. Die Bestimmungsgleichungen für eine Feuerwiderstandsdauer von 30 Minuten zeigen die Gleichungen (11)-(14).

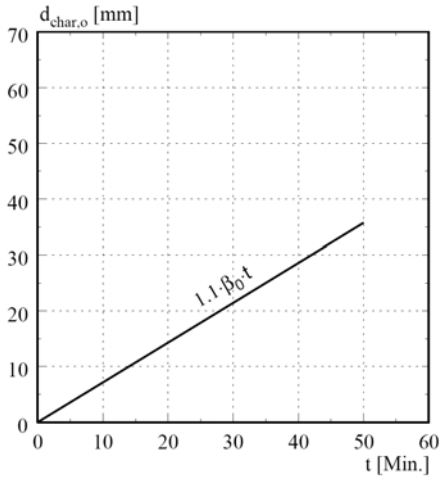


Abb. 7: Ermittlung des ober-/unterseitigen Abbrandes von zwei-, vier- und sechsschnittigen Stahl-Holz-Stabdübelverbindungen für eine Feuerwiderstandsdauer bis 60 Minuten

Feuerwiderstandsdauer 30 Minuten
- Vierschnittige Stahl-Holz-Stabdübelverbindung

$$n=1: \quad d_{red} = -60(b/b_r) - 0.1d + 126.5 \quad [mm] \quad \text{mit } 8 \le d \le 16mm \qquad (11)$$

$$n=2,3: \quad d_{red} = -40(b/b_r) + n(2 - 0.5d) + 94 \quad [mm] \quad \text{mit } 8 \le d \le 16mm \qquad (12)$$

- Sechsschnittige Stahl-Holz-Stabdübelverbindung

$$n=1: \quad d_{red} = -60(b/b_r) - 0.4d + 133 \quad [mm] \quad \text{mit } 6 \le d \le 10mm \qquad (13)$$

$$n=2,3: \quad d_{red} = -40(b/b_r) - 0.4d(n+2) + 101 \quad [mm] \quad \text{mit } 6 \le d \le 10mm \qquad (14)$$

Auf diese Art und Weise kann der ideelle Restquerschnitt A_{ef} ermittelt werden. Durch Multiplikation mit der charakteristischen Zugfestigkeit von Holz und dem Faktor k_{fi} gemäß Gleichung (2) lässt sich der Tragwiderstand von mehrschnittigen Stahl-Holz-Stabdübelverbindungen ermitteln. Für andere als die zugrunde gelegten Festigkeitsklassen wurden Umrechnungsfaktoren für den Tragwiderstand abgeleitet [6].

4 Zusammenfassung und Ausblick

Auf der Grundlage von umfangreichen experimentellen und numerischen Untersuchungen wurde ein Bemessungsvorschlag zur Ermittlung des Tragwiderstandes von mehrschnittigen Stahl-Holz-Stabdübelverbindungen im Brandfall vorgestellt. Grundsätzlich lehnt die Vorgehensweise an die Methode mit reduziertem Querschnitt gemäß der EN 1995-1-2 an, welche für die Bemessung von Holzbauteilen im Brandfall gültig ist und auf der Ermittlung eines verbleibenden (Wert d_{char}) und ideellen Restquerschnittes (Wert d_{red}) beruht. Diese anschauliche Vorgehensweise ermöglicht es dem Anwender, die Holzfestigkeiten bei Raumtemperatur zu verwenden, was hinsichtlich der ungenügenden Kenntnis der Festigkeitsabnahme von Holz bei hohen Temperaturen vorteilhaft ist.

Durch die Vielzahl an Verbindungsarten mit metallischen Verbindungsmitteln ist ein einheitliches, von der Verbindungsart unabhängiges Bemessungsverfahren im Brandfall quasi nicht möglich, da im Brandfall verschiedene Versagensarten bei den unterschiedlichen Verbindungstypen zu beobachten sind. So besitzen beispielsweise Rillennagelverbindungen aufgrund der fehlenden Tiefenwirkung der Nägel ein anderes Verhalten im Brandfall als mehrschnittige Stahl-Holz-Stabdübelverbindungen mit durchlaufenden Stabdübeln [1]. Um die wesentlichen Einflussfaktoren einer jeweiligen Verbindung zu analysieren, sind weitere Forschungsaktivitäten im Bereich „Verbindungen und Brandschutz“ notwendig. Die Wirkung von Brandschutzbekleidungen, wie beispielsweise Holzwerkstoff- oder Gipsfaserplatten ist dabei nur ein wichtiges Thema.

Quellen

[1] Erchinger C., Fontana M., Mischler A., Frangi A.: Versuche an mehrschnittigen Stahl-Holz-Stabdübelverbindungen und Rillennagelverbindungen bei Raumtemperatur und Normbrandbedingungen, IBK-Bericht Nr. 293, Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zürich, ISBN 3-7281-3068-0, vdf Hochschulverlag AG, Februar 2006.

[2] Kolb J.: Brandschutz in der Schweiz: Das Projekt Brandsicherheit und Holzbau, 10. DGfH-Brandschutztagung 2004, Berlin, Tagungsband, Deutsche Gesellschaft für Holzforschung, München, 2004.

[3] Johansen K.W.: Theory of timber connections, International Association for Bridge and Structural Engineering IABSE 1949; 98: 249-262, Bern, Schweiz.

[4] Ansys, Ansys Workbench Version 11.0, Canonsburg, USA.

[5] König J., Walleij L.: One-dimensional charring of timber exposed to standard and parametric fires in initially unprotected and postprotection situation, Swedish Institute for Wood Technology, Research Report I9908029. Sweden. 1999.

[6] Erchinger C.: Zum Verhalten von mehrschnittigen Stahl-Holz-Stabdübelverbindungen im Brandfall (Dissertation ETH Zürich Nr. 18208), IBK-Bericht Nr. 314, Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zürich, vdf Hochschulverlag AG, Februar 2009.

[7] EN1995-1-2: Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall, CEN, Brüssel, 2004.

[8] EN1995-1-1: Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-1: Allgemeines– Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau, CEN, Brüssel, 2004.

[9] Holzbautabelle HBT1: Handbuch für die Bemessung, Lignum, Holzwirtschaft Schweiz, 1. Auflage, Zürich, 2005.

[10] Frangi A., Erchinger C., Fontana M.: Experimental analysis on the fire behaviour of steel-to-timber connections with slotted-in steel plates and nail connections, Fire and Materials, 2009.

[11] Erchinger C., Frangi A., Mischler A.: Thermal investigations on multiple shear steel-to-timber connections, in: proceedings of 9th World Conference on Timber Engineering WCTE, August 6-10, Portland, 2006.

[12] König J.: Structural fire design according to Eurocode 5 – Design rules and their background, Fire and Materials 2005; 29: 147-163.

[13] Erchinger C., Frangi A., Mischler A.: Fire behaviour of multiple shear steel-to-timber connections with dowels, in: proceedings of 38th CIB-W018 Meeting, Karlsruhe, August 29-31, 2005.

11.3 Brandschutz
Modell zum Nachweis der raumabschließenden Funktion von Holzbauteilen

Vanessa Schleifer

1 Einleitung

Durch die Revision der schweizerischen Brandschutzvorschriften im Januar 2005 [15] wurden brennbare Bauteile auf eine Feuerwiderstandsdauer von 60 Minuten erweitert und der Einsatz von Holzkonstruktionen in mehrgeschossigen Gebäuden in der Schweiz ermöglicht. Damit gewinnt die Einhaltung der geforderten Brandabschnitte an Bedeutung, welche anhand von Decken- und Wandkonstruktionen gebildet werden und eine Brandausbreitung im oder auf benachbarte Gebäude verhindern sowie sichere Rettungswege ermöglichen. Dabei erfordert der bauliche Brandschutz, im Gegensatz zu Brandschutzkonzepten mit Sprinklern oder Brandmeldern, eine Brandschutzbemessung der Holzkonstruktion.

Zur Erweiterung der Brandschutzbemessung des Eurocodes 5, zeigt der vorliegende Beitrag das neu entwickelte Berechnungsmodell zum Nachweis der raumabschließenden Funktion von massiven und mehrschichtigen Holzbauteilen [12]. Mehrschichtige Bauteile bestehen aus Holzständern bzw. -balken, die ihren Feuerwiderstand durch Bekleidungen und eventuell vorhandene Dämmungen erreichen. Damit die verschiedenen Bekleidungen und Dämmstoffe beliebig kombiniert werden können, wird im vorliegenden Modell eine additive Methode verwendet, bei welcher die Beiträge der einzelnen Komponenten addiert und so der Feuerwiderstand des gesamten Bauteils bestimmt werden kann.

Da sich jedoch die einzelnen Schichten gegenseitig beeinflussen, variiert der Beitrag der jeweiligen Schicht nicht nur in Abhängigkeit von Material und Schichtdicke, sondern ebenfalls in Abhängigkeit von der Position der Schicht innerhalb des Bauteils. Damit weißt jeder mögliche Aufbau einen anderen Feuerwiderstand auf. Da die bereits existierenden Modelle aus Versuchen abgeleitet wurden, ist die Anzahl der Holzbauteile gering, die mit diesen Modellen nachgewiesen werden können. Zur Minimierung von Brandversuchen, wurde daher das vorliegende Modell auf Grundlage von physikalischen Modellen hergeleitet und durch FE-Simulationen überprüft. Die dafür verwendeten FE-Berechnungen basieren auf den thermischen Eigenschaften der verschiedenen Materialien, die unter Berücksichtigung der thermischen Prozesse der jeweiligen Materialien an Versuche angepasst wurden.

2 Grundlagen

2.1 Beurteilungskriterien

Die raumabschließende Funktion von Bauteilen (EI) beschreibt die Begrenzung der Brandausbreitung in andere Brandabschnitte des Gebäudes. Gemäß EN 1995-1-2: 2004 [5] ist die raumabschließende Funktion eines Bauteils gegeben, wenn Folgendes sichergestellt ist:

- der Erhalt der Dichtigkeit,
- der Erhalt der thermischen Wärmedämmeigenschaften und
- die Begrenzung der Wärmestrahlung auf der feuerabgewandten Seite.

Die Dichtigkeit eines Bauteils wird mit dem Kriterium E (Étanchéité) beschrieben und charakterisiert die Fähigkeit eines Bauteils Flammen oder heiße Gase nicht hindurchzulassen. Die Wärmedämmung wird anhand des Kriteriums I (Isolation) beschrieben und wird durch Temperaturmessungen auf der Oberfläche der feuerabgewandten Seite des Bauteils über Thermoelemente kontrolliert. Dabei sind auf der feuerabgewandten Seite des Bauteils der Mittelwert der Temperaturerhöhung auf 140 °C und der Maximalwert der Temperaturerhöhung auf 180 °C begrenzt.

Ebenso ist die Wärmestrahlung durch ein Temperaturkriterium von 300 °C auf der feuerabgewandten Seite des Bauteils begrenzt und ist damit erfüllt, wenn das Kriterium I eingehalten

wird. Ebenfalls kann gemäß EN 1995-1-2: 2004 [5] angenommen werden, dass das Kriterium E erfüllt ist, wenn die Anforderungen an die Wärmedämmung (Kriterium I) erfüllt sind.

2.2 Vorhandene Modelle

Berechnungsmodelle für den Nachweis der raumabschließenden Funktion von Holzbauteilen werden nur in wenige Normen gegeben. In König 2000 [8] werden Berechnungsmodelle aus verschiedenen Ländern miteinander verglichen. Für den Vergleich werden die ENV 1995-1-2 von 1994 (Vorversion der EN 1995-1-2: 2004 [5]), das Nordamerikanische Modell, das dem Modell des kanadischen Codes NBCC: 2005 [10] entspricht, der britische Code BS 5268: 1990 [2] sowie das schwedische Modell berücksichtigt. Auf Grundlage dieser Untersuchung wurde das schwedische Modell in die EN 1995-1-2: 2004 [5] übernommen. Alle diese Modelle verwenden die additive Methode, mit der die Beiträge der einzelnen Schichten addiert und so die Zeit bis zum Verlust der raumabschließenden Funktion des gesamten Bauteils ermittelt wird. Im Gegensatz zur EN 1995-1-2: 2004 [5] vermischen jedoch die Modelle gemäß NBCC: 2005 [10] und BS 5268: 1990 [2] die Beiträge von verschiedenen Schichten miteinander. Weiterhin berücksichtigt das Modell gemäß EN 1995-1-2: 2004 [24] die Fugen der Schichten sowie explizit die Position der Schicht anhand eines Faktors, der einen entscheidenden Einfluss auf den Feuerwiderstand der einzelnen Schicht hat.

Da jedoch das Modell gemäß EN 1995-1-2: 2004 [5] wie die Modelle gemäß NBCC: 2005 [10] und BS 5268: 1990 [2] auf Grundlage von Versuchen hergeleitet wurden, sind alle Modelle begrenzt auf die geprüften Konstruktionen. Dabei bietet der kanadische Code NBCC: 2005 [10] die geringste mögliche Anzahl der Variation von verschiedenen Materialien und Kombination der Schichten im Vergleich mit den Berechnungsmodellen gemäß EN 1995-1-2: 2004 [5] und BS 5268: 1990 [2].

3 Finite Element Modelle

3.1 Allgemeines

Die raumabschließende Funktion von mehrschichtigen Holzbauteilen wird durch die Bekleidung und Hohlraumdämmung, falls diese vorhanden ist, erbracht. Die Zeit, wie lange die raumabschließende Funktion des Bauteils erhalten bleibt, hängt vom Brandverhalten dieser Schichten ab. Die Untersuchung des Brandverhaltens der Schichten kann experimentell anhand von Brandversuchen oder mit numerischen Simulationen durchgeführt werden. Die wesentlichen Vorteile der numerischen Analyse liegen zum einem in der Kostenersparnis und zum anderen können mit geringem Aufwand Ausgangsparameter variiert werden.

Als Grundlage für die numerische Analyse wurden Brandversuche [11] mit Plattenelementen durchgeführt. Mit diesen Versuchen wurden die unterschiedlichen Einflüsse wie z.B. Plattendicke, Plattenmaterial und angrenzende Schichten auf das Brandverhalten unterschiedlicher Plattenelemente untersucht und mit den Ergebnissen der Versuche die Finiten Element Modelle verifiziert und kalibriert, die für die Ermittlung des Berechnungsmodells verwendet wurden.

3.2 FE-Modell

Die thermische FE-Analyse wurde anhand von Temperaturfeldberechnungen mit dem Finite Element Programm Ansys 11.0 durchgeführt. Die Brandeinwirkung wurde wie bei den Brandversuchen [11] mit der Einheits-Temperaturkurve (ETK) gemäß EN 1991-1-2: 2003 [4] simuliert. Dabei wurde die Wärmeübertragung durch Konvektion gemäß EN 1991-1-2: 2003 [4] mit dem Wärmeübergangskoeffizienten α_{ex} = 25 W/m^{2}K für die feuerzugewandte Bauteilseite und α_{unex} = 4 W/m^{2}K für die feuerabgewandte Bauteilseite

berücksichtigt. Für die Wärmeübertragung durch Strahlung wurde für alle Materialien gemäß EN 1995-1-2: 2004 [5] der Emissionskoeffizient $\varepsilon = 0.8$ verwendet.

3.3 Materialeigenschaften

Für das Berechnungsmodell wurden Massivholzplatten, OSB- und Spanplatten, Gips- und Gipsfaserplatten sowie als Dämmungen Stein- und Glaswolle untersucht. Da als Brandeinwirkung gemäß der ETK die Temperatur mit der Zeit steigt und ebenfalls die Materialeigenschaften der Werkstoffe sich mit der Temperatur und damit mit der Zeit ändern, sind im FE-Modell die Materialeigenschaften in Abhängigkeit der Temperatur einzugeben. Vorwiegend wurden dafür gemessene Werte für die Wärmeleitfähigkeit, spezifische Wärmekapazität und die Rohdichte verwendet, die an Versuche angepasst wurden.

Gemessene Werte z.B. für die spezifische Wärmekapazität von Gipsplatten lagen jedoch nur bis zu Temperaturen von ca. 350 °C vor, während die ETK bei 60 Minuten bereits ca. 950 °C erreicht. Daher wurde unter anderem die Wärmekapazität von Gipsplatten hergeleitet (s.a. [14]). Für diese Herleitung müssen die Phasen bekannt sein, die der Werkstoff mit steigender Temperatur durchläuft, sowie die Energien ermittelt werden, die für die Umwandlung benötigt wird. Voraussetzung dafür ist die genaue Kenntnis der Zusammensetzung der Werkstoffe, die bei den Dämmmaterialien nicht vorlag. Für Dämmmaterialien wurde daher auf bereits veröffentlichte Werte zurückgegriffen. Die verwendeten temperaturabhängigen Materialeigenschaften für die FE-Simulationen können [12] entnommen werden.

4 Bemessungsmodell

4.1 Allgemeines

Das Berechnungsmodell zum Nachweis der raumabschließenden Funktion von Holzbauteilen beruht auf der Einheits-Temperaturkurve (ETK) gemäß EN 1991-1-2: 2003 [4] und ist auf eine Feuerwiderstandsdauer von 60 Minuten begrenzt. Anhand des entwickelten Modells ist es möglich, den Zeitpunkt t_{ins} bis zum Verlust der raumabschließenden Funktion eines Holzbauteils zu berechnen. Das Bauteil kann dabei beliebig aus den folgenden Platten und Dämmungen zusammengesetzt werden:

Platten (Befestigung gemäß Herstellerangaben):

- Massivholzplatten aus mindestens C24 gemäß EN 338
- OSB- Platten gemäß EN 300
- Spanplatten gemäß EN 309
- Gipsplatten Typ A, Typ H und Typ F gemäß EN 520
- Gipsfaserplatten EN 15283-2

Dämmung (Einbau mit Übermaß gemäß Herstellerangaben):

- Steinwolle gemäß EN 13162
- Glaswolle gemäß EN 13162

4.2 Aufbau des Modells

Da gemäß EN 1995-1-2: 2004 [5] die raumabschließende Funktion eines Bauteils EI nachgewiesen ist, wenn das Kriterium I erfüllt ist, wird für das Berechnungsmodell unter Berücksichtigung des Abfallens der Platten nur der Wärmedurchgang durch das Bauteil betrachtet. Dabei ist bei den massiven Holzbauteilen der eventuell vorhandene Fugenbereich maßgebend.

Bei den zusammengesetzten Bauteilen sind die folgenden Wärmedurchgänge zu berücksichtigen:

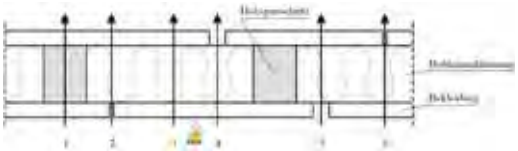


Abb. 1 Mögliche Wärmedurchgänge durch das Bauteil

Wie bei den massiven Holzbauteilen werden auch die Fugen der zusammengesetzten Bauteile nicht anhand von FE-Berechnungen untersucht sondern unter Berücksichtigung von Versuchen gemäß EN 1995-1-2: 2004 [5] beurteilt. Damit entfällt für die Herleitung des Berechnungsmodells anhand von FE-Berechnungen die Wärmedurchgänge 2, 4, 5 und 6. Ebenfalls kann der Wärmedurchgang 1 durch den massiven Holzquerschnitt entfallen, da der Wärmedurchgang 3 außerhalb des Holzquerschnitts im Vergleich mit dem Durchgang 1 maßgebend wird.

Wie die bereits existierenden Modelle wird für das [12] entwickelte Berechnungsmodell die additive Methode verwendet, mit der die Beiträge der einzelnen Schichten addiert werden und somit der Zeitpunkt bis zum Verlust der raumabschließenden Funktion des gesamten Bauteils bestimmt werden kann. Dabei wird hier unterschieden zwischen Schichten, die eine schützende Funktion für die dahinterliegenden Schichten übernehmen, und der letzten Schicht auf der feuerabgewandten Seite des Bauteils, die eine „isolierende" Funktion erfüllen muss (s. Abb. 2).

Nur bei dieser letzten Schicht muss auf der feuerabgewandten Seite das Kriterium I mit dem einzuhaltenden Temperaturkriterium $\Delta T_{MW}/\Delta T_{Max}$ = 140 / 180 °C erfüllt sein. Die davorliegenden Schichten können einer Brandschutzbekleidung gleichgesetzt werden, die ihre schützende Wirkung verliert, wenn gemäß EN 13501-2: 2003 [6] das Temperaturkriterium $\Delta T_{MW}/\Delta T_{Max}$ = 250 / 270 °C auf ihrer feuerabgewandten Seite erreicht ist. Da bei den FE- Berechnungen die Fugen nicht untersucht werden, wird immer der Mittelwert der Temperaturerhöhung maßgebend und mit einer festgelegten Raumtemperatur von 20 °C ergeben sich die Temperaturen:
T = 140 + 20 = 160 °C und
T = 250 + 20 = 270 °C.

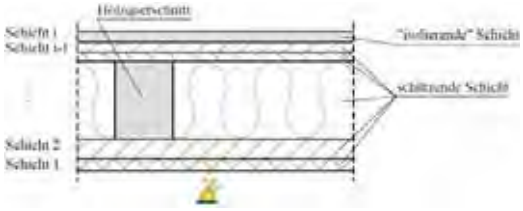


Abb. 2 Mögliche Wärmedurchgänge durch das Bauteil

Das Abfallen von Schichten hat einen großen Einfluss auf die schützende Wirkung für dahinterliegende Schichten. Betrachtet man beispielsweise eine Holzwerkstoffplatte entzündet sich diese zwar beim Erreichen der 270 °C auf der feuerzugewandten Seite, brennt jedoch mit einer wesentlich geringeren Abbrandgeschwindigkeit, solange die schützende Schicht am Bauteil verbleibt, als wenn sie direkt dem Feuer ausgesetzt ist. Wie bereits in [7], [13] und [3] wird hier ein Temperaturkriterium eingeführt, um das Abfallen der Schicht zu beschreiben. Anhand von Versuchen wurde für Holzwerkstoffe, Gipsplatten Typ A (alte Bezeichnung: GKB) und Dämmmaterialien das Temperaturkriterium $T_{Abfallen}$ = 270 °C festgelegt. Gipsplatten Typ F (alte Bezeichnung: GKF) sowie Gipsfaserplatten weisen durch die Fasern im Gipskern einen besseren Gefügezusammenhalt unter Brandbeanspruchung auf und bleiben darum länger an der Konstruktion. Durch die horizontale Lage der Platten in Deckenkonstruktionen fallen sie jedoch bei Decken früher als bei Wandbauteilen. Das hier gewählte Temperaturkriterium beträgt für Deckenkonstruktionen $T_{Abfallen}$ = 400 °C und für Wandkonstruktionen $T_{Abfallen}$ = 600 °C.

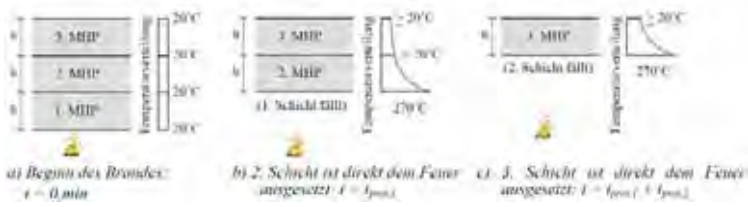


Abb. 3 Vorgehensweise zur Ermittlung der Beiträge der Schichten (MHP)

Um die Beiträge der einzelnen Schichten zu ermitteln, ist für die schützenden Schichten 1 bis i-1 auf der feuerzugewandten Seite jeweils eine Schutzzeit (protection time $t_{prot,i}$) zu bestimmt und für die letzte Schicht i eine Isolationszeit (insulation time $t_{ins,i}$). In Abb. 3 ist exemplarisch ein Aufbau mit drei Massivholzplatten (MPH) dargestellt, der die Vorgehensweise zur Ermittlung dieser Beiträge veranschaulichen soll. Dabei entsprechen die Schichten 1 und 2 die schützenden Schichten 1 bis i-1 und die dritte und letzte Schicht der isolierenden Schicht i. Die Schutzzeit der 1. Schicht $t_{prot,1}$ beginnt zum Zeitpunkt t = 0 min und endet mit dem Erreichen der Temperatur T= 270 °C auf der feuerabgewandeten Seite. Sobald die Schutzzeit der 1. Schicht erreicht ist, beginnt die Schutzzeit der 2. Schicht $t_{prot,2}$. Da festgelegt wurde, dass eine Massivholzplatten mit dem Erreichen von 270 °C auf ihrer feuerabgewandten Seite von der Konstruktion abfällt, ist zum Zeitpunkt t = $t_{prot,1}$ also zu Beginn des Beitrages $t_{prot,2}$ die 2. Schicht nicht nur vorerwärmt, sondern ebenfalls direkt dem Feuer ausgesetzt.

Dabei ist zu berücksichtigen, dass zum Zeitpunkt t = $t_{prot,1}$ gemäß der ETK im Brandraum höhere Temperaturen herrschen als zum Zeitpunkt t= 0 min.

Aufgrund dieser höheren Temperaturen ist die Schutzzeit der 2. Schicht geringer als wenn sie von Brandbeginn dem Feuer ausgesetzt ist. Daher entspricht die Schutzzeit $t_{prot,2}$ nicht der Schutzzeit $t_{prot,1}$, auch wenn beide Platten das selbe Material und sie selbe Schichtdicke h aufweisen. Wie die Schutzzeit $t_{prot,\ 1}$ endet die Schutzzeit $t_{prot,2}$ mit dem Erreichen der Temperatur T= 270 °C auf ihrer feuerabgewandeten Seite zum Zeitpunkt t = $t_{prot,1}$ + $t_{prot,2}$ und die Isolationszeit der 3. Schicht $t_{ins,3}$ beginnt. Die 3. Schicht ist vorerwärmt und zusätzlich sind die Temperaturen im Brandraum zum Zeitpunkt t = $t_{prot,1}$ + $t_{prot,2}$ höher als zum Zeitpunkt t = $t_{prot,1}$. Die Isolationszeit der 3. Schicht $t_{ins,3}$ endet mit dem Erreichen der Temperatur T = 160 °C auf ihrer feuerabgewandeten Seite. Zu diesem Zeitpunkt t = $t_{prot,1}$ + $t_{prot,2}$ + $t_{ins,3}$ verliert der in Abb. 3 dargestellte Aufbau seine raumabschließenden Funktion.

Die Zeit t_{ins} bis zum Verlust der raumabschließenden Funktion von Holzbauteilen ergibt sich somit zu:

$$t_{ins} = \Sigma\, t_{prot,i-1} + t_{ins,i}\ [\text{min}] \qquad (4.1)$$

Die Vorerwärmung sowie die auf die Schicht wirkenden Temperaturen im Brandraum, sind von der Position der Schicht innerhalb des Bauteils abhängig. Der Einfluss der Position einer Schicht wird in dem vorliegenden Modell anhand eines Positionsbeiwertes berücksichtigt. Damit setzt sich die Schutz- bzw. Isolationszeit zusammen aus einer Grundzeit $t_{0,i}$, die abhängig von Schichtmaterial,- dicke und -rohdichte ist, und einem Positionsbeiwert k_{pos} der Position innerhalb des Bauteils berücksichtigt.

$$t_{prot,i} \quad \text{bzw.} \quad t_{ins,i} = t_{0,i} \cdot k_{pos} \qquad [\text{min}] \qquad (4.2)$$

4.3 Grundzeiten und Beiwerte

4.3.1 Grundzeiten t0,i

Die Grundzeit $t_{0,i}$ beschreibt das Brandverhalten einer Schicht ohne den Einfluss von angrenzenden Schichten. Daher wird in den FE-Simu-lationen die untersuchte Schicht immer direkt dem Feuer ausgesetzt. Da die Schutzzeit und die Isolationszeit unterschiedliche Temperaturkriterien erfüllen müssen (T = 270 bzw. 160 °C), wird hier unterschieden zwischen einer Grundschutzzeit $t_{prot,0,i}$ und einer Grundisolationszeit $t_{ins,0,i}$. Die Grundschutzzeit wird gemäß EN 13501-2: 2003 [6] bestimmt, indem die untersuchte Schicht direkt beflammt und mit einer 19 mm dicken Spanplatte hinterlegt ist. Sobald zwischen der Schicht und der Spanplatte die Temperatur270 °C vorliegt, ist die Grundschutzzeit ist erreicht.

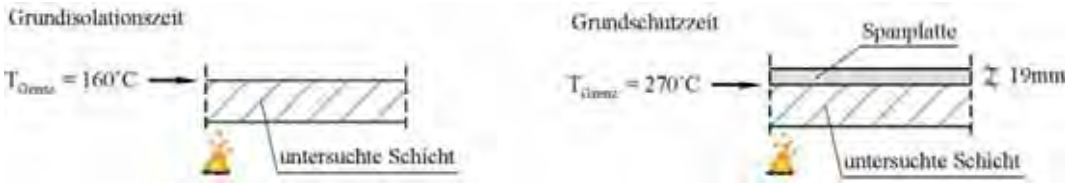


Abb. 4 Temperaturkriterien zur Bestimmung von Grundisolationszeiten und Grundschutzzeiten

Bei der Bestimmung der Grundisolationszeit entfällt die dahinterliegende Spanplatte und das Temperaturkriterium T= 160 °C wird angewendet. Die Grundschutzzeit $t_{prot,0,i}$ sowie die Grundisolationszeit $t_{ins,0,i}$ wird in [12] für die verwendeten Materialien in Abhängigkeit der Schichtdicke und – rohdichte angegeben. Dabei konnte bei den Plattenwerkstoffen auf eine Unterscheidung der Rohdichte verzichtet werden, da die Grundzeiten ähnlich sind für die vorhandenen wenig von einander abweichenden Rohdichten.

4.3.2 Positionsbeiwerte

Der Positionsbeiwert berücksichtigt den Einfluss von angrenzenden Schichten auf die untersuchte Schicht. Damit eine beliebige Kombination der Schichten im Holzbauteil möglich ist, wird zwischen dem Einfluss der davorliegenden Schichten und der Einfluss der dahinterliegenden Schicht unterschieden. Der Einfluss der davorliegenden Schichten wird hier mit dem Positionsbeiwert $k_{pos,exp}$ (exp – exposed to fire) und der Einfluss der dahinterliegenden Schicht wird hier mit dem Positionsbeiwert $k_{pos,unexp}$ (unexp – unexposed to fire) berücksichtigt.

Der Positionsbeiwert $k_{pos,exp,i}$ der Schicht i ist abhängig von der Vorerwärmung und den erhöhten Temperaturen im Brandraum zum Zeitpunkt, bei dem die Schutzzeit bzw. Isolationszeit der untersuchten Schicht i beginnt. Durch Untersuchungen mit FE-Berechnungen konnte festgestellt werden, dass jedoch der Einfluss der Vorerwärmung im Vergleich mit den erhöhten Temperaturen im Brandraum nur gering ist. Dabei sind die erhöhten Temperaturen abhängig von den Schutzzeiten der davorliegenden Schichten. Weiterhin konnte festgestellt werden, dass der Beiwert ebenfalls vom Material, Dicke und Rohdichte der untersuchten Schicht i abhängig ist, die bereits in der Grundzeit der Schicht berücksichtigt sind. Damit konnte der Positionsbeiwert $k_{pos,exp,i}$ der Schicht i als Funktion der Summe der Schutzzeiten der davorliegenden Schicht sowie der Grundzeit der untersuchten Schicht i dargestellt werden. Diese Positionsbeiwerte basieren auf der Annahme, dass die schützende Schicht bei einer Temperatur von 270 °C vom Bauteil abfällt. Dies trifft jedoch nicht für die Gipsplatten Typ F und Gipsfaserplatten zu, die gemäß Kapitel 4.2 abhängig von einem Decken- oder Wandaufbau bei 400 °C bzw. 600 °C abfallen. Durch das spätere Abfallen der schützenden Schicht, verlängert sich die die Schutzzeit bzw. Isolationszeit der dahinterliegenden Schicht.

Da jedoch diese Zeiten mit dem Erreichen der 270 °C beginnen, wird nicht der Positionsbeiwert $k_{pos,exp}$ angepasst, sondern die gesamte Schutzzeit bzw. Isolationszeit der untersuchten Schicht anhand einer Zeitdifferenzen Δt_i erhöht.

Der Positionsbeiwert $k_{pos,unexp}$ berücksichtigt den Einfluss von dahinterliegenden Schichten auf die untersuchte Schicht. Dahinterliegende Schichten sind jedoch nur bei Schichten vorhanden, bei denen eine Schutzzeit zu bestimmen ist. Daher wird bei der Ermittlung der Isolationszeit die Grundzeit der untersuchten Schicht nur mit dem Positionsbeiwert $k_{pos,exp}$ multipliziert. Anhand von Versuchen und FE-Berechnungen konnte festgestellt werden, dass der ungünstige Einfluss von dahin-

terliegenden Dämmmaterialien relevant ist, der sich jedoch unterschiedlich auf die davorliegenden Materialien auswirkt.

4.3.3 Fugenbeiwerte

Es lagen nur wenige Versuche vor, mit denen Fugen untersucht wurden. Daher wurde die Beurteilung der Fugen anhand den Angaben der EN 1995-1-2: 2004 [5] unter Berücksichtigung der vorliegenden Versuche durchgeführt. Damit werden im Berechnungsmodell die Beiträge der Schichten mit einem Fugenbeiwert $k_{j,i}$ multipliziert. Um Durchbrüche durch Bekleidungen im Berechnungsmodell berücksichtigen zu können, wie z.B. für die Installation von Steckdosen oder Lichtschalter benötigt werden, sind mögliche Ausführungen in der Lignum- Dokumentation Brandschutz 4.1 2007 [9] gegeben (s. Abb. 5).

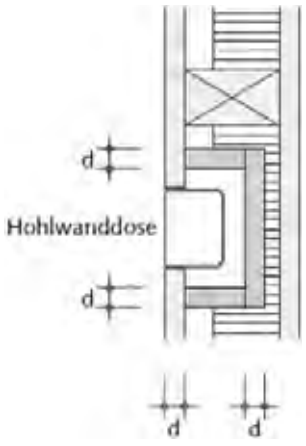


Abb. 5 Mögliche Ausführungen von Hohlraumdosen gemäß Lignum-Dokumentation 2007 [9]

Für den Nachweis der raumabschließenden Funktion dieser Bauteile kann jedoch nur die verbleibenden Schichten mit den vorhandenen Dicken angesetzt werden. Damit ergibt sich die Isolationszeit $t_{ins,i}$ und Schutzzeit $t_{prot,i}$ zu:

$$t_{ins,i} = (t_{ins,0,i} \cdot k_{pos,exp,i} + \Delta t_i) \cdot k_{j,i} \quad [\text{min}] \quad (4.3)$$

$$t_{prot,i} = \left(t_{prot,0,i} \cdot k_{pos,exp,i} \cdot k_{pos,unexp,i} + \Delta t_i\right) \cdot k_{j,i} \quad [\text{min}] \quad (4.4)$$

5 Zusammenfassung und Ausblick

In dem vorliegenden Beitrag wird ein neu entwickeltes Berechnungsmodell zum Nachweis der raumabschließenden Funktion (EI) von massiven und zusammengesetzten Holzbauteilen bis zu einer Feuerwiderstandsdauer von 60 Minuten erläutert. Anhand des Berechnungsmodells wird rechnerisch das Kriterium der Wärmedämmung (I) nachgewiesen und in Analogie zur EN 1995-1-2: 2004 [5] angenommen, dass damit ebenfalls das Kriterium der Dichtigkeit (E) erfüllt ist. Das Modell verwendet die „additive Methode". D.h., zur Ermittlung des Feuerwiderstands des Gesamtbauteils werden die Beiträge der jeweiligen Schichten addiert. Im Gegensatz zu vorhandenen Nachweisverfahren wurden diese Beiträge im vorliegenden Modell nicht direkt aus Versuchen, sondern anhand von physikalischen Modellen und von FE-Berechnungen mit dem Finiten Element Programm ANSYS 11.0 hergeleitet. Dabei wurden die FE-Modelle an Versuchen kalibriert. Als Grundlage für die FE-Modelle wurden die temperaturabhängigen Materialeigenschaften der jeweiligen Werkstoffe basierend auf der Literatur zusammengestellt und an die vorliegenden Versuche angepasst. Mit diesen FE-Modellen konnte systematisch die Eingabedaten für das Berechnungsmodell ermittelt werden.

Das vorliegende Berechnungsmodell basiert auf der Einheits-Temperaturkurve (ETK) gemäß EN 1991-1-2: 2003 [4] als Brandeinwirkung. Da das Brandverhalten von Plattenelementen unter anderen Brandbeanspruchungen wie z.B. Naturbrandbeanspruchung von dem Brandverhalten unter Normbrandbeanspruchung deutlich abweicht, ist das Berechnungsmodell für den klassischen Feuerwiderstandsnachweis anwendbar, bei dem die Einheits-Temperaturkurve vorausgesetzt wird. Die amerikanische Standard Temperatur-Zeit Kurve ASTM E119: 1992 [1] ist der ETK so ähnlich, dass eine Anwendung möglich ist.

Da das Modell ebenfalls eine Schutzzeit von Brandschutzbekleidungen liefert und so der Entzündungszeitpunkt von dahinterliegenden Holzkonstruktionen sowie den Einfluss der Bekleidung auf das Brandverhalten der dahinterliegenden Holzbauteile bestimmt werden kann, bietet dieses Modell auch die Grundlage für den Tragwiderstandsnachweis bekleideter Holzkonstruktionen im Brandfall.

Das Modell berücksichtigt jedoch nur die wichtigsten Materialien. Andere Materialien wie z.B. die Sperrholzplatte als Bekleidung sind nicht erfasst, da keine Brandversuche zur Herleitung der temperaturabhängigen Materialwerte von Sperrholz vorliegen. Bekleidungen aus Sperrholz oder anderen Materialien können jedoch in das Modell integriert werden. Hierfür sind die Grundschutzzeit bzw. Grundisolationszeit sowie die Positionsbeiwerte anhand von FE-Berechnungen und von Versuchen zu ermitteln.

Der Einfluss der Fugen auf den Beitrag der Schicht zum Raumabschluss des Bauteils hängt vom Material der Bekleidung sowie von der Fugenausbildung ab. Für eine Beurteilung der Fugen liegen jedoch nicht genügend Versuchsergebnisse vor. Daher wurden für das Berechnungsmodell die Fugenbeiwerte der EN 1995-1-2: 2004 [5] zum größten Teil übernommen. Da die Fugen auf der feuerabgewandten Seite des Bauteils einen relativ großen Einfluss haben und die Beiwerte gemäß EN 1995-1-2: 2004 [5] konservative Ergebnisse liefern, kann durch eine genauere Untersuchung der Fugen das Modell weiter verbessert werden.

Weiterhin konnte festgestellt werden, dass das Abfallen der Bekleidungen sowie das Herausfallen der Hohlraumdämmungen einen großen Einfluss auf den Raumabschluss der Konstruktion hat. Die hier getroffenen konservativen Annahmen für den Zeitpunkt des Abfallens der einzelnen Schichten basieren auf Temperaturen. Einen maßgebenden Einfluss auf den Zeitpunkt des Abfallens hat jedoch die Befestigung. Durch die Festlegung von brandschutztechnisch günstigeren Ausführungen der Befestigung, die anhand von Versuchen überprüft werden, kann das Modell ebenfalls verbessert werden.

Quellen

[1] ASTM E119: Annual book of ASTM standards - Standard test methods for fire tests of building construction and materials, ASTM, Vol. 04.07, Philadelphia, USA, 1992

[2] British Standard BS 5268-4: Structural use of timber - Section 4.2. Recommendations for calculating fire resistance of timber stud walls and joisted floor constructions, BSI, 1990.

[3] Cooper Y.: The thermal response of gypsum-panel/steel stud wall systems exposed to fire -Environments - a simulation for use in zone-type fire models, NISTIR 6027, Building and Fire Research Laboratory, June 1997.

[4] EN 1991-1-2, Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-2 Allgemeine Einwirkungen - Brandeinwirkungen auf Tragwerke, Entwurf, CEN Brüssel, September 2003.

[5] EN 1995-1-2, Eurocode 5: Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauteilen, Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Bemessung für den Brandfall, Europäisches Komitee für Normung, Brüssel 2004

[6] EN 13501-2: Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten - Teil 2: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus Feuerwiderstandsprüfungen, mit Ausnahmen von Lüftungsanlagen, CEN Brüssel, Dezember 2003.

[7] König J., Walleij L.: One-dimensional charring of timber exposed to standard and parametric fires in initially unprotected and postprotection situation, Trätek, Rapport I 9908029, Stockholm, August 1999.

[8] König J., Oksanen T., Towler K.: A review of component additive methods used for the determination of fire resistance of separating light timber frame construction, International Council for Research and Innovation in Building and Construction (CIB), Working Commission W18 - Timber Structures, CIBW18/ 33-16-2, Delft, Netherlands, August 2000.

[9] Lignum-Dokumentation Brandschutz 4.1 Bauteile - Decken, Wände und Bekleidungen mit Feuerwiderstand, Lignum - Holzwirtschaft Schweiz, Zürich, Oktober 2007

[10] National Building Code of Canada NBCC - Volume 2, Canadian Commission on Building and Fire Codes, Institute for Research in Construction, National Research Council of Canada, Ottawa, Canada, - 7 – 2005

[11] Schleifer V., Frangi A., Fontana M.: Experimentelle Untersuchungen zum Brandverhalten von Plattenelementen, Institut für Baustatik und Konstruktion (IBK), ETH Zürich, IBK Bericht Nr. 302, vdf Hochschulverlag AG, Mai 2007.

[12] Schleifer V.: Zum Verhalten von raumabschließenden mehrschichtigen Holzbauteilen im Brandfall, Dissertation, Institut für Baustatik und Konstruktion (IBK), ETH Zürich, 2009.

[13] Sultan M. A.: A model for predicting heat transfer through noninsulated unloaded steel-stud gypsum board wall assemblies exposed to fire, Fire Technology, Volume 32, Number 3, August 1996.

[14] Thomas G.: Thermal properties of gypsum plasterboard at high temperatures, Fire and Materials, 26: 37-45. 2002.

[15] VKF: Brandschutznorm, VKF (Vereinigung Kantonaler Feuerversicherung), Bern, März 2003.

11.4 Dauerhaftigkeit
Dauerhaftigkeit im Holzbau

Norbert Rüther

1 Allgemeines

Die Frage der Dauerhaftigkeit steht bei allen Bauprodukten und Bauwerken an vorderer, wenn nicht gar an vorderster Stelle. Dabei gibt es hinsichtlich der Definitionen und Erwartungen sehr große Unterschiede. PKWs gelten nach wenigen Jahren als „alt". Die aktuellen Diskussionen um die sogenannte Umweltprämie bei „Altfahrzeugen" definieren ein mehr als neun Jahre altes Auto als schrottreif. Selbst tragende Teile dürfen jedoch bereits bis dahin zumindest schon angerostet sein. Bei Fassaden und der Witterung ausgesetzten Bauteilen werden Wartungsintervalle vorgegeben und die zu wartende Fassadenoberfläche hat innerhalb dieser Zeit dauerhaft zu sein. Da die Gewährleistungsfrist für verdeckte Mängel im Bauwesen nach 30 Jahren abläuft, kann der Zeitraum der Dauerhaftigkeit auf diesen Zeitraum definiert werden. Im allgemeinen Volksverständnis ist jedoch ein wesentlich längerer Zeitraum für die geforderte Dauerhaftigkeit von Bauwerken vorhanden. Niemand würde Verständnis dafür aufbringen, wenn ein Wohngebäude nach 30 Jahren abgerissen werden müsste. Bei Bauteilen aus Stahlbeton und Spannbeton muss eine Dauerhaftigkeit über einen Zeitraum von 50 Jahren sichergestellt sein.

Aus Vorgenanntem wird deutlich, dass bei der Frage der Dauerhaftigkeit immer auch ein Zeitraum definiert werden muss. Neben dieser sind jedoch etliche weitere Fragestellungen zu klären, auf die im Folgenden eingegangen wird:

2 Definitionen

Im Holzbau spendiert DIN 1052 (ab Ausgabe 2004) der Dauerhaftigkeit ein ganzes Kapitel und liefert folgende Definition:

„Die Forderung nach einem angemessen dauerhaften Tragwerk gilt als erfüllt, wenn es während der vorgesehenen Nutzungsdauer seine Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit ohne wesentlichen Verlust der Nutzungseigenschaften und mit einem vertretbaren Instandhaltungsaufwand behält."

Mit diesem Satz ist alles Wesentliche gesagt und somit sind auch alle anderen Sätze der DIN 1052, Kapitel 6 „Anforderungen an die Dauerhaftigkeit", weitestgehend nur noch Erklärungen bzw. Hinweise dahingehend, wie die Anforderungen an die Dauerhaftigkeit möglicherweise erfüllt werden können.

So einfach die oben aufgeführte Grunddefinition der Dauerhaftigkeit ist, so vielfältig sind die jeweils auf die einzelne Situation zugeschnittenen Definitionen und die Möglichkeiten der Nachweisführung. Da dieses Kapitel unter der großen Überschrift „ZUKUNFT-HOLZ" verfasst wird, wird hier im Folgenden hauptsächlich auf die Dauerhaftigkeit im Holzbau eingegangen. Es ist jedoch wichtig zu wissen, dass andere Branchen ein teilweise komplett anderes Verständnis für den Begriff der Dauerhaftigkeit haben.

2.1 Dauerhaftigkeit im Holzbau

Bei der Betrachtung der Dauerhaftigkeit im Holzbau sind die Fragestellungen nach der Optik, dem Trag- und Verformungsverhalten, der Dichtheit und dem Wetterschutz zu beantworten. Alle einzelnen Fragestellungen beziehen jedoch immer weitere mit ein. So können z.B. metallische Verbindungsmittel zwar oberflächlich rosten und somit die Optik beeinträchtigen, jedoch das Trag- und Verformungsverhalten nur unwesentlich beeinträchtigen. Der umgekehrte Fall ist genauso gut möglich, wenn z.B. durch Muldenkorrosion eine Kerbwirkung eintritt, die das Tragverhalten erheblich abmindert, die jedoch mit bloßem Auge nur schwer zu erkennen ist. Die Dauerhaftigkeit einer Dichtfuge wird erheblich von dem Verformungsverhalten der angrenzenden Bauteile be-

einflusst. Erfüllt eine Dichtfuge nicht mehr ihre Funktion, so können andere – dahinter befindliche Bauteile – schnell in Mitleidenschaft gezogen werden und ihre Dauerhaftigkeit verlieren. Somit ist immer zwischen Ursache und Wirkung zu unterscheiden. Die Optik einer natürlich belassenen Holzfassade wird sich innerhalb kurzer Zeit erheblich verändern (z.B. vergrauen) wird dann jedoch – bei richtiger Ausführung – über Jahrzehnte dauerhaft bleiben.

Im Holzbau sind zwei Grundsätze mit oberster Priorität zu behandeln:
Die sogenannte natürliche Dauerhaftigkeit der unterschiedlichen Holzarten ist für den jeweiligen Anwendungsfall zu berücksichtigen.

Mit geeigneten konstruktiven Maßnahmen (konstruktiver Holzschutz) lässt sich die Beanspruchung einer Holzkonstruktion erheblich und dauerhaft verringern.

Chemische Holzschutzmittel können zwar die Dauerhaftigkeit von Hölzern erhöhen, jedoch sind selbst die Holzschutzmittel nicht dauerhaft wirksam. Zudem können sie bewirken, dass aus einem Naturprodukt plötzlich Sondermüll wird.

2.2 Natürliche Dauerhaftigkeit von Holz

Der Begriff der natürlichen Dauerhaftigkeit wird in erster Linie für Vollhölzer verwendet. DIN EN 335 hat den Titel „Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten“, definiert im Teil 1 die sogenannten Gebrauchsklassen und im Teil 2 die Anwendung der Norm bei Vollholz. Dort wird neben dem Begriff der natürlichen Dauerhaftigkeit auch die sogenannte erzielte Dauerhaftigkeit verwendet, und meint damit die Veränderung der Dauerhaftigkeit durch chemischen Holzschutz. In DIN EN 350 werden im Teil 1 Grundsätze für die Prüfung und Klassifikation der natürlichen Dauerhaftigkeit von Holz beschrieben und der Teil 2 ist ein Leitfaden für die natürliche Dauerhaftigkeit und Tränkbarkeit von ausgewählten Holzarten von besonderer Bedeutung in Europa. DIN EN 460 sieht sich als Leitfaden für die Anforderungen an die Dauerhaftigkeit von Holz für die Anwendung in den Gefährdungsklassen und wird auch überschrieben mit „Natürliche Dauerhaftigkeit von Vollholz“.

Die Vollhölzer können in die Kategorien „sehr dauerhaft“ bis „nicht dauerhaft“ eingestuft werden, wobei hier ausdrücklich darauf hingewiesen wird, dass die nachstehend aufgeführten Hölzer unter den entsprechenden Bedingungen, bei denen holzzerstörende Pilze wachsen können als ... dauerhaft eingestuft werden. Natürlich sind Fichte und Esche unter trockenen Bedingungen auch sehr dauerhaft, jedoch nur unter trockenen Bedingungen!

Tab. 1: Klassifikation der natürlichen Dauerhaftigkeit gegen holzzerstörende Pilze

1	sehr dauerhaft	z.B. Afzelia, Bilinga, Greenheart, Makoré, Maobi, Padouk, Teak
1-2		z.B. Robinie (Kernholz)
2	dauerhaft	z.B. Bankirai, Bongossi, Bubinga, Edelkastanie, europ. Eiche, Merbaum, Mahagoni, amer. Western Red Cedar,
2-3		z.B. Yellow Cedar, amerik. Weißeiche
3	mäßig dauerhaft	z.B. Pitch Pine
3-4		z.B. europ. Douglasie, europ. Lärche
4	wenig dauerhaft	z.B. Fichte, Yellow Meranti, Roteiche, Tanne, Ulme
5	nicht dauerhaft	z.B. Birke, Buche, Esche, Linde, White Meranti

2.3 Dauerhaftigkeit von metallischen Verbindungsmitteln

Die Dauerhaftigkeit von Metallen in Verbindung mit Holz wird vorrangig in DIN 1052 – auch im bereits zitierten Kapitel 6 der Norm beschrieben. In Tabelle 2 der Norm sind Mindestanforderungen an den Korrosionsschutz für metallische Bauteile und Verbindungsmittel aufgeführt. Im Absatz 3 von Kapitel 6.3 wird erwähnt, dass andere, gleichwertige Maßnahmen zulässig sind, wobei kein Hinweis darauf gegeben ist, wie der Nachweis der Gleichwertigkeit zu führen ist. Am Fraunhofer WKI wurden zwei Nachweisverfahren entwickelt (s.a. 10.1 Korrosionsverhalten Baumetalle bei Holzkontakt) mit denen diese Lücke geschlossen werden kann. Während das eine Verfahren ausschließlich einen Vergleich zwischen dem in DIN 1052 genannten Korrosionsschutz und einer anderen Maßnahme liefert, wird mit dem anderen Verfahren ein Nachweis der Dauerhaftigkeit geführt. Beim Vergleich der beiden Verfahren wird die Problematik der Nachweisführung einer Dauerhaftigkeit deutlich. Während das Vergleichsverfahren klar und eindeutig als eine Prüfnorm beschrieben ist, werden beim anderen Verfahren vorrangig die zu klärenden Fragestellungen beschrieben. Die Nachweisführung einer Dauerhaftigkeit ist eine herausgehobene Ingenieursleistung und kann jeweils nur individuell für eine jeweilige Situation erfolgen.

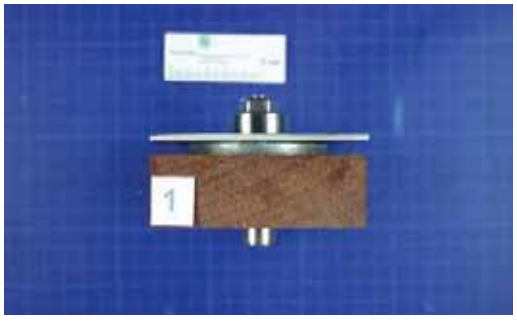


Abb. 1a: Prüfkörper eines Dauerhaftigkeitsversuchs vor der Beanspruchung

Abb. 1b: Prüfkörper eines Dauerhaftigkeitsversuchs nach der Beanspruchung

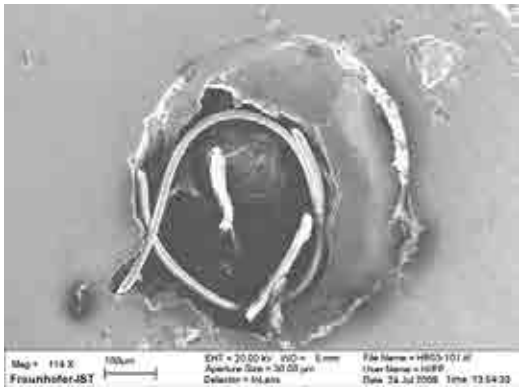


Abb. 2: REM- Aufnahme von Salzkristallenablagerungen in den Poren eines Verbinders aus Metallguss

3 Möglichkeiten der Nachweisführung

So vielfältig wie die Definitionen der Dauerhaftigkeit sein können, so vielfältig sind die Möglichkeiten der Nachweisführung. Prinzipiell kann jedoch in drei grundsätzlich voneinander zu unterscheidenden Verfahren eingeteilt werden:

- Erfahrung / Nachweis über bereits existierende Bausituationen
- Labortechnische Nachweiseverfahren
- Numerische Nachweisverfahren

Die labortechnischen und die numerischen Verfahren werden beide unter dem Überbegriff der Umweltsimulation geführt. Da die Umweltsimulation ein überaus komplexes Gebiet darstellt, wurde im Jahr 1969 die Gesellschaft für Umweltsimulation e.V. (GUS) gegründet. Sie ist die Fach-

organisation von Personen, Institutionen und Firmen, die auf dem Gebiet der Umweltsimulation arbeiten und fördert gemeinnützig die Entwicklung der Umweltsimulation, z.B. durch fachlichen Austausch. Sie vermittelt Kontakte zu Umweltlabors sowie zwischen Anwendern und Herstellern von Umweltsimulationseinrichtungen und der damit verbundenen Messtechnik.

Die Dauerhaftigkeit eines Holzbauteils hängt in hohem Maße vom klimatisch hervorgerufenen Feuchteverhalten ab. Materialfeuchteänderungen können zum einen Auffeuchtungen bewirken, die einen biologischen Befall und damit verbundenen Substanzabbau ermöglichen. Ab bestimmten Holzfeuchten, in der Regel deutlich über dem Fasersättigungsbereich, bauen Holz zerstörende Pilze die jeweiligen Holzbestandteile, zum Beispiel Zellulose oder Lignin, ab. Das Larvenwachstum Holz besiedelnder Insekten ist, neben der Temperatur, ebenfalls vom Holzfeuchtegehalt abhängig. Andererseits verursachen Materialfeuchteänderungen aufgrund der Hygroskopizität und polymeren Struktur des Holzes Volumenänderungen. Unterhalb des Fasersättigungsbereichs quellen Holz oder Holzwerkstoffe bei einer Auffeuchtung und schwinden bei einer Trocknung. Zur Beurteilung einer möglichen Dauerhaftigkeit einer Holzkonstruktion sind, neben vielen anderen, vor allem jedoch vorgenannte Punkte zu berücksichtigen.

3.1 Erfahrung / Nachweis über bereits existierende Bausituationen

Die Nachweisführung über die Erfahrung ist in vorangegangenen Jahrhunderten die einzig zur Verfügung stehende Möglichkeit gewesen. Bei der überschaubaren Anzahl unterschiedlicher Baustoffe und über Jahrhunderte gleichbleibender Baukultur war das Verfahren legitim. Auch das fehlende technische Wissen und Laborausstattung damaliger Zeit ließen keine anderen Möglichkeiten zu. Aber auch heute wird dieses Verfahren zumindest noch hilfestellend verwendet. So werden z.B. Wärmedämmverbundsysteme im Holzbau, jeweils bei Beantragung der Verlängerung der Gültigkeitsdauer einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung (abZ), an bestehenden Objekten auf systematische Schäden untersucht, obwohl diese vor Erteilung der abZ einer intensiven Untersuchung im Labor unterzogen werden.

3.2 Labortechnische Nachweisverfahren

Die labortechnischen Nachweisverfahren bilden die wahrscheinlich vielfältigste Gruppe der möglichen Nachweisverfahren. Charakteristisch für diese Verfahren ist, dass die Verfahren für eine jeweilige Situation zugeschnitten und die Ergebnisse reproduzierbar sind, sowie eine relativ kurze Versuchsdauer haben. Prinzipiell können fast alle Laborverfahren, bei denen ein Material vor der eigentlichen (zerstörerischen) Prüfung der zu untersuchenden Eigenschaft einer thermischen, chemischen, biologischen, mechanischen oder anderweitig physikalischen (Feuchte) Behandlung unterzogen wird, in die Gruppe der labortechnischen Nachweisverfahren eingestuft werden.

Da die Aufzählung sämtlicher Verfahren den Rahmen hier sprengen und trotzdem niemals vollständig sein würde, werden nachstehend nur einige beispielhaft aufgeführt:

DIN EN ISO 9227, DIN EN 13528-3 und diverse weitere (sog. Salzsprühnebeltest)
DIN EN 13354, DIN 321, ISO 16987, DIN 314, DIN EN 391 (Klebefestigkeit bei Holzwerkstoffen)
DINV ENV 12038, DIN EN 350 (Beständigkeit gegenüber Pilzen o.ä.)
EOTA-Zyklen nach ETAG 004, sog. WKI-Zyklen (Wärmedämmverbundsysteme)
DIN EN 12467 (Mineralische Plattenwerkstoffe)
DIN EN 12793 (Glas im Bauwesen)
DIN EN 12153, DIN EN 12155, DIN EN 12179, DIN EN 13050 (Vorhangfassaden)

Abb. 3: Verbindungsmittel nach Korrosionsprüfung

Zusätzlich zu den nahezu unzähligen genormten Verfahren werden permanent weitere Verfahren entwickelt, teilweise nur für einen bestimmten Untersuchungsschwerpunkt, der in keiner Norm abgebildet ist. So wurde vom WKI ein Verfahren entwickelt, das die Dauerhaftigkeit eines Außenputzes gegenüber Algenbefall ermittelt. Abb. 4 zeigt eine stark vereinfachte grafische Darstellung des multifaktoriellen Problems, das im Labor auf wenige relevante Faktoren reduzierten werden muss und verdeutlicht somit die überaus komplexe Problematik der Entwicklung von Dauerhaftigkeitsversuchen.

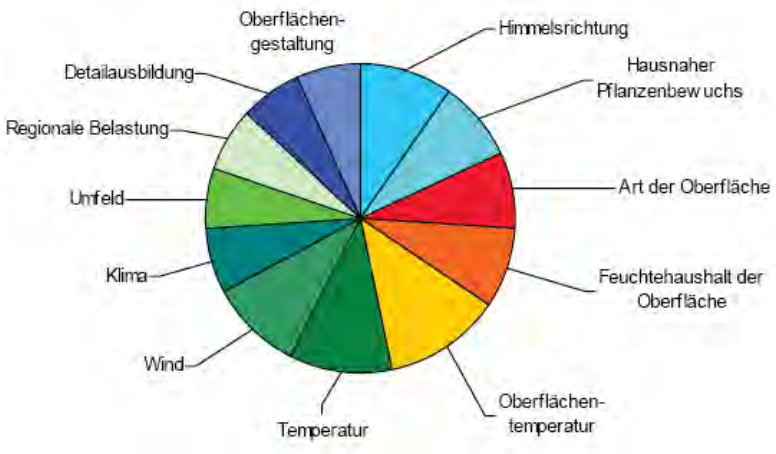


Abb. 4: Vereinfachte grafische Darstellung des multifaktoriellen Problems des Algenbewuchses auf Putzen

3.2 Numerische Nachweisverfahren

In der Umweltsimulation nimmt die Verwendung numerischer Simulationen zur Beurteilung zeitabhängiger Eigenschaftsänderungen von Materialien oder Bauteilen (und somit der Dauerhaftigkeit) an Bedeutung zu. Im Bauwesen werden auf der Basis grundlegender Arbeiten mehrere Computerprogramme zu numerischen Simulationen des Wärme- und Feuchteverhaltens von Bauteilen eingesetzt. Die Ergebnisse dienen zur Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit, das heißt der Funktionsfähigkeit über die Nutzungsdauer und somit der Dauerhaftigkeit.

Ähnlich wie bei den labortechnischen Verfahren gibt es auch bei den numerischen Verfahren „Spezialisten“ und „Allrounder“. Während jedoch die standardisierten Laborverfahren mit gut ausgebildetem Laborpersonal durchführbar sind, da die Handlungsabläufe in der Regel detailliert vorgegeben sind, ist zur richtigen Verwendung der numerischen Verfahren ein detailliertes Spezialwissen erforderlich. Die Programme stellen ein hochkomplexes Handwerkzeug für den Ingenieur dar.

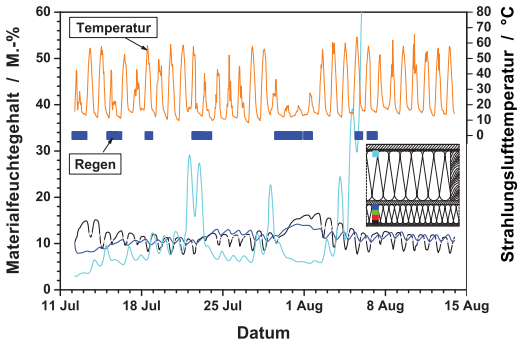


Abb. 5: Feuchteverläufe ausgesuchter Elemente einer Holztafelwand mit einem WDVS direkt befestigt auf Konstruktionshölzer über eine Sommerperiode unter Angabe der Strahlungslufttemperaturen und Regenereignisse

Die zunehmende Anwendung numerischer Verfahren ist vor allem begründet durch die Vorteile dieser im Vergleich zu labortechnischen Verfahren. Zudem werden die Berechnungen mit zunehmender Rechnerleistung schneller und können detaillierter ausgeführt werden. Mit Hilfe numerischer Verfahren sind schneller und zahlreichere Ergebnisse mit verhältnismäßig geringerem Aufwand als durch Experimente erzielbar. Nachteilig sind bei numerischen Verfahren die Abhängigkeit der Qualität der Ergebnisse von den Eingangsparametern für die Berechnungen sowie die Idealisierung und Reduzierung der komplexen Vorgänge der Realität auf wenige vereinfachte Wirkungsbeziehungen. Jedoch sind bei der experimentellen Untersuchung auch Vereinfachungen erforderlich und auch hier haben die Randbedingungen des Versuchs relativ großen Einfluss auf die Versuchsergebnisse.

Die Vor- und Nachteile numerischer Verfahren sind auch bei der Beurteilung des Feuchteverhaltens von Holzbauteilen wieder zu finden. Stehen im Gegensatz zu Praxisuntersuchungen oder labortechnischen Bewitterungen die Rechenergebnisse nach Minuten oder Stunden zur Verfügung, sind häufig die Materialparameter nicht bekannt oder unterliegen hohen Streuungen, so dass die Aussagefähigkeit der Ergebnisse mit Vorsicht zu interpretieren ist. Die Prognosegüte von Rechenergebnissen kann einerseits durch einen Vergleich mit Ergebnissen aus Experimenten validiert werden, andererseits können statistische Methoden zu einer besseren Interpretation numerischer Verfahren beitragen.

Die üblichen Computerprogramme berechnen gekoppelte instationäre Wärme- und Feuchteströme und berücksichtigen die in DIN EN 15026 aufgeführten Bedingungen zur Bewertung der Feuchteübertragung durch numerische Simulation. Nach Einteilung eines Bauteils in definierte (finite) Elemente werden für jedes Element bei jedem Rechenzeitschritt eine Wärmebilanz und eine Feuchtebilanz aufgestellt. Bei der Wärmebilanz muss die zeitliche Änderung der Enthalpie gleich der räumlichen Änderung des Wärmestroms sein, bei der Feuchtebilanz muss die Änderung der Feuchtekonzentration der räumlichen Änderung des Diffusionsstroms entsprechen. Die Wärmeströme werden aus der Fourier‘ schen Differentialgleichung abgeleitet, die Feuchteströme infolge Wasserdampfdiffusion nach den Fick’ schen Gesetzen. Für den kapillaren Feuchtetransport wird das von Kiessl (1983) beschriebene Lösungsverfahren eingesetzt. Aus dem Wärmestrom wird infolge des Temperaturgefälles die Zustandsgröße Materialtemperatur und aus dem Diffusionsfeuchtestrom wird infolge des Partialdampfdruckgefälles über die Beziehung zwischen Sorptionsisotherme und Partialdampfdruck die Zustandsgröße Materialfeuchte berechnet. Bei der Kapillarleitung wird infolge des Konzentrationsgefälles über die Rohdichte ebenfalls die Zustandsgröße Materialfeuchte berechnet. Mit guten Rechenprogrammen können neben eindimensionalen auch zwei- und dreidimensionale Wärme- und Feuchteströme berechnet werden.

Für die Berechnung ist die Eingabe der Materialkennwerte und der Klimarandbedingungen erforderlich. Zu den Materialkennwerten zählen die Rohdichte, die Wärmeleitfähigkeit, die spezifische Wärmekapazität, die Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl, die Kapillarleitzahl sowie die Sorptionsisotherme. In der Regel berücksichtigen die Programme die Feuchteabhängigkeit der Wärmeleitfähigkeit und der Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl.

Die Klimarandbedingungen Lufttemperatur, Taupunkttemperatur oder Luftfeuchte können entweder als Sinusfunktion vorgegeben oder aus Datensätzen eingelesen werden. Strahlungslufttemperaturen aus Sonnenstrahlung sowie Auffeuch-

tungen infolge Schlagregens können ebenfalls als Klimalasten generiert werden. Zur Berechnung der Zustandsgrößen Materialtemperatur und –feuchte in den Randelementen des Bauteils werden die in der Bauphysik gebräuchlichen Wärme- und Feuchteübergangskoeffizienten verwendet.

Numerische Verfahren können sinnvoll als Ergänzung zu anderen Methoden zur Beurteilung der Dauerhaftigkeit von Holzbauteilen eingesetzt werden. Für Holzbauteile berechnen numerische Simulationen den instationären, gekoppelten Wärme- und Feuchtetransport. Die Güte der Rechenergebnisse sollte jedoch immer mit Messungen aus künstlichen Bewitterungsversuchen oder Praxismessungen überprüft werden. Ohne eine solche Validierung kann die Aussagewahrscheinlichkeit durch statistische oder stochastische Methoden verbessert werden.

Eine andere Grenze ist den numerischen Verfahren durch die Idealisierung und Reduzierung der komplexen Vorgänge der Realität auf wenige vereinfachte Wirkungsbeziehungen gesetzt. So sind zum Beispiel konvektiv verursachte Wärme- und Feuchtetransportvorgänge schwierig in die Gleichungssysteme für Wärmeleitung oder Wasserdampfdiffusion zu integrieren. Weiterhin besteht Entwicklungsbedarf bei der Kopplung von berechneten Materialtemperaturen und –feuchten mit hierdurch verursachten Verformungen.

Besonders gut geeignet sind numerische Simulationen, wenn nicht absolute Werte, zum Beispiel für Materialfeuchten, mit hoher Genauigkeit berechnet werden sollen, sondern wenn grundsätzliche Feuchtetransportphänomene und Abhängigkeiten des Feuchteverhaltens von Konstruktionsvarianten gezeigt werden sollen, da auch aufgrund der Rechnerleistungsfähigkeit in kurzer Zeit Ergebnisse erzielt werden.

Quellen

[1] Manier, G.: Umweltbezogene numerische Wirkungssimulation. 32. Jahrestagung der Gesellschaft für Umweltsimulation (GUS), Pfinztal bei Karlsruhe, 26.-28. März 2003

[2] Kiessl, K.: Kapillarer und dampfförmiger Feuchtetransport in mehrschichtigen Bauteilen – Rechnerische Erfassung und bauphysikalische Anwendung. Dissertation, Universität Gesamthochschule Essen, 1983

[3] Häupl, P., Stopp, H.: Feuchtetransport in Baustoffen und Bauteilen. Dissertation, TU Dresden, 1987

[4] Greubel, D.: Messen und Berechnen instationärer Feuchteströme durch Holzbaustoffe. WKI-Bericht, unveröffentlicht

[5] Greubel, D.: Rechenmodelle und Simulationsversuche zur Beurteilung des feuchtetechnischen Verhaltens von Bauteilen, Teil 2. wksb, H. 24, 1988, S. 42-45

[6] Künzel, H.: Verfahren zur ein- und zweidimensionalen Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransportes in Bauteilen mit einfachen Kennwerten. Dissertation, Universität Stuttgart, 1994

[7] Herlyn, J.W.: Simulationsmodelle für Gebrauchstauglichkeitsuntersuchungen von Holzbauteilen durch künstliche Bewitterung. 32. Jahrestagung der GUS, Stutensee-Blankenloch bei Karlsruhe, 26.-28. März 2003

[8] Richtlinie 3958 des Verein Deutscher Ingenieure (VDI): Umweltsimulation Grundlagen und Methoden, 12/1995

[9] Kraus, E.: Untersuchung des Einflusses von Stoffkennwerten und Klimamodellvariationen bei der Berechnung instationärer Wärme- und Feuchteströme. Studienarbeit, Fraunhofer-Institut für Holzforschung WKI u. TU Braunschweig, 1999

[10] Holm, A.; Gertis, K.: Bestimmung der Genauigkeit hygrothermischer Bauteilberechnungen mit Hilfe eines stochastischen Konzepts. Bauphysik 24, 2002, Heft 5, S. 273-281

[11] Schliesing, S.: Numerische Simulation des Feuchteverhaltens moderner Wand- und Dachkonstruktionen in Holzbauart unter Variation der Bauteilgeometrien, Materialkennwerte und Klimarandbedingungen zur Ableitung repräsentativer experimenteller Bewitterungsversuche. Diplom-Arbeit, Fraunhofer-Institut für Holzforschung WKI u. Fachhochschule Eberswalde, 2003

[12] DIN 68800-2 Holzschutz - Teil 2: Vorbeugende bauliche Maßnahmen im Hochbau (1996-05)

[13] Herlyn, J.W.; Rüther, N.: Ermittlung des Gefährdungsrisikos von Holzaußenbauteilen mit Plattenwerkstoffen infolge Schwind- und Quellverformungen anhand praxisnaher Untersuchungen. Abschlussbericht 2007. Fraunhofer IRB-Verlag

[14] Herlyn, J.W.; Rüther, N.: Gefährdung von Holzkonstruktionen bei Verzicht auf wasserableitende Schichten in Außenwänden ohne vorbeugenden chemischen Holzschutz nach DIN 68800-2. Abschlussbericht 2006. Fraunhofer IRB-Verlag

12 Holzschutz, Oberflächenbehandlung
Inhaltsverzeichnis

12 Holzschutz, Oberflächenbehandlung

Holzschutz – Aktueller Stand der Wissenschaft und Technik S. 997
Unempfindlichkeit von technisch getrocknetem Holz gegen Insekten S. 1005
Polyurethan-Beschichtungen S. 1013
Brückenbelag aus DuroBOARD S. 1019
Nano-Beschichtungen S. 1021
Strahlengehärtete Lacke S. 1029
UV-Lichtstabilisierung S. 1031
Greywood S. 1035
Die Wirkung von Laserstrahlung auf Eigenschaften des Holzes S. 1037
RSM Analyse der Wirkung kombinierter Parameter auf das Wachstum von Pilzen S. 1045

12 Holzschutz, Oberflächenbehandlung
Einleitung

Im Bereich des Holzschutzes und der Oberflächenbehandlung hat sich in den vergangenen Jahren viel bewegt. So geht die Entwicklung innerhalb des Holzbaus eher weg vom chemischen Holzschutz, hin zu vorbeugenden baulicher Maßnahmen. Für viele Holzbaubetriebe ist heutzutage der Einsatz chemischer Holzschutzmittel problematisch geworden, sei es aus ökologischen Motiven heraus oder aus Gründen der Wohngesundheit.

Holzschutz

Die oben genannte Entwicklung greift auch die Holzbaunorm DIN 68800 auf, die derzeit aktualisiert wird: In Teil 1 der neuen Norm ist eindeutig darauf hingewiesen, dass bauliche Maßnahmen beim Schutz des Holzes künftig im Vordergrund zu stehen haben. Unter baulichem Holzschutz ist eine Bauweise zu verstehen, die eine dauerhafte Trockenhaltung des Holzes (unterhalb Fasersättigung) sicherstellt. So geschützte Bauteile und Holzkonstruktionen werden innerhalb der DIN 68800 der Gefährdungsklasse 0 zugeordnet. Details zu dieser Entwicklung wie auch ein umfassender Überblick über das Thema Holzschutz finden sich in dem Beitrag „Holzschutz – aktueller Stand der Wissenschaft und Technik“ (Borimir Radovic).

Insgesamt umfasst der Holzschutz alle Maßnahmen, die eine Zerstörung von Holz vor Schädigungen durch Witterung, Insekten und Pilze verhindern und damit eine lange Gebrauchsdauer gewährleisten. Neben dem zu bevorzugenden konstruktiven Holzschutz werden folgende Arten des Holzschutzes unterschieden:

- Nutzung resistenter Hölzer: Diese sind gegenüber Pilzen und Insekten auf Grund ihrer natürlichen Inhaltsstoffe weitgehend resistent. So enthält Teakholz Stoffe, die dem Zersetzen durch Fressfeinde entgegenwirken, auch das Kernholz einiger Nadelholzgewächse (z.B. Lärche, Western Red Cedar) schützt sich selbst.

- Biologische Holzschutzmittel: Diese kommen ohne Biozide aus und besitzen gegen Insekten eine vorbeugende Wirkung. Das Wirkprinzip basiert auf der Abdeckung der holzspezifischen, geruchsintensiven Aerosole, durch welche die Tiere normalerweise angelockt werden. In früheren Zeiten verwandte Mittel wie Kalk und Ochsenblut beruhen auf dem gleichen Prinzip.

- Beim chemischer Holzschutz verhindern Biozide den Befall durch Holz zerstörende Organismen bzw. bekämpfen diese. Viele der als Schutzmittel eingesetzten Chemikalien sind neuro- und immuntoxisch bedenklich - sonst wären sie als Holzschutzmittel nicht wirksam.

Zaunblättling auf frei bewitterter Holzbohle

Die Bemühungen, Holz zu schützen, sind so alt wie die Verwendung des Holzes als Baustoff selbst. Schon sehr früh wurden neben dem rein konstruktiven Holzschutz physikalische Verfahren und chemische Wirkstoffe eingesetzt. Die Verfahren reichten von der Ankohlung der Hölzer (Funde in der Fayum Wüste, etwa 5.000 v. Chr.) über den Anstrich mit pflanzlichen Ölen (Ägypten, ab

2.900 v. Chr.) bis hin zur Behandlung mit Holzdestillationsprodukten wie Holzteer, Holzessig oder Kreosot (Griechenland und Italien, ab 1.000 v. Chr.); die Chinesen benutzen schon Quecksilber- und Arsenverbindungen zum Schutz ihrer Holzkonstruktionen (ab 800 v. Chr.).

Probater Schutz vor Insekten

Das Kapitel „Holzschutz – Oberflächenbehandlung" betrachtet vorwiegend Hölzer und Bauteile, die der Witterung ganz oder zumindest zeitweise ausgesetzt sind. Doch auch bei unbewittertem Holz kann es bekanntlich zu einem Schädlingsbefall kommen, der Hausbock sei hier an erster Stelle genannt. Dem Insektenbefall kann in unseren Breiten allerdings durch eine technische Trocknung der Hölzer vorgebeugt werden, wie der Beitrag „Unempfindlichkeit von technisch getrocknetem Holz gegen Insekten" (Borimir Radovic) zeigt.

Diese Tatsache lässt sich bei Brettschichtholz-Trägern, welche immer aus technisch getrocknetem Holz bestehen, ablesen. Mindestens 90% dieser Hölzer erhielten in Deutschland in den vergangenen Jahren keine Behandlung mit Holzschutzmitteln. Dennoch ist bis heute kein Fall bekannt, bei dem Brettschichtholz in Innenräumen und im nicht direkt bewitterten Außenbereich von Insekten befallen wurde. Zwei Feldstudien zur Untersuchung von Brettschichtholzträgern aus dem Jahr 1984 und 2001 bestätigten zudem: Alle untersuchten Träger waren frei von Insektenbefall.

Oberflächenbehandlung

Steht beim Holzschutz die Sicherheit tragender Bauteile im Vordergrund, so erfüllt die Oberflächenbehandlung bei Hölzern und Holzbauteilen im Außenbereich viele andere Funktionen. Dies sind der Schutz gegen Licht oder UV-Strahlung, der Feuchteschutz oder der Schutz gegen Oberflächen verfärbende Pilze und Algen. Zudem übernehmen Beschichtungen oft eine gestalterische Funktion, welche meistens mit einer Schutzfunktion in Verbindung steht.

Herkömmliche Substanzen zur Hydrophobierung von Holzoberflächen basieren auf Paraffin, Wachsen oder Ölen. Hydrophobierende Mittel der jüngeren Generation basieren in vielen Fällen zudem auf Siliziumverbindungen und besitzen in Verbindung mit der Nanotechnologie ein großes Entwicklungspotenzial. Werden diese Siliziumverbindungen allerdings mittels Imprägnierverfahren ins Holz eingebracht, so handelt es sich nicht mehr um eine Oberflächenbehandlung, sondern um eine Modifikation (siehe auch Kap. 8 „Modifiziertes Holz").

Nanotechnologie der Zukunft

Der Nanotechnologie wird ein großes Potenzial für technische Entwicklungen beigemessen, eine Vielzahl von neuen Anwendungen ist bereits aus ihr hervorgegangen. So wird sie als eine der Schlüsseltechnologien des 21. Jahrhunderts bezeichnet. Der Beitrag „Nanobeschichtungen" (Institut für Holzbau) beschreibt die möglichen Anwendungsgebiete dieser Zukunftstechnologie für den Holzbau.

Wie oben erwähnt wird die Nanotechnologie bereits zur Hydrophobierung von Holzoberflächen angewandt. Dabei werden so genannte Siliziumdioxid-Nanosole eingesetzt, die sich in einer (ethanoloischen) Lösung befinden. Sobald das Lösungsmittel verdampft, bildet das nanodisperse Siliziumdioxid ein Gel aus, welches sich im weiteren Verlauf vernetzt und zur Mineralisierung führt.

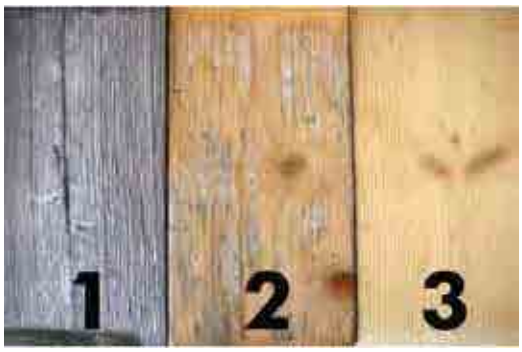
Die wohl bekannteste Funktion der Nanotechnologie ist die selbstreinigende Oberfläche, wie sie auch beim Blatt der Lotuspflanze beobachtet werden kann. Für Holz sind jedoch noch keine marktreifen Produkte bekannt. Dies liegt daran,

dass aufgrund der porösen Struktur der Holzoberfläche keine annähernd glatte Fläche wie beim Lotusblatt erzeugt werden kann. Die Holzforschung sollte auch an dieser Stelle weiter vorangetrieben werden mit dem Ziel, den selbstreinigenden Effekt der Nanobeschichtung mit der Hydrophobierung zu verbinden.

Sonnenschutz für Holzbauteile

Der Holzabbau an Bauteiloberflächen erfolgt nicht nur durch den Eintrag von Feuchtigkeit, sondern auch durch Lichteinstrahlung. Gemäß langjähriger Erfahrung kann die Standzeit von Holzoberflächen mit geeigneten Lichtschutzmitteln erheblich verlängert werden. Durch den Einsatz von UV-Absorbern wird der Abbau des Lignins stark verringert. Nach Erkenntnissen des Beitrags „UV-Lichtstabilisierung“ (Chantal Donders) kann die Stabilität einer Holzoberfläche sowie die Haftung ihrer Beschichtung gegenüber traditionellen Beschichtungssystemen erheblich verlängert werden.

Dieser Effekt kann anhand eines farblosen Lasuranstrichs illustriert werden.



Wirkungsweise des UV-Schutzes (3) nach 2 Jahren Freibewitterung (1 = unbehandelte Oberfläche, 2 = Lasurfarbe farblos)

Bei diesem Versuch wurden nach fünf Monaten Freibewitterung die Oberflächen durch einen Hagelregen verletzt. Bei Probe Nr. 2 ist zu erkennen, dass Wasser unter die Lasurbeschichtung gedrungen ist und die zerstörten Ligninbestandteile teilweise ausgewaschen wurden (Wasserringe). Dieser Versuch zeigt anschaulich, dass UV-Strahlung eine fotochemische Veränderung der Holzsubstanz bewirkt. Insgesamt darf man davon ausgehen, dass die Möglichkeiten des UV-Schutzes von Holzoberflächen noch lange nicht ausgereizt sind.

Vorvergrautes Holz

Seit mehreren Jahrzehnten werden Gebäude mit Holzfassaden versehen, deren Oberfläche im Optimalfall mit der Zeit eine natürliche, silbergraue Patina annehmen. Da die Alterung jedoch selten so gleichmäßig ins Silber der natürlichen Vergrauung hinüberwechselt, wird es in vielen Fällen sowohl von der Bauherrschaft, als auch von den Planern gewünscht, die farbliche Veränderung des Holzes bereits bei der Errichtung von Holzfassaden vorwegzunehmen.

Verschiedene Hersteller bieten daher mittlerweile Lasuren an, welche die natürliche Vergrauung der Holzoberfläche durch eine Reaktion mit Feuchtigkeit und Sauerstoff extrem beschleunigen. Innerhalb weniger Monate kann so eine gleichmäßige und natürliche Oberflächenfärbung entstehen, die sonst mehrere Jahre erfordern würde. Auch ein nachträgliches Auftragen kann in geschützten Bereichen zu einer natürlichen Vergrauung führen. Siehe Beitrag „Greywood“ (Institut für Holzbau).

Harte Kunststoffe für weiche Hölzer

Die Möglichkeiten des Einsatzes von harten Kunststoffen für die Oberflächenbehandlung zeigt der Beitrag „Polyurethan-Beschichtungen“ (Institut für Holzbau). Im Hochbau werden Polyurethanharze als Holzlackfarben für Möbel, Beschichtungen für Industrie- und Sportböden, Parkettsiegel sowie als Metall-, Holz- und Betonbeschichtungen verwendet. Anwendungsbereiche

sind ebenfalls Dach- und Schwimmbadabdichtungen sowie Fassaden- bzw. Wandbeschichtungen.

Ein Anwendungsbeispiel für Polyurethan-Beschichtungen findet sich im Beitrag „Brückenbelag aus DuroBOARD“ (Arnold Wittig). Entwickelt wurde dabei ein Holzwerkstoff, der eine Symbiose darstellt aus einem formstabilen Kern aus Furnierschichtholz und einer Verschleiß resistenten Ummantelung aus Polyurethan. Durch diese vorgefertigten Bohlen ist ein Rundumschutz des Holzes mechanische und witterungsbedingte Einflüsse gewährleistet.

Fazit

Insgesamt ist für Hölzer und Holzbauteile, die baulich nicht dauerhaft vor der Witterung geschützt werden können, eine steigende Anzahl von Schutzmöglichkeiten zu verzeichnen, deren Umweltauswirkungen im Gegensatz zu früheren Applikationen stark reduziert sind. Diese zu begrüßende Entwicklung setzt sich derzeit in Forschung und Praxis weiter fort und sollte unterstützt werden.

12 Holzschutz, Oberflächenbehandlung
Holzschutz – Aktueller Stand der Wissenschaft und Technik

Borimir Radovic

1 Allgemeines

Wie alle Naturprodukte unterliegt auch das Holz den Gesetzen des Stoffkreislaufes der Natur. Innerhalb dieses Kreislaufes sind bestimmte Organismen, vor allem Pilze und Insekten, bemüht, das Holz in seine Ausgangsprodukte zurück zu verwandeln. Diese Verwandlung kann jedoch nur unter bestimmten Bedingungen stattfinden.

Die Aufgabe des Holzschutzes ist, das Zustandekommen solcher Bedingungen zu verhindern. Die hierfür erforderlichen Maßnahmen sind in Deutschland in der DIN 68800 festgeschrieben. Zurzeit wird eine neue DIN 68800 erarbeitet. Die Neubearbeitung war aus folgenden Gründen erforderlich:

- die bisherigen fünf Teile der Norm, die sich in einem Alter zwischen 11 Jahren (Teil 2) und 33 Jahren (Teil 1) befinden, sollten auf die heutigen Vorstellungen zum Schutz des Holzes aufeinander abgestimmt werden,
- die EN-Normen im Bereich des chemischen Holzschutzes mussten berücksichtigt werden,
- eine klare Darstellung des in den EN-Normen fehlenden baulichen Holzschutzes war erforderlich,
- die neueste Forschungsergebnisse und Praxiserfahrungen auf dem Gebiet des Holzschutzes sollten berücksichtigt werden.

Nach dem Konzept der neuen Norm werden im Teil 1 alle grundlegenden Aussagen zum Schutz des Holzes aufgeführt, so dass dieser Teil eine zentrale Funktion ausüben wird. In den anderen Teilen werden detaillierte Regelungen zur Durchführung von Maßnahmen enthalten sein:
Teil 2, vorbeugende bauliche Maßnahmen
Teil 3, vorbeugende chemische Maßnahmen
Teil 4, Bekämpfungsmaßnahmen
Einen Teil 5, Schutz von Holzwerkstoffen, wie dies bis jetzt der Fall war, wird es nicht mehr geben. Schutz von Holzwerkstoffen wird in den Teilen 1 bis 3 geregelt.

Im neuen Teil 1 ist eindeutig darauf hingewiesen, dass bauliche Maßnahmen im Vordergrund stehen müssen. Nur wenn bauliche Maßnahmen und/oder die natürliche Dauerhaftigkeit der für den Verwendungszweck vorgesehenen Holzart nicht ausreichend sind, sind Schutzmaßnahmen mit chemischen Holzschutzmitteln erforderlich.

Die vorbeugenden baulichen Maßnahmen werden den Schwerpunkt dieses Vortrages bilden.

2 Vorbeugende bauliche Maßnahmen

Vorbeugende bauliche Maßnahmen sind alle planerischen, konstruktiven, bauphysikalischen und organisatorischen Maßnahmen, die eine Wertminderung oder Zerstörung von Holz und Holzwerkstoffen durch Holz zerstörende Organismen während der Gebrauchsdauer verhindern oder einschränken. Sie sollen darüber hinaus Schäden an Konstruktionen durch übermäßiges Quellen und Schwinden des Holzes und der Holzwerkstoffe vermeiden.

Es wird unterschieden zwischen

- grundsätzlichen baulichen Maßnahmen, die stets zu beachten sind, also auch im Falle der Verwendung eines Holzschutzmittels und
- besonderen baulichen Maßnahmen, die alleine für sich, also ohne Verwendung von Holzschutzmitteln, einen ausreichenden Schutz des Holzes gewährleisten. Diese erlauben die Einstufung der Holzkonstruktion in die Gebrauchsklasse GK0.

Eine der grundsätzlichen baulichen Maßnahmen ist z.B. dass die Niederschläge von Holz entweder ferngehalten oder schnell abgeleitet werden müssen. Bei den besonderen baulichen Maßnahmen sind über die grundsätzlichen baulichen Maßnahmen hinaus weitere Maßnahmen zu be-

achten, die nachgewiesen werden müssen. So muss z.B. bei den im Außenbereich befindlichen Teilen einer Holzkonstruktion ein ausreichender Dachüberstand nachgewiesen werden, wenn auch diese Teile in die Gebrauchsklasse GK0 eingestuft werden sollen. Ein ausreichender Dachüberstand ist z.B. gegeben, wenn zwischen Unterkante Dach und Unterkante Holz ein Winkel von mindestens 60° bezogen auf die Horizontale vorhanden ist.

Hinsichtlich der Schadorganismen wird unterschieden zwischen

- Maßnahmen zur Vermeidung von Schäden durch Holz zerstörende Pilze und
- Maßnahmen zur Vermeidung von Schäden durch Holz zerstörende Insekten.

2.1 Maßnahmen zur Vermeidung von Schäden durch Holz zerstörende Pilze

Im Rahmen dieser Maßnahmen ist dafür zu sogen, dass eine unzuträgliche Erhöhung der Holzfeuchte, als Voraussetzung für einen Pilzbefall, vermieden wird. Dies bedeutet, dass die Holzfeuchte nicht längere Zeit über den Fasersättigungsbereich, d.h. oberhalb von rund 30 % liegen darf, da sich die Holz zerstörende Pilze erst beim Vorhandensein von freiem Wasser in den Zellhohlräumen entwickeln können.

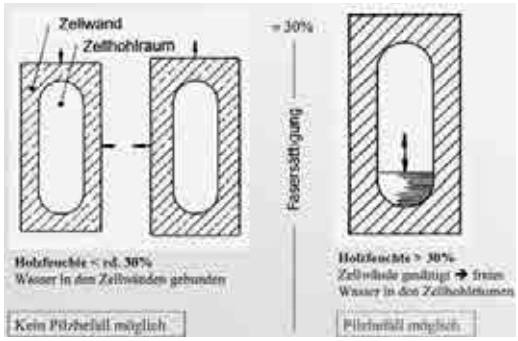


Abb. 1: Feuchtezustand der Zellwände und Zellhohlräume [9]

Bei den diesbezüglichen Maßnahmen wird unterschieden zwischen:

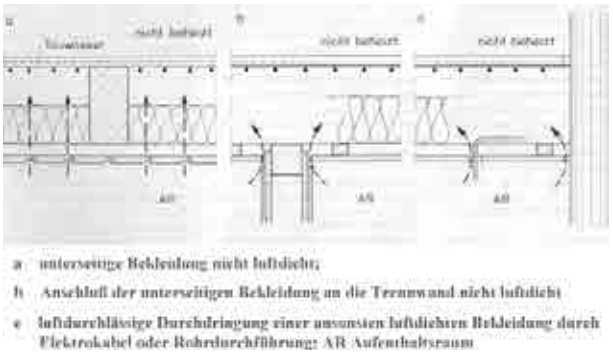
- Feuchteschutz während Transport, Lagerung, Montage und Nutzung
- Wetterschutz
- Schutz in Nassbereichen
- Schutz gegen Feuchteleitung aus angrenzenden Stoffen oder Bauteilen
- Tauwasserschutz

Abb. 2: Ausreichender Schutz vor Niederschlägen während der Montage mit diffusionsoffenen Folien; Oulu Dome, Finnland [5]

Abb. 3: Risse in Brettschichtholz infolge Nichtbeachtung des Feuchteschutzes währen des Bauzustandes [7]

Abb. 4: Ausreichender Wetterschutz einer Holzkonstruktion durch Überdachung [8]

Abb. 5: Wasserdicht ausgebildete Wand- und Fußbodenbereiche eines Badraumes [8]



a unterseitige Bekleidung nicht luftdicht;
b Anschluß der unterseitigen Bekleidung an die Trennwand nicht luftdicht
c luftdurchlässige Durchdringung einer unterseitigen luftdichten Bekleidung durch Elektrokabel oder Rohrdurchführung; AR Aufenthaltsraum

Abb. 6: Wasserdampfkonvektion mit Tauwasserbildung bei nicht luftdicht ausgebildeten Außenbauteilen [3]

Hinsichtlich des Tauwasserschutzes wird unterschieden zwischen:

- Tauwasserschutz für die raumseitige Oberfläche von Außenbauteilen
- Tauwasserschutz für den Querschnitt von Außenbauteilen infolge Wasserdampfdiffusion
- Tauwasserschutz für den Querschnitt von Außenbauteilen infolge Wasserdampfkonvektion

Ein Tauwasserschutz für die raumseitige Oberfläche von Außenbauteile ist infolge ausreichender Wärmedämmung von Holzbauteilen in der Regel gegeben. Auch bezüglich des Tauwasserschutzes infolge der Wasserdampfdiffusion gab es in der Vergangenheit keine Probleme. Hier hat z.B. die Verwendung einer 0,2 mm dicken PE-Folie im Bereich der Innenseite ausgereicht, um den erwähnten Tauwasserschutz zu gewährleisten. In der Zwischenzeit wurden weitere Konstruktionen entwickelt, bei welchen dieser Schutz auch ohne eine PE-Folie gegeben ist. Wenn Schäden infolge der Tauwasserbildung auftraten, waren diese fast immer auf die Wasserdampfkonvektion zurück zu führen.

In der Zwischenzeit sind zahlreiche Luftdichtheitskonzepte erarbeitet worden, so dass auch Schäden infolge der Wasserdampfkonvektion in der Zukunft deutlich weniger auftreten dürften.

Abb. 7: Herstellung der luftdichten Schicht [6]

2.2 Maßnahmen zur Vermeidung eines Insektenbefalles

Umfangreiche Untersuchungen an Objekten aus Brettschichtholz in einem Alter zwischen rd. 30 und 100 Jahren sowie an Objekten aus Vollholz, keilgezinktem Vollholz und Balkenschichtholz in einem Alter zwischen rd. 10 und 20 Jahren haben eindeutig bewiesen, dass das technisch getrocknete Holz von den in unseren Breitengraden vorkommenden Insekten nicht angegriffen wird. Dies bedeutet, dass bei Verwendung von Brettschichtholz, Balkenschichtholz, Brettsperrholz, keilgezinktem Vollholz und anderen Produkten aus technisch getrocknetem Holz keine weiteren Schutzmaßnahmen hinsichtlich eines Insektenbefalls erforderlich sind.

Abb. 8: Intakte Hetzerträger ohne Holzschutzmittel, Alter ca. 100 Jahre, Halle Christoph und Unmack, Niesky [7]

Abb. 9: Kein Insektenbefall bei technisch getrocknetem, nicht chemisch behandeltem Holz im Innen- und Außenbereich eines rund 20 Jahre alten Holzhauses [9]

Abb. 10: Kein Insektenbefall bei technisch getrocknetem nicht chemisch behandeltem Holz im Außenbereich eines rd. 15 Jahre alten Holzhauses [9]

Auch bei einem nicht technisch getrockneten Holz ist die Gefahr eines Bauschadens durch Insekten nicht gegeben, wenn eine der nachfolgenden Bedingungen erfüllt ist:

- das Holz ist allseitig insektenundurchlässig abgedeckt, (genauere Angaben in [3] bzw. Erläuterungen zu [2])
- das Holz ist offen angeordnet, so dass es kontrollierbar ist,
- Verwendung von Farbkernhölzer mit einem Splintholzanteil unter 10 % .

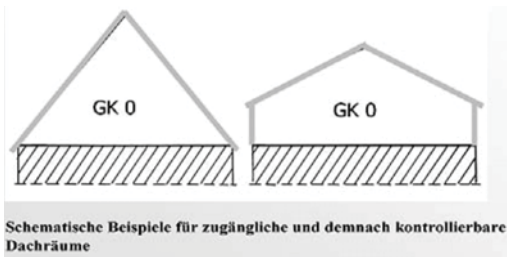


Abb. 11 Holzkonstruktionen GK 0 in nicht ausgebautem Dachraum; GK 0 Konstruktion auch bei nicht technisch getrocknetem Holz [3]

2.3 Maßnahmen zur Vermeidung von Schäden durch übermäßiges Quellen und Schwinden des Holzes

Um Schäden durch übermäßiges Quellen und Schwinden des Holzes zu vermeiden, sollten die Hölzer mit einer Feuchte eingebaut werden, die als mittlere Holzfeuchte im eingebauten Zustand zu erwarten ist. Als Maßstab dafür dient die Gleichgewichtsfeuchte (Abb. 12).

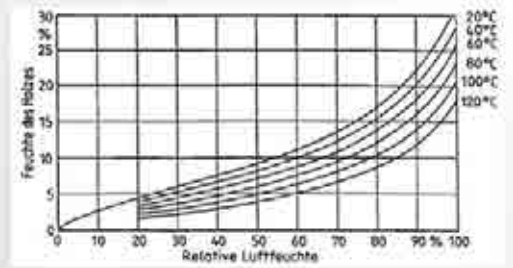


Abb. 12: Gleichgewichtsfeuchte des Holzes in Abhängigkeit von der Temperatur und relativen Luftfeuchte [9]

Bei Nichtbeachtung dieser Anforderung können Schäden infolge Schwindens oder Quellens auftreten, wie unerwünschte Verformungen des Holzes, Risse, Setzungen der Konstruktion usw.

Abb. 13: Fugen zwischen Holzbauteilen infolge Schwindens [4]

Abb. 14: Stauchung der Putzträgerplatte auf Grund von Setzungen / Schwinden der liegenden Randbalken [4]

Abb. 15: Risse im Holz infolge Schwindens [7]

3 Beispiele für empfindliche Anwendungsbereiche des Holzes

3.1 Brücken ohne ausreichenden Wetterschutz

Wenn das Niederschlagswasser von Holzbauteilen nicht rechtzeitig abgeführt werden kann, ist die Gefahr eines Pilzbefalles sehr groß. Diese Gefahr kann auch bei einer chemischen Behandlung des bei uns hauptsächlich verwendeten Fichtenholzes nicht ausreichend beseitigt werden, da das Fichtenholz auch im Kesseldruckverfahren nur in den äußeren 1 bis 2 mm vom Holzschutzmittel erfasst wird und eine ausgereifte technische Ausrüstung

für eine tiefere Imprägnierung zurzeit nicht existiert und im Sinne der Nachhaltigkeit auch nicht für sinnvoll erachtet wird.

Abb. 16: Pilzbefall bei einer ungeschützten Trogbrücke, Feuchteaufnahme über nachträgliche Risse sowie über Verschmutzungen im Randbereich [8]

3.2 Spritzwasserbereich

Bei Holzbauteilen im Freien muss die Spritzwasserfreiheit gewährleistet sein, wenn Pilzschäden vermieden werden sollen. Die Spritzwasserfreiheit ist im Allgemeinen gegeben, wenn zwischen der Unterkante der direkt bewitterten Hölzern und dem Erdreich bzw. dem umgebenden Bodenbelag ein Abstand von mindestens 30 cm eingehalten wird. Dieser Abstand kann durch technische Maßnahmen zur Vermeidung der Spritzhöhe (z.B. Kiesschüttung mit bestimmter Körnung) auf 15 cm reduziert werden.

Abb. 17: Nicht ausreichende Spritzwasserfreiheit einer Holzfassade

Abb. 18: Ausreichende Spritzwasserfreiheit einer Holzfassade [9]

Abb. 19: Nicht ausreichende Spritzwasserfreiheit von Holzstützen im Freien, nicht ordnungsgemäße Stützenfüße [4]

3.3 Flachdach

Ein Flachdach ist eine sehr empfindliche Konstruktion, bei welcher die kleinsten Fehler zu großen Schäden führen können. So können z.B. die kleinsten Undichtheiten im Bereich der raumseitigen Oberfläche in kurzer Zeit zur starken Befeuchtung der innerhalb des Flachdaches befindlichen Bauteile infolge der Wasserdampfkonvektion führen.

In solchen Fällen hilft auch eine Behandlung des Holzes mit Holzschutzmitteln nicht, da diese die Zerstörung des Holzes nur etwas verzögern kann und die Durchnässung der Wärmedämmung und

Entwicklung der Schimmelpilze nicht verhindern kann.

Aus diesem Grund muss bei der Errichtung von Flachdächern die größte Sorgfalt vorhanden sein und ein genauer bauphysikalischer Nachweis z.B. mit einem instationären Programm erfolgen.

Abb. 20: Pilzschäden innerhalb eines Flachdaches infolge Wasserdampfkonvektion [7]

4 Beispiele für Konstruktionen in der Gebrauchsklasse GK0

In den Bildern 21 bis 30 sind Beispiele für Konstruktionen in der Gebrauchsklasse GK0 zu sehen.

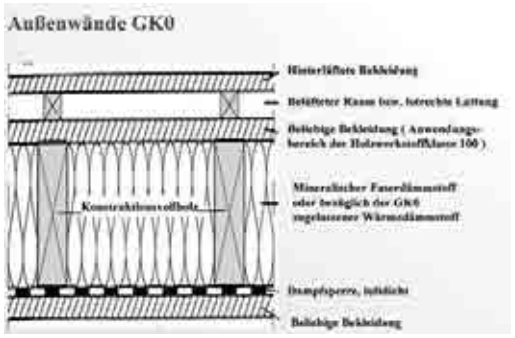


Abb. 21: Außenwände mit Vorhangschalen aus Bekleidung auf Lattung

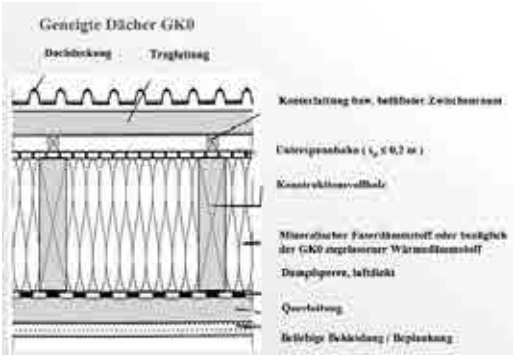


Abb. 22: Geneigtes Dach ohne Belüftung innerhalb des Gefaches

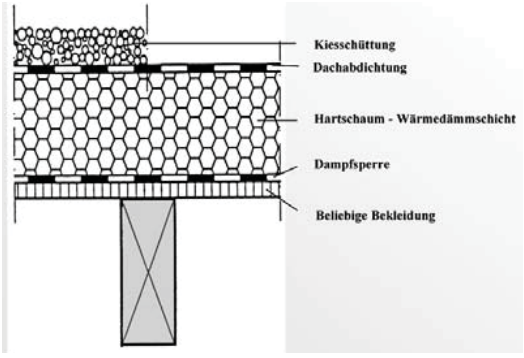


Abb. 23: Flachdach über Aufenthaltsräume mit dreiseitig sichtbaren Deckenbalken

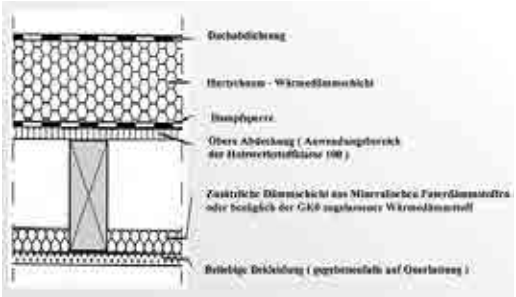


Abb. 24: Flachdach mit raumseitiger Bekleidung

Abb. 26: Brücke mit Dach; kompletter Schutz durch Glasdach [8]

Abb. 27: Mit Stehfalzdeckung abgedeckte tragende Verbundbauteile aus Brettschichtholz einer Brücke [7]

Abb. 29: Solemar Bad Dürrheim; trotz Thermalwasser keine besondere Gefährdung wegen zu hoher Feuchte [8]

Abb. 30: Expodach Hannover. Großer Dachüberstand schützt die Stützenfüße vor direkter Bewitterung [10]

Quellen

[1] DIN 68800-1: 1974-05 „Holzschutz im Hochbau – Allgemeines“
[2] DIN 68800-2: 1996-05 „Holzschutz - Teil 2: Vorbeugende bauliche Maßnahmen im Hochbau“
[3] Schulze, H.: „Baulicher Holzschutz“, holzbau handbuch Reihe 3, Teil 5, Folge 2, Informationsdienst Holz, Holzabsatzfonds, 1997
[4] Colling, F.: „Lernen aus Schäden“, DGfH, München
[5] Finnforest Merk, Aichach
[6] MOLL bauökologische Produkte GmbH, Schwetzingen
[7] Schwaner, Institut für Holzbau, Hochschule Biberach
[8] Arge Holz, Düsseldorf
[9] Radovic, Borimir
[10] Holzabsatzfonds HAF, Bonn

Für weitere Informationen siehe auch Kap. 12: Radovic, B.: „Unempfindlichkeit von technischem getrocknetem Holz gegen Insekten“

12 Holzschutz, Oberflächenbehandlung
Unempfindlichkeit von technisch getrocknetem Holz gegen Insekten

Borimir Radovic

1 Einleitung

Vor etwa 100 Jahren hat man damit begonnen, im Holzbau technisch getrocknetes Nadelholz in Form von Brettschichtholz in größerem Umfang zu verwenden. Seitdem wurden in Deutschland über 20 Millionen Kubikmeter davon verbaut, europaweit mehr als 50 Millionen. Mindestens 90% von diesem Brettschichtholz erhielten keine Behandlung mit Holzschutzmitteln. Dennoch ist in Deutschland bis heute kein Fall bekannt, bei dem solches Brettschichtholz im Innenraumbereich und im nicht direkt bewitterten Außenbereich von Insekten befallen wurde. Zwei Feldstudien zur Untersuchung von Brettschichtholzträgern aus dem Jahr 1984 [1] und 2001 [2] bestätigen dies: Alle untersuchten Träger waren frei von Insektenbefall.

Es liegt die Vermutung nahe, dass diese Unempfindlichkeit gegen Insekten auch bei anderen Produkten aus technisch getrocknetem Nadelholz zu erwarten ist, wenn sie im Innenraumbereich (innerhalb der Gebäudehülle) bzw. im nicht direkt bewitterten Außenbereich eingesetzt werden. Solche Produkte wären beispielsweise Balkenschichtholz, keilgezinktes Vollholz oder nicht verklebte Holzprodukte.

Seit etwa 25 Jahren schon werden auch diese Produkte ohne Holzschutzmittel im Innenraumbereich und im nicht direkt bewitterten Außenbereich eingebaut, wenn bis zu drei Querschnittsseiten des Bauteils sichtbar sind. Die Offenheit der Konstruktionen ermöglicht den Insekten jederzeit ungehinderten Zugang zu den Holzquerschnitten, sie erlaubt aber gleichzeitig eine einfache Kontrolle der Bauteile. Trotz der scheinbar günstigen Zugangsverhältnisse für Insekten ist bei keinem dieser Holzbauwerke ein Befall bekannt geworden. Eine ergänzende Befragung von rund 800 Holzbaubetrieben durch verschiedene Verbände ergab das gleiche Resultat.

Der Autor der im Folgenden beschriebenen aktuellen Feldstudie konnte im Rahmen seiner umfangreichen Recherchen und seiner gutachterlichen Tätigkeit ausnahmslos die „Insektenunempfindlichkeit“ von Bauteilen aus technisch getrocknetem Holz im Innenraumbereich und im nicht direkt bewitterten Außenbereich ohne die Verwendung von Holzschutzmitteln feststellen.

Die bisherigen Erkenntnisse aus der Praxis, dass bei Bauteilen aus technisch getrocknetem Nadelholz ohne Holzschutzmittel kein Insektenbefall zu befürchten ist, wenn diese im Innenraumbereich und im nicht direkt bewitterten Außenbereich verbaut worden sind, belegt nun auch diese Feldstudie: Durch Untersuchungen an 101 Objekten konnten die bisherigen baupraktischen Erfahrungen überprüft und nach dem heutigen wissenschaftlichen technischen Erkenntnisstand begründet werden, so dass eine endgültige Aussage über die Wahrscheinlichkeit eines Befalls von technisch getrocknetem Nadelholz durch die in Deutschland vorkommenden Insekten getroffen werden kann. Aussagekräftige Laboruntersuchungen gibt es dazu keine, da die realen Lebensbedingungen dieser Insekten im Labor nicht ausreichend nachgestellt werden können.

Die Untersuchungsergebnisse der Feldstudie, deren 101 Objekte alle in Befallsgebieten [16] stehen, werden mit einer Bewertung des jeweiligen realen Gefährdungspotenzials verknüpft. Dieses Gefährdungspotenzial wird wesentlich von den unterschiedlichen Klimabedingungen in den Bauwerken bestimmt, das heißt von den Klimarandbedingungen, die für die Entwicklung von Insektenlarven notwendig sind. Bei der Bewertung des Gefährdungspotenzials werden außerdem die Nährstoffrandbedingungen berücksichtigt, wie Protein und Vitamin B Abnahme, sowie die Ver-

flüchtigung der holzeigenen Inhaltsstoffe (Lockstoffe) des Holzes durch die hohen Temperaturen bei der technischen Holztrocknung.

2 Definition der Nutzungsklassen

Tragwerken aus Holz werden wegen ihrer entsprechend unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften bestimmte Nutzungsklassen (NKL) zugewiesen, die die vorherrschenden klimatischen Umgebungsbedingungen des Holzbauwerks bzw. -bauteils während seiner Lebensdauer beschreiben. Die Nutzungsklassen dienen im Sinne der Holzbaunormen EN 1995 (Eurocode5) und DIN 1052 (Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken) hauptsächlich der Zuordnung von Festigkeitswerten der Materialien und zur Berechnung von Verformungen unter festgelegten Umweltbedingungen.

Im Zusammenhang mit den vorgenommenen Untersuchungen geben die Nutzungsklassen aber auch Auskunft über die notwendigen Entwicklungsbedingungen von Insektenlarven, die in hohem Maße von der Feuchte und Temperatur des Holzes bzw. der umgebenden Luft abhängen (siehe Abschnitt 3). In EN 1995 und DIN 1052 werden die folgenden drei Nutzungsklassen festgelegt:

Nutzungsklasse 1

Sie ist gekennzeichnet durch einen Feuchtegehalt in den Baustoffen, der einer Temperatur von 20° C und einer relativen Luftfeuchte der umgebenden Luft entspricht, die nur für einige Wochen pro Jahr einen Wert von 65% übersteigt. Die meisten Nadelhölzer überschreiten in der Nutzungsklasse 1 eine Gleichgewichtsfeuchte von 12% nicht.

Nutzungsklasse 2

Sie ist gekennzeichnet durch einen Feuchtegehalt in den Baustoffen, der einer Temperatur von 20° C und einer relativen Luftfeuchte der umgebenden Luft entspricht, die nur für einige Wochen pro Jahr einen Wert von 85% übersteigt. Die meisten Nadelhölzer überschreiten in der Nutzungsklasse 2 eine Gleichgewichtsfeuchte von 20% nicht.

Nutzungsklasse 3

Sie erfasst Klimabedingungen, die zu höheren Feuchtegehalten führen als in Nutzungsklasse 2 angegeben. In Ausnahmefällen können auch überdachte Tragwerke in die Nutzungsklasse 3 eingestuft werden.

3 Der Hausbockkäfer

3.1 Allgemeines

Stellvertretend für alle holzzerstörenden Insekten, die im verbauten Holz in Deutschland vorkommen, wird hier der Hausbock ausführlich behandelt. Er gilt mit Abstand als größter tierischer Zerstörer von verbautem Holz.

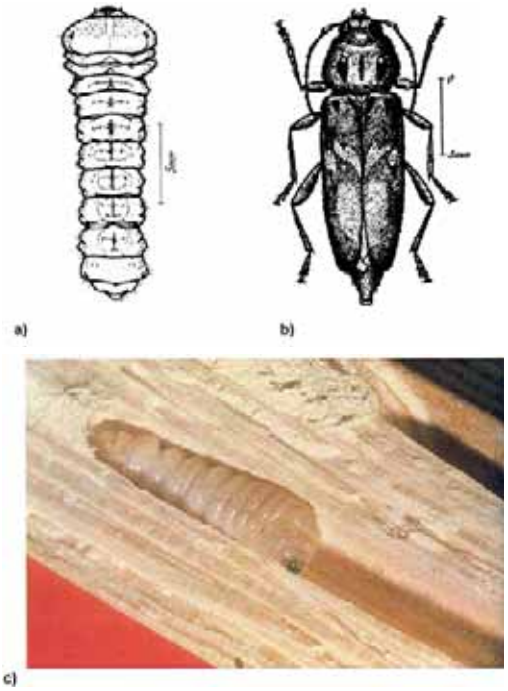


Abb. 1a, 1b, 1c: Ansichten des weiblichen Hausbockkäfers (a) und der Hausbocklarve (b, c)
a, b nach [12], c nach [8]

Grundlegende Literatur zum Hausbockkäfer (Hylotrupes bajulus (L.)) – umgangssprachlich häufig auch als „Hausbock", „Holzbock" oder „großer Holzwurm" bezeichnet – findet man z.B. in [7] und [8]. Im Rahmen der folgenden Ausführungen werden nur die Aspekte der Lebensbedingungen bzw. des Ernährungs- und Schädigungsverhaltens des Insekts beleuchtet, soweit sie für die hier betrachteten Zusammenhänge wesentlich sind.

Der Generationenzyklus (Ei, Larve, Puppe, ausgewachsenes Insekt) des Hausbocks (Abb. 1ac) beträgt gewöhnlich 4 bis 6 Jahre [6], kann unter ungünstigen Bedingungen jedoch auch bis zu 15 Jahre [8] dauern.

Holzzerstörend ist nicht das ausgewachsene Insekt, sondern ausschließlich die Larve. Die Lebensdauer des fliegenden Käfers (etwa Mitte Juni bis Ende August) beträgt je nach Umweltbedingungen 2 bis 4 Wochen [7].

Voraussetzungen für die Eiablage

Die Eiablage und damit der spätere Befall erfolgt nur in Nadelhölzern, wobei die Widerstandskraft von Kiefer über Tanne zu Fichte zunimmt [10]. Die Käfer werden von dem für frisches Koniferenholz charakteristischen Duft von Pinen und Caren angelockt. Die Befallswahrscheinlichkeit des Holzes nimmt mit zunehmendem (Schnitt-) Holzalter ab, wobei die Angaben über den jeweiligen Zeitpunkt, ab dem kein Befall mehr stattfindet, in der Literatur zum Teil deutlich variieren. Üblicherweise hört aber bei 50 bis 60 Jahre altem Holz der Hausbockbefall auf [8]; 100 Jahre altes Bauholz ist in der Regel nicht mehr als Nahrungssubstanz für Larven geeignet [11].

Befallsmerkmale

Der Larvenfraß erfolgt fast ausschließlich im Splintholz, wobei unregelmäßig verlaufende und im Querschnitt ovale Gänge erzeugt werden. Zerfressen werden vorwiegend die weicheren Frühholzschichten, während die härteren Spätholzschichten lamellenartig stehen bleiben.

Das typische, äußerlich sichtbare Merkmal eines Hausbockbefalls sind die Ausfluglöcher des geschlüpften Insekts. Sie sind oval und haben einen Längsdurchmesser von etwa 5 bis 10 mm (Abb. 2).

Abb. 2: (a) Typische Ansichten von Fraßgängen von Hausbocklarven im Querschnitt eines befallenen Kiefernholzbalkens sowie (b) von Ausfluglöchern (ovale Form, längerer Ellipsendurchmesser rund 5-10 mm) (a) nach [8], (b) nach [12]

Einflussfaktoren auf die Larvenvitalität

Die Larvenentwicklung und die Lebenszeit der Larven aller in Deutschland vorkommenden holzzerstörenden Insekten hängen im Wesentlichen von drei Faktoren ab:

- Holzfeuchte,
- Luft bzw. Holztemperatur,
- Nährstoffangebot im Holz.

Diese Einflussfaktoren werden nachstehend wegen ihrer Bedeutung für den Auftritt eines Schadens diskutiert.

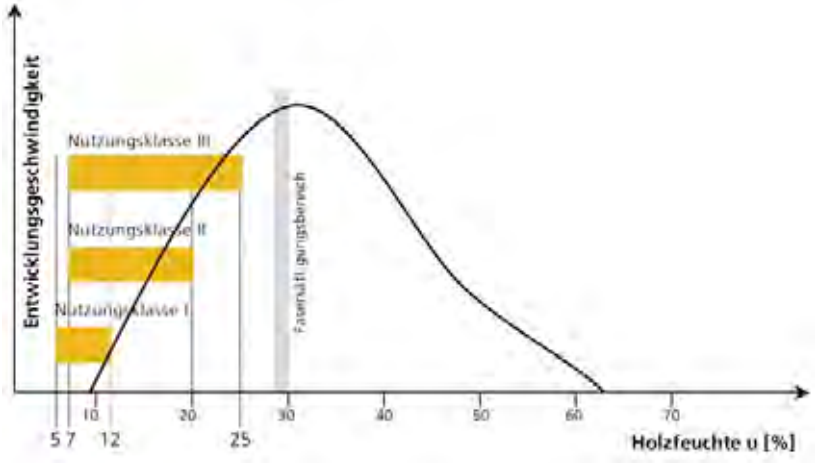
3.2 Einfluss der Holzfeuchte und der Temperatur

Die Larvenentwicklung hängt entscheidend von den beiden Parametern Holzfeuchte und Temperatur ab. Dies lässt unmittelbare Schlussfolgerungen auf das unterschiedliche Gefährdungspotenzial von technisch getrocknetem Nadelholz in den drei Nutzungsklassen zu.

Wie aus Abb. 3a ersichtlich, erstreckt sich der Holzfeuchtebereich, in dem sich Larven entwickeln können, von etwa 9% bis 60%, wobei das Entwicklungsoptimum im Fasersättigungsbereich bei rund 30% liegt. Hausbocklarven wachsen somit umso schneller, je feuchter die Luft ist. Unterhalb einer relativen Luftfeuchtigkeit von 40% bis 50%, was einer Holzfeuchte von etwa 8% bis 10% entspricht, nimmt die Larvenvitalität auf Null ab und die Larven sterben nach längerer Hungerszeit [7]. Nach [13] ist für eine Entwicklung der Eilarven eine Holzfeuchte von mindestens 12% erforderlich.

Betrachtet man im Vergleich zur Larven-Entwicklungsgeschwindigkeitskurve die typischen Holzfeuchtebereiche der drei Nutzungsklassen, so stellt man fest, dass technisch getrocknetes Nadelholz, das in der Nutzungsklasse 1 verbaut ist, nur ein äußerst geringes Risiko der Larvenentwicklung aufweist, das nach [13] vernachlässigbar klein ist. Im Bereich der Nutzungsklasse 2 kann die Holzfeuchte je nach Gebäudenutzung, geographischer Lage und Jahreszeit zwischen 7% und maximal 20% schwanken. Umfangreiche Messungen der relativen Luftfeuchte und Feuchtemessungen bei Holzbauobjekten der Nutzungsklasse 2 zeigten, dass die mittlere Jahresholzfeuchte in Deutschland etwa 14%, mit Schwankungen zwischen 11% und 17% beträgt. Die genannte mittlere Feuchte liegt, wie man sieht, noch weit unterhalb eines günstigen Larvenentwicklungsbereichs. Lediglich der Feuchtebereich der Nutzungsklasse 3, der sich in grober Näherung etwa von 7% bis 25% erstreckt, weist im Mittel Feuchten auf, die eine ausreichend hohe Geschwindigkeit der Larven-entwicklung gewährleisten.

a



b

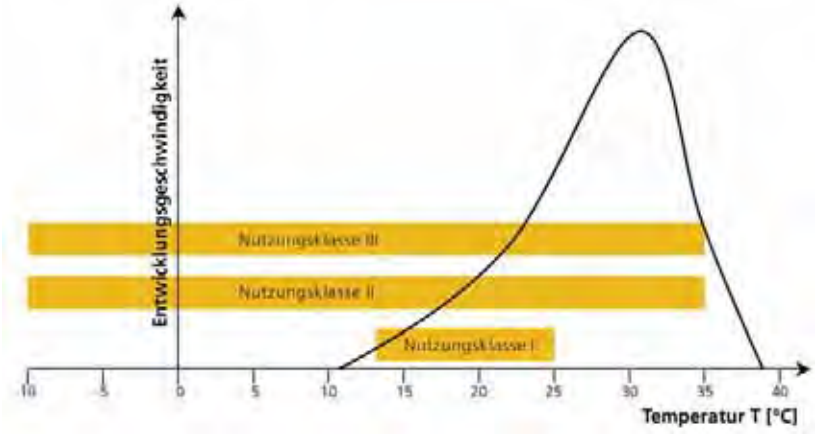


Abb. 3a, 3b: Abhängigkeit der Entwicklungsgeschwindigkeit der Larve von der Holzfeuchte (a) und der Temperatur (b) nach [6]. Mit angegeben sind Näherungsbereiche für die Holzfeuchte- und Temperaturbereiche der drei unterschiedlichen Nutzungsklassen (nach [2])

Neben der Feuchte hat die Temperatur einen entscheidenden Einfluss auf die Larvenentwicklungsgeschwindigkeit (Abb. 3b). Die Hausbocklarve ist sehr Wärme liebend; die günstigste Temperatur für eine Larvenentwicklung liegt bei etwa 28° bis 30° C [7]. Unterhalb von etwa 10° C verfallen die Larven in Kältestarre, in der sie auch stärkeren Frost ertragen. Oberhalb von 38° C ist keine Entwicklung möglich. Bei einer Temperatur von 55° C sterben alle im Holz befindlichen Larven. Dies ist einer der Gründe, warum Dachlatten, die im Sommer unter einer relativ dunklen Dachhaut lange Zeit einer Temperatur von mehr als 60° C ausgesetzt sind, keine nennenswerten Insektenschäden aufweisen.

Betrachtet man die Bandbreite der grob abgeschätzten mittleren Temperaturen in den drei Nutzungsklassen (mitteleuropäischer Raum), so zeigt sich, dass die Nutzungsklasse 1 auch bezüglich der Temperaturen eine eher geringe Larvenentwicklung bedingt. In den Nutzungsklassen 2 und 3 liegen dagegen vergleichbar günstige Bedingungen für eine Larvenentwicklung vor.

3.3 Einfluss des Nährstoffangebots

Die Entwicklung von Larven setzt eine Reihe von Nährstoffbedingungen voraus. Von wesentlicher Bedeutung sind Kohlenhydrate, der Proteingehalt sowie der Vitamin-B-Gehalt des Holzes.

Kohlenhydrate – Cellulose, Hemicellulosen, Zucker und Stärke

Nach [14] ist die Kohlenhydrat-Ausnutzung bei der Hausbocklarve z.B. im Vergleich zu Termiten sehr gering; rund 78% der aufgenommenen Menge werden im Durchschnitt unverdaut ausgeschieden

Proteingehalt

Nach [14] existiert für die Larvenwachstumsgeschwindigkeit eine lineare Abhängigkeit vom Proteingehalt des Holzes, wobei die unterste Grenze für Larvenwachstum bei 0,2% Protein bezogen auf das Holzgewicht liegt. Allgemein nimmt der Proteingehalt von Splint zum Kernholz hin exponentiell ab und liegt beim Kernholz im Bereich zwischen 0,2% und0,3%, also nur gering oberhalb des entwicklungsnotwendigen Schwellenwertes. Im Gegensatz hierzu wurden in den Splintrandbereichen etwa 0,5% Proteingehalt gemessen. Die Verteilung des Proteingehalts im Splint- und Kernholz erklärt unter anderem, warum bevorzugt die eiweißreichen Splintholzzonen befallen werden, während das Kernholz weitgehend gemieden wird.

Vitamin-B-Gehalt: Vitamin-B-Gehalt

Nach [14] ist eine ausreichende Menge an Vitamin B für die Larvenvitalität zwingend erforderlich. Vitamin B2 scheint wichtiger zu sein als Vitamin B1. Die mangelnde Eignung von altem Holz als Nahrungssubstanz wird in [14] auf die alterungsbedingte Vitamin-B-Abnahme zurückgeführt. Letztere Annahme wird in [8] als noch strittig diskutiert.

3.4 Bisherige Untersuchungen zur Befallswahrscheinlichkeit von technisch getrocknetem Nadelholz

Bis heute sind keine Laborversuche bekannt, bei denen unter Beachtung von Praxisbedingungen die Befallswahrscheinlichkeit und das Schadensausmaß durch den Hausbock bei technisch getrocknetem Nadelholz untersucht wurde.

Außer für Brettschichtholz gab es bisher ebenfalls keine Feldstudien an Bauwerken aus technisch getrocknetem Nadelholz. Untersuchungen aus den 1950er Jahren an 45.000 Gebäuden in der Bundesrepublik Deutschland ergaben zwar an mehr als einem Drittel Schäden1 durch Fraß der Hausbocklarve an Vollholz [17], nur sind diese Schäden an nicht oder unzureichend getrocknetem, überwiegend mit Bast und Rinde behaftetem Vollholz aufgetreten. Entsprechend wird in

der Literatur über keinen einzigen Fall berichtet, bei dem technisch getrocknetes Nadelholz im Innenraumbereich und im nicht direkt bewitterten Außenbereich verbaut wurde und von Insektenbefall betroffen war.

Der Begriff Schaden betraf nach damaliger Auffassung die Feststellung eines oder mehreren Ausfluglöcher ohne jegliche Bewertung einer Tragfähigkeitsminderung.

4 Feldstudie

4.1 Zielvorgaben

Ziel der Feldstudie war die Feststellung eventueller Anzeichen eines Insektenbefalls von Bauteilen aus technisch getrocknetem Holz ohne Holzschutzmittel. Bei dem begutachteten technisch getrockneten Nadelholz der 101 Objekte der Feldstudie handelt es sich um Holz, das über mehrere Tage einer Temperatur von mindestens 55° C ausgesetzt war und nach der Trocknung eine Feuchte von maximal 18% aufwies.

Es wurde zusätzlich dokumentiert:

a) Lage der Objekte,
b) Alter der Holzkonstruktionen ohne Holzschutzmittel,
c) Abmessungen der Holzbauteile,
d) Holzfeuchte der Bauteile.

4.2 Begutachtete Objekte

Es wurden insgesamt 101 Objekte, davon 95 in Deutschland und sechs in Österreich, begutachtet. Die Objekte bzw. die Holzkonstruktionen waren zwischen 8 und 20 Jahre alt. In ihrer Nähe befanden sich mitunter auch ältere Gebäude mit ausgewiesenem Hausbockbefall.

4.3 Ergebnisse der Feldstudie

Bei keinem der untersuchten Objekte wurden Anzeichen eines Insektenbefalls festgestellt, weder bei den im Innenraumbereich befindlichen Hölzern (z.B. unausgebautes Dachgeschoss), noch bei den durch Überdachung vor Niederschlägen geschützten Hölzern (nicht direkt bewitterte Außenbereiche wie z.B. Sparrenteile im Traufenbereich, Carports).

Die innerhalb der Objekte ermittelte Holzfeuchte lag in der Regel zwischen 9% und 13%. Auch im Rahmen vieler anderer Untersuchungen wurde diese Holzfeuchte immer wieder festgestellt, so dass sie bei bewohnten Häusern als Regelfall angenommen werden kann.

Nach Abschnitt 3.2 befindet sich diese Feuchte an der Mindestgrenze bzw. unterhalb der Mindestgrenze, die eine Entwicklung von Hausbocklarven zulässt. In diesem Zusammenhang sei darauf hingewiesen, dass für die Entwicklung des gewöhnlichen Nagekäfers, der neben dem Hausbock in Europa von Bedeutung ist, die Mindestfeuchte des Holzes etwas höher liegt.

Bei dem im Außenbereich befindlichen, aber durch Überdachung vor Niederschlägen geschützten Holz wurde eine feuchte zwischen 12% und 16% ermittelt.

5 Zusammenfassung

Die durchgeführten Untersuchungen bestätigen die bisherigen Praxiserkenntnisse für die Bereiche der Nutzungsklassen 1 und 2 nach EN 1995 (Eurocode 5) bzw. DIN 1052 in vollem Umfang: Es wurde bei keinem der untersuchten Objekte ein Befall des verbauten technisch getrockneten Nadelholzes durch in Deutschland vorkommende Insekten festgestellt.

Im Einzelnen lassen sich hinsichtlich der Wahrscheinlichkeit eines Insektenbefalls von technisch getrocknetem Nadelholz ohne Holzschutzmittel die nachstehenden Schlussfolgerungen ziehen:

Die Befallswahrscheinlichkeit und die damit verbundene Tragfähigkeitsgefährdung sind in den Nutzungsklassen 1 und 2 vernachlässigbar klein.
Die ermittelte Holzfeuchte innerhalb der Gebäudehülle mit in der Regel 9% bis 13% befindet sich entweder unterhalb der Mindestgrenze oder gerade an der Mindestgrenze, die eine Entwicklung von Insektenlarven zulässt.

Die ermittelte Holzfeuchte von 12% bis 16% bei den vor Niederschlägen geschützten Hölzern im Außenbereich liegt noch in einem für die Larvenentwicklung ungünstigen Bereich.

Von weiterer kausaler Bedeutung dürfte eine Protein- und Vitamin-B-Abnahme sein, die die hohen Temperaturen bei der technischen Holztrocknung bewirken, sowie die Verflüchtigung der Holzinhaltsstoffe (Lockstoffe) Pinen und Caren.

In früheren wissenschaftlichen Untersuchungen stand nur die theoretische Möglichkeit eines Insektenbefalles im Vordergrund. Schlussfolgerungen hinsichtlich der Wahrscheinlichkeit eines Gefährdungspotenzials mit Blick auf Tragfähigkeitsminderungen wurden in der Vergangenheit nicht gezogen. Die Wahrscheinlichkeit eines Befalls und weitergehend einer Tragfähigkeitsminderung ist heute insbesondere auch vor dem Hintergrund des immer bedeutsamer werdenden Umwelt- und Gesundheitsschutzes wirklichkeitsbezogen zu hinterfragen. Im Rahmen des Letzteren ist es allgemein gewünschte Zielsetzung, in allen Anwendungsbereichen den Holzschutz mit bioziden Wirkstoffen auszuschließen und erforderlichenfalls entsprechend resistente Holzarten zu verwenden.

Für weitere Informationen siehe auch Kap. 12:
Radovic, B.: „Holzschutz – Aktueller Stand der Wissenschaft und Technik“

Quellen

[1] Gersonde, M.; Grinda, M. (1984): Untersuchungen über das Vorkommen von Schäden durch holzzerstörende Pilze und Insekten an Holzleimbaukonstruktionen. Forschungsbericht. Bundesanstalt für Materialprüfung, Fachgruppe „Biologische Materialprüfung“

[2] Aicher, S.; Radovic, B.; Volland, G. (2001): Untersuchungen zur Befallswahrscheinlichkeit von Brettschichtholz durch Hausbock, bauen mit holz, 12/2001

[3] DIN EN 199511:2005-12: Eurocode5: Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken – Teil 11: Allgemeine Bemessungsregeln für den Holzbau, Beuth Verlag GmbH, Berlin.

[4] DIN 1052:2004-08: Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken. Beuth Verlag GmbH, Berlin

[5] DIN 68 8003:1990-04: Holzschutz. Vorbeugender chemischer Holzschutz. Beuth Verlag GmbH, Berlin

[6] N.N. (1998): Holzschutz, Erläuterungen zu DIN 68 8002, 3, 4. BeuthKommentare, 1. Auflage, Beuth Verlag GmbH, Berlin

[7] Becker, G. (1950): Zerstörung des Holzes durch Tiere. In: Handbuch der Holzkonservierung, Hrsg. Mahlke, Troschel u. Liese, 3. Auflage, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg

[8] Grosser, D. (1985): Pflanzliche und tierische Bauund Werkholzschädlinge. DRWVerlag, Leinfelden-Echterdingen

[9] Sutter, H. P. (1986): Holzschädlinge an Kulturgütern erkennen und bekämpfen. Paul Haupt Verlag, Bern; Stuttgart

[10] Graf, E. (1989): Ökologische Aspekte zur chemischen Hausbockbekämpfung. Holz als Rohund Werkstoff, Jg. 47, S. 383387

[11] Wichmanel, H. (1941): Wie lange dauert ein Hausbockbefall? Anzeiger für Schädlingskunde 17: 2124

[12] Schmidt, H. (1962): Tierische Schädlinge im Bauund Werkholz. Ein Taschenbuch zur Bestimmung und Verhütung von Fraßschäden. Verlag Paul Parey, Hamburg, Berlin

[13] Vongkaluang, G.; Moore, H. B.; Farrieb, H. (1982): Mortality of firstinstar larvae of the old house borer (Hylotrupes bajulus (L.)) (Col.: Cerambycidae) at low wood moistures. Material and Organisms 17(3): S. 233240

[14] Becker, G. (1963): Holzbestandteile und Hausbocklarven-Entwicklung. Holz als Roh- und Werkstoff 21(4): S. 285-289

[15] Cymorek, S. (1982): Zur Befallbarkeit von Brettschichtholzträgern durch den Hausbock. Holz-Zentralblatt, Nr. 108, S. 1.509

[16] Becker, H. (1979): Die Verbreitung des Hausbockkäfers Hylotrupes bajulus (L.) Serville (Col., Cerambycidae); Versuch einer kartographischen Erfassung seines Vorkommens. Der praktische Schädlingsbekämpfer, 31. Jg., Nr. 5, S. 7175; Nr. 6, S. 106108; Nr. 7, S. 117119; Nr. 8, S. 133135; Nr. 9, S. 145148; Nr. 10, S. 162163; Nr. 11, S. 173176

[17] Körting, A. (1965): Wichtigster Hausschädling – der Hausbockkäfer. Umschau, Jg. 65 (4), S. 116 119

12 Holzschutz, Oberflächenbehandlung
Polyurethan-Beschichtungen

Abb. 1: Infopunkt Linz 09, Caramel Architekten [4]

1 Allgemeines

1935 entwickelte der Chemiker Otto Bayer das Diisocyanat-Additionsverfahren, hierdurch wurden Polyurethane herstellbar. Durch das Variieren der Ausgangsstoffe und der Reaktionsbedingungen lässt sich aber eine große Bandbreite von Kunststoffen mit unterschiedlichen mechanischen Eigenschaften erzielen.

Polyurethane werden überwiegend in der Automobil-, Elektro- und Baubranche verwendet. Die Anwendungsgebiete von Polyurethanen sind breit gefächert: Matratzen, Polstermöbel, Stoßfänger, Freizeitschuhe, Dämmung, Klebstoffe oder als Beschichtungen.

2 Beschichtungen

Polyurethanharze gehörten zu den Reaktionsharzen und sind unter dem Namen DD-Lacke bekannt geworden. Die PUR-Lacke beruhen auf der großen Reaktivität von sogenannten Isocyanatverbindungen, den Härtern, die mit einer Vielzahl von Harz-Komponenten Reaktionen eingehen. Im Normalfall werden Isocyanate mit alkoholähnlichen Verbindungen (Polyhydroxyle) kombiniert. Im Hochbau werden die reaktiven Isocyanathärter häufig auch mit Acrylharzen gepaart, wodurch äußerst wetterbeständige Lackfilme entstehen. Die Polyurethanharze gehören zu den neueren chemischen Entwicklungen und sind hochwertige Beschichtungsstoffe für Anwendungsbereiche mit hohen Anforderungen an die mechanische und chemische Beständigkeit.

Die Zahl der chemischen Modifikationen von Harz- und Härterkomponenten sowie die Kombinationsmöglichkeiten von Harz- und Härtertypen sind außerordentlich groß und ermöglichen eine gezielte Beeinflussung der Verarbeitungs- und Gebrauchseigenschaften. Insbesondere die lösemittelhaltigen Polyurethansysteme lassen sich praktisch mit allen anderen Bindemitteln aus der Lackindustrie kombinieren. Es ist deshalb auch außerordentlich schwierig ein konkretes Produkt zu identifizieren und die spezifischen Eigenschaften eines Produktes objektiv und unabhängig zu beurteilen.

3 Anwendungsbereiche

Im Hochbau werden Polyurethanharze als Holzlackfarben für Möbel, Beschichtungen für Industrie- und Sportböden, Parkettsiegel sowie als Metall-, Holz- und Betonbeschichtungen verwendet. Anwendungsbereiche sind ebenfalls Dach- und Schwimmbadabdichtungen sowie Fassaden- bzw. Wandbeschichtungen.

Tab. 1: Anwendungsbereiche [1]

	Innen		Außen
Beanspruchung	**gering**	**stark**	
Putze und Gipsputze	x	x	x
Gips, Gipskarton, Papier	x	x	
Beton	x	x	+
Faserzement	x	x	x
Massivholz	x	+	+
Holzwerkstoffe	x	+	+
Stahl	x[1)]	+[1)]	+[1)]
Stahl verzinkt	x[1)]	+[1)]	+[1)]
Aluminium	x[1)]	+[1)]	+[1)]

+ geeignet / x möglich, aber nicht gebräuchlich

1) nur mit entsprechender Grundierung

4 Beständigkeit

Tab. 2: Beständigkeit [1]

Mechanische Beständigkeit		
Abrieb-festigkeit	Abwaschbar- und Scheuerbeständigkeit	Härte und Kratzfestigkeit
sehr gut	sehr gut, teilweise auch chemikalienbeständig	sehr gut
Alterungsverhalten		
Vergilbungsneigung		Witterungsbeständigkeit
bei nicht lichtstabilisierten Systemen möglich		bei bestimmten Härterkomponenten sehr gut,

Die Polyurethansysteme lassen sich für alle Anwendungsbereiche so modifizieren, dass sie die Anforderungen an die Beständigkeit erfüllen. Dabei müssen allerdings die Empfehlungen der Hersteller genau beachtet werden. Auch bei den Polyurethanlacken gibt es kein Universalsystem, das alle Anforderungen erfüllt.

5 Herstellung - Zusammensetzung

Als Bindemittel werden im Hochbau vor allem Polyesterpolyole mit vorpolymerisierten Isocyanaten chemisch zum PUR- Lack gebunden. Bei den Pigmenten und Füllstoffen handelt es sich um dieselben Stoffgruppen wie sie in allen Farbsystemen eingesetzt werden. Als Lösemittel kommen bei wasserlöslichen Lacken Alkohole oder andere wasserlösliche Verbindungsgruppen zum Einsatz (z.B. N-Methyl-2-pyrrolidon). Die Hilfsstoffe spielen in dieser Produktgruppe keine bedeutende Rolle (Abb. 1).

Bei lösemittelhaltigen Lacken kommen neben den bekannten aromatischen Lösemitteln wie Xylol ein Vielzahl spezieller Lösemittel (Ketone, höhere Alkohole, Ester) zum Einsatz. Die lösemittelhaltigen Polyurethanharze erfordern in der Regel verschiedenartige Hilfsstoffe, meistens auf der Basis von Polymeren (Abb. 2).

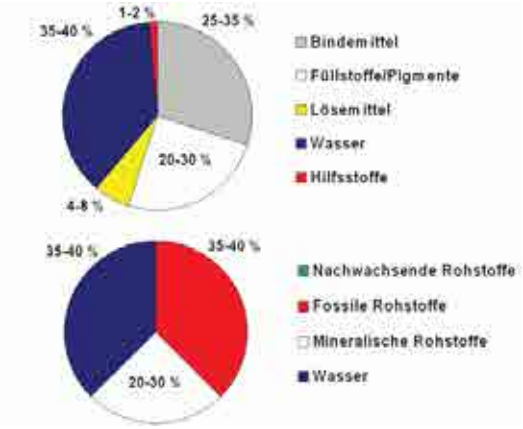


Abb. 2: Hauptbestandteile PUR-Harze, wasserverdünnbar [1]

Abb. 3: Hauptbestandteile PUR-Harze, lösemittelhaltig [1]

6 Umweltindikatoren

6.1 Graue Energie

Tab. 3: Primärenergieaufwand [1]

	Dispersions-lackfarben	Polyurethanharze wasserverdünnbar	Polyurethanharze lösemittelhaltig
MJ/m²	11 - 14	20 - 25	38 - 41

Die angegebenen Zahlen beziehen sich auf einen Standardaufbau für ein weiß deckendes Farbsystem. Für die Standard-Bindemittel von Polyurethanen (Polyole und Isocyanate) sind relativ zuverlässige Daten zum Energieaufwand verfügbar.

Sie stammen vom europäischen Verband der Kunststoffproduzenten und repräsentieren europäische Mittelwerte. Der Unterschied zwischen wasserverdünnbaren Polyurethanharzen und Polyurethanharze lösemittelhaltig sind etwa 30 bis 35 % Lösemittel. In den Bindemitteln unterscheiden sie sich bezüglich Belastung während der Herstellung kaum. Die Unterschiede zu Dispersionslackfarben werden hauptsächlich durch die energieintensiven Bindemittel verursacht.

6.2 Umweltbelastungszahl gemäß BUWAL-Methode

Tab. 4: Umweltbelastungszahl BZ [1]

	Dispersions-lackfarben	Polyurethanharze wasserverdünnbar	Polyurethanharze lösemittelhaltig
BZ [-/m²]	15 - 19	35 - 40	50 - 65

Der BZ-Indikator ist das Ergebnis einer in der Schweiz entwickelten Bewertungsmethode der Umweltbelastung während der Herstellung und Verarbeitung von Anstrichstoffen und basiert auf der Stoff- und Energiebilanzierung.

Da mit dem BZ-Wert auch die Verarbeitung bewertet wird, gehören die Polyurethanharze aufgrund ihrer reizenden und z.T. sensibilisierenden Inhaltsstoffe zu den umweltbelastendsten Anstrichen im Hochbau. Bei den lösemittelhaltigen Polyurethanvarianten sind 25 bis 50 %, bei den wässrigen Systemen lediglich 15 bis 25 % des BZ-Indikators auf die Verarbeitung zurückzuführen. Die großen Bereiche der Belastungszahl stammen von den sehr unterschiedlich toxischen Härtern und Hilfsstoffen in gewissen Produkten.

6.3 Emissionen

Tab. 5: Emissionen [1]

	Alkydharz-lackfarben	Polyurethanharze lösemittelhaltig	Polyurethanharze wasserverdünnbar
g/m²	120 - 150	180 - 200	0 - 5

Die Lösemittelemissionen der lösemittelhaltigen Polyurethanharze sind verglichen mit möglichen Alternativen auf Wasserbasis (Polyurethanharze wasserverdünnbar) sehr hoch.

Emissionen in den Innenraum

TVOC: Aus punktuellen Messungen in der Prüfkammer muss man davon ausgehen, dass bei Polyurethanen das Risiko längerfristiger Schadstoffabgabe nicht ganz ausgeschlossen werden kann. Vor allem bei unsachgemäßer Verarbeitung von Zweikomponentensystemen können Probleme entstehen, insbesondere wenn die Mischungsverhältnisse, Verarbeitungstemperaturen oder Luftfeuchtigkeiten zu wenig genau beachtet werden. Die Verarbeitung dieser Systeme erfordert erhöhte Sachkenntnis.

Emissionen in den Außenraum

- enthalten keine Metallsikkative
- enthalten keine Konservierungsmittel
- können Weichmacher enthalten
- wasserverdünnbare Lacke enthalten verhältnismäßig selten gesundheitsgefährdende Hilfsstoffe im Bereich von 1 bis 2 %.
- Lösemittelhaltige Lacke enthalten in der Regel eine Reihe von gesundheitsgefährdenden Hilfsstoffen auf polymerer Basis im Bereich von 2 bis 3 %.

Umweltrelevante Bestandteile können durch Abwitterung, Versprödung, Diffusion oder bei der Renovierung (z.B. durch Schleifen) in die Umwelt gelangen. Zudem können alle buntpigmentierten Polyurethanharze, insbesondere die kräftig leuch-

tenden Pigmente, umweltrelevante Schwermetalle enthalten.

Aufgrund der Anwendungsvielfalt wird exemplarisch die Verarbeitung eines PUR- Spritzelastomer Beschichtung für Abdichtungen im Außenbereich näher betrachtet.

7 Flüssige Folienbeschichtung

7.1 Merkmale

Seit ca. 30 Jahren wird der Flüssigkunststoff als Schutzabdichtung von Stahlbetonbrücken verwendet. Diverse Hersteller bieten Systeme für eine Dachabdichtung auf vielen verschiedenen Untergründen, auch Holz- oder Holzwerkstoffen, an.

Eine bauaufsichtliche Zulassung im Außenbereich besteht zurzeit nur für die Verwendung als Dachabdichtung. Im Regelfall kann mit den vorhandenen Prüfzeugnissen eine Zulassung im Einzelfall für Fassaden erwirkt werden.

Dies eröffnet Planern die Möglichkeit, ein Bauwerk fugenlos in einer homogenen Materialoberfläche auszuführen. Die Beschichtung ist wurzelfest und geht einen festen Verbund mit der Unterlage ein. Eine Unterläufigkeit des Materialuntergrundes wird somit verhindert. Über einen Temperaturbereich von – 30 bis + 80 °C verhält sich die Beschichtung dauerelastisch. Das Beschichtungssystem ist wasserdampfdiffusionsoffen $\mu = 480$ (s_d = ca. 2 m).

Die Kosten für die reine Beschichtung (ohne Nebenkosten, Stand 2009) liegen zwischen 60 und 90 €/m². [3]

BASF entwickelt ein Beschichtungssystem, welches direkt auf die Außendämmung aufgebracht werden kann. Die Marktreife wird 2009 erwartet.

7.2 Verarbeitung

Eine werksseitige Beschichtung ist nur dann zu empfehlen, wenn Elementstöße mit sichtbar bleibenden Fugen eingeplant werden, da nachträgliches Anarbeiten an fertig beschichtete Oberflächen optisch wahrnehmbar ist.

Eine ansatzfreie Oberfläche ist nur durch einen bauseits ausgeführten Auftrag möglich. Hierbei bestehen klimatische Abhängigkeiten, welche bei der Ausführung berücksichtigt werden müssen:

- Luftfeuchtigkeit max. 70 %. Bei Regen nicht verarbeitbar. Ein feuchter Untergrund schränkt die Haftung ein.
- Holz bzw. Holzwerkstoffe sollten nur bis zu einer Feuchte von max. 12 % beschichtet werden.
- Die Lufttemperatur muss mind. 10°C betragen.

Auf eine sorgfältige Untergrundvorbehandlung sollte geachtet werden, da die Beschichtung nur bedingt egalisierend wirkt und sich selbst kleinere Unebenheiten an der fertigen Oberfläche abzeichnen können. Um eine ausreichende Haftung im Bereich von Kanten zu gewährleisten, sollte eine Fase bzw. Rundung von 3 bis 5 mm vorgesehen werden.

7.3 Systemaufbau

Haftgrund

Der erste Schichtauftrag besteht aus einem Haftgrund, welcher sich je nach Materialuntergrund unterscheiden kann. Grundsätzlich ist die Polyurethanbeschichtung (Dehnfähigkeit bis 400 %) rissüberbrückend. Bei Materialwechsel mit unterschiedlichen Ausdehnungskoeffizienten muss jedoch ein Dehnungsband eingearbeitet werden, welches die Verformungen aufnehmen kann. Optisch kann sich dieses an der Oberfläche abzeichnen.

Folienbeschichtung

Die eigentliche Abdichtung erfolgt nach dem Haftgrund und wird ca. 2 bis 3 mm dick in einem Arbeitsgang maschinell aufgespritzt. Die Topfzeit beträgt lediglich 15 s. Die Haltbarkeit dieser Beschichtung übertrifft gem. Herstellerangaben, die von konventionellen Abdichtungsbahnen.

Versiegelung – UV Schutz

Wird die Beschichtung nicht abgedeckt und somit einer UV-Strahlung ausgesetzt, ist eine zusätzliche Versiegelung als UV-Schutz notwendig. Diese kann farblich pigmentiert werden und ist somit farbgebend. Auftrag in zwei Schichten. Glanzgrad Matt bis Seidenglänzend. Der UV-Schutz muss alle 10 Jahre erneuert werden. Hierzu wird die alte Beschichtung gereinigt, ein Haftvermittler aufgetragen und anschließend neu versiegelt [2], [3].

7.4 Beispiele

Haus Kaps, Saalfelden, Österreich, 2004

Abb. 4: Ansicht [4]

Anbau an ein historisches Bauernhaus. Der Baukörper ist aus Holzfertigteilen gefertigt. Die Fassade ist mit einem PUR-System beschichtet.

Haus 1, Penafiel, Portugal, 2005 -

Abb. 5: Ansicht [5]

Abb. 6: Dachaufsicht [5]

Abb. 7: Ansicht Rohbau [5]

Das aufgeständerte Wohnhaus besteht aus einer mit Holzwerkstoffplatten beplankten Stahlrahmen Leichtbaukonstruktion. Die OSB Platten sind direkt mit einem PUR-Spritzelastomer beschichtet.

Mensa der Hochschule Karlsruhe, 2006

Abb. 8: Außenansicht, Foto lfH

Abb. 9: Innenraum, Foto lfH

Die Konstruktion des Baukörpers besteht aus einem inneren Kern aus Stahlbeton, sowie im wesentlichen aus einer tragenden Holzverbundkonstruktion für Dach und Fassaden mit einer direkten Polyurethan Beschichtung.

Bauherr: Land Baden-Württemberg
Architekt: J. MAYER H., Berlin
Holzbau: Finnforest Merk GmbH, Aichach
Beschichtung: Reaku Hobein GmbH, Überlingen

Quellen

[1] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung; Wecobis, Ökologisches Baustoffinformationssystem, www.wecobis.de
[2] BASF, Ludwigshafen, www.flooring.basf.de
[3] Reaku Hobein GmbH, Überlingen
[4] Caramel Architekten ZT GmbH, Wien, Bildrechte Architekt, www.caramel.at
[5] Claudio Vilarinho, Portugal

Abschnitt 2 bis 6 Auszüge aus [1], redaktionell ergänzt.

12 Holzschutz, Oberflächenbehandlung
Brückenbelag aus DuroBOARD

Arnold Wittig

1 Einleitung

Holz und die Verwendung von Holzwerkstoffen bekommen im Baubereich eine immer bedeutendere Rolle. Der ökologische Aspekt und die verbesserten Produktionsmöglichkeiten, verbunden mit Veredelungsprozessen, ermöglichen effiziente und leistungssteigernde Holzprodukte mit beinahe unbegrenzten Möglichkeiten.

So ist es inzwischen möglich, hochwertige in den Tropen gewachsene Harthölzer durch heimische Weichhölzer zu ersetzen. Der Vorteil liegt darin, dass die Nachfrage an „Tropenhölzern“ reduziert wird. Gleichzeitig können die in ausreichender Menge vorkommenden Weichhölzer weiteren Anwendungen zugeführt werden. Ein zusätzlicher Aspekt ist die Steigerung der Lebensdauer von Holz.

War bisher noch die Meinung in der breiten Öffentlichkeit, dass Holz als Baustoff eher nicht geeignet ist, wächst die Akzeptanz für den Baustoff Holz und die Veredelungsprodukte. Holz wird durch Minimierung der natürlichen Holzfehler leistungsfähiger und durch verbesserte Oberflächentechniken dauerhafter. Diese Entwicklung steht erst am Anfang.

Abb. 1

2 Ausgangslage

DuroBoard wurde ursprünglich entwickelt, um die Herstellung von Betonprodukten zu verbessern.

Es zeichnet sich aus, durch

- schlagzähe und extrem verschleißfeste Polyurethanoberfläche
- konstruktiven Holzkern aus Weichholz
- durch Widerstandsfähigkeit gegenüber mechanischen Belastungen
- wasserfeste und ummantelnde Oberfläche, dadurch Schutz des Holzes gegen Feuchtigkeit.

Diese besonderen Eigenschaften sollen nun auch in anderen Bereichen, z.B. dem Holzbau, umgesetzt werden.

3 Zielsetzung

Ziel ist es, die Technik des Herstellungsprozesses und den dadurch entstehenden Verbundwerkstoff für den Holzbau nutzbar zu machen. Gesucht werden hierbei Bereiche, die durch mechanische oder witterungsbedingte Beanspruchungen bisher eher kritisch für die Verwendung von Holz sind.

Erste Versuche, bei denen die Eigenschaften von DuroBoard bestens zum Tragen kommen, sind Bohlen für Rad- und Fußgängerbrücken.

Terrassen- und Balkonbeläge, Stege, Stützwände, Brüstungen, Verkleidungen, Fassaden und Holz im Garten gehören zum Anwendungsbereich.

Abb. 2

4 Produktbeschreibung DuroBOARD Brückenbeläge

Das Prinzip dieser Entwicklung ist die Symbiose aus formstabilen, biege- und verwindungssteifen FSH-Kern (Furnierschichtholz) und einer verschleißresistenten Ummantelung aus Polyurethan, das in einem geschlossenen automatischen Herstellungsprozess gefertigt wird.

Die Lebensdauer des dieser Bauteile wird dadurch erheblich verlängert, sowohl gegen mechanische als auch witterungsbedingte Einflüsse.

Die Entwicklung des DuroBOARDs ist das Ergebnis der Zusammenarbeit von Spezialisten der Polyurethan Kunststofftechnik, der Betonwarenherstellung, der Kunststoffanlagentechnik sowie der Holzverarbeitung. Im Technikum der BAYER MaterialScienence AG, Leverkusen wurden umfangreiche Tests durchgeführt.

Dieses Know-how begleitet auch die Produktion von DuroBOARD von Assyx Engineered Boards. Die vorgefertigten FSH-Kerne werden vor der Weiterverarbeitung im Rahmen einer permanenten Qualitätskontrolle auf Biegesteifigkeit und Abmessungen, unter Einhaltung geringster Toleranzen, überprüft. Das zur Ummantelung eingesetzte Polyurethan unterliegt den Qualitätskontrollen der BAYER MaterialScience AG.

Zurzeit können neben dem eigentlichen DuroBOARD-Bohlen mit Längen von 0,40 bis 1,80 m und einer Breite von 0,40 bis 1,40 m hergestellt werden. Das Trägermaterial besteht aus einem Holzkern mit Dicken von 40 mm, 45 mm, 50 mm, 55 mm und 60 mm. Der Polyurethanmantel ist pro Seite 3 mm dick.

Durch den vollautomatischen und geschlossenen Herstellungsprozess ist garantiert, dass die Schichtdicke der Ummantelung genau eingehalten wird und die Umweltfreundlichkeit gewährleistet ist. Durch Farbpigment-Beimischung lassen sich alle Farbwünsche erfüllen.

Abb. 3

Abb. 4

Ein weiterer Vorteil ist die Bearbeitung der Oberfläche. Durch Fräsen können in der Oberfläche der Furnierschichtstreifen vor der Ummantelung Profile eingearbeitet werden, die z.B. eine Rutschsicherheit bei Belägen sicherstellt. Ebenso ist es möglich, durch die Herstellung im geschlossenen Kammersystem, die Oberfläche ganz frei zu gestalten.

Durch die genau vorgefertigten Bohlen ist ein Rundumschutz des Holzes gewährleistet. Die Befestigung erfolgt von unten. Nachgearbeitete Stellen können mit einem Reparatur Kit nachgebessert werden. Ebenso ist angedacht, spezielle Verbindungsmittel für die Befestigung zu entwickeln. Derzeit kann aber auch mit Schrauben in Verbindung mit Dichtbeilagscheiben gearbeitet werden. Ansonsten erfolgt die Montage wie bei Vollholzbohlen oder Dielen.

Ein weiterer Vorteil ist die Dimensionsstabilität, ein Drehen oder Verwinden oder Reißen der Bohlen ist nahezu ausgeschlossen. Ebenso werden die Quell- und Schwindeigenschaften des Holzes minimiert.

Der Werkstoff ist wie Furnierschichtholz zu berechnen.

12 Holzschutz, Oberflächenbehandlung
Nanobeschichtungen

1 Allgemeines

Beschichtungen von Holzaußenbauteilen und von wetterbeanspruchten Holzprodukten sind für die Wettbewerbsfähigkeit des Holzbaus auch im 21. Jahrhundert von großer Bedeutung. Sie bilden eine Teilkomponente im System des umfassenden Holzschutzkonzeptes.

Unter einer Oberflächenbehandlung versteht man Verfahren, bei denen die Beschichtungsstoffe in flüssiger Form durch Streichen, Fluten, Kurztauchen oder Spritzen auf die Holzoberfläche aufgebracht werden.

Die Aufgabe von Beschichtungen für Holz im Außenbereich ist die Erfüllung bestimmter Schutzfunktionen, die jeweils oder in Kombination von den Produkten erfüllt werden. Schutzfunktionen sind im Einzelnen der Licht- oder UV-Schutz, der Feuchteschutz und Schutz gegen oberflächenverfärbende Pilze und Algen. Zudem erfüllen Beschichtungen oft eine gestalterische Funktion, welche meistens mit einer Schutzfunktion in Verbindung steht.

Die Aufnahme von flüssigem Wasser ins Holz soll durch den Einsatz hydrophobierender Substanzen bei der Oberflächenbehandlung reduziert oder vermieden werden. Herkömmliche Substanzen zur Hydrophobierung von Holzoberflächen basieren auf Paraffin, Wachsen oder Ölen. Hydrophobierungen der jüngeren Generation basieren in den meisten Fällen auf Siliziumverbindungen und besitzen aufgrund der Fortschritte in der Nanotechnologie ein großes Entwicklungspotential. Werden die Siliziumverbindungen mittels Imprägnierverfahren ins Holz eingebracht, so handelt es sich nicht mehr um eine Oberflächenbehandlung sondern um eine Modifikation, bei der die Siliziumverbindungen über den ganzen Querschnitt des Holzes verteilt sind.

Die Nanotechnologie ist ein aktuelles Forschungsgebiet, dem ein großes Potenzial für technische Entwicklungen beigemessen wird und aus dem bereits eine Vielzahl von neuen Anwendungen hervorgegangen ist. Sie wird als die Schlüsseltechnologie des 21. Jahrhunderts bezeichnet und man geht davon aus, dass sie unser Leben nachhaltig verändern wird. Es gibt kaum ein Gebiet, das sich nicht durch nanotechnologische Methoden nachhaltig verändert werden wird. Ob Materialwissenschaften, Informationstechnologie, Biomedizin oder Umwelttechnologien. Aber nicht nur die Entwicklungen besitzen großes Potenzial, sondern auch das Weltmarktvolumen, das heute, durch mit Nanotechnologie beeinflusste Produkte, 100 Mrd. Euro beträgt. In den nächsten fünf bis zehn Jahren wird mit einer Verzehnfachung dieses Wertes gerechnet [5]. Seit ca. 20 Jahren wird die Nanotechnologie in der ganzen Welt erforscht. Deutschland nimmt dabei eine führende Rolle ein. Die Entwicklung der Technologie geht mit dem Vorstoß in bisher unsichtbare Welten einher. Erst durch die Entwicklung des Rasterelektronenmikroskops 1981, mit dem Auflösungen bis ca. 0,01 nm möglich sind, war die Arbeit mit Nanopartikeln möglich.

Bei der Nanotechnologie unterscheidet man drei Bereiche. Die inkrementelle Nanotechnologie will die Eigenschaften von Werkstoffen verbessern, wie z.B. bei Oberflächenbeschichtungen. Die evolutionäre Nanotechnologie versucht existierende Technologien, wie Mikroprozessoren auf Nanoformat zu verkleinern und die radikale Nanotechnologie erschafft neuartige Nanoroboter.

Die Nanotechnologie beschäftigt sich mit einer faszinierenden Welt mit unvorstellbar kleinen Strukturen. Die Vorsilbe Nano kommt aus dem Griechischen und bedeutet Zwerg. Sie bezeichnet den Milliardstel Teil einer Einheit. So zum Beispiel innerhalb des metrischen Systems als ein Milli-

ardstel von einem Meter. Ein Nanometer entspricht somit 10^{-9} Meter.

Der Begriff Nanotechnologie definiert sich nur über die Größe der Strukturen oder Partikel, die zur Anwendung kommen. So lange die Partikel im Einzelnen oder Strukturen nicht größer als 100 Nanometer sind, darf von Nanotechnologie gesprochen werden. Der Durchmesser eines Nanopartikels zu einem Fußball verhält sich etwa so wie der Durchmesser des Fußballs zur Erdkugel.

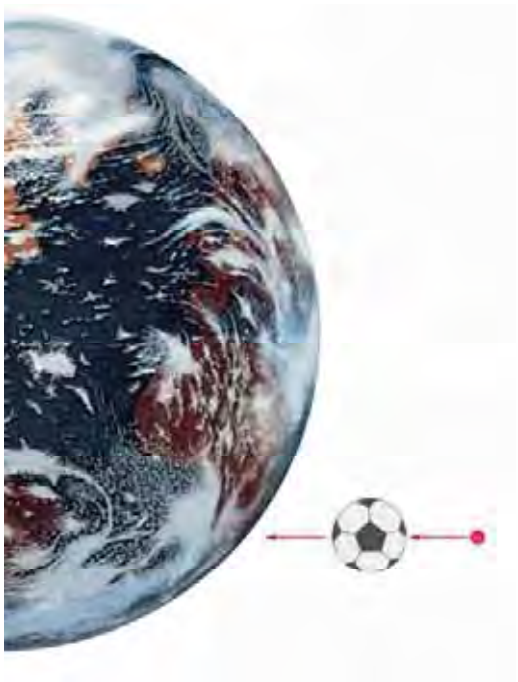


Abb. 1: Größenvergleich [7]

Die Manipulation der Materie auf molekularer Ebene eröffnet die Möglichkeit auf Materialien mit völlig neuen, maßgeschneiderten Eigenschaften. Dies basiert auf der Tatsache, dass das Verhältnis von Oberfläche zu Volumen bei diesen Partikeln besonders groß ist. Die daraus resultierende hohe Reaktivität bietet die Möglichkeit, Werkstoffe spezifischer auf den jeweiligen Verwendungszweck auszurichten, was häufig durch die Entwicklung neuartiger Beschichtungen gelingt. Die Anforderungen an die jeweilige Struktur ist dabei abhängig von den erforderlichen Nutz- und Schutzfunktionen von Oberflächen. Die Grundlagen für die Herstellung und Manipulation (Anordnung einzelner Atome) von Strukturen im Nanometerbereich lieferten einerseits immer präziser werdende Fertigungsmethoden, die in immer kleinere Maßstäbe vordringen und andererseits chemische Technologien zur Funktionalisierung von Molekülen und Ausbildung von organisierten Schichten und Strukturen.

Die Natur dient als Vorbild dieser technischen Entwicklung. Bei Tieren und Pflanzen sind bestimmte Funktionalitäten auf perfekt ausgebildete Feinstrukturen zurückzuführen. Ein sehr bekanntes Vorbild ist das Blatt der Lotuspflanze, bei dem aufgrund einer feinen Mikrostruktur in Verbindung mit eingelagerten Wachskristallen eine stark Wasser abweisende Wirkung erzielt wird.

Bei Nanobeschichtungen zum Schutz für bewitterte Holzoberflächen handelt es sich um eine Oberflächenbehandlung. Sie darf nicht mit der Modifikation von Vollholz mit siliziumhaltigen Verbindungen verwechselt werden. Obwohl Ausgangsstoffe und Wirkprinzip ähnlich sind, handelt es sich bei der Modifikation um eine Behandlung über den ganzen Querschnitt, bei der nicht nur die äußeren, sondern auch die inneren Holzoberflächen behandelt werden. Nanobeschichtungen für Holzoberflächen sind in den letzten Jahren verstärkt am Markt aufgetreten. In der Vermarktung werden die Produkte im Vergleich zu üblichen Beschichtungen mit Lacken und Lasuren meist als Alternative mit vielen Vorteilen dargestellt. Bisher können aber noch nicht alle Möglichkeiten für den Werkstoff Holz umgesetzt werden. Ein viel versprechendes Entwicklungspotential liegt vor allem in der Kombination von Nano-Teilchen mit der klassischen Lacktechnologie. Es kommt darauf an, welche Schutzfunktionen durch die Nanotechnologie erfüllt werden

sollen und können, und wo die Grenzen dieser Produkte liegen. Schutzfunktionen sind der Feuchteschutz, also die Hydrophobierung, der Lichtschutz (Verhinderung von Vergrauung), die Herstellung einer selbstreinigenden Oberfläche oder die biozide Ausrüstung.

Mit der Nanotechnologie bestehen viele Möglichkeiten, mit denen verschiedene Effekte und Schutzfunktionen erzielt werden können. Das Entwicklungspotential ist sehr groß und Forschungsaktivitäten lassen weitere Fortschritte in den nächsten Jahren erwarten. Großer Forschungsbedarf besteht auch noch über mögliche Gefahren die von Nanopartikeln auf Mensch und Umwelt ausgehen. Daher wurde vom Bundesministerium für Bildung und Forschung zusammen mit der Industrie das Projekt NanoCare ins Leben gerufen.

2 Planung

Nanobeschichtungen haben hauptsächlich das Ziel, Holz gegen Witterungseinflüsse widerstandsfähig zu machen. Dabei gibt es unterschiedliche Schutzfunktionen die zu erfüllen sind und vom eingesetzten Stoff abhängig sind. Bei der Formulierung von Beschichtungen dürfen die zu erfüllenden Aufgaben wie z. B. Licht- und Feuchteschutz nicht getrennt voneinander betrachtet werden, sondern vereint in einem Gesamtsystem.

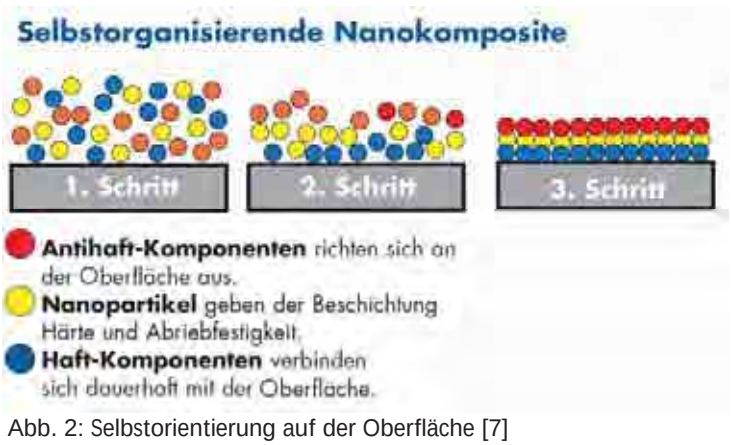


Abb. 2: Selbstorientierung auf der Oberfläche [7]

3 Schutzfunktionen, die bereits möglich sind

3.1 Feuchteschutz

Für die Hydrophobierung von Holz werden so genannte Nanosole eingesetzt. Diese basieren auf der Sol-Gel-Technologie. Dabei sind die Siliziumdioxid-Nanosole in einer (ethanoloischen) Lösung in unterschiedlicher Konzentration versehen. Das Lösungsmittel verdampft, dabei bildet das nanodisperse Siliziumdioxid ein Gel, das sich im weiteren Verlauf vernetzt und zur Mineralisierung führt. Diese Technik wird auch zur Modifikation von Holz angewandt. Dabei wird das Holz aber über den ganzen Querschnitt behandelt und nicht nur die Oberfläche. Organofunktionelle Silane oder Siloxane sind Bausteine aus Siliziumverbindungen, die mit bestimmten funktionellen Gruppen versehen werden, durch welche die Eigenschaften gezielt eingestellt werden können. Dadurch können so genannte bifunktionelle Moleküle erzeugt werden, die mit hydrophoben oder hydrophilen Endgruppen zur Beeinflussung der Oberflächeneigenschaften auf der einen Seite und Gruppen zur Anbindung auf der anderen Seite ausgestattet sind. Auf der Holzoberfläche kommt es zu einer Selbstorientierung und Vernetzung dieser Moleküle. Diesen Vorgang nennt man auch Nanoformieren. Die bindenden Komponenten wandern zur Materialoberfläche, die Antihaft-Komponenten richten sich zur Luft hin aus. Bei dieser Selbstorganisation entsteht eine ultradünne, glasartige Schicht, die sich mit dem Untergrund homogen verbindet und so einen extrem dauerhaften Schutzfilm bildet. Die Oberflächen bleiben dabei atmungsaktiv. Schmutz und Wasser findet nahezu keinen Halt mehr und perlt einfach ab. Auf horizontalen Flächen können die nach Regen sich bildenden Wassertropfen mitunter lange auf dem Holz stehen bleiben und bei intensiver Sonneneinstrahlung wie Brenngläser wirken, so dass Fleckenbildungen möglich sind.

Die angebotenen Produkte werden häufig durch streichen oder sprühen aufgebracht. Durch den

Auftrag von sehr dünnen Schichten erreicht man ein Abperlen von Wassertropfen, was auch auf Hirnholzflächen und Rissen funktioniert. Dadurch wird ein Feuchteeintritt ins Holz verhindert, ohne dass die Wasserdampfdurchlässigkeit der Oberfläche verhindert wird. Dies führt zu einer geringeren Rissbildung und Erosion. Da hydrophobierende Nanobeschichtungen in der Regel keinen Lichtschutz aufweisen wird eine Vergrauung nicht verhindert. Deshalb zeigen sie auf bewitterten Holzoberflächen nur eine bedingte Funktion, da die Abwitterungsprozesse des Holzes nur relativ kurze Zeit verzögert werden. Um dies zu verhindern ist eine Kombination mit klassischen Holzbeschichtungen oder mit nanoskaligen Lichtschutz-Pigmenten möglich.

Untersuchungen ergaben, dass die Wasseraufnahme von mit Nanospray behandeltem Holz bei Wasserlagerung und Beregnung gegenüber unbeschichtetem Holz reduziert war. Bessere Ergebnisse wurden mit einer Dünnschichtlasur erreicht, die Bindemittel enthielt. Gute Ergebnisse werden durch eine Kombination von Lasur und nanoskaligen Produkten erzielt [4].

3.2 Lichtschutz

Der Lichtschutz ist eine der wesentlichen Aufgaben einer Oberflächenbeschichtung. Dieser wird traditionell durch die Zugabe von Pigmenten erzielt, deren Partikelgrößen und Farbgebung jedoch die Transparenz der Beschichtungen beeinträchtigt. Bei lasierenden Beschichtungen auf Holzoberflächen wird aber oft eine hohe Transparenz gewünscht. Daher bieten sich für den Lichtschutz nanoskalische anorganische Pigmente wie Titandioxid (TiO_2), Zinkoxid (ZnO) oder Eisenoxid (FeO) an. Diese werden schon lange für den Lichtschutz in Sonnencremes eingesetzt. Sie weisen so kleine Partikel auf, dass das Licht nicht mehr gestreut wird und sie ihre Eigenfarbe verlieren. Dadurch lassen sich farblose Beschichtungen herstellen, mit denen die natürliche Farbe des Holzes erhalten bleibt. Die nanoskaligen transparenten Pigmente sind im Beschichtungsfilm feinst verteilt und absorbieren sehr gut den UV-Anteil des Sonnenlichtes. Damit bieten sie einen guten Lichtschutz für das Holz. Als weitere Additive enthalten die Beschichtungen organische UV-Absorber und HALS (Hindered Amine Light Stabilizer). Dadurch wird nicht nur das Holz, sondern auch das Bindemittel des Lacks vor UV-Licht geschützt und eine Versprödung verhindert. Die Dauerhaftigkeit von farblosen Beschichtungen kann so deutlich verbessert werden. Entscheidendes Kriterium dafür ist die richtige Abstimmung der Lichtschutzadditive im Beschichtungssystem, bestehend aus Grundierung und Deckbeschichtung. Die Schichtdicke der Deckbeschichtung spielt für die Wirksamkeit der transparenten Pigmente eine Rolle. Je höher die Schichtdicke umso besser ist die UV-Absorption. Nanoskalige anorganische Pigmente können mitunter den Beschichtungsfilm etwas milchig erscheinen lassen.

Abb. 3: Verbesserter UV-Schutz durch Titandioxidbeschichtung [2]

Für farbgebende Oberflächenbehandlungen können auch feinverteilte, dünnplattige und mit Silikaten beschichtete Aluminiumplättchen eingesetzt werden. Die reaktiven Aluminiumplättchen bilden eine dem Schieferdach ähnliche Anord-

nung. Dadurch wird eine hohe Lichtreflexion erzielt, die den Abbau der unteren Bindemittelschichten und gleichzeitig das Auftreffen von UV-Strahlen auf dem Holzuntergrund verhindert.

4 Schutzfunktionen die noch nicht möglich sind

4.1 Selbstreinigende Oberflächen

Die wohl bekannteste Funktion der Nanotechnologie ist die selbstreinigende Oberfläche, wie sie das Vorbild aus der Natur, das Blatt der Lotuspflanze aufweist. Dieses erzielt aufgrund einer feinen Mikrostruktur in Verbindung mit eingelagerten Wachskristallen eine stark Wasser abweisende Wirkung. Gleichzeitig können Verschmutzungen nicht an der Oberfläche anhaften und die Schmutzpartikel werden vom Regenwasser leicht abgewaschen.

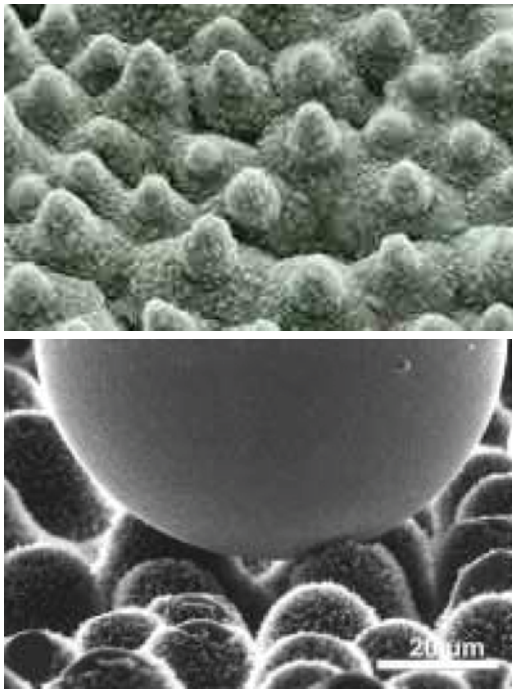


Abb. 4: Oberfläche des Lotusblattes (oben), Schmutzpartikel auf Lotusblatt (unten) [2]

Ein Selbstreinigungseffekt kann auch über die Anwendung von photokatalytisch aktivem Titandioxid erzeugt werden. Durch Sonnenlichteinstrahlung bilden die Pigmente aus organischen Substanzen an ihrer Oberfläche Radikale. Dadurch lassen sich zwei Effekte erzielen. Zum Einen werden Verunreinigungen auf der Oberfläche angelöst, zum Anderen besteht die Möglichkeit Schadstoffe in der Luft abzubauen. Bei Glas und Dachziegeln wird dieser Effekt bereits genutzt. Verunreinigungen können sich nicht festsetzen und werden durch Regen weggespült. Die Reinigung der Luft ist vor allem für Innenwandfarben und Tapeten interessant. Entsprechende Produkte sind bereits erhältlich und können auch Schadstoffe wie Formaldehyd abbauen. Die Beschichtung von Katalysatoren mit Titandioxid wird in der Großindustrie zur Reinigung von Abgasen eingesetzt.

Für Holz sind noch keine marktreifen Produkte bekannt. Dies liegt daran, dass, aufgrund der porösen Struktur der Holzoberfläche keine Oberflächenstruktur wie am Lotusblatt erzeugt werden kann. Bei einer Verwendung von Titandioxid auf Holzoberflächen, wie es als Lichtschutz verwendet wird, muss es mit einer dünnen Beschichtung, wie z.B. Siliziumdioxid, überzogen werden. Dadurch wird die photokatalytische Aktivität unterbunden. Ansonsten würden die gebildeten Radikale das Bindemittel des Lackes zerstören. Eine Hydrophobierung mit Nanosolen ist zwar möglich, damit wird aber kein Selbstreinigungseffekt erzielt.

4.2 Biozide Ausrüstung

Um den Bewuchs mit Schimmel, Bläuepilzen und Algen, der zu Verfärbungen und zum Abbau von Beschichtungsfilmen beiträgt zu vermeiden ist die biozide Ausrüstung ein wichtiger Bestandteil von Beschichtungen auf bewitterten Holzoberflächen. Dazu werden in anderen Bereichen bereits nanoskalige Silberpartikel verwendet. Unter Anwesenheit von Wasser und Sauerstoff bilden sich Silberionen, durch welche das Wachstum von

Bakterien und Pilzen gehemmt wird. Silber ist für den Menschen nicht toxisch. Der Vorteil ist, dass sich genau dann Silberionen bilden, nämlich bei Anwesenheit von Wasser und Sauerstoff, wenn auch das Wachstum von Mikroorganismen möglich ist. Diese Anwendung wird bereits im Bereich von antibakteriellen Beschichtungen im Gesundheitswesen und als Schutz der Innenwände von Kühlschränken vor Schimmel angewendet. Für Holzoberflächen existieren noch keine Produkte auf dem Markt. In einem Forschungsprojekt wurde die Entwicklung von Nanosolen auf Basis von Siliziumdioxid für den Holzschutz untersucht um neuartige, umweltfreundliche Beschichtungslösungen zu erhalten, die einen effektiven antimikrobiellen Schutz von Holz gewährleisten. Die Beschichtungslösungen sind auch für Textilien geeignet. Neben Silber ist die Beimischung von Chitosan oder Borsäure in immobilisierter Form möglich. Eine Anwendung für den Außeneinsatz in Gefährdungsklasse 3 ist dem Bericht der GMBU (Gesellschaft zur Förderung von Medizin-, Bio- und Umwelttechnologien e.V.) zufolge aber bislang nur mit borsäurehaltigen Siliziumdioxid-Nanosolen mit einer Borsäurekonzentration > 2% und Vakuumdruckimprägnierung möglich. Für den Bläueschutz des Holzes ergeben sich für silberhaltige Siliziumdioxid-Beschichtungen vorteilhafte Anwendungsmöglichkeiten.

5 Ökologie

Die Nanotechnologie ist auch mit Risiken verbunden, welche zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht alle absehbar sind. Daher besteht noch großer Forschungsbedarf über mögliche Gefahren die von Nanopartikeln auf Mensch und Umwelt ausgehen.

Bisher geht man davon aus, dass vor allem bei freien Nanopartikeln Risiken lauern. Noch gibt es keine Hinweise, dass eine orale Aufnahme oder Hautkontakt Gesundheitsschäden hervorrufen. Freie Nanopartikel können, wenn sie eingeatmet werden, bis tief in die Lunge und von dort in den Blutkreislauf eindringen. Welche Auswirkungen sie dort auf das Immunsystem auslösen ist noch nicht ausreichend erforscht. Wobei nicht alle Nanopartikel gleich toxisch sind. Daher muss jede Art von Nanopartikel separat untersucht werden. Nanostaub birgt zunächst einmal die gleichen Risiken wie auch anderer ultrafeiner Staub. Hohe Konzentrationen können die Lungenbläschen verstopfen und zum Ersticken führen. Daher sind vor allem bei der Verarbeitung die angegebenen Sicherheitshinweise zu beachten. Im eingebauten Zustand sind die Nanokomponenten fest in andere Materialien eingebunden und daher zunächst von der Umwelt isoliert. Da es jedoch noch keine Konzepte für Entsorgung und Recycling gibt, könnten viele der Materialien am Ende ihrer Lebensdauer in die Umwelt gelangen, denn niemand weiß genau was geschieht, wenn nanobeschichtetes Holz zerkleinert wird.

Arbeitssicherheitsvorschriften und Produktsicherheitsregelungen für die Feinstaubbelastung oder für Aerosole gelten für Nanopartikel genauso wie für herkömmliche Stoffe. Die Nanotechnologie baut aber darauf auf, dass Materialien in Nanostrukturen ganz spezifische neue Eigenschaften aufweisen können. Daher müssen die wissenschaftlichen Grundlagen für die Entscheidung verbreitert werden, ob weitere Regelungen erforderlich sind oder nicht. Das Projekt NanoCare des Bundesministerium für Bildung und Forschung und der Industrie beschäftigt sich mit den Auswirkungen von Nanopartikeln auf Mensch und Umwelt. Es soll Wissenslücken schließen und Maßnahmen zur Risikoerkennung und –minimierung einleiten. Das Ergebnis sollen neue Methoden zur frühzeitigen Bewertung der Auswirkungen von Nanomaterialien auf Gesundheit und Umwelt sein. Das European Centre for Ecotoxicology and Toxicology of Chemicals hat zehn toxikologische Tests zusammengestellt, nach denen künftig Nanopartikel untersucht werden sollen.

Quellen

[1] Artikel über die Swiss NanoConvention 2007
[2] Beschichtungen mit funktionellen Eigenschaften durch Nanotechnologie, Technische Informationsstelle des deutschen Maler- und Lackiererhandwerks, 2005
[3] Blondeau, M.: Nanotechnologie: Fluch und Segen aus der Welt des Unsichtbaren, Wohnung + Gesundheit 12/06, Seite 40 – 41
[4] Grüll, G.: Bringt die Nanotechnologie das Wundermittel für Holzoberflächen?, 25. Holzschutz-Tagung der DGFH, Biberach/ Riß, 2007
[5] NanoCare – verantwortungsvoller Umgang mit der Nanotechnologie, Bundesministerium für Bildung und Forschung
[6] Nanomaterialien – kleine Dimensionen, große Effekte, Bundesministerium für Bildung und Forschung
[7] Nanotechnologie jetzt auch für Zuhause, Optidee Produktions- und Handels GmbH
[8] Richter, K.: Oberflächenbehandlung wetterbeanspruchter Holzbauteile, EMPA, Abteilung Holz, Dübendorf
[9] Übersicht Forschungsprojekt Antimikrobielle Nanosol-Beschichtungen zum Schutz von Holz und Textilen, GMBU - Gesellschaft zur Förderung von Medizin,- Bio- und Umwelttechnologien e. V., Innovationskatalog 2006

Linkliste

www.nanopartikel.info
Internetseite des Bundesministeriums für Bildung und Forschung zum BMBF-Projekt NanoCare – Verantwortungsvoller Umgang mit der Nanotechnologie

12 Holzschutz, Oberflächenbehandlung
Strahlengehärtete Lacke

1 Allgemeines

Die Strahlenhärtung gilt als eine sehr umweltverträgliche Beschichtungstechnologie. Der geringe Energiebedarf für die Lackhärtung, die praktisch ohne VOC (flüchtige organische Bestandteile) Emissionen erfolgt, sichert ihr hier einen erstrangigen Platz. Die beschichteten Teile sind sofort trocken, können ohne Pause verpackt oder weiterverarbeitet werden. Damit entfallen die bei der Nass- und Pulverlackierung erforderlichen energieaufwendigen Trocknungs- oder Einbrennanlagen mit ihrer z.T. komplexen Frisch- und Abluftaufbereitung.

Bereits in den 60er Jahren wurde diese Art der Beschichtung von Ford in Detroit bei Armaturentafeln eingesetzt.

2 Härtungsverfahren

Treffen energiereiche UV- bzw. Elektronenstrahlen auf ein reaktives Harz, dessen Bestandteile über eine genügende Anzahl von polymerisierbaren Doppelbindungen verfügen, so kann durch Energieübertragung eine Vernetzung zwischen den Mono- bzw. Oligomeren des Harzes und damit ein Übergang vom flüssigen zum festen Aggregatzustand ausgelöst werden.

Man unterscheidet zwischen der Elektronenstrahl-Härtung (ESH), bei der die Polymerisation des Lackharzes ohne Zusatz weiterer Hilfsmittel direkt durch energiereiche Elektronen ausgelöst wird und der UV-Härtung (UVH), die – wenn auch in geringen Mengen – Photoinitiatoren als Startersubstanzen für die Polymerisation benötigt.

Da der apparative und sicherheitstechnische Aufwand bei der ESH nicht ganz unbeträchtlich ist, blieb bisher der Einsatz auf Spezialgebiete beschränkt.

Während bei der Elektronenstrahlhärtung die Eindringtiefe ausschließlich von der Beschleunigungsspannung des Strahlers einerseits und der Masse der zu vernetzenden Schicht andererseits abhängt, hängt die Eindringtiefe der UV-Strahlen entscheidend von der Absorption – also der Durchsichtigkeit im UV-Bereich – ab. Mit ersteren können vorzugsweise dicke und pigmentierte Schichten gehärtet werden (z.B. bei der Lackierung von Türen). Letztere werden besonders zur Härtung dünner und / oder nicht pigmentierter Schichten eingesetzt. (z.B. bei Druckfarben, CD-Schutzbeschichtungen, etc.).

Die Zahl und Art der mittels Strahlenpolymerisation hergestellten Produkte ist außerordentlich groß und vielfältig: Getränkedosen, Möbelfronten, flexible Verpackungen, selbstklebende Etiketten, elektronische Geräte wie z.B. Handys, Zahnfüllungen, Golfbälle, Parkett, Gebäudefassaden, Tunnelauskleidungen etc.

Die stärksten Triebkräfte für die stetige Ausbreitung beider Technologien sind dabei einmal der sparsame Energieverbrauch beim Härten im Vergleich zum konventionellen Trocknen. Eine Studie des RWE von 1994 ergab ein Verhältnis im Energieverbrauch von 1 : 3 : 10 zwischen ES-, UV-Härtung und thermischer Trocknung. Zum anderen erweist sich bei dem immer stärker werdenden Verantwortungsgefühl zur Schonung der Umwelt die Tatsache, dass durch Strahlenhärtung eine flüssige organische Beschichtung ohne jegliche Emissionen von VOCs in eine feste Schicht – und das oft im Zeitraum von Sekunden – umgewandelt werden kann, als der entscheidende ökologische Vorteil gegenüber anderen Verfahren. Diesen Vorteil besitzt nur noch die Pulverbeschichtung, bei der jedoch die Substraterwärmung thermische Energie verbraucht; die Strahlenhärtung ist dagegen ein kalter Prozess.

Ideal einsetzbar ist die Strahlenhärtung für flächenhafte Teile und Bahnenware. (Dreidimensionale, tief gestaffelte Strukturen sind allerdings wegen der kurzen Strahlungsreichweite weniger leicht zugänglich). Stand der Technik ist sie in der Holz- bzw. Möbelindustrie, bei der Beschichtung von Papier und Pappe, bei Folien und Fußbodenbelägen. Ihr Einsatz für die Lederveredelung wird diskutiert. Auch CDs tragen meist eine strahlengehärtete Lackschicht zum Schutz der Tonträger-Prägung. [1]

3 Strahlenhärtende Lackharze auf Basis von nachwachsenden Rohstoffen (Leinöl)

Im Rahmen eines von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt geförderten Forschungsvorhaben, wurde der heute von der Firma Dreisol Coatings GmbH & Co. KG angebotene Lack SUNCOAT® entwickelt. Hauptbestandteil des lösemittelfreien Schutz- und Dekorlacks für Holzoberflächen ist heimisches Leinöl. Das Öl ist gesundheitlich völlig unbedenklich und kann in modifizierter Form durch UV-Strahlung sekundenschnell gehärtet werden. Der Leinöl-Lack hat im Vergleich zu Lacken mit UV-Bindemitteln auf petrochemischer Basis zahlreiche ökologische und ökonomische Vorteile:

- Die Herstellung des Bindemittels ist sehr Energie sparend. Es wird nur 10 % der für petrochemisch basierte Bindemittel benötigten Energie verbraucht.
- Die Produktion ist Ressourcen schonend, denn der Lack besteht zu 95 % aus nachwachsenden Rohstoffen.
- Frei von Lösemitteln und allergieauslösenden Monomeren.
- Der Lack ist weitgehend biologisch abbaubar und unproblematisch bei der Entsorgung durch Kompostierung, Recycling oder Verbrennung.
- Der Lack ist preislich konkurrenzfähig

Nicht nur für Holz und Holzwerkstoffe wie Parkette, Möbel, Decken- und Wandpaneele lassen sich glänzende, seidenglänzende und matte Filme mit einer ansprechenden Optik, guter Haftung, mechanischer Belastbarkeit und Chemikalienresistenz erzeugen. Der Lack kann ebenfalls für die Lackierung von Fußbodenbelägen aus Kork und Linoleum, sowie für Papier, Pappe und Leder verwendet werden. [2]

Leinöl als Vorprodukt des Leinölepoxids wird zwar in Deutschland angebaut. Trotzdem ist Deutschland ein Leinöl-Importland. Dies zu ändern, wäre in erster Linie Aufgabe der Agrarpolitik, die hier die notwendigen Rahmenbedingungen zu schaffen hätte. Die ökologischen und volkswirtschaftlichen Vorteile des neuen Lackbindemittels Leinölepoxid gegenüber seinen konkurrierenden petrochemischen Produkten sind eindrucksvoll und überzeugend. [1]

Quellen

[1] Strahlenpolymerisierbare lösemittelfreie Schutz- und Dekorationsbeschichtungen auf Basis heimisch nachwachsender Rohstoffe, Abschlussbericht 1999, Deutsche Bundesstiftung Umwelt, An der Bornau 2, 49090 Osnabrück, www.dbu.de

[2] Lösemittelfreie Holzbeschichtung auf Leinölbasis, Deutsche Bundesstiftung Umwelt, An der Bornau 2, 49090 Osnabrück, www.dbu.de

[3] Dreisol Coatings GmbH & Co. KG, Industriestr. 4, 32361 Preußisch Oldendorf, www.dreisol.de

12 Holzschutz, Oberflächenbehandlung
UV-Lichtstabilisierung

Chantal Donders, Karoly Donders

1 UV-Schutz im Außenbereich

Holz als Bausubstanz ist vielen Umwelteinflüssen ausgesetzt und sollte daher mit baulichen, d.h. konstruktiven Maßnahmen, sowie gezielt mit geeigneten Produkten geschützt und veredelt werden. Die Abbaumechanismen für Holz im Aussenbereich sind:

- Wassereinwirkung
- Sonneneinstrahlung (UV-Licht)
- Mechanische Belastung (z.B. Hagel)
- Thermische Belastung
- Biologische Belastung (Pilze & Insekten)
- Chemische Belastung

Das Sonnenlicht löst in der exponierten Holzoberfläche fotochemische Abbauprozesse aus. Dabei wird insbesondere das „Lignin“, ein stark vernetztes, aromatisches Polymer, welches als Festigungselement im Holz dient, abgebaut. Die dabei entstehenden Abbauprodukte sind vorwiegend wasserlöslich und können daher „ausgewaschen“ werden. Dadurch verliert das Holz an der Oberfläche seine Festigkeit und die Haftung des darauf befindlichen Beschichtungssystems wird erheblich gestört. Bei Betrachtung dieses Vorgangs fällt auf, dass erst das Zusammenspiel mehrerer Einflüsse zu den bekannten Schadensbildern, wie z.B. Wasserringe, Bläuebefall, Vergrauung und Rissbildung führt. Das Wasser kann die Ligninbestandteile nur deshalb aus der Holzstruktur lösen, weil zuvor die UV-Strahlung das Lignin fotochemisch verändert hat.

Daher müssen Lösungen und Systeme angestrebt werden, welche der primären Ursache, wie z.B. UV-Strahlung, entgegenwirken, aber auch für weitere Einwirkungen gerüstet sind. Allgemein ist die UV-Schutzwirkung stark abhängig von der Opazität, d.h. dem Grad der Pigmentierung von Beschichtungen. Grundsätzlich verfügen farblose und lasierende Systeme über eine geringere UV-Schutzwirkung als deckende Anstriche und müssen daher speziell mit UV-Schutz ausgerüstet werden.

2 UV-Absorber & HALS

Grundsätzlich stehen für die Lacktechnik organische und anorganische Lichtschutzmittel für die Verbesserung bestehender Lacksysteme zur Verfügung. Organische UV-Absorber werden mit der Zeit abgebaut und können daher nur einen begrenzten Langzeitschutz bieten, anorganische UV-Absorber hingegen weisen eine hohe Langzeitbeständigkeit auf.

Ein optimal formuliertes System besitzt sowohl UV-Absorber wie auch passende HALS (Hindered Amine Light Stabilizers). UV-Absorber sind Substanzen welche die UV-Energie absorbieren und dadurch andere sensible Gruppen im und unter dem Lack schützen. HALS verhindern oxidative Reaktionen, indem sie freie Radikale (d.h. extrem reaktive Zentren) einfangen. Aufgrund der beiden unterschiedlichen Wirkungsweisen ergänzen sich beide Substanzen und organische UV-Absorber werden dabei durch die HALS stabilisiert.

In einem qualitativ hochwertigen System decken die UV-Absorber möglichst große „Fenster“ der UV-Strahlung ab. D.h. es werden diverse UV-Absorber eingesetzt, welche unterschiedliche Wellenlängen der Strahlung absorbieren.

3 Praxiserfahrung

Gemäß unserer langjährigen Erfahrung kann die Standzeit von Holzoberflächen mit geeigneten Lichtschutzmitteln erheblich verlängert werden. Durch den Einsatz von UV-Absorbern und HALS wird der Abbau des Lignins stark verringert. Das Holz behält seine Stabilität und die Haftung der Beschichtung auf der somit intakten Holzoberfläche wird gegenüber traditionellen Systemen verlängert. Dieser Effekt kann eindrucksvoll anhand

eines farblosen Lasuranstrichs wie in Abb. 1 illustriert werden.

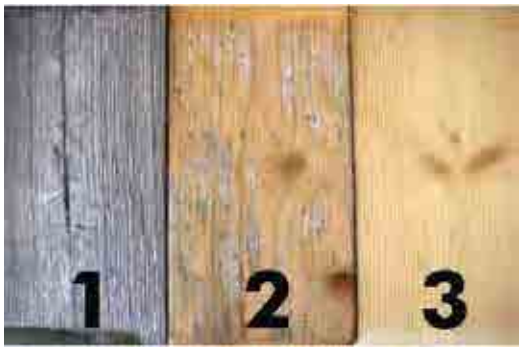


Abb. 1: Wirkungsweise SunCare® 900 nach 2 Jahren Freibewitterung, 45° SW
1 = unbehandelte Oberfläche
2 = 2x Lasurfarbe farblos
3 = 1x SunCare® 900 + 2x WoodCare® UV

Nach circa 5 Monaten Freibewitterung wurden die Oberflächen durch einen Hagelregen verletzt. Die stabilisierende Wirkung von SunCare® 900 als Ligninschutz ist bei Nr. 3 anschaulich demonstriert. Bei Nr. 2 ist deutlich zu erkennen, dass Wasser unter die Lasurbeschichtung gedrungen ist und die zerstörte Ligninbestandteile teilweise ausgewaschen wurden (Wasserringe). Die zerstörte Holzsubstanz begünstigt das Wachstum von Bläuepilzen, welche als schwarze Punkte erkennbar sind. Die Verfärbung des Holzes bei Nr. 2 ist ein weiteres Indiz für die fotochemische Veränderung der Holzsubstanz durch UV-Strahlung.

Der in Nr. 3 (Abb. 1) verwendete Ligninschutz ist ein wasserlösliches Produkt und muss mit einer zusätzlichen Schicht vor Wassereinwirkung geschützt werden. Grundsätzlich werden alle Farbsysteme mit einem Ligninschutz erheblich stabilisiert. Für farblose und leicht pigmentierte Systeme sind zusätzliche UV-Absorber im Topcoat wichtig, damit ein möglichst langfristiger Effekt erzielt werden kann.

Ligninschutz im Aussenbereich, d.h. ein UV-Schutz welcher insbesondere das Lignin an der Holzoberfläche schützt, ist ein Beitrag zur Nachhaltigkeit. Durch die Stabilisierung der Holzoberfläche können Farbsysteme mit weniger Filmschutz, d.h. Fungiziden und Insektiziden, ausgerüstet werden, da die Holzoberfläche weniger Angriffspunkte liefert. Diese These wird durch den erfolgreichen Einsatz von Ligninschutzmittel wie z.B. SunCare® 900 seit über 10 Jahren gestützt.

4 Vergilbungsschutz im Innenbereich

Klarlacke und leicht weißlich pigmentierte Systeme sind für viele Anwendungen im Innenbereich sehr beliebt.

Abb. 2: Linke Stuhlhälfte Basisbehandlung mit SunCare® 800

Die Farbtonveränderungen, welche durch die Lichtempfindlichkeit der Holzsubstanz ausgelöst werden, sind daher oft unerwünscht. Die Vergilbung des Holzes wird ebenfalls durch fotochemische Prozesse verursacht. Dabei genügt bereits das diffuse Licht im Innenbereich um diesen Prozess auszulösen. Die bräunliche Färbung des Lignins wird durch die primären Chromophore, Carbonyle und konjugierte Phenole initiiert. Die Absorption findet zwischen 300-400 nm statt.

Die Vergilbung des Holzes kann mit speziellen Lichtschutzmitteln wie z.B. SunCare® 800 erheblich reduziert werden.

Abb.3: Innenraum, behandelt mit Vergilbungsschutz, SunCare® WF.

5 Schlusswort

Das Sonnenlicht und insbesondere die hochenergetische UV-Strahlung ist ein sehr wichtiger und schädlicher Einflussfaktor für die Bausubstanz Holz. Lichtschutzmittel sind deshalb für die Stabilisierung von Festigkeit und Farbe ein wichtiger Bestandteil für die Werterhaltung von Holzoberflächen.

Eindrucksvolle Ergebnisse konnten mit den bereits existierenden organischen UV-Absorbern in Kombination mit HALS erzielt werden. Seit einiger Zeit wird auch intensiv die Verwendung von anorganischen Materialien für diese Zwecke untersucht.

Quellen

[1] P. Hayoz et all., Farbstabilisierung und Lichtschutz bei naturbelassenen Hölzern für den Innenbereich, Farbe&Lack, 7, 2003, S.26f

[2] U. Müller et all., Yellowing and IR-changes of spruce wood as result of UV-irradiation, Journal of Photochemistry and Photobiology B, 2003, S.97f

[3] R. William, Effect of grafted UV stabilizers on wood surface erosion and clear coating performance, Journal of Applied Polymer Science, 1983, S 2093f

12 Holzschutz, Oberflächenbehandlung
Greywood

Seit mehreren Jahrzehnten werden Gebäude mit Holzfassaden versehen, deren Oberfläche im Optimalfall mit der Zeit eine natürliche, silbergraue Patina annehmen. Da die Alterung jedoch selten so gleichmäßig ins Silber der natürlichen Vergrauung hinüberwechselt, wird es in vielen Fällen sowohl von der Bauherrschaft, als auch von den Planern gewünscht, die farblichen Veränderung des Holzes bereits bei der Errichtung von Holzfassaden vorwegzunehmen.

Die Fassaden verwittern je nach Intensität von z.B. Regen, Hagel, Temperatur, UV-Strahlung unregelmäßig, da direkt bewitterte Teile im Lauf der Zeit stark vergrauen, während sich unter Vordächern und in geschützten Bereichen das unbehandelte Holz lediglich dunkel färbt.

Abb. 1: Flecken und Schlierenbildung unter dem Dachvorsprung, verursacht durch unterschiedliche UV-Belastung [2]

Bisher war es nur möglich, das farblich unterschiedliche Erscheinungsbild einer unbehandelten Holzfassade durch die natürliche Vergrauung zu akzeptieren oder das Holz durch eine Beschichtung vor Bewitterung zu schützen, was wiederum eine regelmäßige Wartung erforderlich macht.

Eine Alternative zu den herkömmlichen Lacken und Lasuren stellt vorvergrautes bzw. mit grauer Lasur vorbehandeltes Holz dar, welches bereits mit dem Tag des Einbaus an eine natürliche graue Farbe aufweist. Um dies zu erreichen, gibt es die Möglichkeit, eine graue pigmentierte Holzlasur zu verwenden, die in den bewitterten Bereichen nach und nach in eine natürliche Patina übergeht, während sie in den geschützten Bereichen erhalten bleibt. Die verschiedenen Hersteller bieten zu diesem Zweck unterschiedliche Lasuren an.

Die Firma Caparol [3] hat beispielsweise zwei verschiedene Lasuren im Angebot: GreyWood und GreyExpress. Während die GreyWood-Lasur in verschiedenen Grautönen erhältlich ist und die Entscheidung erlaubt, entweder das Holz regelmäßig mit der Lasur zu behandeln, oder es nicht mehr zu pflegen und die bewitterten Stellen langsam natürlich vergrauen zu lassen, kann durch GreyExpress die natürliche Vergrauung der Holzoberfläche durch eine Reaktion mit Feuchtigkeit und Sauerstoff extrem beschleunigt werden. Innerhalb weniger Monate kann so eine gleichmäßige und natürliche Oberflächenfärbung entstehen, die sonst mehrere Jahre erfordern würde. Auch ein nachträgliches Auftragen kann in geschützten Bereichen zu einer natürlichen Vergrauung führen.

Abb. 2: vorvergraute Fassade [1]

Eine andere, nicht ganz so gängige Möglichkeit, ist die Alterung der Holzoberfläche bei Witterung. Das Verfahren basiert auf der Alterung der Oberfläche mittels der Hauptfaktoren Sonne (UV-Strahlung), Regenwasser sowie natürlicher Bläuepilze. Dies garantiert eine Vorvergrauung ohne Einsatz zusätzlicher Stoffe. Zu diesem Zweck werden von den Herstellern in der Regel Rift- und Halbriftbretter mit guter Dimensions- und Formstabilität als Ausgangsmaterial verwendet und im Werk der Witterung ausgesetzt. Nach Erreichen des erforderlichen Behandlungsgrades werden diese getrocknet und profiliert.

Abb. 3: Die silbergrauen Farbtöne der GreyWood-Lasur, die durch spezielle Effektpigmente unterschiedliche Farbtonrichtungen erhalten. [3]

Die Dauerhaftigkeit von vorvergrautem Holz ist vergleichbar mit unbehandeltem Holz – das bedeutet eine lange Lebensdauer ohne regelmäßigen Unterhalt, wenn die Regeln des konstruktiven Holzschutzes eingehalten werden.

Unabhängig von dem Einsatz im Neubaubereich bieten sich auch bei Erneuerungen oder Erweiterungen von Fassadenflächen aus unbehandeltem Holz weitere Potentiale zur Verwendung vorvergrauter Hölzer. Bisher bestand das Problem darin, dass es zwischen den alten, vergrauten und den neuen Fassadenbrettern zu auffälligen Farbunterschieden kam, die durch die Verwendung von vorvergrautem Holz deutlich reduziert werden können. Eine von Anfang an vorvergraute Fassade kann so einen Beitrag zur Akzeptanzsteigerung von Holzfassaden und -bauten bei Architekten, Bauträgern und den Konsumenten leisten.

Quellen

[1] Setz Architektur, CH-Rupperswil
www.setz-architektur.ch
[2] CD Color GmbH & Co. KG, Herdecke
www.delta-woodprotection.de
[3] CAPAROL Farben Lacke Bautenschutz GmbH, Ober-Ramstadt
www.caparol.com

12 Holzschutz, Oberflächenbehandlung
Die Wirkung von Laserstrahlung auf strukturelle, chemische und physikalische Eigenschaften des Holzes

Hendrik Wurst, Günter Wiedemann, Peer Haller

Bei der Laserbestrahlung von Holzoberflächen tritt neben der Pyrolyse Schmelze auf, die als unerwünschte Begleiterscheinung angesehen wird. Die vorliegende Arbeit untersucht die Wirkung des Laserstrahls auf Holz hinsichtlich der strukturellen, chemischen und physikalischen Eigenschaften. Die Absorption des Lasers variiert im Laufe der Bestrahlung infolge der Veränderungen des Gefüges. Die chemische Zusammensetzung der drei Hauptbestandteile – Zellulose, Hemizellulose und Lignin – führt zu Veränderungen der Schwell- und Grenzwerte für Strahlintensität und Wechselwirkungszeit. Ein Parameterfeld für pyrolysefreies Schmelzen wurde ermittelt. Es zeigte sich, dass der Nd:YAG-Laser (1,064 µm) in Abhängigkeit von der Wechselwirkungszeit eine 8 bis 1000 fach höhere Strahlintensität benötigt als der CO_2-Laser (10,6 µm) um die gleiche Wirkung zu erzielen. Die Benetzung und die kapillare Wasseraufnahme aller untersuchten Holzarten wurden durch die Behandlung verändert. Die größte Wirkung wurde bei Fichte festgestellt, wohingegen Sapelli nur geringe Veränderungen zeigte.

Einführung

Die Einführung des Lasers in verschiedene Bereiche der Materialbearbeitung schreitet rasch voran. Die Gründe hierfür sind: der fokussierte Energieeintrag, die leichte Kontrolle von Strahlform, Energiedichte und Wechselwirkungszeit für verschiedene Wellenlängen sowie die einfache Führung des Strahls durch Lichtfasern und Spiegel.

Bekannte Anwendungen des Lasers in der Holzindustrie sind Schneiden und Gravieren (Kudapa et al., 1991; Westkämper und Hoffmeister, 1998). Zusätzlich wird die Perforation massiver Bohlen vor der Imprägnierung mit chemischen Holzschutzmitteln (Hattori, 1995), der Abtrag dünner Schichten (Panzner et al., 1998) sowie die Reinigung von Holzoberflächen in der Denkmalpflege (Wiedemann et al., 1998) heute untersucht.

Der Stand der Technik zeigt, dass das Potenzial von Laseranwendungen in der Holzindustrie nur unvollständig genutzt wird, da die Grundlagen zur Entwicklung neuer Verfahren fehlen.

In dieser Arbeit wird die Wirkung von Laserstrahlen auf Holz an Hand mikrostruktureller, chemischer und physikalischer Eigenschaften beschrieben. Das Augenmerk liegt dabei auf folgenden Gesichtspunkten:

- Beschreibung der Wechselbeziehung Strahl-Oberfläche
- Veränderung der Oberfläche und Erzeugung von Schmelze
- Einfluss der Parameter Wellenlänge, Wechselwirkungszeit, Strahlintensität auf das Schmelzen
- Charakterisierung der Schmelze

Thermisches Verhalten von Holz

Holz ist ein poröser Stoff mit einem Porenanteil zwischen 60 und 70 % für Nadelholz. Seine physikalischen Eigenschaften, insbesondere sein hygrisches Verhalten, hängen sehr vom anatomischen Aufbau ab. Es besteht aus verschiedenen chemischen Bestandteilen unter denen Zellulose, Hemizellulose und Lignin die wichtigsten sind. Diese Bausteine bestehen aus Polymerketten, die keine ausgeprägten Schmelzpunkte sondern einen Glasübergang aufweisen, dessen Werte sind für Lignin und Zellulose unterschiedlich sind und jeweils zwischen 140 °C and 200 °C (Sandermann and Augustin 1963) variieren, so dass mit konventionellen Wärmequellen ein Schmelzen nicht ohne Bräunung oder Verbrennung erreicht werden kann.

Orech (1975) hat das Absorptionsspektrum von Holz gemessen, das wegen seines Minimums bei 1000 nm die geringste Absorption beim Nd:YAG-Laser erwarten lässt. Im Gegensatz hierzu tritt eine hohe Absorption mit über 80 % für den UV- und IR-Bereich auf (Abb. 1).

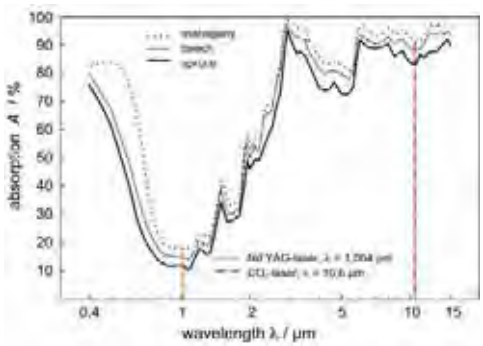


Abb. 1: Spektrum von Mahagony, Buche und Kiefer; siehe Markierungen der Wellenlängen typischer Laser (Wust 1998, Orech 1975)

Seltman (1995) veröffentlichte als erster Ergebnisse von Ablationsversuchen an Holzoberflächen mit dem Excimer-Laser. Die Oberflächenstruktur ähnelte danach Mikrotomschnitten, wie sie zur Vorbereitung von Präparaten der Elektronenmikroskopie durchgeführt werden. Untersuchungen von Henneberg (1997) und Panzner (1998) haben gezeigt, dass die Ablationstiefe sehr stark von der örtlichen Mikrostruktur und der Porosität abhängt.

Verkohlte oder geschmolzene Oberflächen sind aus der Literatur bekannt und werden als unerwünschte Erscheinungen betrachtet, die gewöhnlich entfernt werden müssen. Die thermische Zersetzung ist unvermeidlich und stellt einen Mangel hinsichtlich der Oberflächenqualität dar (Parameswaran 1982). Hohe Temperatur während des Schneidens (ungefähr 700 °C, Arai et al. 1979) führt zu einer Umwandlung des Zellgefüges in eine feste, glasartige Substanz. Back (1973) hat die Schmelztemperatur für Zellulose mit ungefähr 450 °C berechnet. Schmelzen ohne Verbrennung oder Verkohlung sollte aber möglich sein, wenn Erhitzung und Abkühlung der Oberfläche in sehr kurzer Zeit erfolgen.

Laser

Laser ist eine Akronym für Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation. Fügt man einem laser-aktiven Material in einem Resonator Energie zu, generiert es Laserstrahlung. Neben den physikalischen Vorgängen gibt Eichler (1991) Erläuterungen zur Charakteristik des Laserstrahls und seine Interaktion mit Materialien.

Laserstrahlung ist zeitlich und räumlich kohärent, das heißt zwischen den Lichtwellen existiert eine feste zeitliche und räumliche Beziehung, die zu den oben beschriebenen Eigenschaften des Strahles führt. Infolge ihrer geringen Divergenz besitzt Laserstrahlung selbst über weite Entfernungen eine hohe Intensität. Sie wird definiert als Leistungsdichte E (durchschnittliche Leistung des Lasers P_{Av} bezogen auf die bestrahlte Fläche) oder als Energiedichte H (Pulsenergie Q bezogen auf die bestrahlte Fläche).

Es ist möglich, den Laserstrahl auf eine sehr kleine Fläche – theoretisch bis auf das 2,4 fache der Wellenlänge – zu fokussieren, wodurch hohe Intensitäten auftreten. Die Fokussierung des Lasers zusammen mit der Steuerung der durchschnittlichen Leistung gestattet eine feine Dosierung der Intensität als Voraussetzung zur Behandlung der Holzoberfläche. Handelsübliche Laser sind heute mit Wellenlängen von Ultraviolet bis in das mittlere Infrarot verfügbar.

Die Wechselwirkung wird gewöhnlich definiert als Leistung über der Zeit, beziehungsweise der Dauer des Laserpulses. Die Erzeugung gepulster Laserstrahlung ermöglicht eine weitere Steigerung der Intensität, bei der sehr hohe Energie in einem kurzen Zeitraum auf der Oberfläche umgesetzt wird.

Experimenteller Aufbau

Für die Versuche wurde Fichte, Buche und Sapelli ausgewählt. Bretter und Bohlen guter Qualität und mit feinen Jahrringen wurden in einer Schreinerwerkstatt in würfelförmige Probekörper von 20 mm Kantenlänge geschnitten, wobei die Schnittrichtung den orthotropen Hauptachsen des Holzes entsprach. Die Flächen blieben sägerauh. Die Würfel wurden anschließend auf eine Holzfeuchte von 10 % konditioniert. Darüber hinaus wurden Furniere der besagten Holzarten sowie Zellstoff und Lignin für die spektroskopischen Untersuchungen und die Absorptionsmessungen verwendet.

Ein Nd:YAG-Laser mit einer Wellenlänge von 1064 nm und ein CO_2-Laser mit 10.6 µm wurden für die Behandlung verwendet. Der Nd:YAG-Laser wurde wegen der zu erwartenden hohen Eindringtiefe von 1 µm gewählt. Der CO_2-Laser wurde herangezogen, weil Holz ihn im Bereich von 10 µm gut absorbiert. Die Laserparameter sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Der Laserstrahl des CO_2-Lasers wurde mit einem 45 ° Brennspiegel aus Molybdän-beschichtetem Kupfer fokussiert, der eine Brennweite von 400 mm aufwies. Beim Strahl des Nd:YAG-Lasers geschah dies mit Hilfe von Quartzlinsen einer Brennweite von 300 mm. Zur Veränderung der Leistungsdichte wurde die durchschnittliche Leistung des Lasers variiert.

Tab. 1: Zusammenfassung von Laserarten und ihrer Besonderheiten

Typ	Wellenlänge	Aktives Medium	Operationsmodus
Excimer-Laser	193, 248, 308 nm	Gas	gepulst (pw)
Diodenlaser	805, 940 nm	Halbleiter	kontinuierlich (cw)
Nd:YAG-Laser	355, 532, 1064 nm	Festkörper	gepulst (pw), kontinuierlich (cw)
CO_2-Laser	10,6 µm	Gas	gepulst (pw), kontinuierlich (cw)

Die spektroskopischen Untersuchungen wurden mit Hilfe des FTIR-Spektrometer Perkin Elmer Spectrum 2000 durchgeführt. Die Messung erfolgte im Bereich 4000 cm^{-1} bis 600 cm^{-1} mit einer Auflösung von 4 cm^{-1}. Um den Einfluss gasförmigen Wassers zu mildern, wurden die Kuven geglättet, und es wurde eine ATR-Korrektion durchgeführt. Die Auswertung des Spektrums erfolgte qualitativ über die Position der Peak.

Für die Kontaktwinkelmessung wurde das System Surftens 3.0 verwendet. Die Aufzeichnung der Gestalt des Tropfens destillierten Wassers auf der Holzoberfläche erfolgte mittels einer CCD-Kamera mit Makro-Objektiv. Die Daten wurden mit einer Bildverarbeitung automatisch ausgewertet. Die Zufuhr von Flüssigkeit geschah mit einer Mikrospritze (Volumen 500 µl) bei einem konstanten Volumenstrom von 5 μls^{-1}, wobei die Spitze während der Messung im Tropfen verblieb. Die Auswertung der Bilder und Messwerte wurde graphisch nach den Empfehlungen von Nussbaum (1989) vorgenommen.

Die kapillare Wasseraufnahme der Holzoberfläche wurde gemäß DIN 52617-A bestimmt. Nach dem Eintauchen der Proben in Wasser wurde die Gewichtzunahme nach 10 min, 30 min, 1 h, später stündlich bis zur sechsten Stunde und schließlich nach 24 h, 48 h, 72 h, 96 h, 120 h, 144 h und 168 h ermittelt. Überschüssiges Wasser wurde vor der Wägung entfernt; die Messwerte wurden in einer Tabelle zusammengestellt, grafisch ausgewertet und die Wasseraufnahmekoeffizienten bestimmt.

Ergebnisse und Diskussion

Schmelz- und Zersetzungstemperatur für Zellulose, Hemizellulose und Lignin können Abb. 2 entnommen werden. Die Zersetzungstemperatur der Hemizellulose ist mit ungefähr 200 °C am geringsten. Die Zersetzung des Lignins erfolgt bei weit höheren Temperaturen als die Erweichung,

wohingegen beide Temperaturen bei der Zellulose nahezu identisch sind.

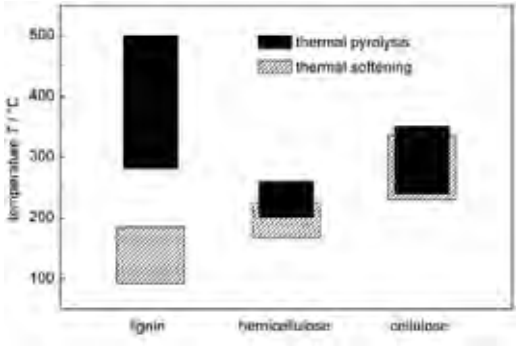


Abb. 2: Thermische Erweichungs- und Zersetzungstemperaturen von Holzbestandteilen (Wust 1998)

Die Absorption der Laserstrahlung ist Voraussetzung für die Behandlung der Holzoberfläche (Abb. 3). Untersuchungen der Absortion zeigen geringste optische Eindringtiefen für Fichte bei Wellenlängen von 805 nm und 10,6 µm.

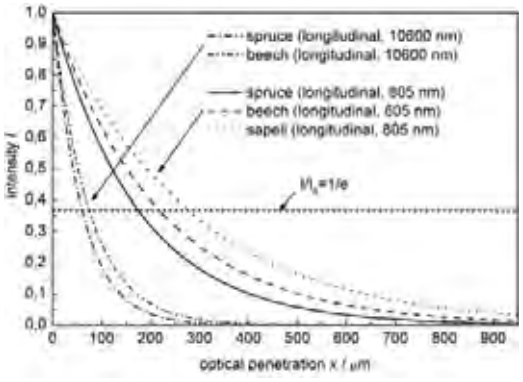


Abb. 3: Optische Eindringtiefe für Fichte, Buche und Sapeli sowie ausgewählte Wellenlängen von Lasern

Die höchste Eindringtiefe wurde für Sapelli gemessen. Die Messungen der Reflexion ergab für alle drei Holzarten einen Wert von 90 % bei 805 nm und einen wesentlich geringeren von weniger als 10 % bei 10,6 µm. Dies bedeutet eine effektive Absorption des CO_2-Lasers und eine größere Eindringtiefe des Nd:YAG-Lasers, einhergehend mit einer gleichmäßigen Verteilung der Temperatur.

Mit dem CO_2-Laser und Pulsbreiten von 1 ms konnte das Schmelzen der Holzoberfläche ohne Verkohlung beobachtet werden (Abb. 4a,b). Die Tiefe der Schmelzschicht wurde mittels Licht- und Elektronenmikroskop bestimmt. Sie liegt in einem Bereich von 2 bis 7 µm; die Zone der thermischen Beeinflussung hingegen reicht von 5 µm bis 15 µm (Abb. 5).

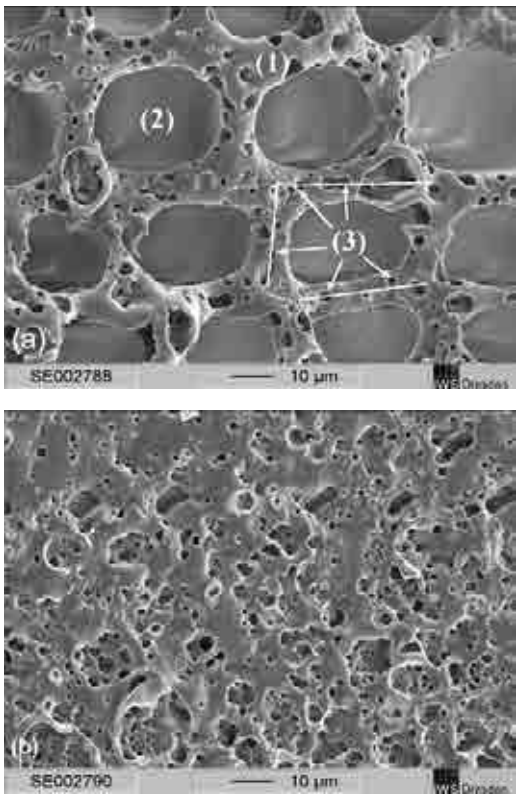


Abb. 4: REM-Aufnahme von Fichte nach Laserbestrahlung mit CO2-Laser, t_P= 1 ms. Querschnitt mit (a) Frühholz (1) glasartige Schmelze, (2) Lumen, (3) Pore und ihre Orientierung in der Mitte der Zellwand; (b) Spätholz (Wust 1998)

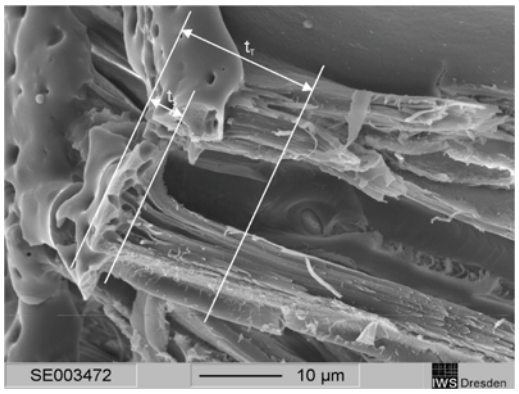


Abb. 5: REM-Aufnahme von Fichte nach Laserbestrahlung mit CO2-Laser, t_P= 1 ms., Querschnitt, Tiefe der Schmelzschicht t_S= 3,6 µm, Tiefe der thermischen Veränderung t_T= 15 µm (Wust 1998)

Veränderungen der physikalischen Eigenschaften, insbesondere der Feuchteaufnahme, wurden über den Kontaktwinkel bestimmt. Die Messungen zeigten für alle Holzarten nach der Bestrahlung einen Wert von 80 ° (Abb. 6,7). Dies entspricht bei Fichte einer Steigerung von 130 % und bei Buche 60 %. Ein Vergleich dieses Ergebnisses mit mikroskopischen Untersuchungen zeigt, dass die Veränderung der Benetzung aus der Schmelze resultiert, ungeachtet dessen, ob diese eine geschlossene Schicht bildet oder nicht.

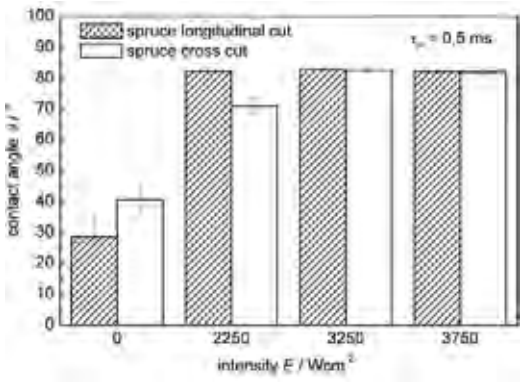


Abb. 6: Kontaktwinkel von Fichte, vor und nach der Bestrahlung mit CO_2-Laser

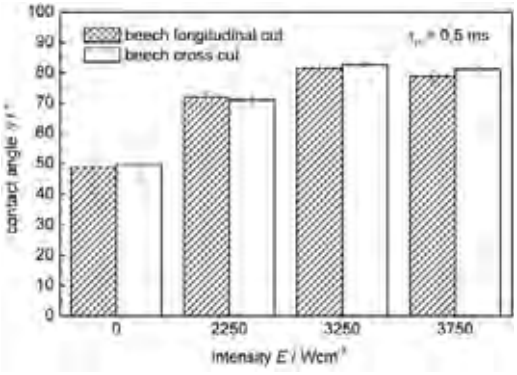


Abb. 7: Kontaktwinkel von Buche, vor und nach der Bestrahlung mit CO_2-Laser

Schlussfolgerung

Die Untersuchungen berichten über grundlegende Aspekte der Laserbehandlung von Holz zur Erzeugung von Schmelze, wobei der Einfluss verschiedener Parameter wie Wellenlänge, Leistungsdichte, Pulsdauer und Fokussierung in mikroskopischen Aufnahmen der Oberfläche gezeigt wurde.

Die Absorption des Laserstrahls geht mit Veränderungen der Oberfläche einher. Die chemische Zusammensetzung, besonders die Verteilung von Zellulose, Hemizellulose und Lignin in der Zellwand, führt zu den besagten Veränderungen von Schwell- und Grenzwerten hinsichtlich Intensität und Wechselwirkungszeit.

Ein Parameterfeld wurde ermittelt, das ein Schmelzen der Holzoberfläche ohne Verkohlung ermöglicht. Die Oberflächentemperatur dürfte 200 °C nicht übersteigen, da jenseits dieser Temperatur, entsprechend des aus der Literatur bekannten thermischen Verhaltens, eine Verkohlung von Hemizellulose und Lignin zu erwarten wäre.

Es zeigte sich, dass die Bestrahlung mit Nd:YAG-Laser (1,064 µm) in Abhängigkeit von der Intensität eine 8 bis 1000 fach höhere Strahlintensität

erfordert als der CO_2-laser (10,6 μm) um die gleiche Wirkung zu erzielen.

Sowohl die Benetzung als auch die Wasseraufnahme wurden bei allen Holzarten verändert. Die größte Wirkung zeigte die Fichte, wohingegen Buche nur geringe Veränderungen aufwies.

Bis heute beschränkt sich die Laserbearbeitung in der Holztechnologie auf wenige Anwendungen wie Schneiden, Perforieren oder Gravieren. Angesichts dieser Tatsache sollten die physikalischen und chemischen Grundlagen für weitere Bearbeitungsverfahren stärker als bisher erforscht werden (Abb. 8).

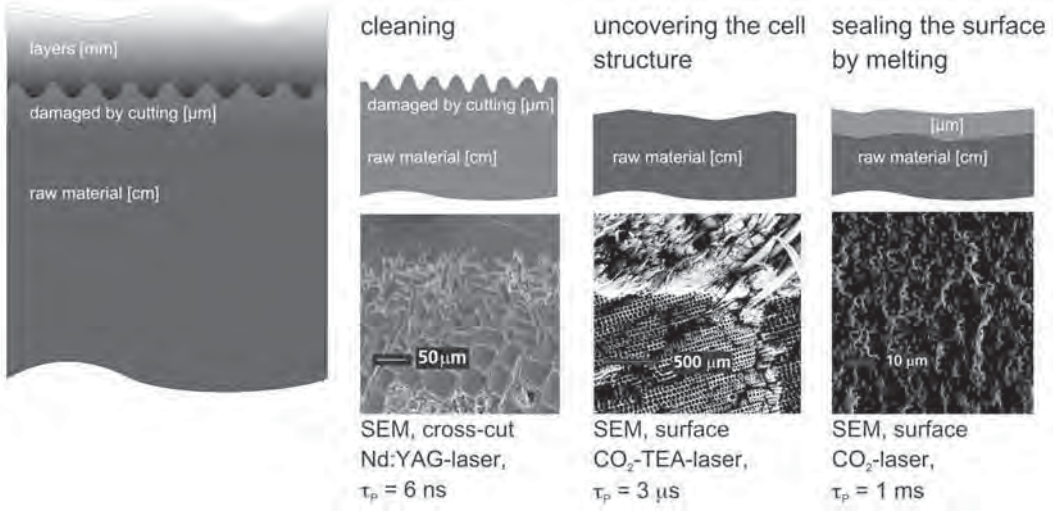


Abb. 8: Neue Möglichkeiten der Laserbehandlung von Holzoberflächen am Beispiel der Fichte durch Veränderung von Wellenlänge, Intensität und Wechselwirkungszeit.

Literatur

[1] Back, E.L. (1973). Cellulose bei hohen Temperaturen. Selbstvernetzung, Glasumwandlung und Schmelzen unter Einwirkung von Laserstrahlen. Das Papier, 27, pp. 475-483

[2] Haller, P., Wust, H., Beyer, E., Wiedemann, G., Panzner, M. (2002). Experimental Study of the Effect of a Laser Beam on the Morphology of Wood Surfaces, First European Wood Conference, 7.10.-10.10., Hamburg, Germany

[3] Henneberg, K. (1997). Untersuchungen zur Oberflächenbearbeitung von Massivholz mittels Laserstrahlung. Diplomarbeit, Technische Universität Dresden

[4] Nussbaum, R. M. (1999). Natural surface inactivation of Scots pine ans Norway spruce evaluated by contact angle measurement, Holz als Roh- und Werkstoff, 57, pp. 419-424

[5] Orech, T., Kleskenova, M. (1975). Untersuchungen über die Holzbearbeitung mit Laserstrahlen. Drevo, 30, pp. 324

[6] Panzner, M., Wiedemann, G., Henneberg, K., Fischer, R., Wittke, Th., Dietsch, R. (1998). Experimental investigation of the laser ablation process on wood surfaces. Applied Surface Science, 129, pp. 787-792

[7] Parameswaran, N. (1982). Feinstrukturelle Veränderungen an durch Laserstrahl getrennten Schnittflächen von Holz und Holzwerkstoffen. Holz als Roh- und Werkstoff, 40, pp. 421

[8] Pöpel, L.V. (1997). Untersuchungen der Eigenschaften laserbehandelter Holzoberflächen bezüglich Verkleb- und Imprägnierbarkeit. Diplomarbeit, Technische Universität Dresden

[9] Sandermann, W., Augustin, H. (1963). Chemische Untersuchungen über die thermische Zersetzung von Holz. Erste Mitteilung – Stand der Forschung. Holz als Roh- und Werkstoff, 21, pp. 256

[10] Sandermann, W., Augustin, H. (1963). Chemische Untersuchungen über die thermische Zersetzung von Holz. Zweite Mitteilung – Untersuchungen mit Hilfe der Differential-Thermo-Analyse. Holz als Roh- und Werkstoff, 21, pp. 305

[11] Seltman, J. (1995). Freilegen der Holzstruktur durch UV Bestrahlung. Holz als Roh- und Werkstoff, 53, pp. 225

[12] Wust, H. (1998). Untersuchung von laserinduzierten Schmelzprozessen an Holzoberflächen. Diplomarbeit, Technische Universität Dresden

[13] Wust, H. (2006). Die Wirkung von Laserstrahlung auf strukturelle, chemische und physikalische Eigenschaften von Holz, Shaker-Verlag, Aachen

12 Holzschutz, Oberflächenbehandlung

Response Surface Analyse (RSM) der Wirkung kombinierter Parameter Temperatur, Wasseraktivität (a_w) und pH-Wert auf das Wachstum von *Physisporinus vitreus*

Mark Schubert, Francis W.M.R. Schwarze

Zusammenfassung

Der biotechnologische Prozess Bioincising beinhaltet den kontrollierten Einsatz von *Physisporinus vitreus* (Empa 642), einem Basidiomyceten, der durch den selektiven Abbau der Membranen der Hoftüpfel (Tori) die Permeabilität von Fichten- und Tannenkernholz signifikant erhöht. Die gesteigerte Tränkbarkeit des Kernholzes führt zu einer deutlichen Verbesserung der Aufnahmefähigkeit, Verteilung und Eindringtiefe von Holzschutzmitteln und anderen Holzveredelungssubstanzen.

Für einen effizienten und optimierten biotechnologischen Einsatz von *Physisporinus vitreus* (möglichst kurze Inkubationszeit), ist es von grosser Bedeutung die wachstumbeeinflussenden Faktoren zu determinieren und abzuschätzen. In der vorliegenden Arbeit wurde das Verhalten von *P. vitreus* Stamm 642 unter kombinierten Faktoren (Temperatur: 10, 15, 20°C; Wasseraktivität a_w: 0.892, 0.928, 0.955, 0.982, 0.998; pH-Wert: 4, 5, 6) untersucht sowie durch die Anwendung der Response Surface Methode (RSM) modelliert und optimiert.

Der getestete Stamm wies eine hohe Sensitivität gegenüber sinkenden Wasseraktivitäten auf (P<0,001) und zeigte bereits bei einem a_w- Wert von 0.982 ein stark reduziertes radiales Wachstum. Die Response Surface Methode zur Modellierung der kombinierten Faktoren bestätigt die beobachteten *in vitro* Ergebnisse und lässt eine stärkere Abhängigkeit des Wachstums von *P. vitreus* von der Wasseraktivität als von der Temperatur und dem pH-Wert erkennen. Somit ist die Wasseraktivität (a_w) und damit die Holzfeuchte für die Optimierung des biotechnologischen Prozesses von grosser Bedeutung.

Einleitung

Bei den Nadelhölzern aus der Familie der Pinaceen ist bei den Hoftüpfeln der mittlere Teil der Tüpfelmembran zu einem so genannten Torus verdickt. Nach einem Verschluss der Hoftüpfelöffnungen wird der Wassertransport zwischen benachbarten Tracheiden stark erschwert. Die Lignifizierung des Margos während der Kernholzbildung hat zur Folge, dass selbst nach einer Behandlung im Kessel- oder Wechseldruckverfahren Schutzmittel nur sehr geringe Eindringtiefen insbesondere im Fichtenholz erreicht werden. Im Rahmen eines derzeit laufenden KTI-Projektes 8593.1 LSPP „Bioincising von Nadelholz mit *Physisporinus vitreus* – Optimierung von Holzbehandlungs- und Veredelungsprozessen“ wird ein biotechnologisches Verfahren zur Verbesserung der Aufnahme, Verteilung und Eindringtiefe von Imprägniermitteln in Nadelholz nach einer Behandlung mit *Physisporinus vitreus* entwickelt (Schwarze & Landmesser, 2000; Schwarze et al., 2006).

Durch den Prozess des Bioincisings könnten eine Vielzahl von Behandlungs- und Veredelungsprozessen von Nadelholz effizienter und wertschöpfender gestaltet und damit die wirtschaftliche Nutzung der wichtigsten Baumarten der Schweiz und in Deutschland massgeblich verbessert werden. Um diesen biotechnologischen Einsatz von *Physisporinus vitreus* so effizient und damit kostengünstig gestalten zu können, ist es von grosser Bedeutung die wachstumbeeinflussenden Faktoren zu determinieren und zu charakterisieren. Die klassische Methode, um den Einfluss solcher kombinierter Faktoren zu bestimmen, ist einen Faktor zu variieren, während die Restlichen konstant gehalten werden.

Solch eine Vorgehensweise ist zeitaufwendig, benötigt einen hohen experimentellen Aufwand und eine Analyse der einzelnen Parameter und ihrer Interaktionen ist nicht möglich. Aus diesem

Grund war das Ziel der vorliegenden Arbeit die Entwicklung eines Response Surface Modells (RSM), welches das Wachstumsverhalten von *P. vitreus* Stamm 642 und einem Vergleichspilz *Lentinus lepideus* (Stamm 340) unter kombinierten Umweltbedingungen beschreibt.

Material und Methoden

Die eingesetzten Pilzarten *Physisporinus vitreus* (Empa 642) und *Lentinus lepideus* (Empa 340) sind in der Stammkulturensammlung der EMPA, Materials Science and Technology, Schweiz hinterlegt. Beide Pilzarten wurden vor den Studien mikroskopisch identifiziert. Zusätzlich wurde die ITS1-5,8S-ITS2 Region (Internal Transcribed Spacer) der rDNA von *P. vitreus* (642) amplifiziert und sequenziert (EMBL, Zugangsnr. FM202494). Für die Studien wurden die Pilzarten auf einem 2%igen Malzextraktmedium (Oxoid) kultiviert und nicht länger als 6 Monate bei 4°C konserviert.

Das Monitoring der radialen Wachstumsraten (mm Tag^{-1}) der Pilze erfolgte auf einem 2%igen Malzextraktagar über 20 Tage unter definierten Temperaturen (10, 15, 20°C), pH-Werten (4, 5, 6) und Wasseraktivitäten a_w (0.892, 0.928, 0.955, 0.982, 0.998). Die Wasseraktivität ist ein Maß für frei verfügbares Wasser in einem Material und sollte nicht mit dem Wassergehalt (g Wasser/g Substrat) verwechselt werden. Die a_w-Werte wurden nach Dallyn (1980) durch eine bestimmte Zugabe der inerten Substanz Glycerin eingestellt. Das radiale Myzelwachstum wurde in 2 vorher festgelegten Richtungen gemessen und durch Mittelung der Werte bestimmt (Goldfarb et al. 1989).

Die Response Surface Methode (RSM) ist ein statistisches Analyseverfahren (Multiple Regression) und dient um Beziehungen zwischen einer abhängigen (Y) und einer oder mehreren unabhängigen Variablen (x_{ij}) zu beschreiben (modellieren).

Mit der RSM ist es möglich das Verhalten der jeweiligen Pilzart unter bestimmten Bedingungen vorherzusagen und die Einflussfaktoren zu gewichten (Baş & Boyaci, 2007). Folgende Regressionsgleichung wurde angewendet:

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^{k} \beta_i x_i + \sum_{i=1}^{k} \beta_{ii} x_i^{\,2} + \sum_{i=1}^{k} \sum_{j=i+1} \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon$$

Y = Response (Wachstumsrate), β_0 Koeffizient = Intercept, x_i = kodierte, unabhängige Variablen, β_i = lineare Koeffizienten, β_{ij} = Interaktive Koeffizienten, β_{ii} = quadratische Koeffizienten, und ε = Fehler. Interpretation der Daten basiert auf den Vorzeichen (positive oder negative Wirkung) und statistische Signifikanz der Koeffizienten (P<0.05). Interaktionen zwischen den Variablen können antagonistisch (negativer Koeffizient) oder synergetisch (positiver Koeffizient) sein.

Um die Genauigkeit und Robustheit des Modells zu bestimmen, wurden verschiedene Indizes berechnet: Root-Mean-Squares Error (RMSE); Standard Error of Prediction (SEP) (García-Gimeno et al. 2005; Zurera-Cosano et al. 2006); Bias Factor (B_f) and Accuracy Factor (A_f) (Ross 1996).

$$\mathrm{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum (\mathrm{obs} - \mathrm{pred})^2}{\mathrm{n}}}$$

$$\%\mathrm{SEP} = \frac{100}{\mathrm{mean\ obs}} \sqrt{\frac{\sum (\mathrm{obs} - \mathrm{pred})^2}{\mathrm{n}}}$$

$$B_f = 10^{\left(\frac{\sum \log\left(\frac{\mathrm{pred}}{\mathrm{obs}}\right)}{\mathrm{n}}\right)}$$

$$A_f = 10^{\left(\frac{\sum \left|\log\left(\frac{\mathrm{pred}}{\mathrm{obs}}\right)\right|}{\mathrm{n}}\right)}$$

obs = observed value (beobachtete Wert); pred = predicted value (prognostizierter Wert); mean obs = mean of observed values (Durchschnitt der beobachteten Werte).

Die Modellberechnungen und die statistischen Analysen wurden in Matlab® Software (Version 7.4 R2007a) programmiert durchgeführt.

Ergebnisse und Diskussion

Response Surface Analyse ist eine Sammlung mathematischer und statistischer Methoden zur Beschreibung komplexer Systeme und Prozesse (Baş & Boyaci, 2007) und wurde bereits von einigen Autoren zur Optimierung und Vorhersage des Wachstumsverhaltens von Mikroorganismen erfolgreich eingesetzt (Zurera-Cosno et al. 2006; Spolaore et al. 2006; Begoude et al. 2007; Schubert et al. 2009a,b). Die beobachteten und modellierten Wachstumsraten (mm Tag^{-1}) für die beiden Pilzarten unter den kombinierten Faktoren (pH 4, 5, 6; Temperatur: 10, 15, 20°C; a_w: 0.955, 0.982, 0.998) sind in Tabelle 1 aufgelistet. Die multifaktorielle Varianzanalyse liess einen leichten Einfluss des pH-Wertes auf das Wachstum (P<0.05) und keinen auf die Lag-Phase (P≥0.05) von *P. vitreus* erkennen.

Hingegen reagierte *P. vitreus* sehr sensitiv (reduzierte Wachstumsraten und Verlängerung der Lag- Phase) auf suboptimale Temperaturen (P<0.001) und insbesondere auf geringere Wasseraktivitäten (P<0.001). Während bei allen getesteten Temperaturen und pH-Werten innerhalb der 20 Tage noch ein Wachstum von *P. vitreus* beobachtet werden konnte, wurde bereits bei einem a_w- Wert von 0.955 kein Wachstum mehr ermittelt. Das Wachstumsoptimum und die kürzeste Lag- Phase wurde bei pH 5, einer Temperatur von 20°C und der höchsten Wasseraktivität (0.998) beobachtet. In Abbildung 1 ist der Einfluss der Temperatur und des a_w- Wertes auf das Wachstum von *P. vitreus* grafisch dargestellt.

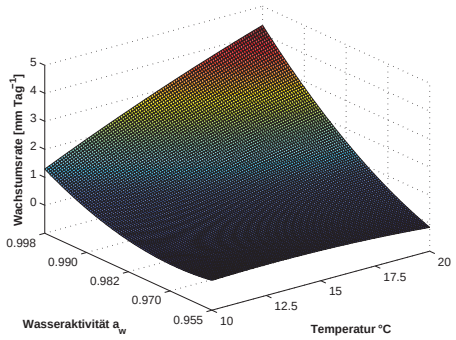


Abbildung 1: Wirkung der kombinierten Parameter Temperatur und Wasseraktivität (a_w) auf die Wachstumsraten (mm Tag^{-1}) von *Physisporinus vitreus* 642

Ein Vergleich der beiden Pilzarten zeigte, dass *Lentinus lepideus* im Gegensatz zu *P. vitreus* eine gewisse Toleranz gegenüber suboptimalen a_w-Werten aufwies. So konnte auch noch bei einer Wasseraktivität von 0.955 ein Wachstum ermittelt werden und erst ab a_w≤0.928 wurde auch nach 20 Tagen kein Wachstum mehr beobachtet (Tab. 1).

Zwar reagierte *L. lepideus* tolerant gegenüber suboptimalen a_w-Werten, doch wirkten dafür niedrige Temperaturen hemmend auf das Wachstum. In Tab. 2 sind die Modellkoeffizienten für die einzelnen Faktoren aufgelistet. Wenn man zur Grunde legt, dass ein grosser Modellkoeffizient (unabhängig vom Vorzeichen) gleichbedeutend ist mit einem hohen Einfluss auf das Wachstum, wird nochmals die hohe Abhängigkeit von *P. vitreus* von der Wasseraktivität und die Abhängigkeit von *L. lepideus* von der Temperatur deutlich.

Tab. 1: Beobachtete und prognostizierte Wachstumsraten (mm Tag^{-1}) von *Physisporinus vitreus* (642) und *Lentinus lepideus* (340)

Kulturbedingungen			Kodierte Werte			EMPA 642 Wachstum mm Tag^{1}		EMPA 340 Wachstum mm Tag^{1}	
°C	a_w	pH	°C	a_w	pH	Beobachtung	Prognose	Beobachtung	Prognose
20	0.998	6	1	1	1	4.22 ± 0.02	4.25	2.89 ± 0.12	2.78
20	0.998	5	1	1	0	4.38 ± 0.05	4.27	2.94 ± 0.22	2.86
20	0.998	4	1	1	-1	4.31 ± 0.01	4.20	2.83 ± 0.08	2.82
20	0.982	6	1	0	1	1.26 ± 0.01	1.47	1.40 ± 0.11	1.57
20	0.982	5	1	0	0	1.41 ± 0.01	1.51	1.49 ± 0.10	1.62
20	0.982	4	1	0	-1	1.20 ± 0.02	1.46	1.49 ± 0.16	1.55
20	0.955	6	1	-1	1	0.00 ± 0.00	0.00	0.88 ± 0.02	0.81
20	0.955	5	1	-1	0	0.00 ± 0.00	0.00	0.87 ± 0.05	0.82
20	0.955	4	1	-1	-1	0.00 ± 0.00	0.00	0.77 ± 0.06	0.73
15	0.998	6	0	1	1	3.07 ± 0.05	2.90	1.18 ± 0.03	1.24
15	0.998	5	0	1	0	3.02 ± 0.12	2.91	1.42 ± 0.04	1.35
15	0.998	4	0	1	-1	2.84 ± 0.02	2.83	1.25 ± 0.03	1.34
15	0.982	6	0	0	1	0.93 ± 0.04	0.93	0.42 ± 0.01	0.47
15	0.982	5	0	0	0	0.94 ± 0.03	0.95	0.68 ± 0.01	0.54
15	0.982	4	0	0	-1	0.89 ± 0.01	0.89	0.50 ± 0.02	0.50
15	0.955	6	0	-1	1	0.00 ± 0.00	0.07	0.16 ± 0.01	0.14
15	0.955	5	0	-1	0	0.00 ± 0.00	0.12	0.14 ± 0.03	0.18
15	0.955	4	0	-1	-1	0.00 ± 0.00	0.08	0.14 ± 0.06	0.12
10	0.998	6	-1	1	1	1.22 ± 0.10	1.29	0.28 ± 0.04	0.32
10	0.998	5	-1	1	0	1.24 ± 0.02	1.28	0.35 ± 0.07	0.45
10	0.998	4	-1	1	-1	1.03 ± 0.05	1.19	0.51 ± 0.06	0.47
10	0.982	6	-1	0	1	0.33 ± 0.01	0.12	0.13 ± 0.04	0.00
10	0.982	5	-1	0	0	0.34 ± 0.02	0.13	0.13 ± 0.01	0.08
10	0.982	4	-1	0	-1	0.32 ± 0.01	0.06	0.16 ± 0.03	0.07
10	0.955	6	-1	-1	1	0.00 ± 0.00	0.06	0.08 ± 0.02	0.09
10	0.955	5	-1	-1	0	0.00 ± 0.00	0.10	0.08 ± 0.01	0.17
10	0.955	4	-1	-1	-1	0.00 ± 0.00	0.04	0.00 ± 0.00	0.12
						RMSE	**0.135**	**RMSE**	**0.079**
						%SEP	**11.14**	**%SEP**	**9.20**
						B_f	**0.897**	**B_f**	**1.022**
						A_f	**1.193**	**A_f**	**1.199**

RMSE : root mean square error; %SEP: standard error of prediction; B_f: bias factor; A_f: accuracy factor

Tab. 2: Modellkoeffizienten und ihr Effekt auf die Wachstumsrate (mm Tag^{-1}) von *Physisporinus vitreus* (642) und *Lentinus lepideus* (340)

	Koeffizienten	642	340
Response mean	*β0*	0.9540*	0.5408*
T	*β1*	0.6892*	0.7663*
a_w	*β2*	1.3953*	0.5808*
pH	*β3*	0.0186$^{n.s}$	0.0171*
T^2	*β11*	-0.1337*	0.3105*
a_w^2	*β22*	0.5599*	0.2245*
pH^2	*β33*	-0.0442*	-0.0569*
T*aw	*β12*	0.8018*	0.4371$^{n.s}$
T*pH	*β13*	-0.0111$^{n.s}$	-0.0282*
a_w*pH	*β23*	0.0192$^{n.s}$	0.0296*

* = signifikant ($P \leq 0.001$); $^{n.s}$ = nicht signifikant

Die Unterschiede im Wachstumsverhalten und der unterschiedliche Einfluss der gegebenen Umweltfaktoren auf die 2 Pilzarten sind möglicherweise mit ihrer unterschiedlichen Lebensweise zu erklären. Während sich *P. vitreus* an einen Extremstandort wie beispielsweise Riesellatten in Kühltürme angepasst hat (Schmidt et al. 1997), kommt *L. lepideus* häufig an Eisenbahnschwellen vor, die in den Sommermonaten hohe Temperaturen sowie eine hohe Trockenheit aufweisen (Jahn, 1990).

Für eine erfolgreiche Anwendung der Response Surface Methode sollte die Modellgenauigkeit überprüft werden. Die Validierung des Modells wurde mit einer Korrelationsanalyse (R^2) zwischen beobachteten und prognostizierten Werten durchgeführt (Abb. 2). Zusätzlich wurden weitere Indizes (RMSE, SEP%, A_f, B_f) berechnet.

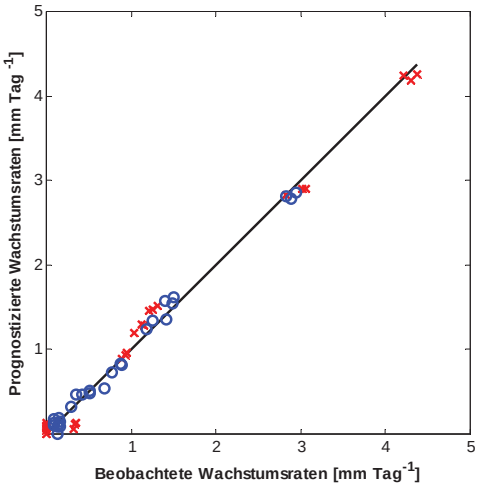


Abbildung 2: Korrelationsanalyse zwischen den beobachteten Wachstumsraten (mm Tag^{-1}) und den generierten/prognostizierten Werten des RSM-Modells. (O) *Lentinus lepideus* (340), (x) *Physisporinus vitreus* (642)

An dieser Stelle wird auf eine genau Interpretation der einzelnen Indizes und ihrer Werte verzichtet und auf die entsprechende Literatur verwiesen (García- Gimeno et al. 2005; Zurera- Cosano et al. 2006; Ross 1996). Allerdings bleibt festzuhalten, dass die ermittelten Indizes (Tabelle 1) sowie die grafische Darstellung der Korrelation beweisen, dass das in dieser Arbeit generierte Modell (RSM) äusserst genaue Prognosen liefert und die experimentellen Beobachtungen bestätigt.

Abschließend bleibt festzuhalten, dass sich durch die Anwendung der Response Surface Methode der experimentelle Aufwand reduzieren lässt sowie das Wachstumsverhalten von *P. vitreus* unter definierten Bedingungen beschrieben und optimiert werden kann. Des weiteren wurde durch die vorliegende Arbeit deutlich, dass für die Optimierung und der Qualitätssicherung des biotechnologischen Prozesses (Bioincising) die Wasseraktivitäten und damit die Feuchtigkeitsverhältnisse mit entscheidend sind.

In Zukunft wird, in einem vom Schweizer National Fond (SNF) 205321-121701/1 geförderten Projektes, die Ausbreitung von *P. vitreus* dreidimensional im Holz untersucht und computerunterstützt simuliert.

Quellen

[1] Baş, D., İsmail & H. Boyaci, H. (2007): Modeling and optimization I: Usability of response surface methodology. Journal of Food Engineering 78: 836-845.

[2] Begoude, B.A.D., Lahlali, R., Friel, D., Tondje, P.R. & Jijakli, M.H. (2007): Response surface methodology study of the combined effects of temperature, pH, and a_w on the growth rate of *Trichoderma asperellum*. Journal of Applied Microbiology 103: 845-854.

[3] Dallyn, H. & Fox, A. (1980): Spoilage of materials of reduced water activity by xerophilic fungi. In: Gould, G.W. (ed.): Microbial growth and survival in extremes of environment. Academic Press, London. 129-139.

[4] Goldfarb, B., Nelson, E.E. & Hansen, E.M. (1989): *Trichoderma* spp.: Growth rates and antagonism to *Phellinus weirii* in vitro. Mycologia 81: 375-381.

[5] Jahn, H. (1990): Pilze an Bäumen. Patzer Verlag, Berlin, Hannover. 272 S.

[6] Schmidt, O., Schmitt, U., Moreth, U. & Potsch, T. (1997): Wood decay by the white rotting basidiomycete *Physisporinus vitreus* from a Cooling Tower. Holzforschung 51: 193-200.

[7] Schubert, M., Dengler, V., Mourad, S. & Schwarze, F.W.M.R. (2009a): Using response surface methodology to evaluate the optimum growth parameters of *Physisporinus vitreus*. Journal of Applied Microbiology. In press.

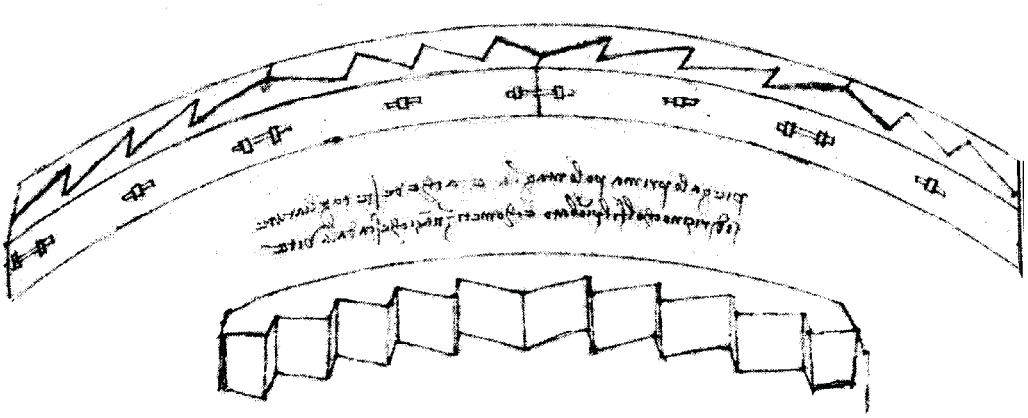
[8] Schubert, M., Mourad, S., Fink, S. & Schwarze, F.W.M.R. (2009b): Ecophysiological responses of the biocontrol agent *Trichoderma atroviride* to combined environmental parameters. Biological Control. In press

[9] Schwarze, FWMR. & Landmesser, H. (2000): Preferential degradation of pit membranes within tracheids by the basidiomycete *Physisporinus vitreus*. Holzforschung 54: 461–462.

[10] Schwarze, FWMR., Landmesser, H., Zgraggen, B. & Heeb, M. (2006): Permeability changes in heartwood of *Abies alba* and *Picea abies* induced by incubation with *Physisporinus vitreus.* Holzforschung 60, 450–454.

[11] Spolaore, P. Joannis-Cassan, C., Duran, E. & Isambert, A. (2006): Optimization of *Nannochloropsis oculata* growth using the response surface method. Journal of Chemical Technology and Biotechnology 81: 1049-1056.

[12] Zurera- Cosano, G., García- Gimeno, R.M., Rodríguez-Pérez, R. & Hervás- Martínez, C. (2006): Performance of response surface model for prediction of *Leuconostoc mesenteroides* growth parameters under different experimental conditions. Food Control 17: 429-438.



13 Planung, Holzbauweisen
Inhaltsverzeichnis

13.1 Planung

Gedanken zur Situation des Holzbaus	S.	1059
EDV-Planungshilfen und Schnittstellen	S.	1067
Digitaler Holzbau - Komplexe Formen in Holz	S.	1071
Konstruktiver Holzbau auf dem Weg vom Handwerk zum Industriellen Prozess	S.	1077

13.2 Holzbauweisen, Holzbausysteme

Holzbausysteme und Bauweisen	S.	1081
Mischbauweise	S.	1087
Eigenschaften von Leichtbauweisen	S.	1099
Brettstapel (BST)	S.	1103
Brettsperrholz (BSP)	S.	1109
Konstruieren mit Brettsperrholz	S.	1115
Dübelholz	S.	1125
TWOODS-Bauelemente	S.	1131
Vorteile und Ausführung des massiven Holzbaus	S.	1137
HIB-Bausystem	S.	1147
Palisadio	S.	1151
Bionisches Bausystem in Holz bzw. Holz-Beton-Verbundbauweise	S.	1155
Klimatische Verhältnisse in Kriechkellern	S.	1165
Fachwerkträger	S.	1171

13 Planung, Holzbauweisen
Einleitung

Holz - In kaum einen anderen Baustoff wird mehr Hoffnung auf die Lösung vielfältiger Probleme des Bauens gelegt, kein Material hat ähnliches Ansehen in Bezug auf die immer vehementer vorgetragene Forderung nach umfassender Nachhaltigkeit. Auch die politischen Voraussetzungen sind so gut wie noch nie, denn bei vielen Zukunftsstrategien erscheinen die Themen Ökologie und Nachhaltigkeit an vorderster Stelle. Tatsächlich ist der Holzbau aber heute noch gemessen an der gesamten Bauproduktion ein absolutes Nischenprodukt auch in den holzreichen Ländern Mitteleuropas. Die Vorbehalte und Ängste sind nach wie vor nicht ausgeräumt. Zudem ist die gegenwärtige Stimmung im Holzbau von einem immer härter werdenden Überlebenskampf gezeichnet, der die Aufmerksamkeit eher auf das Tagesgeschäft als auf notwendige gemeinsame Anstrengungen der Branche richten lässt.

Der Autor des Beitrags „Gedanken zur Situation des Holzbaus“ (Hermann Kaufmann) konstatiert weiterhin die Unüberschaubarkeit und Unstrukturiertheit der Branche. Einzelkämpfer entwickeln neue „Systeme“, Kleinbetriebe versuchen mit neuen Produkten Marktanteile zu gewinnen, Bücher und Internet bieten nur wenig fundierte Information, an den Hochschulen besteht nur vereinzelt ein dem Thema entsprechendes Lehrangebot und zudem wird die Forschung nicht unter den Holzländern Europas angestimmt, so dass ineffiziente Doppelforschung die Folge ist. Nicht einmal in den jetzt zufällig parallel laufenden Brandschutzgesetzänderungen in Deutschland, Österreich und der Schweiz wird die Chance einer Koordination genutzt. Auf engstem Raum entstehen drei grundsätzlich verschiedene Brandschutzphilosophien trotz Verschmelzen der Märkte.

Abhilfe an dieser Situation kann nur der Aufbau einer professionellen Informationskette schaffen. Die große Herausforderung liegt darin, die Flut an Systemen, Produkten oder Detaillösungen zu klären und in einem Informationssystem zugänglich zu machen. Aufgabe der politisch Verantwortlichen, die nicht müde werden und das nachhaltige Bauen einfordern, muss es sein, eigene Lehrstühle und Institute besonders an den Architekturfakultäten zur qualifizierten Wissensvermittlung und gezielten Forschung einzurichten.

Eine Minderheit kann sich durch außergewöhnliche Produkte sowie außerordentliche Qualität bemerkbar machen. Holz wird aber allzu oft als Baustoff für Sonderbauten oder ausgefallene Konstruktionslösungen beworben, was den Status des Nischenprodukts geradezu manifestiert. Dabei hat gerade Holz seine außerordentliche Berechtigung im Bereich des „normalen“ und alltäglichen Bauens.

Der Autor identifiziert drei bestimmende Themen für die Zukunft. Dies ist zum einen das „gesunde“ Bauen: Gefordert sind mit natürlichen Baustoffen konstruierte und gedämmte Objekte für alle Bereiche des längeren Aufenthalts von Menschen, die frei von unkalkulierbaren Risiken sind. Zum zweiten hat der Trend zum Mischbau bereits eingesetzt: Tragstruktur Stahl oder Beton, Hülle in vorgefertigten und hochwärmegedämmten Fassaden-Teilsystemen. Drittens werden Bauaufgaben mit extrem kurzer Bauzeit immer häufiger. Meist handelt es sich um Bestandserweiterungen und Adaptierungen bei laufendem Betrieb. Für diese Aufgaben ist höchste Vorfertigung ebenso notwendig wie einfache Montierbarkeit.

CAD-Planung

Die schnelle Verbreitung des CAD in den letzten 20 Jahren hat alle Bereiche des Bauens durchdrungen. Aktuelle Entwicklungen in der 3D-Planung legen die Vermutung nahe, dass wesentliche Schritte im Einsatz von Computern in der Baubranche noch bevorstehen. Sie werden sowohl die Formen der Zusammenarbeit im Bauwe-

sen, als auch die Möglichkeiten der Architektur weiter verändern. CAD hat aber zumindest beim alltäglichen Bauen die Formensprache und Konstruktion der Architektur nicht grundsätzlich verändert. Neue Wertvorstellungen im Bereich der Nachhaltigkeit und des Energieverbrauchs haben da mehr Einfluss.

Der Beitrag „EDV-Planungshilfen und Schnittstellen" (Daniel Wentzlaff) zeigt jedoch, dass die aktuelle Entwicklung der 3D-Planung grundsätzlich neue Möglichkeiten bietet, die auch den Holzbau betreffen. Dies sind etwa 3D-Bauteilbibliotheken, vorstellbar als virtuelle Baukästen, die es dem Planer ermöglichen, sich per „Drag and Drop" ein Gebäude zusammenzusetzen. Während die Vorteile dieser Baukästen für den Entwurf noch zu untersuchen sind, liegen die Vorteile für die Umsetzung und Produktion auf der Hand: Bauen fängt nicht jedes Mal bei Null an, sondern nutzt standardisierte Herstellungsprozesse. Die zweite Entwicklungsrichtung der 3D-Planung hilft bei der Entwicklung individueller und räumlich hochkomplexer Strukturen. Die Möglichkeiten der Software werden dabei benutzt, um von Hand entwickelte Entwürfe abzubilden oder sogar räumliche Gebilde durch speziell manipulierte Software zu erzeugen.

Alle neuen CAD-Lösungen führen zu Veränderungen in der Praxis der Koordination am Bau als auch im Entwurf selbst. Davon ist natürlich auch der Holzbau betroffen, vor allem die Forschung und Anwendung im Bereich der computergestützten Produktion und die Einbindung der Materialeigenschaften in den Entwurfsprozess. Ob der Holzbau seine Stellung im Gesamtgefüge behalten und ausbauen kann, hängt entscheidend von seiner technischen Anpassungsfähigkeit auf diesem Gebiet ab.

Vom Architekturmodell zur Abbundmaschine

Der Beitrag „Konstruktiver Holzbau auf dem Weg vom Handwerk zum industriellen Prozess" (Andreas Übelhack) beleuchtet diese Vorgänge von der anderen Seite. Planer wünschen sich häufig eine sofortige Übergabe der Plandaten aus dem 3D-Architekturmodell an die Abbundmaschine. Die bisherige Erfahrung zeigt, dass dies aufgrund unterschiedlicher CAD-Standards noch nicht problemlos funktioniert. Im Rahmen technischer Netzwerke zwischen Planern, Ausführenden und Herstellern, bei denen die Schnittstellen klar definiert sind, ergeben sich hingegen große Einsparpotenziale.

Die Notwendigkeit einer aus der Branche hinausreichenden Kommunikation ergibt sich auch aus der zunehmenden Zweiteilung der Holzbaubetriebe: Hier Unternehmen, die industriell oder halbindustriell Holzbauelemente herstellen, dort Zimmereien, die sich dort bedienen. Es erweist sich aber nicht als ausreichend, nur Bauprodukte herzustellen, sondern es müssen Lösungen für alle am Bau Beteiligten angeboten werden. Durch die Vielzahl an Produkten und Materialien sowie die immer komplexeren Vorschriften und Normen sind Planer nicht mehr in der Lage, alle Belange des Bauens gleichermaßen zu beherrschen. Sie sind daher mehr als je zuvor auf Informationen von Fachplanern und Fachfirmen angewiesen.

Holzbausysteme

Eine umfassende Darstellung über die Typologie der derzeit gebräuchlichen Holzbauweisen und Systeme liefert der Beitrag „Holzbausysteme und Bauweisen" (Institut für Holzbau). Daneben zeigt der Beitrag „Mischbauweise" (Ludger Dederich, Anja Niemeier) das noch nicht umfassend erschlossene Potenzial der Kombination von Holzbauteilen mit mineralischen und auch Metallbauweisen auf. Die heute häufig anzutreffende Mischung von Bauweisen unterschiedlicher Materialien innerhalb eines Gebäudes verfolgt das Ziel,

die jeweiligen Stärken der Baustoffe auszunutzen und entsprechende Schwächen auszugleichen. Die Eigenschaften ergänzen sich und bieten funktionale, konstruktive sowie ökonomische Vorteile. Dabei kommt Holz als einem der gebräuchlichsten Baustoffe eine wichtige Rolle zu.

Das europäische Ausland nutzt die vielfältigen Möglichkeiten schon wesentlich länger und intensiver in dem Wissen, dass Holz bei Projekten in Mischbauweise besondere Qualitäten einbringen kann. In vielen Fällen übernehmen Holzelemente die Aufgabe einer multifunktionalen Außenhülle, während Baustoffe wie Mauerwerk, Beton oder Stahl tragende Funktionen im Inneren des Gebäudes haben. Leichte Außenwandkonstruktionen aus Holz besitzen durch ihre niedrige Wärmeleitfähigkeit sehr viel bessere Voraussetzungen zur Dämmung als Bauteile aus anderen Materialien, was in der Konsequenz ökonomische Vorteile bedingt. Diese Holzelemente erlauben eine sehr hohe Vorfertigung und damit industrialisierte Herstellungsprozesse, die bis zur Montage von Bauteilen mit kompletter Vorinstallation und fertigen Oberflächen reichen. Damit sind deutlich kürzere Bauzeiten mit den daraus resultierenden zusätzlichen wirtschaftlichen Vorteilen zu erzielen.

Selbstverständlich sind die genannten Marktchancen auch im Zusammenhang mit der Entwicklung des Baumarktes insgesamt zu sehen. Dennoch kann man annehmen, dass der Einsatz dieser Bauweise in den genannten Segmenten weiter wachsen wird. Dies gilt angesichts zunehmender Anforderungen insbesondere an die bauphysikalischen Eigenschaften der Gebäude – an erster Stelle sind immer wieder das Raumklima und der geringe Energiebedarf zu nennen. Dazu bedarf es aber noch intensiver Anstrengungen, die vorhandenen Kompetenzen auf Seiten der ausführenden Unternehmen auszubauen. Zurzeit sind nur wenige Unternehmen der Holzbaubranche bereit und in der Lage entsprechende Projekte umzusetzen.

Holzleichtbauweise

In modernen Leichtbauweisen wie dem Holzbau überlagern sich synergetisch die Prinzipien des Materialleichtbaus, des Strukturleichtbaus und des Systemleichtbaus. Die zielgerichtete Anwendung erzeugt im mechanischen und bauphysikalischen Verhalten hochleistungsfähige Systeme. Grundsätzliche Überlegungen stellt hierzu der Beitrag „Eigenschaften von Leichtbauweisen“ (Karsten Tichelmann) an.

Bei den im Bauwesen alltäglicheren Dimensionen sowie den Konstruktionen kleiner Abmessungen bedeutet der Einsatz von Leichtbauweisen zunächst eine Ersparnis an eingesetzter Masse, was zumeist mit einer Ersparnis an eingesetzter Energie einhergeht. Beiden Gesichtspunkten wurde bisher keine hohe Bedeutung zugewiesen. Dies wird sich im Rahmen der immer wichtiger werdenden ökonomischen und ökologischen Gesamtbilanzierungen ändern.

Wand-, Dach- und Deckenscheiben in Holzbauweise sind bevorzugt Leichtbausysteme, deren einheitliches Merkmal die optimierte Zuordnung von Werkstoffen darstellt. Plattenbekleidungen übernehmen in diesen Konstruktionen vorrangig raumabschließende, brandschutztechnische, bauakustische und klimaregulierende Funktionen. Die Konstruktion und die Fügung von Bauteilen in Holzleichtbauweisen ist relativ einfach, ihr Trag- und Funktionsverhalten und die Reaktion bei statischer, dynamischer und klimatischer Beanspruchung allerdings sehr komplex.

Flächige Elemente aus Massivholz

Die Beiträge „Brettstapel (BST)“ und „Brettsperrholz (BSP)“ (Peter Mestek) nehmen sich den mit diesen Begriffen verbundenen Bauweisen an. Flächenhafte Elemente aus Massivholz sind in den vergangenen Jahren vermehrt zur Anwendung

gekommen und haben das Potential, insbesondere im sich entwickelnden mehrgeschossigen Holzbau eine bestimmende Rolle zu spielen.

Brettstapelelemente sind aus Einzelbrettern zusammengefügte Bauteile. Die Einzelbretter werden dabei hochkant nebeneinander gestellt und entweder verklebt oder mechanisch durch Nägel, Schrauben, Klammern oder auch Hartholzdübel miteinander verbunden. Die so entstandenen Elemente können sowohl als Decken- oder Wandelemente eingesetzt werden. Brettstapelkonstruktionen finden vor allem im Wohnhausbau Anwendung.

Brettsperrhölzer werden auch als mehrschichtige Massivholzplatten oder einfach als Mehrschichtplatten bezeichnet. Der Aufbau derartiger Plattenwerkstoffe ist sehr vielfältig. Sie bestehen aus mindestens drei kreuzweise (rechtwinklig) miteinander verklebten Brettlagen aus Nadelholz.

Über beide Bauweisen liegen bereits entsprechende Erkenntnisse zum Tragverhalten sowie zur Ausbildung einfacher Ausführungen vor. Eine systematische Aufarbeitung schon vorgegebener Lösungen steht jedoch noch aus.

Aufgelöste Fachwerkträger

Der aufgelöste Fachwerkträger weist im Vergleich zu Vollwandträgern aus BS-Holz einige Vorteile auf. Schubspannungen in den Querschnitten, die wegen der vergleichsweise geringen Schubfestigkeit des BS-Holzes zunehmend für die Bemessung von Vollwandträgern mit kurzer Spannweite oder von Satteldachträgern maßgebend werden, sind für das globale Gleichgewicht eines Fachwerkträgers nicht erforderlich. Obwohl der Fachwerkträger mit Stäben aus Vollholz und Nagelplattenverbindungen sehr erfolgreich im nicht sichtbaren Bereich eingesetzt wird, sind sichtbare Fachwerkkonstruktionen in diesem Bereich vergleichsweise selten. Hier dominiert der Vollwandträger aus Brettschichtholz, häufig in der Form des Satteldachträgers mit gekrümmtem Untergurt.

Fachwerkträger aus Brettschichtholz im sichtbaren Bereich werden daher nur unter der Voraussetzung effizienter, ästhetisch ansprechender Knotenverbindungen, einfacher und schneller Herstellung auf der Baustelle, einfacher Bemessung der Verbindungen und besserer Ausnutzung der Holzquerschnitte erfolgreich sein. Der Autor des Beitrags „Fachwerkträger“ (Hans Joachim Blaß) weist nach, dass sich diese Voraussetzungen mit Fachwerkträgern erreichen lassen, deren Gurte aus BS-Holz und deren Füllstäbe aus Brettsperrholz bestehen. Als Verbindungsmittel werden Gewindestangen mit einem Holzschraubengewinde verwendet, die von mehreren Herstellern zur Querbewehrung von BS-Holz angeboten werden.

Bausystem im Erdbebenfall

Das HIB-System ist eine Elementbauweise für Wände. Dank Vorfertigung, geringem Gewicht der Elemente sowie einfacher Montage kann bereits im Rohbau der Bauherr einen hohen Anteil Eigenleistung erbringen. Bei dem System werden Holzelemente, bestehend aus zwei parallel angeordneten Platten sowie in der Mitte angebrachten Stegen, auf der Baustelle ineinander gesteckt und mit Klammern verbunden. Die Verbindung der Beplankungsmaterialien mit den Stegen erfolgt durch ein Nut- und Feder-Prinzip. Das Grundelement ist je nach gewünschtem Dämmstandard in verschiedenen Wanddicken erhältlich. In den Hohlräumen lassen sich die Dämmung und teilweise die Installationen unterbringen.

Der Beitrag „HIB-Bauweise“ (Dieter Junker) geht insbesondere der Frage nach, wie sich die Bauweise im Fall von Erdbeben verhält. Das Erdbebenverhalten einer Bauweise hängt vornehmlich von den verwendeten Verbindungsmitteln ab. Schlanke Verbindungsmittel verformen sich leich-

ter als gedrungene Verbindungsmittel und sind daher beim Entwurf von Tragwerken für erdbebengefährdete Gebiete vorzuziehen. Das HIB-System erscheint hier vorteilhaft, da die einzelnen Elemente durch Klammern in den horizontalen Fugen verbunden sind und zudem aus einzelnen Bausteinen bestehen, die sich bei starker horizontaler Belastung gegeneinander verkanten und abstützen können.

Im Rahmen eines Forschungsvorhabens über erdbeben- und sturmsichere Wandelemente wurden die Eigenschaften der Wände bei starken horizontalen Einwirkungen – also aus Erdbebenlasten – geprüft. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen bescheinigten der HIB-Bauweise ein absolut gutmütiges Verhalten. Das System lässt sich nach der deutschen Erdbebennorm DIN 4149 in die Duktilitätsklasse 3 einordnen.

Kriechkellerkonstruktionen

Übliche Gründungsvarianten für Gebäude in Holzbauweise sind neben der Gründung über Kellern und Stahlbetonbodenplatten auch aufgeständerte Konstruktionen auf Pfählen, Punkt- und Streifenfundamenten. Die im Holzhausbau verbreitetste Gründungsvariante mit Stahlbetonbodenplatte zeigt jedoch besonders in Kombination mit energetisch hocheffizienten Holzbaukonstruktionen vermehrt Nachteile. Alternativ dazu entstanden Konstruktionen mit Holzbodenplatten auf umlaufenden, belüfteten Streifenfundamenten, so genannten Kriechkellern oder auf Stahlträgern über Punktfundamenten. Diesen Lösungen nimmt sich der Beitrag „Klimatische Verhältnisse in Kriechkellern – Anwendung in Verbindung mit Holzbodenplatten“ (Norman Werther, Stefan Winter) an.

Kriechkellerkonstruktionen, die seit Jahrzehnten in Nordamerika, Schottland, den Niederlanden und vor allem in Skandinavien eine weite Verbreitung aufweisen und dort zum allgemeinen Baustandard zählen, bieten in Kombination mit Holzbodenplatten für Zweck- und Wohnungsbauten neue und innovative Möglichkeiten. Untersuchungen im Rahmen eine Forschungsvorhabens ergaben, dass unter Einhaltung der konstruktiver Randbedingungen Kriechkellerkonstruktionen in Verbindung mit Holzbodenplatten auch unter deutschen Klimarandbedingungen erstellt werden können. Für den Holzbau ist somit eine weitere Gründungsvariante entstanden, die für Zweck- und Wohnungsbauten zahlreiche Vorteile bietet und für klein- und mittelständische Unternehmen die Wertschöpfung im Bereich des Holzbaus erhöhen kann.

Rückgriff auf die Natur

Der Beitrag „Bionisches Bausystem in Holz- bzw. Holz-Beton-Verbundbauweise“ (Dieter Oligmüller) beschreibt eine Forschungsarbeit, bei dem mit Hilfe des Bionischen Bausystems ein Verbundsystem zur Serienreife entwickelt werden soll, das die Realisierung zehngeschossiger Bauwerke als Alternative zum Massivbau ermöglicht. Ein großer Vorteil des Bionischen Bausystems in Holz- bzw. Holz-Beton-Verbundbauweise liegt darin, dass zum überwiegenden Teil nachwachsende Rohstoffe zur Verwendung kommen und somit der Energiebedarf schon beim Herstellungsprozess wesentlich reduziert ist.

Dem bionischen Grundgedanken folgend versucht das Bausystem natürliche Prinzipien und Lösungen zu analysieren und in die vorgestellte Konstruktion zu übertragen.

13.1 Planung
Gedanken zur Situation des Holzbaus

Hermann Kaufmann

1 Allgemein

Die Idee, mit Holz dem ältesten Baumaterial zu bauen, hat nach wie vor etwas Faszinierendes. Ein Baustoff, der praktisch vor der Haustür wächst, der wie kaum ein anderer in vielfältiger Weise verwendbar ist, von der Konstruktion bis zum Möbel, der schon seit Jahrhunderten seine Eignung beweist und der für viele Menschen mit äußerst angenehmen Assoziationen verbunden ist. In kaum einen anderen Baustoff wird mehr Hoffnung auf die Lösung vielfältiger Probleme des Bauens gelegt, kein Material hat ähnliches Ansehen in Bezug auf die immer vehementer werdende Forderung nach umfassender Nachhaltigkeit. Tatsächlich hat sich in den letzten Jahren das Interesse für Holzbau stark gesteigert. Das zeigt sich einerseits in der Anzahl der einschlägigen Publikationen und Berichte andererseits sind einige interessante und spannende Holzarchitekturen entstanden, die zeigen, welch vielfältige Möglichkeiten der moderne Holzbau bietet. Auch die politischen Voraussetzungen sind so gut wie noch nie, denn bei vielen Zukunftsstrategien erscheinen die Themen Ökologie sowie Nachhaltigkeit an vorderer Stelle, damit verbunden auch die Hoffnung auf den Baustoff Holz. Eigentlich beste Voraussetzungen für einen freudigen Blick in die Zukunft müsste man meinen.

Tatsächlich ist Holzbau heute noch ein absolutes Nischenprodukt auch in den holzreichen Ländern Mitteleuropas gemessen an der gesamten Bauproduktion. Die Vorbehalte und Ängste sind nach wie vor nicht ausgeräumt, die Imagekorrektur ist trotz großer Anstrengung der Verbände noch nicht gelungen. Zudem ist die gegenwärtigen Stimmung im Holzbau gezeichnet von der allgemeinen wirtschaftlichen Lage. Der immer härter werdende Überlebenskampf lenkt die Aufmerksamkeit eher auf das Tagesgeschäft als auf die notwendigen zukunftsgerichteten gemeinsamen Anstrengungen der Branche.

Diese stellt sich alles andere als überschaubar oder strukturiert dar. Eine große Zahl an Pionieren und Einzelkämpfern, verstreut in kleinen und größeren Holzbaunationen, entwickeln alle möglichen „Systeme“. Kleinbetriebe versuchen, durch neue Produkte Marktanteile zu gewinnen, die weniger mittelständigen Holzbaufirmen sind derzeit nicht in der Lage, die notwendigen Lobbys effizient zu platzieren. Das hohe kreative Potential verpufft angesichts der internen Zersplitterung und Konkurrenzierung. Dementsprechend diffus zeigt sich auch die Informationsstrategie. Wer sich in der komplexen Materie technisch vertiefen will, findet nur wenige fundierte aktuelle Informationen, veraltete und gegenseitig „inspirierte“ Bücher und Broschüren mit widersprechenden Informationen verwirren eher, als dass sie geprüftes und aktuelles Wissen vermitteln. Ebensolche Erfahrungen macht derjenige, der versucht, übers Internet an qualifizierte Informationen heranzukommen. Meist ist der Wissensgehalt klein im Vergleich zur aufgewendeten Suchzeit.

Abb. 1: Gemeindezentrum Ludesch

Dort, wo eigentlich der Grundstein des Wissens für die Architektur gelegt wird, nämlich an den Universitäten und Fachhochschulen, besteht nur vereinzelt ein qualifiziertes und der Komplexität des Themas entsprechendes Lehrangebot. Allzu oft ist die baustoffspezifische Wissensvermittlung

den Ingenieursfakultäten übertragen und sehr technokratisch und vermag Architekten kaum zu motivieren.

Die Holzforschung vermittelt ein sehr zersplittertes Bild. Zwar gibt es Anstrengungen und Strukturen zur Koordination der nationalen Forschungen, aber es ist bis jetzt noch keine Idee vorhanden, die Holzländer Europas dazu zu bringen, sich abzustimmen und die derzeitigen Doppelgleisigkeiten zu verhindern, um die knappen Mittel auch effizienter zu nutzen. Natürlich gilt dies auch für den gesamten Bereich der Bauteil- und Baustoffprüfung und der grenzüberschreitenden Anerkennung der Ergebnisse. Nicht einmal in den jetzt zufällig in Deutschland, Schweiz und Österreich parallel laufenden Brandschutzgesetzänderungen wäre jemanden in den Sinn gekommen, die Chance zu nutzen und sich zu koordinieren. Vielmehr entstehen jetzt auf engstem Raum drei grundsätzlich verschiedene Brandschutzphilosophien trotz zunehmendem Verschmelzen der Märkte - man glaubt es kaum.

Angesichts dieser schwierigen Situation ist es kaum verwunderlich, dass die Holzarchitektur quantitativ gesehen eine Nische geblieben ist. Eine handvoll Architekten arbeiten konsequent an der Weiterentwicklung und haben damit auch durchaus Erfolge und Aufmerksamkeit, die Mehrzahl der Planenden aber scheuen sich vor einer Auseinandersetzung, was aufgrund des oben erwähnten nicht verwunderlich ist.

Dabei ist jedoch auffallend, dass trotz der geringen Holzarchitekturdichte durchaus eine hohe Qualität entstanden ist. Diese zeichnet sich zumeist in der Komplexität der Lösung aus, das heißt in der Verarbeitung und Vernetzung zahlreicher relevanter Themen des Bauens (Beispiel: Schule Klaus). So ist es fast selbstverständlich geworden, dass sowohl die Nachhaltigkeit als auch der Bauprozess nicht in Widerspruch zur Ästhetik stehen. Vielmehr ist erkennbar, dass die qualifizierte Auseinandersetzung mit einem ganzheitlichen Ansatz formal oft überzeugt und abseits von modischen Formalismen und effekthaschenden Aufdringlichkeiten sich gibt. Es gibt sie, die Vorzeigeprojekte, die Beweise, dass Holz ein universell einsetzbarer Baustoff ist. Doch was muss geschehen, dass auch eine adäquate Breite erreicht wird?

Die größte Anstrengung muss die Holzbranche umgehend in den Aufbau einer professionellen Informationskette legen. Die allgemein zugängliche Bereitstellung von Wissen ist heute im Computerzeitalter nicht mehr das Problem, vielmehr liegt die große Herausforderung darin, die Flut an Systemen, Produkten, Detaillösungen etc. zu prüfen, zu klären und eingeordnet in ein systematisiertes Informationssystem zugänglich zu machen. Eine Aufgabe, die nur im Schulterschluss der maßgeblichen Firmen, Institute und Verbände zu bewältigen ist und dementsprechende Mittel und Kapazitäten erfordert. Dabei ist die Klärung des Begriffes „System“ vorzunehmen. Heute wird vieles im Holzbau als System bezeichnet, was aber nicht das erfüllen kann, was hinter dem Wort wirklich steht. Vorsicht ist angebracht und als „System“ sollten wirklich nur die umfassenden und systematisierten Bau- und Konstruktionsfügungstechniken bezeichnet werden. Eine Definition könnte wie folgt vorgenommen werden:

- Holzbaumethoden:
  klassische Einteilung der Holzbaumethoden: Ständerbau, Tafelbau, Blockbau, Rahmenbau
- Holzbausystem:
  umfassendes und in allen Einzelheiten aufeinander abgestimmtes Bausystem zur Errichtung eines Holzsystembaus
- Tragsysteme, Holzkonstruktionssysteme:
  Beschreibung der Konstruktionsarten wie „Tischsystem, ... „

- Teilsysteme:
  Wandsysteme
  Trennwandsysteme – Außenwandsystem
  Deckensysteme
  Dachsysteme
- Bauelemente:
  Hohlkastenelemente, Lignatur, Brettstapelelemente etc.

Dringend notwendig ist es, die wichtigsten Systeme am Markt zu erfassen und in enger Absprache mit den Anbietern Systematisierungen und Vereinheitlichungen vorzunehmen, um Überschaubarkeit und Transparenz herzustellen. Zudem wäre eine solch konzentrierte Anstrengung der Anlass für umfassenden Informations- und Erfahrungsaustausch innerhalb der Branche und vielleicht ein weiterer Schritt zur gemeinsamen Präsenz.

Abb. 2: Haus Natter-Kapfer, Lauterach

Es gibt wenige Hochschulen, die für Holz eine qualifizierte und engagierte Wissensvermittlung anbieten. Meistens ist diese überfrachtet mit nicht mehr aktuellen Inhalten und zu technokratisch angelegt, womit die Motivation für den Baustoff nicht gefördert wird. Ein Grund, dass der Holzbau die wichtigsten Motoren, nämlich die Architekten, die ja im entscheidenden Stadium eines Projektes die Weichenstellungen maßgeblich beeinflussen, verliert. Aufgabe der politisch Verantwortlichen, die nicht müde werden und in Ihren Äußerungen das nachhaltige Bauen einfordern, muss es sein, an den Hochschulen die dafür notwendigen Strukturen zu ermöglichen, das heißt, Schaffung von eigenen Lehrstühlen und Instituten an den Architekturfakultäten und Hochschulen zur qualifizierten Wissensvermittlung und gezielter Forschung. Es fehlt nicht am Interesse der jungen Generation, die aufgewachsen ist mit den Themen der Ökologie und Nachhaltigkeit und die endlich wissen will, wie diese im Bau umsetzbar sind, es fehlt auch nicht an der Überzeugung der Verantwortlichen, dass diese Themen für die bauliche Zukunft wichtig sind, es fehlt schlichtweg an den konkreten Maßnahmen und Finanzierungen.

Forschung und Entwicklung wird gerade in Zeiten wirtschaftlicher Stagnation von allen politischen Parteien gefordert, die finanziellen Ressourcen auch den Möglichkeiten entsprechend bereitgestellt. Auch ist die Notwendigkeit der Holzforschung anerkannt, und es stehen dafür nicht unbeträchtliche Mittel zur Verfügung. Die Notwendigkeit nationaler Koordination wird wahrgenommen, obwohl oft unverständliche interne Differenzen und Eitelkeiten immer wieder zu Doppelgleisigkeiten führen. International aber wäre noch viel zu tun, damit die knappen Mittel effizienter eingesetzt werden könnten. Hier bestehen kaum Anstrengungen zur Koordination oder zu einer Bündelung der Energien sowie zur sinnvollen Aufteilung der Forschungskompetenzen. Angesichts der in allen Ländern ähnlichen Problemstellungen ist nicht einzusehen, dass in mehreren europäischen Ländern gleichzeitig zu denselben Themen geforscht wird oder auch dieselben Systeme an verschiedenen Orten auf Zulassung geprüft werden müssen.

Dass ein erkennbarer Durchbruch des Holzbaues keine Utopie ist, zeigt eine kleine Region in Österreich. Vorarlberg mit 380.000 Einwohnern hat es immerhin geschafft, dass 20 % aller Bauten in Holz ausgeführt werden, Tendenz steigend. Dar-

aus lassen sich Strategien ableiten, was getan werden muss, um eine ähnliche Situation für die gesamte Bauszene zu erreichen.

- Die nach wie vor vorhandenen und eher sich verhärtenden Fronten zwischen Architekten und Ausführenden sind einzureißen. Beide Gruppen sind aufeinander angewiesen, um gute und überzeugende Objekte unter wirtschaftlich hohem Konkurrenzdruck zu entwickeln. Die oft allzu hohen gegenseitigen Erwartungshaltungen, die meist Hauptgrund für das Scheitern der Kooperationen sind, sind abzubauen, jede Seite muss offen und unvoreingenommen in den Dialog einsteigen und die Qualitäten des anderen akzeptieren. Allzu oft hört man von der im Allgemeinen konservativen Handwerkerseite Kritik an der von den Architekten oft geforderten Modernität des Holzbaues und ortet Unverständnis und Ressentiments. Die Architektenseite klagt demgegenüber über mangelndes Verständnis und Offenheit, vermag aber oft nicht durch Fachwissen zu überzeugen sondern versteckt sich allzu schnell hinter akademischer und künstlerischer Arroganz. Erst wenn der Architekt technische Kompetenz beweist und der Zimmermann bereit ist, sich mit neuer und ungewohnter Architektur anzufreunden und diese als Chance für ein notwendiges neues Image sieht, kann fruchtbare Kooperation entstehen. Erst die gegenseitige Unterstützung schafft die notwendige Geschlossenheit, um am Markt erfolgreich zu sein.
- Eine Minderheit kann sich durch außergewöhnliche Produkte sowie außerordentliche Qualität bemerkbar machen. Die außergewöhnlichen Produkte entstehen nur im Schulterschluss mit guten Architekten, die in der Lage sind, ökologisch überzeugende Konzepte sowie nachhaltige Errichtungs- und Entsorgungsstrategien zu entwickeln und zusammen mit engagierten Ausführenden umzusetzen. Diese wiederum sind verantwortlich für den hohen Qualitätsstandard und für fortschrittlichste Fertigungs- und Baumethoden. Dabei muss aber auch klar sein, dass einerseits ehrliche Preisgestaltung, anderseits klare Leistungs- und Qualitätsvereinbarungen Grundlagen für eine fruchtbare Zusammenarbeit sind. Leider schaut es im Bauwesen derzeit ganz anders aus.
- Holz wird allzu oft beworben als Baustoff für Sonderbauten oder ausgefallene Konstruktionslösungen, was den Status des Nischenprodukts geradezu manifestiert. Dabei hat gerade Holz seine außerordentliche Berechtigung im Bereich des normalen und alltäglichen Bauens, was von zahlreichen ausgeführten Projekten belegt wird. Es muss also gelingen, die Qualitäten für das „Normale“ zu transportieren, für qualitativ hochwertige, dennoch einfache und wirtschaftliche Lösungen. Gerade in diesem Bereich besteht die Möglichkeit, durch Standardisierungen auch die Kosten zu senken.

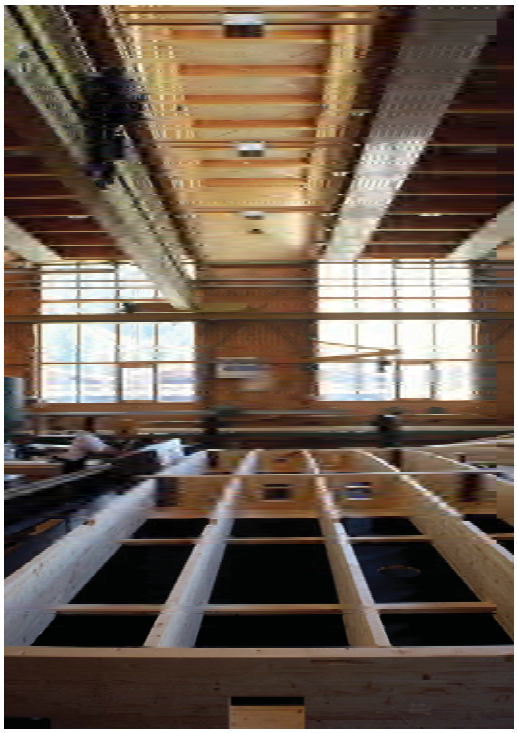


Abb. 3: Kaufmann Holz AG, Reuthe

2 Wohin entwickelt sich der Holzbau

Betrachtet man die bautechnische Entwicklung der letzten 100 Jahre, so ist festzustellen, dass die Tendenz zur immer komplexeren Vorfertigung erkennbar ist. Schon den historischen Zimmerleuten war Vorfertigung durch Abbund der Konstruktion geläufig. Heute eröffnen neue Transporttechniken ungeahnte Möglichkeiten. Die Entwicklung schreitet rasant zu immer komplexeren Prefabrikationstechniken. Dabei geschieht dies derzeit nicht in großen Fabriken oder Unternehmen, sondern in den Abbundhallen der kleinen und mittelständischen Betriebe. Das hat den großen Vorteil, dass dadurch ein hoher Grad an Individualität möglich bleibt, eine durchaus für die Entwicklung der Architektur wichtige Komponente. Vom Architekten geplant, vom Zimmermann als Generalunternehmen vorgefertigt und errichtet – heute keine Seltenheit mehr. Das wird auch in Zukunft ein erfolgreiches Modell bleiben, denn damit kann der Bereich des individuellen Bauens professionell abgedeckt werden. Um aber konkurrenzfähig zu bleiben ist es unumgänglich, durch gewisse Standardisierungen die Effizienz zu steigern. Dies wird in diesem Fall in Form von systematisierten Detaillösungen und Fügeprinzipien geschehen, also nicht durch fixe Maßordnungen der einzelnen Elemente. Somit bleibt der Vorteil der geometrischen Flexibilität, der in zahlreichen Bauaufgaben wichtig ist. In diesem Segment ist ein absolut hoher Qualitätsstandard notwendig, denn die hier angesprochenen Kunden geben dafür auch mehr Geld aus. Zudem tut sich hier ein breites Betätigungsfeld für Architekten auf, denn eine synergetische Kooperation mit dem Unternehmen schafft neue Märkte, die dem Architekten bis jetzt verwehrt waren.

Für das standardisierte Bauen mit der Zielsetzung höchstmöglicher Wirtschaftlichkeit hat es in der Holzbaugeschichte bereits diverse Lösungen gegeben, wie z.B. das General Paneel System von Konrad Wachsmann, ein Bausystem mit fixierten Bauteilmaßen und standardisierten Bauelementen. Heute sind ähnliche Entwicklungen im Gang und es wird sich erneut zeigen, ob durch Massenproduktion von Bauteilen, welche das Bauen verbilligen, auch die notwendige Flexibilität und Architekturqualität geschaffen werden kann, die auch für ein erfolgreiches Bestehen am Markt Voraussetzung sind. Der Gedanke ist nach wie vor faszinierend. Ob aber auch der notwendige Markt dafür aufgebaut werden kann, wird das große Risiko bleiben. Es hängt entscheidend von der Wirtschaftlichkeit ab, denn in diesem Segment ist der Preis die alles entscheidende Komponente.

Abb. 4: Wohnanlage Spinnereistraße, Hard

Der Geschosswohnbau ist in den letzten Jahren zur großen Herausforderung für die Holzbauer geworden. Zahlreiche Beispiele und Projekte sind entstanden, Prototypen, die mehr oder weniger erfolgreich waren und etliche Projekte belegen die Sinnhaftigkeit des Holzbaues für diese Bauaufgabe. Moderne Brandschutzregelungen ermöglichen je nach Land bis zu fünf oder sechs Geschosse, die Baugeschwindigkeit sowie der ökologische Ansatz sind die Motoren für zukünftige Entwicklungsanstrengungen. Der Anfang ist gemacht, welche Baumethoden sich durchsetzen werden ist noch nicht klar. Vieles spricht gerade aufgrund des Brandschutzes sowie der Reduktion von Anschlussdetails und Schichten für eine ver-

stärkte Verwendung von Massivholzplatten, welche mit zunehmender Nachfrage billiger werden. Hier ist der Weg auch offen für Betonverbundkonstruktionen bei welchen die Möglichkeiten der Vorfertigung gerade in der Entwicklungsphase stehen. Eines wird aber für diese Bauaufgabe notwendig sein nämlich die Spezialisierung einzelner Betriebe. Zu komplex sind die bauphysikalischen, brandschutztechnischen und ausführungstechnischen Anforderungen und somit das Risiko für kleine Unternehmen. Für die Architekten eröffnet sich hier ein überaus interessantes Arbeitsfeld mit neuen Gestaltungsmöglichkeiten.

Äußerst interessante Beispiele von hoher architektonischer Qualität sind im Bereich des öffentlichen Bauens entstanden. Motoren und Initiatoren waren meist Städte oder Gemeinden mit einem besonderes ausgeprägten Bewusstsein für Umweltschutz und Nachhaltigkeit, die schon bei Wettbewerbsausschreibungen Hinweise für diese Themen formulierten, und Lösungsvorschläge einforderten. Hier zeigt sich deutlich die Vielfalt an konstruktiven und gestalterischen Möglichkeiten des Holzbaues sowie dessen ökologische Kapazität. Unbestritten sind diese Themen auch in Zukunft wichtig und aktuell, die Nachfrage wird wachsen womit sich interessantes Aktionsfeld besonders für die Architekten eröffnet. Die Komplexität dieser Aufgaben erfordert aber ein Team von Spezialisten mit den notwendigen Erfahrungen, derzeit eine noch rare und kleine Gruppe. Es wird also alles davon abhängen, ob es gelingt, genügend Brainpower zu entwickeln, eine wie vor erwähnte entscheidende Herausforderung, der sich sowohl die Branche als auch die Öffentlichkeit stellen muss.

Große Spannweiten und Konstruktionen sind seit je her die wichtigsten und interessantesten Anwendungsfelder für Holz. Angefangen von den historischen Brücken und Dachstühlen über die

Abb. 5: Sutterlüty-Markt, Weiler

ersten „Hetzerkonstruktionen“ bis zu den spektakulären Hallenbauten der Moderne sind Beispiele mit überraschender Eleganz und Schönheit entstanden. Derzeit klagt die Branche über akuten Auftragsmangel und über ruinösen Preiskampf besonders im Industriebau. Der Ruf nach einfachen und standardisierten Konstruktionen also nach konkurrenzfähigen Lösungen ist unüberhörbar. Das dürfte eines der zentralen Themen der zukünftigen Entwicklung des Holzbaus werden. Eine äußerst interessante Aufgabe für Ingenieur und Architekten in enger Kooperation mit den Firmen. Nur scheint derzeit das Verhältnis getrübt. Diverse Firmen versuchen eigene Systeme auf den Markt zu bringen mit dementsprechender Architekturqualität oder versuchen, die Architekten aus laufenden Projekten hinauszudrängen, da sie oft mit Recht allzu banale Lösungsvorschläge nicht akzeptieren. Im Gegenzug ist die Bereitschaft von Architekten und Ingenieuren nicht immer vorhanden, wirtschaftlich vernünftige Lösungen gemeinsam zu entwickeln, allzu oft siegen persönliche Eitelkeiten über prag

matische Lösungen. Zugegeben, eine Gratwanderung, aber auch in diesem Bereich wird nur die Kooperation erfolgreich sein. Eine Geschlossenheit der größeren Betriebe oder Betriebszusammenschlüsse für Forschung und Entwicklung sowie schlagkräftiges Marketing scheint überlebensnotwendig, ebenso die intensive Entwicklung von neuen Hallensystemen und leistungsfähigen Bauelementen.

Abb. 6: Wohnanlage Ölzbündt, Dornbirn

3 Drei bestimmende Themen für den zukünftigen Holzbau

3.1 Gesundes Bauen

Der Wunsch nach „gesunden" Bauten ist mittlerweile immer öfters zu hören. Gefordert werden mit natürlichen Baustoffen konstruierte und gedämmte Objekte, frei von unkalkulierbaren Risiken durch chemische Substanzen und elektromagnetische Beeinflussungen, für alle Bereiche des längeren Aufenthaltes von Menschen, also Wohnen und Arbeiten. Die Rückbesinnung auf die baubiologischen Vorzüge unserer historischen Bauten mit verbesserten bauphysikalischen und energetischen Qualitäten ist eine Herausforderung und zugleich große Chance für den zukünftigen Holzbau. Die dabei notwendige Befassung mit sehr pragmatischen Themen gepaart mit engagierten architektonischen Formulierungen könnte Bauten entstehen lassen, die durchaus an die Qualitäten des anonymen historischen Bauens heranreichen, mit der dort gezeigten Selbstverständlichkeit und Prägnanz. Möglicherweise wird dafür die Massivholzbauweise die geeigneten Baumethode liefern, welche bereits von diversen Herstellern in zahlreichen Varianten angeboten wird, die aber mitten in der Entwicklungsphase steckt. Besonders die Kombination dieser mit natürlichen und leistungsfähigen Wärmedämmmaterialien ist eine wichtige Aufgabe für Forschung und Entwicklung. Lösungsansätze sind ebenfalls einfache „schichtenarme" Tafelbausysteme gepaart mit „gesunden Isolierungen".

3.2 Mischbau

Bereits eingesetzt hat ein verstärkter Trend zum Mischbau. Tragstruktur Stahl oder Beton, Hülle in vorgefertigten und hochwärmegedämmten Fassaden - Teilsystemen. Relativ geringe Wandstärken trotz hohen Wärmedämmeigenschaften, schnelle Montage durch hohen Vorfertigungsgrad sowie die ökologischen Qualitäten dieser Bauweise sind die Gründe für die vermehrte Nachfrage. Somit werden auch im Holzbau Entwicklungen für „intelligente" Fassadensysteme ein vordringliches Thema, wobei besonderes Augenmerk darauf zu verwenden ist, dass die umweltgerechte Entsorgbarkeit gewährleistet bleibt. Das muss der entscheidende Vorteil gegenüber anderen Systemen bleiben, um am Markt bestehen zu können. Es wird Holz also auch in Bereiche vordringen, die bis dato dafür verschlossen waren. Beispielsweise für Bauten auch über mehr als vier oder fünf Geschosse, öffentliche Bauten größeren Maßstabes und für zahlreiche Bauaufgaben im städtischen Umfeld. In Kombination mit vorgefertigten Massivbaukonstruktionssystemen ist eine durchaus interessante bautechnologische und architektonische Zukunft zu erwarten.

3.3 Bauen mit extrem kurzer Bauzeit

Bauaufgaben mit extrem kurzer Bauzeit werden immer häufiger. Meist handelt es sich um Bestandserweiterungen und Adaptierungen bei laufendem Betrieb mit kurzen Betriebsunterbrechungsmöglichkeiten oder um Saisonbetriebe oder solche mit hohen Störanfälligkeiten. Es ist für diese Aufgaben höchste Vorfertigung notwendig, ebenso einfache Montierbarkeit. Holz eignet sich ganz besonders dafür - es gibt bereits ausgeführte Beispiele, die das aufzeigen. Eine konsequente Weiterentwicklung ist jedoch notwendig, sowohl im Holzbau als auch bei anderen Gewerken wie beispielsweise bei der Haustechnik, um den Grad der Vorfertigung zu maximieren. Je nach Bauaufgabe werden sich entweder ein hochentwickelter Tafelbau oder der Raumzellenbau durchsetzen.

13.1 Planung
EDV- Planungshilfen und Schnittstellen

Daniel Wentzlaff

1 Einleitung

Das Bild vom Haus aus Holz - Der Einfluss von Computer Aided Design (CAD) Programmen auf das Bauen mit Holz.

Ein junger Architekt kann sich heute kaum mehr vorstellen, wie man ein Gebäude von Hand zeichnet. Die schnelle Verbreitung des CAD innerhalb der letzten 20 Jahre hat alle Bereiche des Bauens durchdrungen und aktuelle Entwicklungen in der 3D Planung legen die Vermutung nahe, dass uns wesentliche Schritte im Einsatz von Computern in der Baubranche noch bevorstehen. Sie werden sowohl die Formen der Zusammenarbeit im Bauwesen, als auch die Möglichkeiten der Architektur weiter verändern, vermutlich stärker, als wir es bisher erlebt haben.

Während es eine Selbstverständlichkeit ist, dass die technischen Möglichkeiten eines Werkzeuges das Ergebnis der Arbeit beeinflussen, macht man sich häufig weniger bewusst, dass die praktischen Möglichkeiten auch eine Rückwirkung auf die theoretische Konzeption haben. So geht beispielsweise die Vorstellung des Architekten heute beim Enwurf eines Tragwerkes aus Holz selbstverständlich davon aus, dass verleimte Binder und zusammengesetzte Tragwerke große Spannweiten zulassen.

Im Folgenden soll der Versuch gemacht werden, zu verstehen, welche möglichen Auswirkungen aktuelle Entwicklungen im Bereich der computergestützten 3D Planung auf den Entwurf haben können. Da das CAD das wichtigste Planungswerkzeug der Ingenieure und Architekten ist, treffen viele der folgenden Überlegungen zwangsläufig auf das Bauen im Allgemeinen zu. Sie werden jedoch im gleichen Maße auch auf das Bauen mit Holz Auswirkungen haben. Aus der großen Vielfalt der CAD Systeme auf dem Markt, wird versucht im Folgenden, zwei Strömungen herauszugreifen, die sich aus der Erfahrung als Architekt und Lehrer als wesentliche Tendenzen abzeichnen.

2 Die Planung mit 2D Projektionen

Betrachtet man die Entwicklung der Architektur während der letzten zwanzig Jahre, so hat das CAD bisher - zumindest in der breiten Masse - Formensprache und Konstruktion der Architektur nicht grundsätzlich verändert. Andere Faktoren, etwa neue Wertvorstellungen im Bereich der Nachhaltigkeit und des Energieverbrauchs hatten mehr Einfluss. Vermutlich lag es jedoch auch daran, dass das CAD bisher im Vergleich zur Handzeichnung keine methodischen Neuerungen einführte:

Die Zeichnung von Hand basierte auf der Einschränkung, dass ein durchschnittlicher Mensch nur eine begrenzte Anzahl an Zusammenhängen gleichzeitig berücksichtigen kann. Zwangsläufig wurden komplexe Aufgaben in hierarchisch aufgebaute Ordnungssysteme zerlegt. Die Summe der kleineren Elemente ergibt dabei meist das nächst Größere: So besteht beispielsweise das klassische Pfettendach aus vielen Hierarchieebenen. Zuoberst liegen die Dachlatten, diese liegen wiederum auf den Sparren, die Sparren auf den Pfetten und diese sind auf dem Mauerwerk abgestützt. Ein Ordnungsprinzip, das in vielen Bereichen des Lebens angewendet wird, etwa im Bereich der Stadtplanung oder bei der Führungsstruktur von größeren Firmen. Die notwendigen Abweichungen davon werden meist als Ausnahmen von der Regel gehandhabt.

Die Zweidimensionale CAD Planung hat hier zwar Erleichterungen, aber keine wesentlichen Veränderungen gebracht: Die meisten Vorteile liegen in der gesteigerten Effizienz: beispielsweise der bequemere Umgang mit Wiederholungen durch Befehle wie Kopieren, das Erzeugen von Reihen

oder das ineinander Verschachteln von Zeichnungsteilen (Referenzen, Blöcke etc.). Die wichtigste Neuerung lag wohl in den großen Vorteilen der digitalen Datenbasis für die Kommunikation: Mehrere Personen können am gleichen Plan arbeiten und Pläne per Telefonleitung verschickt werden. Da man einen Körper jedoch nach wie vor zweidimensional abbildete, war man weiterhin auf eine beherrschbare Anzahl von Schnittebenen angewiesen. Die Folge waren weiterhin geometrische Körper, die sich aus ebenen Flächen oder Krümmungen mit einer einfachen geometrischen Regel zusammensetzen.

Die aktuellen Entwicklungen der 3D Planung bieten hier grundsätzlich neue Möglichkeiten. Im Folgenden sollen hier vor allem zwei Anwendungen betrachtet werden: Einerseits die Entwicklung von dreidimensionalen Baukastensystemen, die Gebäude aus Bauteilbibliotheken zusammensetzen können, andererseits die Handhabung komplexer Geometrien.

Neben der Tatsache, dass bei beiden Anwendungen die Planung nun im Raum stattfindet und nicht mehr in seiner zweidimensionalen Projektion, bieten sie vor allem eine wesentliche Neuerung: Die Beziehung der einzelnen Bestandteilen der Zeichnung, beispielsweise Striche, Flächen oder Körper, zueinander sind nicht zwangsläufig fest, sondern können offen gehalten werden für Veränderungen. Allgemein als „parametrisches Zeichnen“ beschrieben, erlaubt es dem Nutzer, bereits gezeichnete Bauteile durch die Veränderung von Parametern anzupassen. Eine Zeichnung besteht somit aus konstanten und variablen Parametern und wird in der Praxis oft als „intelligent“ bezeichnet. Wenn die parametrischen Funktionen ausgeschaltet werden spricht man häufig von einer „lobotomisierten“ („lobotomized“) Zeichnung.

3 3D Bauteilbibliotheken

Ein Teil der Softwareanbieter nutzt diese Möglichkeiten für den Aufbau einer Bauteilbibliothek: Die Software passt beispielsweise alle Bestandteile des Türtyps „C“ (Rahmen, Blatt, Fries, Glaseinsatz) an, wenn man mit einfacher numerischer Eingabe die Breite ändert. Weiter schneidet die Software automatisch ein Loch in die Wand, wenn ich die Türe dort platziere, beziehungsweise verschiebt das Loch, wenn die Türe verschoben wird. Ursprünglich kommt diese Anwendung aus dem Maschinenbau. Dort wird sie seit vielen Jahren eingesetzt.

Vermutlich wird sie sich auch in der Architektur weiter verbreiten. Insbesondere in den ersten Planungsphasen hat sie jedoch auch Nachteile: Obwohl immer betont wird, dass jeder Architekt seine eigene Bauteilbibliothek aufbauen kann, ist dies bei anspruchsvoller, aufgabenspezifischer Planung sehr aufwändig und – zumindest zur Zeit - nur für große Büros überhaupt wirtschaftlich. Büros mittlerer Größenordung bestätigen, dass eine Bauteilbibliothek in den ersten Planungsphasen kaum von Nutzen ist, diese aber je näher es zur Realisierung kommt, eher attraktiver wird.

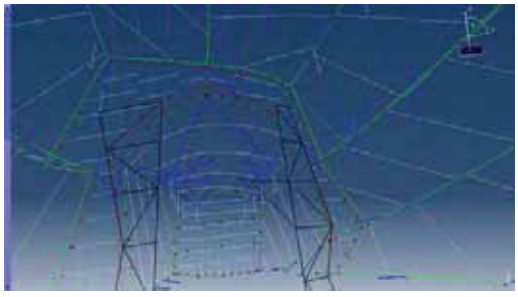


Abb. 1: Drahtmodell des Kräfteverlaufs

Sehr wirtschaftlich wird die Idee des Baukastens hingegen, wenn man sich bewusst auf weinige Bestandteile und deren vorhersehbare Kombination beschränkt. Beispiele für Anwendungen sind etwa der internetbasierte Küchenkauf bei IKEA oder Softwarepakete für zukünftige Eigenheim-

besitzer die in Baumärkten ausliegen. Virtuelle Baukästen die es jedem Laien ermöglichen, sich mit Drag and Drop sein Traumhaus zusammenzusetzen. Wenn man den generellen Schwund an Marktanteilen der Architekten am Einfamilienhausmarkt und der Realisierung von Zweckbauten betrachtet, handelt es sich hier um eine Entwicklung, die Architekten durchaus wachsam verfolgen sollten.

Aus der Sicht des Entwurfs bleibt jedoch der Makel, dass die Bibliothek das Spektrum der Lösungsmöglichkeiten vorwegnimmt und somit den Spielraum einschränkt. Unser Bild vom Gebäude als maßgeschneiderte, von einem Architektenindividuum entworfene Lösung will sich damit nicht ganz vereinbaren lassen. Während die Vorteile in der Entwurfsphase also noch zu untersuchen sind, liegen die Vorteile in der Umsetzung und Produktion auf der Hand: Bauen fängt nicht jedes Mal bei Null an, sondern nutzt standardisierte Herstellungsprozesse.

4 3D Planung

Die zweite Entwicklungsrichtung nutzt die Möglichkeiten für die Entwicklung einzigartiger und räumlich hochkomplexer Strukturen. Die Möglichkeiten der CAD Software werden dabei entweder dazu benutzt, von Hand entwickelte Entwürfe abzubilden, oder räumliche Gebilde durch speziell manipulierte Software zu erzeugen. Jüngste, gebaute Beispiele zeigen, dass mittlerweile ein großes Maß an räumlicher Komplexität auch praktisch umgesetzt werden kann. Die Formensprache der Gebäude unterscheidet sich dabei – anderes als bei den Anwendungen der Bauteilbibliotheken - grundsätzlich von den bisher bekannten Formen der Architektur. Es werden beispielsweise räumliche Systeme entworfen, die ohne erkennbare Regel und ohne die oben genannten Hierarchien auskommen: Jedes der hunderten von Teilen steht zu den anderen Teilen in einer Beziehung, die Änderung eines Teiles löst unvorhersehbare Kettenreaktionen aus. Die Planung solcher Strukturen wäre in der 2D Projektion, dem klassischen Grundriss und Schnitt gar nicht möglich und ist auch im 3D wegen der Anzahl an geometrischen Abhängigkeiten nur mit der Unterstützung von maßgeschneiderten Zusatzanwendungen der Software machbar. Will man beispielsweise die Aufteilung einer frei gekrümmten Fläche für eine Elementfassade im Hinblick auf Feldgröße, Zuschnitt der einzelnen Elemente und Form der Fläche optimieren, so kommen speziell geschriebene kleine Zusatzprogramme zur Anwendung, die diese Parameter untersuchen. Eine Aufgabe, die von Hand gar nicht möglich wäre. Bemerkenswert ist hierbei, dass das CAD Programm vom Benutzer selbst an seine Bedürfnisse angepasst werden kann.

Abb. 2: Glasfassade mit Sonnenschutz

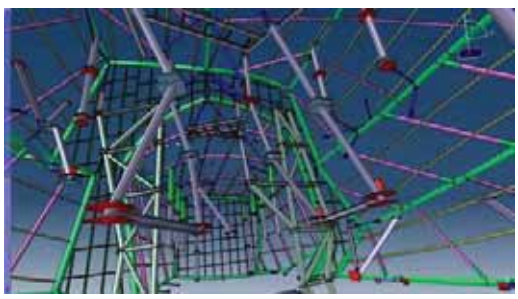


Abb. 3: Stahlbau

Grundsätzlich von der Planung her möglich, setzen diese Entwürfe in der Realisierung jedoch voraus, dass die ganze Herstellungskette eines Gebäudes kompatible CAD-Hilfsmittel einsetzt. Dies ist heute in der Baubranche noch nicht der Fall. Einzelne Zweige der Bauindustrie, beispiels-

weise im Fassadenbau oder im konstruktiven Holz- und Stahlbau, können zwar bereits heute direkt ab dreidimensionalen CAD Daten fertigen. In der Koordination der Gewerke bestehen jedoch – zumindest nach unserer Erfahrung - noch Defizite: So kann beispielsweise bei der gleichen frei geformten Glasfassade die Koordination der Sprinkleranlage mit der Fassadenbeleuchtung, den Verkabelungen für die Öffnungsflügel, den Regenrinnen und den Wasserabläufen große Probleme aufwerfen, weil sowohl die beteiligten Fachplaner als auch die Unternehmer nicht über die notwendigen CAD Instrumente und das Know-how verfügen. Bereits innerhalb einer Arbeitsgattung bestehen oft Lücken in der Informationsvermittlung vom Entwurf über die Koordination mit Vorgänger- und Folgegewerken zur Werkstattplanung, zur Vorfabrikation, Montage und Qualitätssicherung auf der Baustelle. Ähnlich schwierig sind aktuell noch die Verhältnisse innerhalb der Planung: Nur wenige Planer verfügen über die Ressourcen den Kräfteverlauf in der Statik, die thermische Bewegungen der Luft, das Raumklima oder das dynamische Verhalten des Regenwassers auf der Oberfläche in aufwendigen Rechenprogrammen im 3D zu simulieren.

5 Zukunft Holz

Unabhängig von der Frage, ob solche hochkomplizierten Geometrien bei Gebäuden sinnvoll sind, werden wir in Zukunft ohnehin die Fähigkeit brauchen hochkomplexe, vernetzte räumliche Systeme zu analysieren und zu leiten. Dies verlangen beispielsweise die weltweit vernetzten Wirtschaftsstrukturen im Zusammenhang mit der Umweltschutzproblematik und der Mobilität. Auch in der Planung unseres Lebensraumes wird es immer weniger Bereiche geben, wo das Aufteilen eines Problems in kleine Teilprobleme zu angemessenen Lösungen führt.

Der Werkstoff Holz ist auf Grund seines natürlichen Vorkommens und seiner Nachhaltigkeit ein wichtiger Baustein in dieser Kette. Seine Materialeigenschaften machen ihn jedoch auch in vielfältigster Weise abhängig von der Einbindung in das komplexe Gefüge des Bauwesens. So kann heute weder ein Dach noch eine Wand oder ein Boden nur aus Holz bestehen. CAD Lösungen sind das wichtigste Instrument der Koordination aller Beteiligten am Bau und die oben beschriebenen Entwicklungen werden zu Veränderungen sowohl in der Praxis der Koordination am Bau als auch im Entwurf selbst führen. Es wird die Zukunft des Holzes beim Bauen wesentlich mit beeinflussen, ob es seine Bedeutung im Gesamtgefüge des Bauens behalten und ausbauen kann. Dazu gehört sowohl die Forschung und Anwendung im Bereich der computergestützten Produktion, als auch die Einbindung der Materialeigenschaften in den Entwurfsprozess. Nicht zuletzt wird sich mit den neuen Möglichkeiten der CAD Planung auch das Bild vom Holzhaus verändern.

Abb. 4: Innere Verglasungen

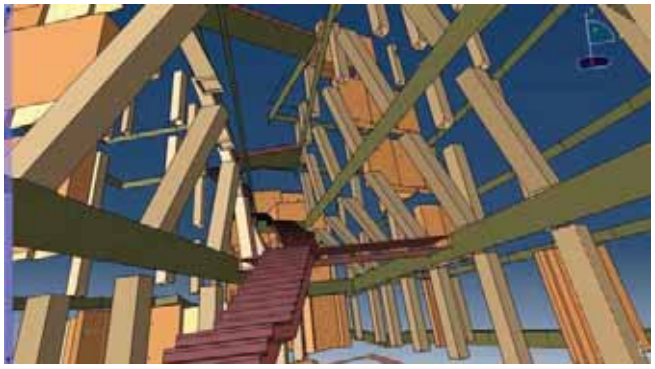


Abb. 5: Holzoberflächen

13.1 Planung
Digitaler Holzbau – Komplexe Formen in Holz

Fabian Scheurer, Hanno Stehling

1 Einleitung und Beispiele

In der zeitgenössischen Architektur gibt es einen zunehmenden Trend hin zu komplexen Geometrien, sog. „Freien Formen". Durch die wachsenden Fähigkeiten der entsprechenden CAD-Programme unterstützt und sicherlich zum Teil auch mit verursacht, ist es Entwerfern heute möglich, die Zwänge orthogonaler Systeme und herkömmlicher Typologien wie Wand und Decke zu verlassen und sich „frei" im Raum zu bewegen.

Spätestens beim Schritt von der virtuellen in die gebaute Realität aber endet diese Freiheit, und die eingangs erwähnte Komplexität tritt in den Vordergrund: Doppelt gekrümmte Flächen lassen sich in zweidimensionalen Abbildungen nur unzureichend darstellen, zudem müssen in vielen Fällen die Produktionsmethoden und Bauabläufe erst entwickelt werden, da es keinen etablierten Standard gibt, auf den zurückgegriffen werden kann. Interessanterweise werden diese neuartigen Formen in den meisten Fällen mit den auf den ersten Blick moderner anmutenden Baustoffen Beton, Stahl und Glas assoziiert. Auf den zweiten Blick stellt sich allerdings heraus, dass der Werkstoff Holz seinen Konkurrenten an vielen Stellen überlegen ist und in den letzten Jahren bei einigen prominenten Bauwerken erfolgreich eingesetzt wurde. Zur Illustration folgen zwei Beispiele, an denen designtoproduction beteiligt war.

1.1 Centre Pompidou, Metz

Das Dach des vom japanischen Architekten Shigeru Ban entworfenen Centre Pompidou in Metz ist ein durchgängig aus Holz gefertigtes, kontinuierlich doppelt gekrümmtes Stabwerk. Die Struktur aus 18.000 Laufmetern Brettschichtholz überspannt 7.500 Quadratmeter und besteht aus sechs übereinander liegenden Trägerlagen mit liegenden Querschnitten von 140 x 440 mm. Jeweils zwei Träger verlaufen parallel und sind durch Schubbretter verbunden. An den Schnittpunkten treffen sich so jeweils vier Träger, die mit einer Dolle verbunden sind. Gefertigt wurden die Träger aus Brettschichtholz-Rohlingen, die bei Holzbau Amann (D, Weilheim-Bannholz) auf einem 5-Achs-CNC-Zentrum auf das präzise Maß gefräst wurden. Für Fertigung und Transport mussten die bis zu 85 Meter langen Binder in insgesamt fast 1.800 individuelle Einzelsegmente unterteilt und über 7.000 Aussparungen für Dollen passgenau positioniert werden.

Abb. 1: Entwurf des Centre Pompidou in Metz (Quelle: www.centrepompidou-metz.fr)

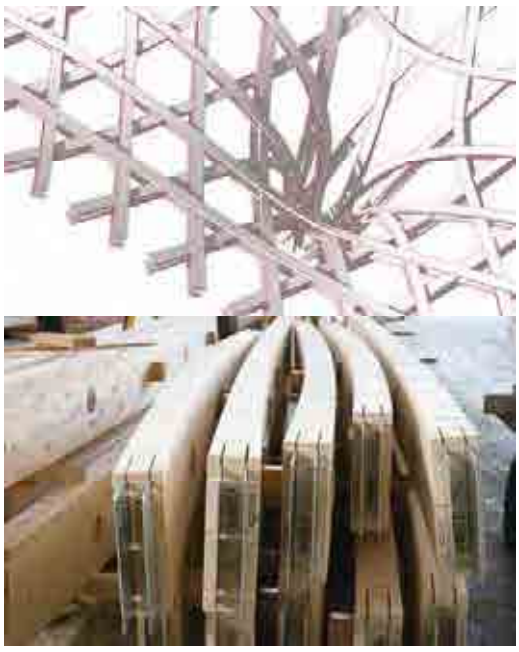
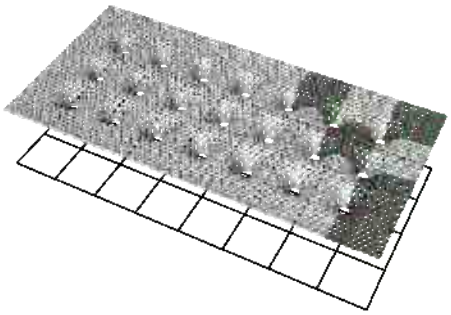


Abb. 2: Dachstruktur und fertige Balkensegmente

1.2 Yeoju Golf Resort

Das zweite Beispiel ist ebenfalls ein Projekt des Architekten Shigeru Ban: das Dach für den Yeoju-Golfclub in Südkorea. Eine über 2.500 Quadratmeter große Holzkonstruktion auf 21 baumförmigen Stützen, die direkt in ein „Geflecht" aus Trägern übergehen. Dieses Geflecht folgt auf den ersten Blick demselben Prinzip wie das des Centre Pompidou. Bei genauer Betrachtung fällt allerdings auf, dass die Träger hier nicht in verschiedenen Ebenen verlaufen, sondern sich gegenseitig durchdringen. Da auch hier jeder Träger aus zwei parallelen Lagen besteht, sind an jedem Kreuzungspunkt zwei Blattverbindungen nötig – insgesamt knapp 15.000 im gesamten Dach.



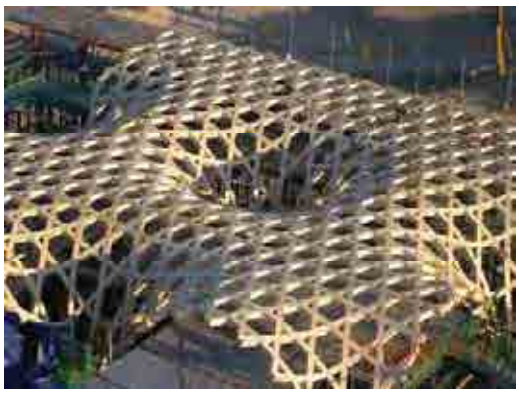


Abb. 3: : Yeoju Golf Resort (unten: Blumer-Lehmann AG)

Das Dach basiert auf einem regelmäßigen Raster und wird aus fünf verschiedenen Typen von 9x9 Meter großen Elementen zusammengesetzt. In diesem Projekt gibt es also eine gewisse Wiederholung von Bauteilen – die insgesamt knapp 3.500 Trägersegmente haben „nur" 476 unterschiedliche Geometrien. Die planerische Herausforderung hier lag vor allem in der komplexen Detaillierung, besonders der tordierten Ausblattungen. Gefertigt wurde das Dach von Blumer-Lehmann (CH, Gossau), ebenfalls auf einer 5-Achs-Abbundmaschine.

Abb. 4: Ein fertiges Trägersegment

2 Vorteile des Werkstoffes Holz

Wie die Beispiele zeigen, lassen sich komplexe Formen sehr gut in Holz realisieren. Besonders gegenüber seinem „Hauptkonkurrenten" Stahl kann es sich dabei in einigen Punkten durchsetzen:

2.1 Präzision

Praktisch alle verfügbaren Baustoffe liegen entweder als gerade Stangen oder als ebene Platten vor. Um gekrümmte Flächen zu realisieren, müssen demnach entweder die Bauteile umgeformt oder die Zielgeometrie angepasst, d.h. in der Regel segmentiert, werden.

Bei letzterer Methode ergibt sich zwangsläufig ein Widerspruch zwischen Präzision und Effizienz: Viele kleine Segmente erhöhen die Annäherung an die gewünschte Form, treiben aber auch Aufwand und Kosten in die Höhe. Wenige größere Segmente dagegen geben die Zielgeometrie nur grob wieder.

Der bessere Weg ist also die Anpassung der Bauteile an die gewünschte – unsegmentierte – Geometrie. Hierbei ist man natürlich auf eine Möglichkeit angewiesen, gekrümmte und tordierte Bauteile präzise herzustellen.

Die plastische Verformung (das Biegen) wird diesen Anforderungen nur bedingt gerecht: Zwar lässt sich Stahl inzwischen auch in industriellem Maßstab biegen, allerdings nur mit begrenzter geometrischer Freiheit (konstante Radien, ebene Kurven) und schwer zu beherrschenden Biegetoleranzen durch Rückfedern.

Abb. 5: Rohlinge für das Yeoju-Dach

Holz hat demgegenüber den Vorteil, dass es sich sehr effizient und äußerst exakt spanend bearbeiten lässt. Als Rohlinge kommen dabei beispielsweise Brettschichtholzträger zum Einsatz. Zwar treten auch bei der Herstellung gekrümmter Brettschichtholzrohlinge Biegetoleranzen auf, doch fallen diese nicht ins Gewicht, da die endgültige Geometrie erst auf der CNC-Fräse entsteht.

2.2 Detaillierung

Durch die hohe Präzision ist es möglich, auch komplexe Verbindungsdetails direkt mit zu fertigen. Im Gegensatz zum Stahlbau, wo durch nachträgliches Anschweißen von Flanschen und Stirnplatten weitere Ungenauigkeiten entstehen können, werden so in einem einzigen Arbeitsschritt direkt Elemente mit allen benötigten Anschlussdetails wie Ausblattungen, Dollenlöchern etc. produziert.

2.3 Infrastruktur

Grundsätzlich kommt dem Werkstoff Holz zugute, dass die nötige Infrastruktur in Form computergesteuerter Abbundzentren bereits weit verbreitet ist. Zudem sind Zimmerleute traditionell im Umgang mit dreidimensionalen Strukturen geschult. Das Potential für die Bearbeitung komplexer Strukturen ist also vorhanden; die Herausforderung liegt darin, es zu nutzen.

3 Herausforderungen

Der Umgang mit komplexen Formen stellt Planer wie Produzenten vor eine ganze Reihe Herausforderungen. Diese sind über den gesamten Planungs- und Fertigungsprozess verteilt und weitgehend unabhängig vom verwendeten Werkstoff:

3.1 Geometrie / CAD

Die meisten Architektur-CAD-Systeme sind mittlerweile in der Lage, mit Splines (Freiformkurven) und NURBS („non-uniform rational B-Splines“ = Freiformflächen) umzugehen. Allerdings muss man sich als Benutzer darüber im Klaren sein, dass es – gerade wenn ein Objekt weiterverarbeitet werden soll – nicht nur auf die augenscheinliche Form, sondern auch auf die Parametrisierung (die innere Struktur) der Flächen ankommt. Oftmals führen mehrere Operationen zu optisch gleichen Ergebnissen, die sich in ihrer Parametrisierung allerdings immens unterscheiden.

Überhaupt ist der Prozess bei komplexen Formen mindestens genauso wichtig wie das Ergebnis. Durch die große Anzahl individueller Einzelteile ist eine Automatisierung auf hohem Niveau nötig – dies geschieht meist in Form sog. „parametrischer Modelle“, in denen keine fertige Geometrie, sondern Regeln definiert sind, nach denen einzelne Bauteile in Abhängigkeit von anderen Bauteilen konstruiert werden. Ändert sich also die Grundgeometrie, passen sich im Idealfall alle Detaillösungen automatisch an.

Umfassende parametrische Modellierer finden sich derzeit noch eher im Automobil- und Flugzeugbau. Viele CAD-Programme bieten allerdings die Möglichkeit, mittels eingebauter Programmierschnittstellen projektspezifische Erweiterungen (Plug-Ins) zu entwickeln, die für einzelne Arbeitsschritte eine ähnliche Funktion erfüllen.

In den branchenspezifischen Holzbauprogrammen sind Freiformen leider noch nicht sehr verbreitet; Freiformflächen werden hier meist noch zu Netzen aus planaren Dreiecken vereinfacht. Bis die Holzbauprogramme mit NURBS umgehen können, bietet sich ein zweistufiger Planungsprozess an: Die Geometrien werden in entsprechend leistungsfähigen CAD-Systemen erzeugt und dann mittels Standardschnittstellen wie SAT in die Branchensoftware importiert, um Einzelstückzeichnungen, Materiallisten etc. zu erstellen.

3.2 Schnittstellen zu CAE und CAM

Die Schnittstellen zu CAE (Computer Aided Engineering) und CAM (Computer Aided Manufacturing) bieten wohl das größte Verbesserungspotential des Prozesses.
Für die statische Berechnung solch komplexer Tragwerke ist ein detailliertes Modell des gesamten Systems in einer entsprechenden Analysesoftware nötig. Da außer der reinen Geometrie auch Daten wie im Falle von BSH-Trägern die Faseranschnittswinkel relevant sind, fallen reine Geometrie-Austauschformate wie DXF aus. Im Falle der Beispielprojekte in Metz und Yeoju wurden aus dem Geometriemodell Koordinaten- und Winkellisten erzeugt, die auf Seite der Ingenieure mit wiederum eigenen speziell programmierten Tools weiterverarbeitet wurden.

Im Falle der Schnittstelle zur NC-Fertigung decken die vorhandenen Lösungen zwar alle Standardfälle weitgehend ab. Sonderfälle dagegen sind praktisch nicht umzusetzen. In Metz und Yeoju mussten die doppelt gekrümmten Bauteile im CAM-System als Einzelstücke programmiert werden, wobei die detaillierten 3D-Modelle als Grundlage dienten.

Dass diese Sonderfälle in absehbarer Zeit in die Standardlösungen aufgenommen werden, ist nicht anzunehmen; zu groß wäre der Aufwand im Vergleich zum Markt. Vielversprechender ist der Ansatz, sich wie beim parametrischen Entwurf die Möglichkeit zunutze zu machen, unterschiedliche Bauteile nach gemeinsamen Regeln fertigen zu können, und entsprechend auch auf CAM-Seite mit projektspezifischen Plug-Ins zu arbeiten.

3.3 Material und Fertigung

Auch die Beschaffung des Rohmaterials kann bei komplexen Formen mit erhöhtem Aufwand verbunden sein: Die Brettschichtholz-Rohlinge für die Projekte in Metz und Yeoju mussten jeweils individuell hergestellt werden – in Yeoju immerhin mit Losgrößen von bis zu 12, in Metz als Einzelstücke.
Eine weitere Herausforderung ist die sinnvolle Segmentierung der Träger: Je länger ein Segment ist, desto wahrscheinlicher muss es aus einem gekrümmten Rohling gefräst werden, um den Verschnitt und die statisch relevanten Faserschnittwinkel im Rahmen zu halten. Entscheidend ist dabei auch der Kostenfaktor: einfach gekrümmte BSH-Rohlinge sind etwa zweimal, doppelt gekrümmte etwa sechsmal so teuer wie gerade. Auf der anderen Seite erhöhen sich bei vielen kürzeren Segmenten die Kosten für Produktion, Logistik, Verbindungsmittel und Montage. Da die statische Berechnung (und Abnahme) direkt von der Segmentierung abhängt, kann das Rohmaterial erst bestellt werden, wenn ein detailliertes 3D-Modell des gesamten Systems inkl. Segmentierung vorliegt – ein potentielles Problem in engen Terminplänen.

Bei der Fertigung ist in erster Linie die Aufspannung in der Maschine zu beachten. Fast alle komplex geformten Teile müssen zweimal aufgespannt werden, um von allen Seiten bearbeitet werden zu können. Spätestens bei der zweiten Aufspannung ist keine planare Auflagefläche mehr vorhanden, so dass Schablonen oder ähnliche Hilfsmittel verwendet werden müssen. Beim Bearbeiten treten darüberhinaus Schwingungen auf und beim Abspanen eines gekrümmten Rohlings kann sich dieser aufgrund der Restspannung verformen. Dies lässt sich hauptsächlich durch geschickt gewählte Bearbeitungspfade verhindern – ein weiterer Punkt, der eine automatische CAM-Schnittstelle für komplexe Elemente unwahrscheinlich macht.

3.4 Qualitätskontrolle

Die Kontrolle der Maßhaltigkeit stellt bei mehrfach gekrümmten Bauteilen eine enorme Herausforderung dar – sowohl bei der Aufspannung der Rohlinge als auch bei der Kontrolle der fertigen Elemente.

Für das Centre Pompidou in Metz wurden von Holzbau Amann Versuche mit Laserscannern durchgeführt, die aber nicht zu befriedigenden Ergebnissen führten bzw. sich schlecht in den Produktionsablauf einbinden ließen.

4 Zusammenfassung

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der Werkstoff Holz sich sehr gut für die Umsetzung komplexer Formen eignet – insbesondere, weil er sich durch die spanende Bearbeitung äußerst präzise und direkt inklusive aller Anschlussdetails formen lässt und weil er es ermöglicht, tatsächlich gekrümmte Bauteile zu erstellen, und sich nicht mit geraden Segmenten an die gewünschte Geometrie annähern zu müssen.

Herausforderungen liegen in der Durchgängigkeit der digitalen Produktionskette (die vor allem im Bereich CAD-CAE und CAD-CAM noch Lücken aufweist) und im generellen Umgang mit Veränderungen und neuen Abhängigkeiten im Bauprozess – von der immensen Wichtigkeit eines sauberen 3D-Modells und dem Austausch von 3D-Daten anstelle von 2D-Zeichnungen bis zur Verschiebung zeitlicher Abläufe wie der Bestellung von speziell angefertigtem Rohmaterial erst nach Abschluss der Segmentierung.

Der Holzbau jedenfalls ist für die Umsetzung komplexer Formen sehr gut aufgestellt.

Quellen / Referenzen

Centre Pompidou Metz

- Architektur: Shigeru Ban (www.shigerubanarchitects.com)
- Ausführung Holzbau: Holzbau Amann GmbH, Martin Pfundt (www.holzbau-amann.de)
- Beratung: Création Holz, Hermann Blumer (www.creation-holz.ch)
- Ingenieure: SJB Kempter-Fitze AG, Franz Tschümperlin (www.sjb.ch)
- Geometrie-Aufbereitung: iCapp (www.icapp.com)
- CAD-Tools: designtoproduction (www.designtoproduction.com)

Yeoju Golfclub Südkorea

- Architektur: Shigeru Ban (www.shigerubanarchitects.com)
- Ausführung Holzbau: Blumer-Lehmann AG (www.blumer-lehmann.ch)
- Beratung: Création Holz, Hermann Blumer (www.creation-holz.ch)
- Ingenieure: SJB Kempter-Fitze AG, Franz Tschümperlin (www.sjb.ch)
- Geometrie-Aufbereitung: iCapp (www.icapp.com)
- Einzelstück-Planung: designtoproduction (www.designtoproduction.com)

13.1 Planung
Konstruktiver Holzbau auf dem Weg vom Handwerk zum Industriellen Prozess

Anders Übelhack

1 Einleitung

Die Struktur des Holzbaus in Deutschland wandelt sich. Die Einführung der CAD / CAM Technologien mit den zugehörigen Abbundmaschinen in den 90er Jahren ermöglichen einerseits die Ausführung von Bauprojekten mit komplexen architektonischen Entwürfen in wirtschaftlichen Abläufen. Andererseits können auch kleinere Unternehmen größere Holzbauprojekte anbieten. Hierbei stellen jedoch viele Betriebe die Frage, ob große Investitionen in Maschinen und Fertigungstechnologie nicht zu große Risiken bergen.

Die Unternehmenswelt entwickelt sich dahin, dass immer mehr kleine Betriebe entstehen, so liegt die durchschnittliche Größe einer deutschen Zimmerei bei sechs Mitarbeitern und der Trend geht hin zu noch kleineren Strukturen.

Neue Materialien an Holzwerkstoffen und Technologien sowie der Markt erfordern eine stetige Qualitätssicherung mit Eigen- und Fremdüberwachung sowie Zertifizierungen.

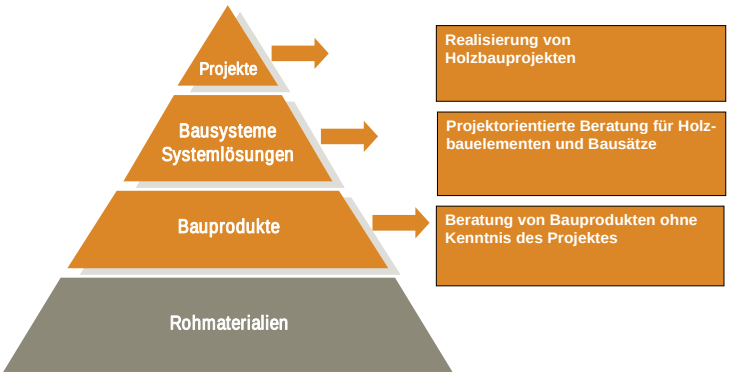


Abb. 1: Wertschöpfungspyramide Holzbau

Aus diesen Randbedingungen erwächst eine Zweiteilung der Holzbaubetriebe hin zu Unternehmen die industriell oder „halbindustriell“ Holzbauelemente herstellen, bei denen sich die anderen Zimmereien bedienen. Ähnliche Strukturwandlungen sind im Bereich von Fenster und Türen vollzogen.

Ein weiterer Aspekt liegt in der Notwendigkeit gegenüber Bauherren und Planern im Verkauf tätig sein zu müssen. In der „guten alten Zeit“, kam der Bauherr zum Handwerker und es war mehr die Frage, ob der Zimmerer die gewünschte Arbeit ausführen wollte bzw. zu welcher Zeit die Leistung möglich sei. Dies hat sich in den allermeisten Regionen Deutschland signifikant geändert, Kompetenz in der Kundenakquise ist für ein heutiges Holzbauunternehmen extrem wichtig geworden.

Zusätzliche Anforderungen entstehen aus dem hohen Informationsgrad der heutigen Bauherren durch das Internet. Alle diese immer mehr und schnelleren Informationen zu besitzen ist für Betriebe mit „einem Chef“ sehr schwierig bzw. unmöglich.

Die Entwicklung von individuellen Strategien für jeden einzelnen Betrieb unabdingbar, um zu sehen in welchen Bereichen man in Zukunft erfolgreich am Markt agieren kann.

Als ein Ergebnis der unterschiedlichen Strategien und der oben beschriebenen Zweiteilung der Betriebe gibt es eine Bandbreite an Herstellern, die Kunden vorgefertigte Elemente anbieten. In diesem Zusammenhang und mit dem Ziel mehr Holzbau zu generieren ist es nicht ausreichend lediglich Bauprodukte herzustellen sondern Lösungen für alle am Bau Beteiligten anzubieten.

Die Zwischenstufe zwischen Bauprodukten und Bauausführung lässt sich als Bausystem definieren und mit den sich daraus ergebenden Schnittstellen zwischen Bauherr, Planer, ausführendem Unternehmen vor Ort und Industrie in einer Wertschöpfungspyramide darstellen (Abb. 1).

2 Anforderungen der am Bau Beteiligten

Verschiedene Bereiche im Bauprozess beeinflussen bzw. fordern Bauprojekte mit unterschiedlichen Zielsetzungen.

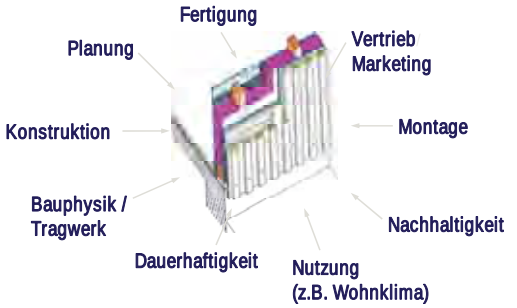


Abb. 2: Anforderungen an Bauprojekte

Anforderungen von Planern:
- freie, unkomplizierte Planung
- konstruktiv einfache Bauteilaufbauten und Detailplanung
- kürzeste Bauzeiten und exakte Bauerstellung
- einfache Ausschreibung und geringer Überwachungsaufwand
- Umfassende Beratung & Service, detaillierte Planungshilfen und Planung
- geprüfte Konstruktionen, DIN Anforderungen sind sicher zu erfüllen, kein Haftungsrisiko

Anforderungen von ausführenden Unternehmen:
- hohe Auftragswahrscheinlichkeit und Chance auf gute Rendite
- für die Ausführung von Projekten keine betrieblichen Investitionen in Maschinen
- erweiterte Kundenklientel, Möglichkeit neue, bisher nicht erreichbare Kunden zu akquirieren
- kurze Bauzeiten / schnelle Montage und exakte Erstellung
- einfachste Bauteilaufbauten Details, dadurch Reduzierung von Ausführungsrisiken

Als ein Beispiel sei hier die Vorgehensweise zur Erlangung des Brandschutzes bei der Erstellung von mehrgeschossigen Wohngebäuden genannt. Mit einem Brandschutzkonzept schafft man es die verschiedenen Anforderungen von Investor, Architekt, Tragwerksplaner, Baubehörde, Verarbeiter und Hersteller zusammen zu bringen und das Ziel einer wirtschaftlichen Baulösung zu erreichen (Abb. 3).

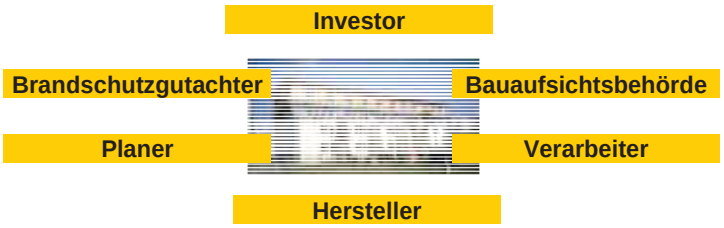


Abb. 3: Mitwirkende bei einem Brandschutzkonzept

3 Bausysteme

3.1 Netzwerke

Das Vorgehen durch ein mit allen Beteiligten abgestimmtes Brandschutzkonzept ein Projekt erfolgreich zu realisieren ist ein Beispiel für ein funktionierendes Netzwerk.

Durch die Vielzahl an Produkten und Materialien sowie den immer komplexeren Vorschriften und Normen ist es für Planer inzwischen nicht mehr möglich alle Belange des Bauens vollumfänglich zu beherrschen. Sie sind daher auf Informationen von Fachplanern und Fachfirmen angewiesen.

Diese Vorleistung von der ausführenden Seite zu erbringen ist für Zimmereien mit hohem Aufwand verbunden und kann in vielen Fällen nicht geleistet werden. Daher ist dies Aufgabe der Industrie als den Herstellern von Bausystemen.

3.2 Projektrealisierung mit Bausystemen

Der typische Ablauf in der Realisierung von Bauprojekten mit Bausystemen lässt sich wie folgt darstellen:

1) Projektidee von Architekt / Planer → Zusendung Planunterlagen 1:100

2) Beratung und Abstimmung der Anforderungen nach Gestaltung, Statik und Bauphysik
3) Konstruktionsvorschlag und Kostenschätzung seitens Bausystemhersteller
4) Beratung und Optimierung der Konstruktion
5) Ausschreibung an Zimmereien und Holzbaubetriebe
6) Ausführung von regionalen Firmen

4 Beispiele für Bausysteme

4.1 Bausystem Brettsperrholz

Brettsperrholz als großformatige Massivholzelemente mit Abmessungen 20 x 4,80 m in Dicken von 50 – 300 mm werden für Wand-, Decken- und Dachelemente im Wohnungs- und Nichtwohnungsbau verwendet.

Die Produktion der Elemente erfolgt meist projektbezogen in „Losgröße 1“, d.h. jedes Bauteil wird individuell angefertigt.

Für die Planung dieser Bauteile sind somit die Faktoren aller beteiligten Fachgebiete zu berücksichtigen (Abb. 4). Daraus ergibt sich eine sinnvolle Elementierung eines Gebäudes (Abb. 5)

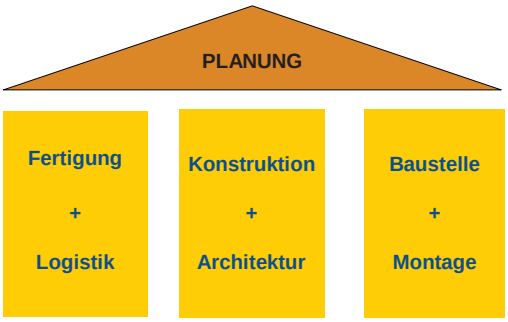


Abb. 4: Planungsfaktoren

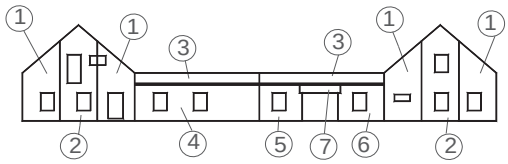


Abb. 5: Elementierung eines Einfamilienhauses in Brettsperrholz-Bauweise

Um letztendlich die Bauteile im benötigten Vorfertigungsgrad auf der Baustelle zu haben ist die Beherrschung des Datenflusses von der Werkplanung über die Einzelteilzeichnung bis hin zur Übergabe an die Abbundmaschine und die damit einhergehende Schnittstellenoptimierung wichtigstes Qualitätsmerkmal.

Die Elementeinzelteilzeichnung ist dabei zentrales Dokument (Abb. 6). In ihr werden alle benötigten Abbundarbeiten klar beschrieben und sie ist Grundlage für die Warenausgangskontrolle im Werk. Die Erstellung dieser Zeichnung kann vom Planer, vom ausführenden Holzbaubetrieb oder vom Bausystemhersteller erfolgen.

4.2 Bausystem Dachelemente Finnroof

Abbundzentren, die den Abbund von Dachstühlen für Zimmereien als Dienstleistung anbieten sind seit Jahren etabliert. Auch das Vorfertigen von Holzrahmenbau Elementen ist an vielen Stellen gängige Praxis.

Gerade bei hochgedämmten Außenbauteilen mit der Anforderung an hohe Luftdichtheit und guten Details ist die Vorfertigung ein wesentliches Qualitätsmerkmal. Insbesondere durch die notwendige exakte Überlegung im Vorfeld gelingt eine gute Bauausführung.

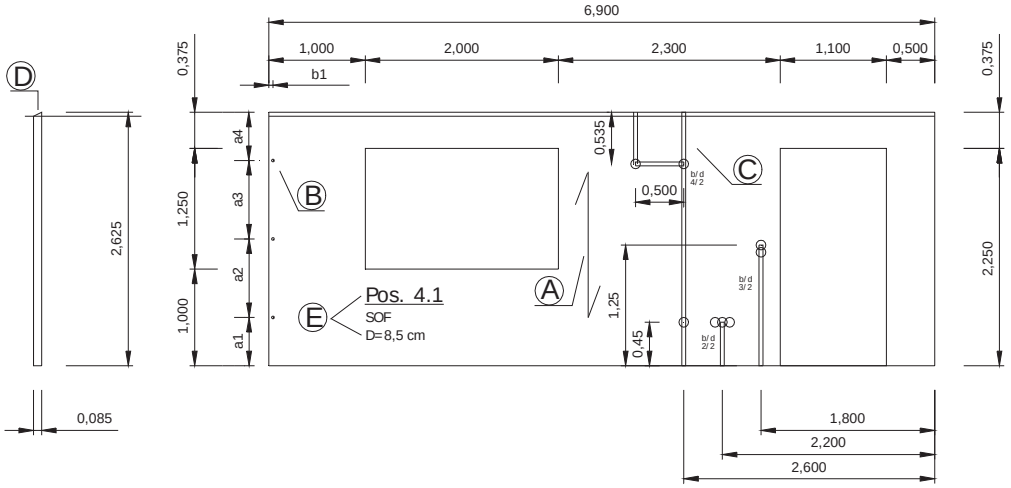


Abb. 6: Einzelteilzeichnung Brettsperrholz-Bauweise

Die Dachelemente werden in einem klar definierten Umfang in z.B. drei Stufen für kfw60, kfW40 und Passivhäuser angeboten.

Die industrielle Vorfertigung erfordert klare Definitionen aller Parameter und Randbedingungen. Hierzu dienen speziell ausgearbeitete Datenblätter:

FINNROOF DATENBLATT

1) Firmenadresse .....
2) Baustellenadresse .....
3) Dachaufbau .....
4) Profil .....
5) Grundriss .....
6) Traufe .....
7) Ortgang .....
9) Dachgaube Dachfläche 1 .....
10) Dachgaube Dachfläche 2 .....
11) Dachflächenfenster Dachfläche 1 .....
12) Dachflächenfenster Dachfläche 2 .....

Abb. 7: Datenblatt Abfrage Dachelemente

5 Ausblick

Häufiger Wunsch und Vorstellung von Seiten der Planer ist die sofortige Übergabe der Plandaten aus dem 3D Architekturmodell an die Abbundmaschine.

Die bisherige Erfahrung zeigt, dass dies im Allgemeinen aufgrund der notwendigen klar einzuhaltenden Eingaberegeln und den unterschiedlichen CAD-Standards nicht funktioniert. Im Rahmen von Netzwerken bei denen die Schnittstellen klar definiert sind, ergeben sich hingegen große Einsparpotentiale und damit wirtschaftliches Bauen.

Die Entstehung dieser Netzwerke zwischen Planeren, Ausführenden und Herstellern wird dazu führen, die Vorteile des Holzbaus mit der schnellen, präzisen und qualitativ hochwertiger Erstellung von Bauwerken hervorzuheben und Marktanteile gegenüber anderen Bauweisen zu gewinnen.

13.2 Holzbauweisen, Holzbausysteme
Holzbausysteme und Bauweisen

1 Typologie der Systeme

Bei einem Vergleich der aktuellen Holzbausysteme zeigt sich eine konstruktive Typologie, die von der stabförmigen Konstruktion bis zum massiven Querschnitt reicht. Betrachtet man zusätzlich noch die zeitliche Entwicklung vom Fachwerkbau zu den heute weit verbreiteten Bauweisen und -systemen, dann werden die einzelnen Entwicklungslinien erkennbar (Abb. 1).

Wichtigster Ausgangspunkt in der Entwicklung der Holzbausysteme ist der Fachwerkbau, welcher Anfang des 19.Jh. in Amerika zum „balloon frame“ und „platform frame“ weiterentwickelt wurde. Diese Bauweise wurde in den 80er Jahren wieder nach Deutschland „reimportiert“ und vom „Bund Deutscher Zimmerermeister“ an die deutschen Normen und Gesetzen angepasst, was schließlich zur Entwicklung des Holzrahmenbau führte, der heute den größten Anteil im Holzbau stellt. Auch der mehrgeschossige Holzrahmenbau hat sich inzwischen etabliert.

Eine größere Anzahl von Systemen basiert heute auf dem Prinzip des Holzrahmenbaus. Hersteller von Holzwerkstoffen, Dämmstoffen oder Trägersystemen bedienen sich dieser Bauweise und erweitern sie zum System.

Den größten Innovationsschub gibt es im Bereich der flächigen Systeme. Als solche bezeichnet man Holzbausysteme, bei denen die Abtragung der vertikalen Hauptlasten über eine flächige Bauteilkonstruktion verläuft. Flächige Holzbausysteme lassen sich nochmals in die Systeme mit zusammengesetzten Querschnitten und in die mit massiven Querschnitten unterteilen.

Die Systeme mit zusammengesetzten Querschnitten bestehen aus einem Grundelement, welches vielfach aneinandergereiht ein flächiges Bauteil ergibt. Das Bauteil ist dabei nicht massiv, sondern aus Holzquerschnitten so zusammengesetzt, dass sich Hohlräume für unterschiedliche Funktionen ergeben. Die Systeme mit massiven Querschnitten bestehen meist aus Flächen bildenden, tragenden Massivholz-Elementen die entweder in Längs- oder in Querrichtung des Bauteils aus gestapelten Brettern, Bohlen oder Kanthölzern zusammengesetzt sind.

Unterschieden werden können sie nochmals durch ihre Bauweise und die verwendeten Verbindungsmittel. Sind die Bretterstapel in Längsrichtung des Bauteils aneinandergereiht, bezeichnet man sie als Lamellen. Erfolgt die Verbindung

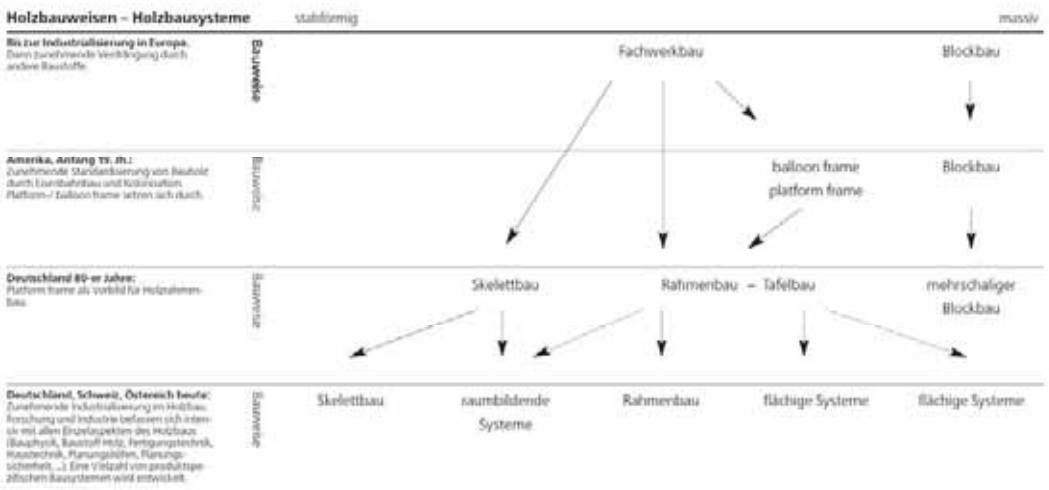


Abb. 1: Typologische Entwicklung der Holzbauweisen und Systeme [1]

der Lamellen durch Kleben, Nageln oder Verdübeln der Querschnitte, so spricht man von Brettstapel- oder Dübelholzelementen. Sind die Bretter in Querrichtung verschränkt liegend gestapelt und kraftschlüssig miteinander verbunden, bezeichnet man sie als Brettlagen (Brettlagenbauweise). Erfolgt die Verbindung der Brettlagen durch Verkleben der Bretter zu massiven Querschnitten, so spricht man von Brettsperrholzelementen. Aufgrund der Sperrwirkung durch die Verklebung sind sie sehr formstabil und haben bei kreuzweise miteinander verklebten Holzprofilen eine zweiachsige Lastabtragung.

Die „raumbildenden Systeme" basieren konstruktiv hauptsächlich auf dem Skelettbau und dem Holzrahmenbau. Die Besonderheit liegt hier in dem besonders hohen Grad der Vorfertigung.

Als stabförmige Systeme bezeichnet man Holzbausysteme, bei denen die Abtragung der Hauptlasten über eine Stabkonstruktion erfolgt. Das stabförmige Holzbausystem kann beispielsweise nur aus einer reinen Skelettkonstruktion bestehen aber auch, aus dem klassischen Holzrahmenbau kommend, zusammengesetzt sein aus einer Rahmenkonstruktion mit tragenden Stäben und aussteifenden Scheiben. Stabförmige Systeme unterscheiden sich besonders in der jeweiligen Art der Herstellung. Im Bereich des reinen Skelettbaues finden sich derzeit nur eine geringe Anzahl von Anbietern. Der Holzrahmenbau ist aus gestalterischer Sicht ein völlig offenes System, so lange das vorgegebene Konstruktionsraster der Wände und Decken eingehalten wird. Ein Zwang zu einem bestimmten Raster besteht grundsätzlich nicht, ist jedoch unter anderem aus wirtschaftlichen Gründen zur Verschnittoptimierung empfehlenswert. In Kombination mit dem Skelettbau bieten sich zudem vielfältige Möglichkeiten um z.B. großflächige Verglasungen oder stützenfreie Bereiche zu realisieren.

2 Tragwerk

Die Systemanbieter stellen die erforderlichen Unterlagen wie Zulassungen, Prüfzeugnisse, Bemessungstabellen etc. zur Verfügung. Bei zugelassenen Systemen sind die Anwendungsgrenzen und -voraussetzungen aus der Zulassung und den Prüfzeugnissen genau zu beachten.

Man unterscheidet zwischen den direkten Einwirkungen (auf das Tragwerk wirkende Kräfte und Lasten wie ständige Lasten, Verkehr, Schnee und Wind), sowie den indirekten Lasten (durch aufgezwungene oder behinderte Verformungen oder Bewegungen, die z.B. von Temperatur- und Feuchteänderungen, ungleiche Setzungen oder Erdbeben verursacht werden). Das durch eine sich verändernde Ausgleichsfeuchte verursachte Quellen und Schwinden des Holzes bzw. der Holzwerkstoffe ist bei diesen Einwirkungen besonders zu beachten. Die Zulassungen der Systeme beschränken die Anwendung häufig auf die vorwiegend ruhenden Lasten, was für die meisten Gebäudetypen ausreichend ist. Die Lasten werden nach den entsprechenden Normen (z.B. DIN 1055) ermittelt.

Hinsichtlich der Lastabtragung für vertikale und horizontale Beanspruchungen werden die stabförmigen und flächigen Systeme unterschieden. Letztere gliedern sich wiederum in einachsig und zweiachsig spannende Bauteile. In aller Regel erfolgt eine einachsige Lastabtragung der Decken und bei Wänden mit Ständern eine punktuelle Lastabtragung.

Holzrahmenbauelemente werden als Verbundquerschnitte ausgeführt. Sie bestehen aus vertikalen Ständern und horizontalen Riegeln z.B. aus KVH, die ein- oder beidseitig z.B. mit Holzwerkstoffplatten beplankt sind. Die Beplankung wird umlaufend durch Verbindungsmittel mit dem Rahmen verbunden und so gegen Beulen gesichert. Andererseits verhindert die Beplankung

selbst ein Ausknicken der Ständer. Meist werden die Wanddicken vom gewünschten Dämmstandard vorgegeben. Maßgebend für die Bemessung der Bauteile ist u.a. die Querpressung der unteren Schwellenlage. Größere Beanspruchungen werden über Unterzüge und Stützen aus Brettschichtholz abgetragen. Die Aussteifung der Gebäude erfolgt über die Wandscheiben und daran schubfest angeschlossene Deckentafeln.

Die Anordnung der Bauteile und die Konstruktionsdetails sind nicht nur für die Gebäudeaussteifung sondern auch für eine erdbebensichere Konstruktion von Bedeutung. Allen Holzbauten und damit auch den Systemen gemein ist die Notwendigkeit, die Verankerung der Konstruktion auf der Unterkonstruktion genau zu planen und vor Ort zu kontrollieren. Manche Deckensysteme, insbesondere der massiven Flächensysteme, können gegenüber den üblichen Holzbalkendecken schwingungsanfälliger sein, da der Zuwachs an Steifigkeit größer als die Zunahme der Masse ist. Aus diesem Grund müssen beim Nachweis der Gebrauchstauglichkeit neben den Durchbiegungskriterien auch die Schwingungskriterien berücksichtigt werden. Die Neufassung der DIN 1052 empfiehlt daher (wie auch einige Systemhersteller) eine schärfere Beschränkung der Durchbiegung.

3 Verbindungsmittel

Den Verbindungsmitteln kommt eine besondere Bedeutung zu, da mit ihnen im optimalen Fall vor Ort mit wenigen Handgriffen dauerhafte Verbindungen herzustellen sind. Die verwendeten Verbindungen und Verbindungsmittel müssen – wie Werkstoffe und Systeme – genormt oder durch Zulassung, Prüfzeugnis oder Zustimmung im Einzelfall geregelt sein. Die Mehrheit der nicht durch eine Norm abgesicherten Verbindungsmittel besitzt eine bauaufsichtliche Zulassung (BAZ). Nicht alle Verbindungsmittel sind bei allen Systemen zugelassen. Häufig findet man Beschränkungen hinsichtlich der Verbindungsmittel, z.B. bei den Dübeln besonderer Bauart auf den Dübel Typ A mit Nennung abweichender Tragfähigkeiten, Mindestbauteildicken und Randabständen. Teilweise sind aber auch Erweiterungen aufgeführt z.B. Verwendung von Nägeln, Schrauben und Klammern in den Schmalseiten von HWS, jedoch mit veränderten Abständen untereinander und zum belasteten Rand. Da bei einigen Systemen mit den „gängigen“ Verbindungsmitteln kein Anschluss bzw. nur schwer oder umständlich möglich ist, wurden spezielle Verbindungsmittel und Formteile für die Anschlüsse entwickelt und zur Marktreife geführt.

Bei den Leimverbindungen wird zwischen tragenden und nichttragenden Verbindungen unterschieden. Ihre Eignung und Befähigung müssen die Hersteller der Holzbausysteme durch eine sogenannte „Bescheinigung für den Nachweis der Eignung zum Kleben von tragenden Holzbauteilen“ (Leimgenehmigung) nachweisen. In den allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen der Produkte wird der geforderte Bescheinigungstyp explizit genannt. (z.B. Bescheinigung A, B oder C, und Zertifikat einer anerkannten Stelle.) Der Klebstoff darf als geeignet angesehen werden, wenn es sich um ein geregeltes Bauprodukt nach DIN EN 301:1992-08 und DIN 68141 handelt. Ist dies nicht der Fall, ist der Nachweis der Eignung des Klebstoffs für den vorgesehenen Anwendungsbereich z.B. über eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung zu erbringen. Eine Liste der nach DIN 68141 geprüften Leime wird bei der Forschungs- und Materialprüfanstalt Baden-Württemberg (FMPA BW), Stuttgart, geführt.

4 Bauphysik

Alle Bauweisen und –systeme müssen den verschiedenen Anforderungen an Wärme- und Feuchteschutz, Schallschutz, Brandschutz und Holzschutz gerecht werden und lassen sich nur im gegenseitigen Abgleich optimieren.

4.1 Wärme- und Feuchteschutz

Ein sehr guter Wärmeschutz ist inzwischen selbstverständlich geworden. Ein KFW40 Haus oder Passivhaus- Standard können durch moderne Holzgebäude problemlos erfüllt werden. Insbesondere der Holzrahmenbau, der auf dem Prinzip der Kombination von Trag- und Dämmfunktion beruht, hat den Vorteil, dass der Anteil des Wandvolumens, das mit Wärmedämmung gefüllt werden kann, vergleichsweise hoch ist. Durch die Vergrößerung der Dämmstoffdicken, (z.B. durch eine zusätzliche, gedämmte Installationsebene oder auf die äußere Beplankung angebrachten Holzweichfaserplatten) ist Niedrigenergie bis Passivhaus-Standard mit U-Werten ≤ 0,1 W/m^2K problemlos erreichbar. Zusätzlich kann eine außen liegende Dämmebene die Wärmeverluste im Bereich der Ständer reduzieren und für eine weitere Verbesserung der Dämmung sorgen. Auch die Anwendung von Regeldetails mit berechneten Wärmebrücken der einzelnen Systemhersteller vereinfacht die Planung und Ausführung nach der geltenden Norm.

Voraussetzung für einen guten Wärme- und Feuchteschutz ist eine luftdichte Gebäudehülle, d.h. Luftwechselraten von $n_{L,50} \leq 0,5\ h^{-1}$ (nachgewiesen durch einen Blower-Door-Test), um den Feuchteeintrag in die Konstruktion durch Warmluftströmungen von innen nach außen zu verhindern, der durch Kondensation innerhalb der Wand zu schweren Schäden führen kann. Um Schäden durch unzulässige Feuchten im Bauteil weitestgehend zu verhindern, sollte zudem auf eine möglichst diffusionsoffene Bauweise geachtet werden, um so eine sommerliche Rücktrocknung des Bauteils zu ermöglichen: „So diffusionsdicht wie nötig, so offen wie möglich!“

Im Holzrahmenbau wird üblicherweise auf der Wandinnenseite eine durchgehende Luftdichtheitsschicht aus Folien, Pappen bzw. Papieren angeordnet. Die Anschlüsse an die angrenzenden Bauteile werden dann durch Überlappen und Verkleben der Stöße luftdicht ausgebildet. Alternativ kann auch durch die Beplankung mit Plattenwerkstoffen mit luftdicht verklebten Stößen und Anschlussfugen die luftdichte Ebene ausgebildet werden. Um die innenseitige Luftdichtheitsschicht nicht durch dahinter verlegte Installationen zu beschädigen, ist die Anordnung einer Installationsebene sinnvoll.

Die Winddichtheit auf der Außenseite wird vergleichbar mit der inneren luftdichten Ebene, durch Folien, Pappen bzw. Papieren oder luftdicht verklebten Plattenwerkstoffen ausgeführt.

Bei massiven Systemen erfüllt oftmals bereits die Tragstruktur gleichzeitig auch die Funktion einer luft- und einer winddichten Ebene. Insbesondere die Anschlussdetails sind jedoch auf ihre Luftdichtheit zu prüfen.

Auch wenn Holzbauteile vor direktem Feuchteeinfluss geschützt sind, stellen sich infolge der jeweiligen Klimarandbedingungen unterschiedliche Ausgleichsfeuchten in den Bauteilen ein. Diese beeinflussen die Beanspruchbarkeiten und die Dauerhaftigkeit der Konstruktionen. Daher wurden in den neuen europäischen und deutschen Normen Nutzungsklassen (NKL) eingeführt:

- NKL 1 – 20°C, rel. LF 65 %
- NKL 2 – 20°C, rel. LF 85% (überdachtes, offenes Bauwerk)
- NKL 3 – Klima führt zu höheren Feuchtegehalten als in NKL 2, z.B. bei direkt bewitterten Konstruktionen.

Die Eignung der Systeme für die jeweilige Nutzungsklasse muss geprüft werden.

4.2 Schallschutz

Der Schallschutz von Holzbausystemen kann durch die Wahl geeigneter Bauteilaufbauten und Detailausbildungen ein hohes Niveau erreichen und dabei viele andere Bauweisen qualitativ über-

treffen. Die Anforderungen sind in DIN 4109: „Schallschutz im Hochbau“ enthalten.

Der Holzrahmenbau nutzt das Prinzip der Mehrschaligkeit, das durch den vielschichtigen Aufbau mit verschiedenen Beplankungen, Aufbauten, abgehängten Unterdecken usw. gegeben ist. Durch die Kombination mit Dämmstoffen im Hohlraum und den Beplankungsstoffen mit unterschiedlicher Masse lassen sich die jeweiligen Schallschutzanforderungen erfüllen. Ein guter Schallschutz wird auch durch eine sorgfältige Konstruktion und Ausführung der Anschlüsse z.B. Wand- Deckenanschluss erreicht. Um eine Weiterleitung des Schalls über Nebenwege zu verhindern, müssen alle Anschlüsse schallentkoppelt ausgebildet werden.

Um den Schallschutz von Wänden und Decken zu verbessern, besteht zudem die Möglichkeit, Plattenwerkstoffe auf spezielle Federschienen zu montieren. Zur Erfüllung der Schallschutzanforderungen stehen eine Vielzahl geprüfter Dach-, Wand- und Deckenaufbauten in etlichen Fachpublikationen zur Verfügung. Je nach gewähltem Bauteilaufbau sind die Schallschutzanforderungen im Wohnungsbau bis hin zu erhöhtem Schallschutz (DIN 4109) erfüllbar.

4.3 Holzschutz

Der wesentlichste Bestandteil ist ein ausreichender Feuchteschutz, der i.d.R. durch konstruktive Maßnahmen sichergestellt wird. Die Normenreihe der DIN 68 800 „Holzschutz“ stellt daher den baulich konstruktiven Holzschutz über den chemisch vorbeugenden Holzschutz. Bei ausreichenden baulichen Maßnahmen werden die Bauteile in die Gefährdungsklasse GK 0 eingeordnet und benötigen damit keinen vorbeugenden chemischen Holzschutz. Bei konsequenter Befolgung des baulichen Holzschutzes nach DIN 68 800-2 und Verwendung von trockenem Bauholz kann i.d.R. auf einen vorbeugenden chemischen Holzschutz verzichtet werden.

4.4 Brandschutz

Der Brandschutz ist der einzige Schutzbereich, für den die Bauordnungen der Länder neben den allgemeinen Forderungen des § 17 der Bauordnungen detaillierte Anforderungen, z.B. für die Brennbarkeit der Baustoffe und den Feuerwiderstand der Bauteile, stellen. Im Holzbau können die Anforderungen durch Beplankungen mit Holz- oder Gipswerkstoffen oder durch eine Brandschutzbemessung der stabförmigen Bauteile erfüllt werden. Die Nachweise werden nach DIN 4102-4, entsprechend Prüfzeugnissen oder nach Eurocode 5, Teil 1-2 geführt.

Abweichend davon gibt es zudem die Möglichkeit, durch die Erstellung eines Brandschutzkonzeptes die Anforderungen zu erfüllen. Dieses Konzept wird individuell auf die Anforderungen des Gebäudes abgestimmt und muss von der zuständigen Genehmigungsbehörde zur Durchführung genehmigt werden. Solche Konzepte sind Lösungsmöglichkeiten, um von der LBO und ihren dazugehörigen Vorschriften abzuweichen und dennoch die Forderungen des § 17 MBO zu erfüllen. Insbesondere für den Holzbau ergeben sich dadurch Potentiale, auch größere Projekte in Holz zu realisieren.

Literatur

[1] holzbau handbuch, Reihe 1, Teil 1, Folge 4, „Holzbausysteme“, DGfH (2000)

13.2 Holzbauweisen, Holzbausysteme
Mischbauweise

Ludger Dederich

1 Einleitung

Beim Bauen werden seit Jahrtausenden aus ästhetischen wie technischen Gründen die unterschiedlichsten Materialien aufgrund ihrer spezifischen Eigenschaften kombiniert. Holz als einem der gebräuchlichsten Baustoffe kommt dabei – neben Lehm - immer eine wichtige Rolle zu. Anfangs gab es eher ein „Nebeneinander“, wenn etwa Wände aus Stein und Decken sowie Dächer aus Holz hergestellt werden. In der Folge wurde es immer häufiger ein „Miteinander“ unterschiedlicher Materialien innerhalb eines Bauteils wie beispielsweise beim Holz-Beton-Verbund.

Abb. 1: Fachwerkwandkonstruktion, Foto: HAF

Grundsätzlich steht dabei im Vordergrund, verschiedene Materialien mit unterschiedlichen Eigenschaften so zu kombinieren, dass die jeweiligen Stärken genutzt und entsprechende Schwächen ausgeglichen werden. Die Eigenschaften ergänzen sich und bieten bei guter Planung funktionale, konstruktive sowie ökonomische Vorteile. Dies gilt sowohl für Bau- oder Gebäudeteile wie für Verbundbauteile. Im Zuge dieser differenzierten Betrachtung werden die traditionellen Baustoffe der Menschheit wieder und offensiv miteinander kombiniert.

Mischbauweisen als Kombination von tragenden oder nicht tragenden Bauteilen aus Holz oder Holzwerkstoffen mit solchen aus mineralischen

Abb. 2: Kapelle der Versöhnung Berlin, Foto: HAF

Abb. 3: Neubau Seminargebäude Stift Ehreshoven, Foto: HAF

oder metallischen Materialien sind in unterschiedlichsten Formen möglich. Die häufigste Form, eine Kombination von Bauteilen aus mineralischen Baustoffen mit nichttragenden Elementen in Holzbauweise wird anschließend behandelt. Den Holzbauteilen kommt dabei im Wesentlichen die Funktion des Raumabschlusses nach außen zu,

während Baustoffe wie Mauerwerk, Beton oder Stahl als Wände, Decken und Stützen tragende und aussteifende Funktionen im Inneren des Gebäudes übernehmen. Diese Art der Aufgabenteilung ist bei Wohn- und Verwaltungsgebäuden bislang am häufigsten umgesetzt und birgt für die zukünftige Holzverwendung im Bauwesen ein nicht unwesentliches Potential, da an dieser Stelle von Gebäuden unmittelbar abweichend von der bislang vorherrschenden Praxis andere Bauweisen substituiert werden können.

Daneben wird noch in aller Kürze auf das Prinzip der Aufstockung eingegangen, da in diesem Zusammenhang zusätzlich zu rein technischen Aspekten noch städtebauliche zu einer Entscheidung für die Umsetzung von Vorhaben in Mischbauweise sprechen.

2 Entwicklung in Deutschland

Seit den 1970er Jahren wurden die Anforderungen an die thermische Qualität von Gebäuden – zunächst nur von Neubauten – deutlich erhöht. Die Wärmeschutzverordnung von 1977 wurde 1984 und nochmals 1995 mit deutlich verschärften Anforderungen an den Wärmeschutz der Gebäude-Außenhaut novelliert. Gleichzeitig setzen Bestrebungen ein, in so genannten Niedrigenergiehäusern einen gegenüber diesen Anforderungen noch weit verbesserten Wärmeschutzstandard insbesondere der Gebäudehülle zu realisieren – bis hin zum Passivhaus. Die Energieeinsparverordnungen der Jahre 2002 und 2007 erhöhten die Anforderungen gegenüber den vorangegangenen Wärmeschutzverordnungen nochmals, bis hin oberhalb von dem Niveau, das bis dahin als Niedrigenergiestandard bezeichnet worden war.

Die immer weiter verschärften Anforderungen an den Wärmeschutz der Gebäudehülle führten dazu, dass viele der bis dahin üblichen Bauweisen von Außenwandkonstruktionen den Anforderungen nicht mehr entsprechen. Ein angemessener Wärmeschutz mit reduzierten Wärmebrücken ist teilweise technisch nur noch schwer herstellbar. Hierin gründet ein wichtiger Grund dafür, dass sich Planer in den letzten Jahren vermehrt mit Mischbauweisen und ganz besonders mit dem Holzbau auseinander setzten, der einen optimalen Wärmeschutz im Hinblick auf die Gebäudehülle gewährleisten kann, zudem technisch und ökonomisch günstig zu realisieren ist. Letzteres vor allem aufgrund des Umstandes, dass Außenbauteile in Holzbauweise gegenüber Bauteilen in Massivbauweise weniger dick sein können um den gleichen wärmeschutztechnischen Anforderungen zu genügen. Zudem sind Holzbauteile leichter, was sich insbesondere bei ungünstigen Baugrundverhältnissen, aber ebenso im Zusammenhang mit der Montage positiv auf das Gesamtvorhaben auswirkt.

Inzwischen sind Projekte in Mischbauweise als Wohn- und Verwaltungsbauten sowie Schulen erfolgreich realisiert worden. Sie dienen als Referenzen nicht nur in Hinblick auf hohe bauphysikalische Qualität, sondern auch auf ansprechende Architektur, rationelle Herstellung und wirtschaftlichen Betrieb. Dabei geht es nicht nur um die Kombination von Außenbauteilen in Holzbauweise mit massiven Tragstrukturen, sondern ebenso um Mischbauweisen, bei welchen die tragende Struktur aus Stahl- und aus Holzbauteilen besteht.

Abb. 4: Umweltbundesamt Dessau

3 Einsatzpotenziale

Die Kombination leichter, hochwärmegedämmter Außenwände mit speicherfähigen Innenwandkonstruktionen und Decken ist aus bauphysikalischer Sicht nahezu ideal. Die Außenwandkonstruktionen übernimmt die wärmeschutztechnische Funktion bei nahezu vollständiger Freiheit von Wärmebrücken, die mit vergleichsweise geringem Aufwand bis zum Passivhausstandard geführt werden kann. Die Innenbauteile aus Beton oder Mauerwerk bedingen die Wärmespeicherung, die zu einem optimierten Raumklima beiträgt. Diese bauphysikalische Argumentation wird besonders bei den in der Schweiz realisierten Projekten betont.

Holzbauteile - hier primär für die Gebäudehülle betrachtet - aber auch Innenwände und Decken unterschiedlicher Konstruktion, erlauben einen sehr hohen Grad industrieller Vorfertigung, die bis zur Montage oberflächenfertiger und komplett vorinstallierter Bauteile reicht. Damit kann der Maßgabe kurzer Bauzeiten mit den daraus resultierenden wirtschaftlichen Vorteilen entsprochen werden.

In den Niederlanden wird z.B. bei der Errichtung von ein- bis dreigeschossigen Reihenhäusern die Mischbauweise in der Form eingesetzt, als dass das Kellergeschoss und die Gebäudeabschlusswände aus Mauerwerk und / oder Beton, die übrigen Bauteile jedoch in Holzbauweise errichtet werden. Die Geschossdecken können alternativ als Massivholzbauteile, Holz-Beton-Verbunddecken oder konventionelle Balkendecken hergestellt werden. Da die Umsetzungsquote dieses Konzeptes in Deutschland gering ist, liegen hier Marktchancen angesichts der bauphysikalischen und herstellungstechnischen, damit letztendlich bauzeitrelevanten Vorteile [1].

Beim Geschosswohnungsbau kommt zusätzlich zum Wärmeschutz dem Schallschutz Bedeutung zu. Das macht den Einsatz von Stahlbetondecken, tragenden und aussteifenden Innenwandkonstruktionen aus Mauerwerk und / oder Beton sinnvoll. Holz-Beton-Verbundbauteile werden bislang in nur geringem Umfang eingesetzt, was angesichts konstruktiver, herstellungstechnischer und bauphysikalischer Vorteile darauf zurückzuführen ist, dass es sich um eine relativ neue und weitgehend unbekannte Bauweise handelt.

Abb. 5: Vorbereitung für den Ortbeton einer Holz-Beton-Verbunddeckenkonstruktion
Foto: HAF

Bereits deutlich mehr als 60 % der Projekte in Deutschland sind dem Bauen im Bestand zuzuordnen. Dieses Segment weist als einziges ein wachsendes Auftragsvolumen auf. Modernisierung, Erweiterung, Umnutzung oder auch Aufstockung und Nachverdichtung vorhandener Bausubstanz gewinnen wieder an Bedeutung – insbesondere, aber nicht nur an Gebäuden aus den 1960er und 1970er Jahren. Auch hier ist es möglich und sinnvoll, durch den Einsatz der Mischbauweise auf wirtschaftliche und nachhaltige Art die Gebäude in hoher Qualität dem heutigen Standard anzupassen oder auch, sie noch darüber hinaus zu qualifizieren. Das kann dadurch geschehen, dass ohnehin nicht tragende Außenwände demontiert und durch Holztafeln ersetzt werden. Es sind aber auch Aufstockungen und Anbauten in Mischbauweise möglich, sogar der Einsatz hochwärmegedämmter Holzelemente vor einer vorhandenen Außenwand.

4 Formen der Mischbauweise

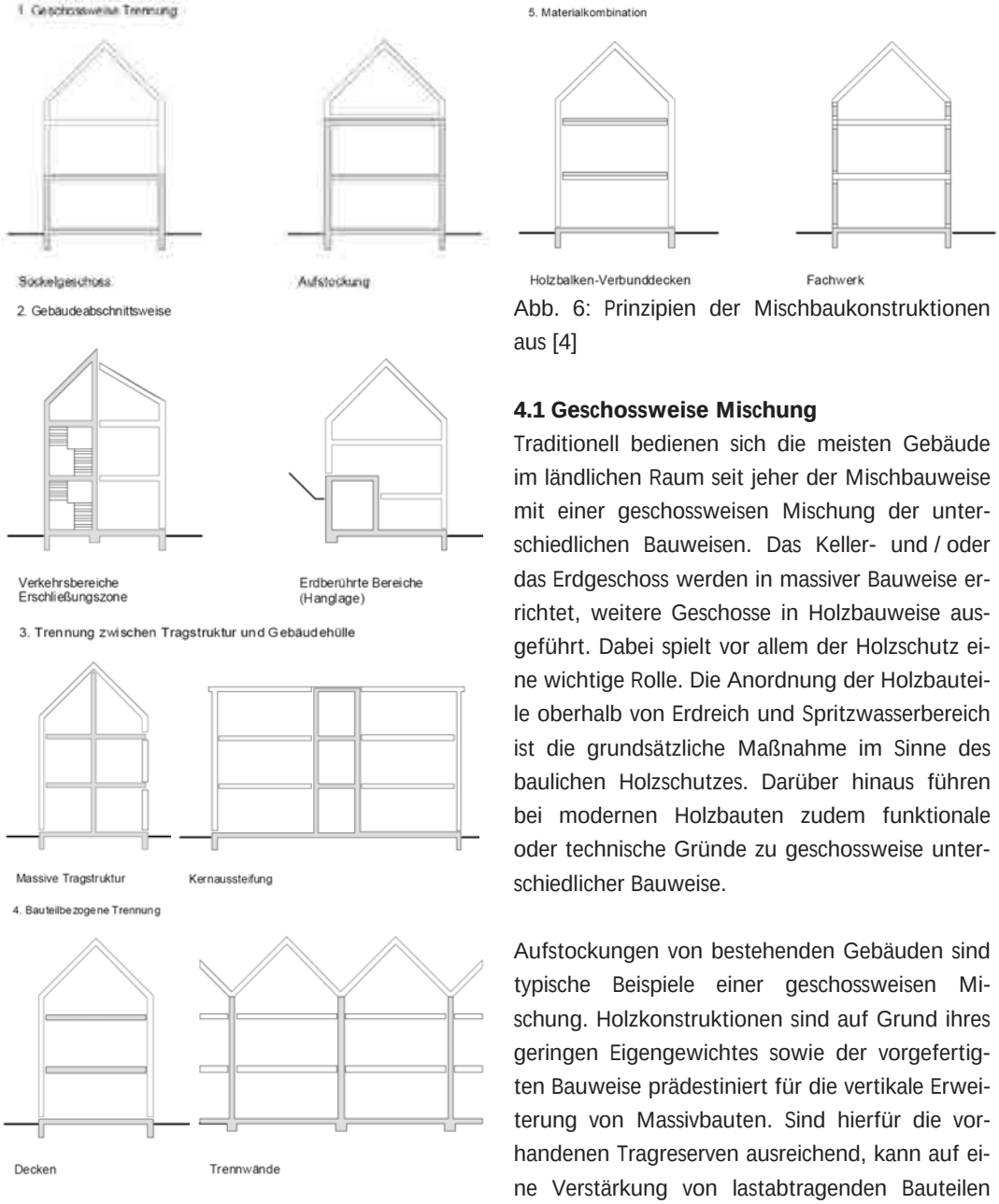


Abb. 6: Prinzipien der Mischbaukonstruktionen aus [4]

4.1 Geschossweise Mischung

Traditionell bedienen sich die meisten Gebäude im ländlichen Raum seit jeher der Mischbauweise mit einer geschossweisen Mischung der unterschiedlichen Bauweisen. Das Keller- und / oder das Erdgeschoss werden in massiver Bauweise errichtet, weitere Geschosse in Holzbauweise ausgeführt. Dabei spielt vor allem der Holzschutz eine wichtige Rolle. Die Anordnung der Holzbauteile oberhalb von Erdreich und Spritzwasserbereich ist die grundsätzliche Maßnahme im Sinne des baulichen Holzschutzes. Darüber hinaus führen bei modernen Holzbauten zudem funktionale oder technische Gründe zu geschossweise unterschiedlicher Bauweise.

Aufstockungen von bestehenden Gebäuden sind typische Beispiele einer geschossweisen Mischung. Holzkonstruktionen sind auf Grund ihres geringen Eigengewichtes sowie der vorgefertigten Bauweise prädestiniert für die vertikale Erweiterung von Massivbauten. Sind hierfür die vorhandenen Tragreserven ausreichend, kann auf eine Verstärkung von lastabtragenden Bauteilen wie Stützen, Wänden oder Fundamenten verzichtet werden. Weit gespannte, massive Holzkonstruktionen können bei nicht tragfähigen Dachdecken die Lasten auf die tragfähigen Außenwände ableiten.

Abb. 7: Aufstockung Siemens-Siedlung in Erlangen

Abb. 8: Waldhäuser in Berlin: Treppenhaus als mineralischer Kern, Foto: HAF

4.2 Sektionale Mischung

Gebäudeabschnitte oder -teile können aus funktionalen, gestalterischen oder konstruktiv bedingten Gründen mit unterschiedlichen Bauweisen realisiert werden. Es ergeben sich Mischbauten mit vertikaler, horizontaler oder sektionaler Gliederung. Unterscheiden muss man zudem noch in entkoppelte und nicht entkoppelte Konstruktionen. Gebäudeteile aus jeweils unabhängigen Tragsystemen sind hinsichtlich Bauteilverhalten anders zu bewerten als gekoppelte Tragsysteme.

Horizontale Gebäudeerweiterungen durch Anbauten mit Holzkonstruktionen an bestehende massive Bauten sind typische Beispiele. Auch konstruktive Aspekte wie eine vertikale Gliederung des Gebäudes z.B. bei einer starken Hanglage führen zu einer sektionalen Mischung. Eine weitere Variante stellt die Kombination von tragenden, hölzernen Gebäudeteilen mit massiven Kernkonstruktionen, welche zur Gebäudeaussteifung herangezogen werden können, dar.

4.3 Trennung zwischen Tragstruktur und Gebäudehülle

In mehrgeschossigen Konstruktionen der Mischbauweise ist die Mischung von mineralischer Tragstruktur mit tragender / aussteifender Funktion und einer nichttragenden Gebäudehülle sinnvoll – und zur Zeit in größerem Maßstab erprobt als reine mehrgeschossige Holzbauten. Umgesetzt werden kann diese Bauweise bei Skelettkonstruktionen sowie der Schottenbauweise aus Stahl oder Stahlbeton in Kombination mit Außenwandkonstruktionen in Holzbauweise.

Die Trennung von Tragstruktur und Gebäudehülle ermöglicht bei der Gestaltung ein Höchstmaß an Gestaltungsfreiheit (Loch-, Bandfassade o.ä.).

Neben der vertikalen Lastabtragung zwischen den Geschossdecken ist auch die waagerechte Anordnung von Holzbauelementen möglich. Die vorgefertigten Wandelemente spannen horizontal und tragen ihre Last als Einfeld- oder Mehrfeldsysteme in Wandschotten oder Stützen ab. Die Anordnung bzw. Lastabtragung der Konstruktion für die Gebäudehülle kann wie folgt ausgeführt werden:

- Vorgestellte Außenwand:
  durchgängige Anordnung der Elemente (vorgestellt oder vorgehängt) vor der Tragstruktur;

die Lastabtragung erfolgt entweder über eine eigene Gründung oder über eine geschossweise angeordnete Abfangkonstruktionen.

- Eingestellte Außenwand:
  durchlaufende Fassade mit Anordnung einzelner Elemente an der Außenkante der Tragstruktur bzw. in der Ebene der Stützen und Riegel einer Skelettkonstruktion;
  die Lastabtragung erfolgt direkt auf die Ränder der Deckenkonstruktion oder vertikal über die Schotten.
- Zwischengestellte Außenwandelemente:
  Geschossweise Anordnung der Elemente hinter die Außenkante der Tragstruktur;
  die Lastabtragung erfolgt direkt in die Deckenkonstruktion.

Abb. 9: Vorgestellte Außenwand am Beispiel Neue Burse in Wuppertal, Foto: HAF

4.4 Mischung von Bauteilen

Bei einer bauteilbezogenen Mischbauweise können unterschiedliche Bauteile z.B. Wände, Dächer und Decken aus Holz-, Stahl-, Beton- oder Mauerwerkskonstruktionen bestehen und im Gebäude je nach Anforderungsprofil unterschiedlich angeordnet sein. Dabei sind Holzbauten mit Stahlbetondecken durchaus üblich. Hinsichtlich von Brandwänden ist die Ausführung dieser in mineralischer Bauweise bislang noch üblich. Diese Brandwände unterteilen die Holzkonstruktionen in mehrere Brandabschnitte und können je nach Ausführung zudem Funktionen der Aussteifung und Schalltrennung übernehmen. Eine übliche Mischung der Bauteile ist die Kombination von Mauerwerk- oder Stahlbetonbauten mit hölzernen Dachtragwerken.

4.5 Verbundbauteile

4.5.1 Materialkombination in einem Bauteil bei losem Materialverbund

Die Mischbauweise im Bereich eines Bauteiles erfolgt durch Kombination verschiedener Materialien. Bei historischen Bauwerken erfolgte dies sowohl in Abhängigkeit der lokalen Rohstoffversorgung als auch auf Grund der damals regional typischen Konstruktionsweise von Holztragwerken. Als traditionelle Mischbauweise in diesem Sinne kann der historische Fachwerkbau sowie die Ausführung von Holzdecken mit mineralischer Schüttung betrachtet werden. Durch die Kombination der Baustoffe wird in der Regel eine Verbesserung der bauphysikalischen Eigenschaften des Gesamtbauteils angestrebt.

4.5.2 Kompositbauteile mit statisch wirksamem Verbund

Im Sinne der Definition sind hybride Verbunddecken aus Holz mit mineralischen Deckschichten als Beispiel zu nennen. Die Kombination der Baustoffe ergibt eine deutliche Leistungssteigerung des Gesamtbauteils gegenüber den Einzelkomponenten.

Im Bereich der flächigen Holzdeckenkonstruktionen wie z.B. Brettstapelelemente bietet sich durch das Aufbringen einer im Verbund wirkenden mineralischen Deckschicht eine Verbesserung der Brand-, und Schallschutzeigenschaften sowie gleichzeitig die Erhöhung der Tragfähigkeit an.

Die Holz-Beton-Verbundbauweise ist im Verbund mit stabförmigen Holzbauteilen gerade zur konstruktiven wie auch bauphysikalischen Ertüchtigung von bestehenden Decken eine geeignete Konstruktionsweise.

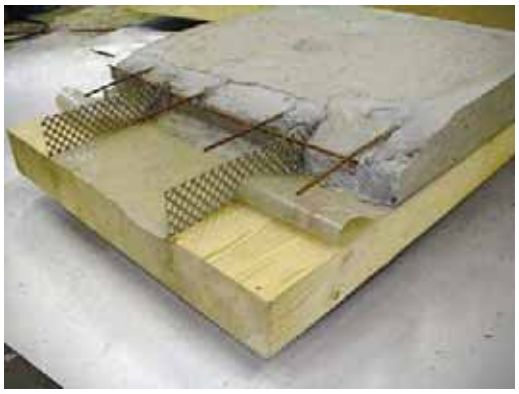


Abb. 10: Muster eines Holz-Verbund-Deckenkonstruktion, Foto: Bauhaus-Universität Weimar

Darüber hinaus sind hybride Dach- und Wandkonstruktionen z.B. mit PU-Schaumkern und Holzwerkstoff-Deckschichten im Handel, werden hier nicht weiter behandelt.

5 Ausführungsformen

Nachfolgend werden die in der Prinzipskizze (Abb. 11) dargestellten Anschlusspunkte im Detail erläutert. In Abhängigkeit von der Lage der nichttragenden Außenwandelemente lassen sich prinzipiell drei Varianten des Anschlusses an mineralische Tragstrukturen unterscheiden (Abschnitt 4.3), Trennung zwischen Tragstruktur und Gebäudehülle'). Neben diesen in der Praxis eindeutig überwiegenden Ausführungsdetails finden sich nachfolgend auch Hinweise zur Verbindung tragender Holzkonstruktionen mit tragenden mineralischen Strukturen.

Dabei sind

- die Ausbildung einer funktionierenden Wetterschutzschicht,
- die Sicherstellung einer winddichten Außenhülle,
- die Vermeidung von Wärmebrücken,
- die Gewährleistung des geforderten Schallschutzes,
- die Herstellung eines luft- und rauchgasdichten Anschlusses auf der Bauteilinnenseite sowie
- die Berücksichtigung des unterschiedlichen Setzungsverhaltens der Bauteile [2]

besonders von Bedeutung.

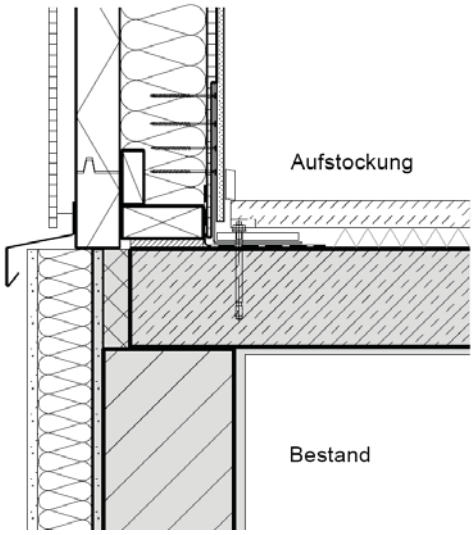


Abb. 11: Anschlusspunkte in der Mischbauweise aus [4]

5.1 Vorgestellte Außenwand

Bei der Anordnung der Elemente vor der Tragstruktur von Decken und Innenwänden sind drei Varianten zu unterscheiden. Die Außenwandelemente können im Hinblick auf das statische System aufeinandergestellt, geschossweise abgefangen oder geschossübergreifend angeordnet werden.

5.1.1 Aufeinander gestellte Wandelemente leiten ihr Eigengewicht innerhalb der Holzbaukonstruktion in den Fußpunkt und benötigen zur Stabilisierung und Weiterleitung der horizontalen Kräfte die Kopplung an die Stahlbetondecken. Um den Eintrag fremder Vertikallasten z.B. aus Verformung des Deckenrandes infolge Nutzungslasten, zu vermeiden, sind duktile Anschlüsse auszuführen. Vorteilhaft ist die Passgenauigkeit der

unmittelbar auf einander gestellten Elemente. Der Elementstoß kann so gestaltet sein, dass ein selbstzentrierender Formschluss die Montage vereinfacht. Große Toleranzen können nicht aufgenommen werden.

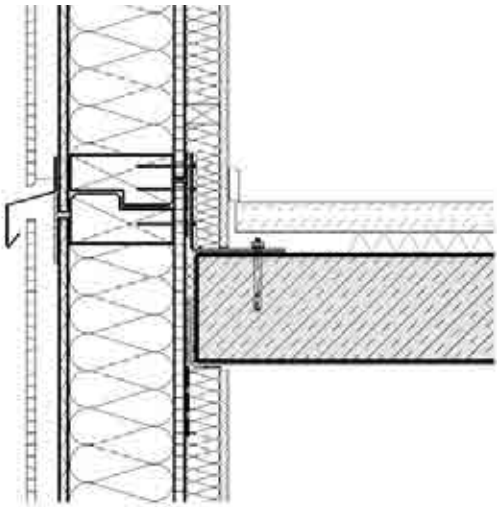


Abb. 12: Detail Geschoßstoß Aufeinander aus [4]

5.1.2 Außenwandelemente mit geschossweiser Befestigung an den Decken

Außenwandelemente mit geschossweiser Befestigung an den Decken und vollständiger Einleitung ihrer Lasten in die Deckenkonstruktion bedingen einen höheren Montageaufwand. Größere Maßabweichungen der mineralischen Bauteile können jedoch leichter ausgeglichen werden.

5.1.3 Geschossübergreifende Bauteile

Bei der Verwendung von Brettsperrholzkonstruktionen können geschossübergreifende Bauteile von bis zu vier Geschossen ohne weiteres erstellt werden. Durch den abgesperrten Aufbau von Brettsperrholz ist im Vergleich zu aufeinander gesetzten Holzrahmenkonstruktionen vor allem bei mehrgeschossigen Elementen wesentlich geringere Setzungen zu erwarten. Daher kann eine äußere Dämmschicht bereits werksmäßig ohne zusätzliche Dehnungsfuge montiert werden. Unabhängig vom Konstruktionsraster der tragenden

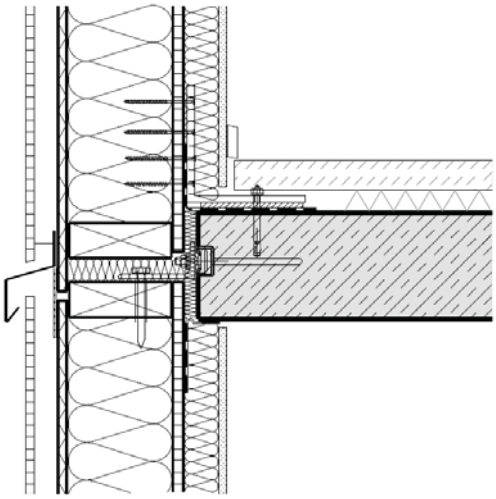


Abb. 13: Detail Geschoßstoß Vorgehängt aus [4]

Struktur kann die Fassade über mehrere Geschosse durchlaufen. In Abhängigkeit von der gewählten Elementgröße, die weniger durch die Gliederung der massiven Tragkonstruktion als vielmehr durch die Transport- und Montagemöglichkeiten bestimmt wird, ist die Anzahl der Fugen und Durchdringungen der Außenhülle sehr gering. Dadurch reduziert sich die gesonderte Betrachtung von aufwändigen Anschlussdetails im Hinblick auf den Witterungsschutz sowie die Wind- und Luftdichtheit der Außenwand auf ein Minimum. Hinsichtlich des Schallschutzes sind geeignete Maßnahmen in Bezug auf die Schall-Längsleitung über mehrere Räume einer Etage sowie auf die Schallausbreitung über mehrere Geschosse hinweg vorzusehen. In den meisten Fällen kann dies durch raumweise Anordnung von Vorsatzschalen bzw. gedämmten Installationsebenen erfolgen.

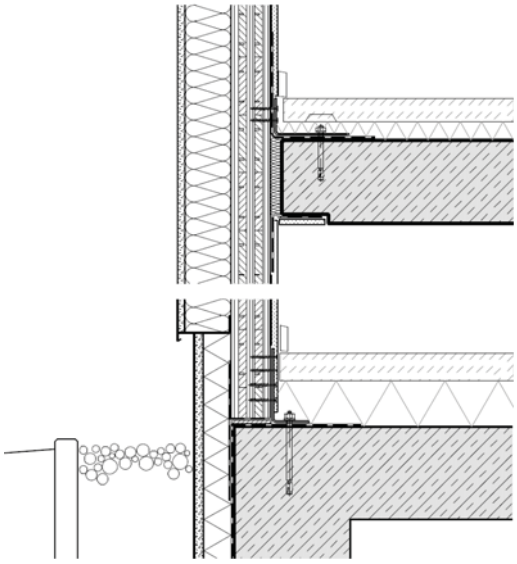


Abb. 14: Detail Geschossübergreifende Elemente aus [4]

5.1.4 Eingestellte Außenwandelemente

Eingestellte Außenwandelemente, so genannten „In-fill-wall-panels“ [1], werden in die vorhandene Tragkonstruktion eingefügt. Sie tragen ihre Last vertikal direkt auf die Deckenkonstruktion oder bei horizontaler Lastabtragung (z.B. in Schottenbauweise) über die massive Innenwandkonstruktion ab. Im wesentlichen unterscheidet man dabei drei Konstruktionsarten, gekennzeichnet durch die unterschiedliche Führung von Außenhaut und Dämmebene.

Eine durchlaufende Führung von Außenhaut und Dämmebene wird vorwiegend bei Außenwandelementen aus Massivholzkonstruktionen verwendet. Das Wandelement wird zwischen den Deckenplatten angeordnet, so dass diese Wände ggfs. über diese Bauteile auch die Lastabtragung erfolgen kann. Dämmschicht und Fassade werden vollständig vor der Konstruktion angeordnet.

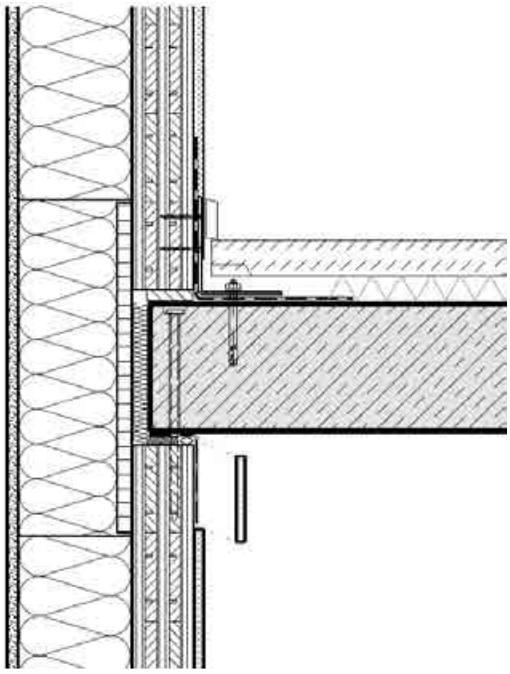


Abb. 15: Detail Durchlaufende Außenhaut und Dämmebene aus [4]

5.1.5 Durchlaufende Fassade und zwischengestellte Dämmung

Die durchlaufende Fassade und zwischengestellte Dämmung wird vorwiegend bei Außenwänden in Holzrahmenbauweise eingesetzt, da hier Konstruktion und Dämmung in einer Ebene angeordnet sind. Die Wetterschutzschicht wird bei dieser Elementanordnung nicht durchbrochen, die Anzahl der Fugen in der Fassade ergibt sich in Abhängigkeit vom Konstruktionsraster. Der Wärmeschutz ist im Übergang von der Außenwand zur Decke oder Trennwand nur mit erhöhtem Aufwand auf ein Niveau zu heben, das dem der Holzelemente entspricht. Daher eignen sich Wärmedämmverbundsysteme oder Fassadensysteme mit gedämmter Tragkonstruktion am besten.

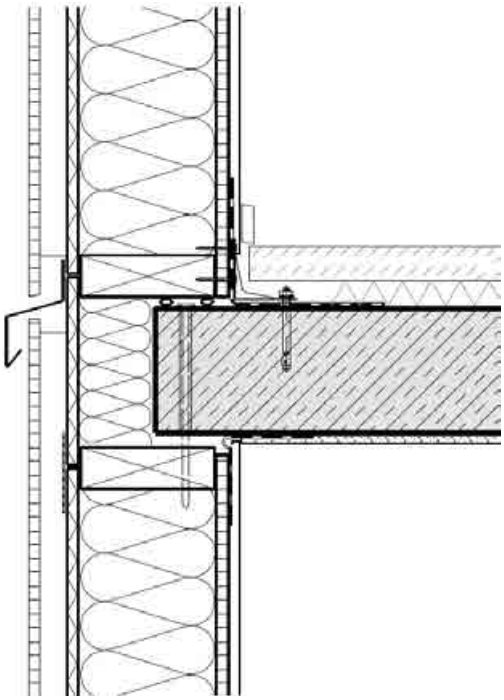


Abb. 16: Detail Durchlaufende Fassade und zwischengestellte Dämmebene aus [4]

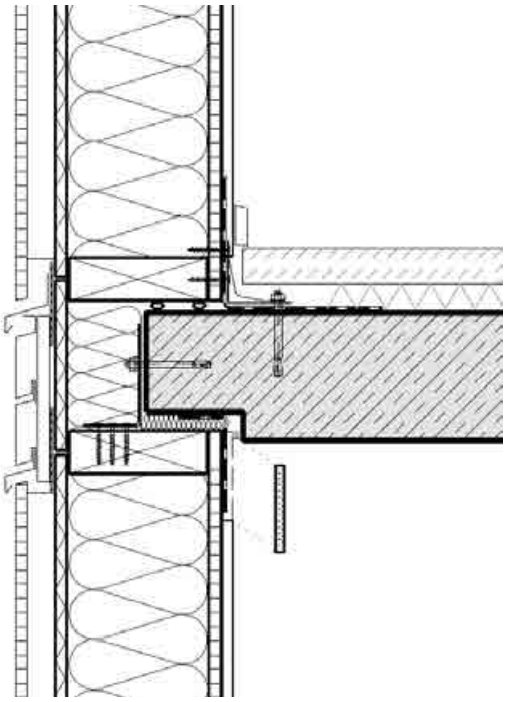


Abb. 17: Detail Durchlaufende Fassade und zwischengestellte Dämmebene Anschluss in gefälzten Deckenrand aus [4]

Zur Sicherstellung der Winddichtheit der Außenhülle sowie der Luftdichtheit der innenseitigen Dampfbremse werden nachträgliche Arbeiten erforderlich, die nach der Montage mehr oder weniger handwerklich ausgeführt werden und einer sorgfältigen Ausführung bedürfen.

Vorgefertigte Wandtafeln mit oberflächenfertigen Innenseiten können mit vormontierten Montagezargen oder senkrechten Traversen montiert werden, die einen luftdichten Anschluss sowie einen Toleranzausgleich zulassen. Bei neu erstellten Tragstrukturen lassen sich die inneren Abschlussfugen durch profilierte Ausbildung der Bauteilaußenkanten, z.B. durch gefalzte Deckenränder, überdecken.

5.1.6 Zurückgesetzte Anordnung der Außenwandelemente

Die zurückgesetzte Anordnung der Außenwandelemente gegenüber den tragenden Bauteilen kommt angesichts der offensichtlichen Nachteile nur in Sonderfällen zur Umsetzung, wie z.B. bei Laubengängen, Balkonen und bei Projekten, bei denen Geschosse über die darunter liegenden auskragen [3]. Diese Anordnung verlangt eine hohe Maßhaltigkeit der tragenden mineralischen Struktur. Zur Montage der Wandelemente werden größere Fugenbreiten z.B. zum Einkippen der Elemente und entsprechende aufwändige Anschlussarbeiten erforderlich.

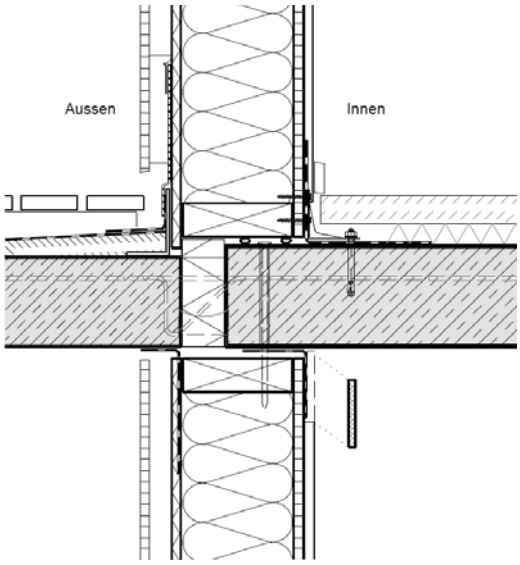


Abb. 18: Detail Zurückgesetzte Anordnung [4]

5.1.7 Aufgestellte Außenwandkonstruktionen

Das Prinzip der aufgestellten Außenwandkonstruktionen wird bei Sockeln, Kellern oder Sockelgeschosse mit entsprechenden Anschlüssen an die massive Decke bzw. Außenwand verwendet. Die gleiche Anschlusssituation ergibt sich für Aufstockungen. Diese sind als eigenständige Bauwerke standsicher mit dem Bestand zu verbinden. Alle Wandbauteile sind dabei im Gegensatz zu den bisher betrachteten Elementen zwangsläufig tragende Konstruktionen.

In der Regel verspringt bei Aufstockungen die Lage der Dämmebene zu der, der bestehenden Wände des Bestands. Dieser besitzt üblicherweise zur energetischen Verbesserung bereits ein Wärmedämmverbundsystem, dessen Aufbau einen Fassadenversatz zur Aufstockung bedingt.

Für die Aufstockung von bestehenden Gebäuden bieten sich Holzkonstruktionen auf Grund ihres geringen Eigengewichtes neben der Verwendung für die Außenwand auch für weitere Bauteile an. Kann die oberste Decke des Gebäudebestandes die zu erwartenden Verkehrslasten nicht aufnehmen, werden zusätzliche Deckenbauteile notwendig. Dazu bieten sich schlanke Lösungen in Holzmassivbauweise an.

6 Fazit

Angesichts der Tatsache, dass bereits in einem Teil der zurückliegend novellierten Landesbauordnungen bis zur Hochhausgrenze nichttragende Außenwandbauteile nur der Feuerwiderstandsdauer F30-B genügen mussten (z.B. NRW) ist nichtnachvollziehbar, dass das Bewusstsein innerhalb der Holzbaubranche hinsichtlich der Möglichkeiten erst nach der Realisierung des Neubaus des Umweltbundesamtes in Dessau einsetzte. Dabei hatten bereits die Sanierungen der Neuen Burse in Wuppertal bzw. des Bürogebäudes Leipziger Straße in Erfurt die Leistungsfähigkeit des zeitgenössischen Holzbaus im Allgemeinen und der Mischbauweise im Besonderen zwar nicht spektakulär, aber eindrücklich und richtungsweisend veranschaulicht [4]. Beide Projekte weisen zudem auf ein Potential hin, dass hinsichtlich der Verwendungsmöglichkeiten des Holzbaus in seinem wie auch immer gearteten Umfang aktuell nur schwer einzuschätzen ist.

Selbstverständlich sind die genannten Marktchancen auch im Zusammenhang mit der Entwicklung des Baumarktes insgesamt zu sehen. Dennoch kann man annehmen, dass der Einsatz dieser Bauweise in den genannten Segmenten weiter wachsen wird. Dies gilt angesichts zunehmender Anforderungen insbesondere an die bauphysikalischen Eigenschaften der Gebäude – an erster Stelle sind immer wieder das Raumklima und der geringe Energiebedarf zu nennen – sowie dem Erfordernis einer rationellen Erstellung von Bauwerken. Diese Annahme wird auch gestützt durch die positiven Erfahrungen, wie sie beispielsweise in Schweden, Finnland und in den Niederlanden in den vergangenen Jahrzehnten gemacht werden konnten. Der Anteil der Misch-

bauweise am gesamten Wohnungsbau beträgt derzeit in den skandinavischen Ländern deutlich über 80 %, während er in Deutschland noch nicht einmal die Einprozent-Marke erreicht hat.

Leichtbaukonstruktionen in der Verwendung von Gebäudehüllen erlauben perspektivisch, Bestandsgebäude mit einfachen Mitteln weiter zukunftstauglich zu machen: Ändern sich die Anforderungen an Außenwandbauteile, so können diese ohne großen Aufwand demontiert (in der Regel gerüstfrei) und in ihre Einzelkomponenten zerlegt weiter verwendet werden während gleichzeitig das Gebäude eine neue Hülle erhält, die an den dann geltenden Anforderungen orientiert ist.

Dazu bedarf es aber noch intensiver Anstrengungen, die vorhandenen Kompetenzen auf Seiten der ausführenden Unternehmen auszubauen. Zurzeit sind nur wenige Unternehmen der Holzbaubranche bereit und in der Lage entsprechende Projekte umzusetzen

Bedingt ist diese Situation im Wesentlichen durch einen technischen und einen formal-strukturellen Aspekt:
Den Holzbauunternehmen fehlt die Erfahrung im Umgang mit den Schnittstellen der Bauweisen und insbesondere die Qualifikation, die notwendigen Maßnahmen zur Bewältigung der Konsequenzen aus den üblichen Maßabweichungen der mineralischen Rohbaustrukturen. Nur wenige Unternehmen gehen mit dem Thema in der Form um, als dass sie den übrigen am Projekt Beteiligten anbieten, zu den entsprechenden Punkte die „Lufthoheit“ zu übernehmen und planerische wie konstruktive Lösungen anzubieten.

Dies hängt zusammen mit den Projektstrukturen bei insbesondere größeren Bauvorhaben, bei denen die Mischbauweise zur Umsetzung kommen kann. Diese werden von Unternehmen der Bauindustrie als Generalüber- oder -unternehmen umgesetzt. Die Holzbaukompetenz wird als Nachunternehmer eingebunden, wobei die Holzbauunternehmen erheblich Vorbehalte gegenüber den Unternehmen der Bauindustrie hegen, ist deren Agieren von dem Bestreben geprägt, Verantwortlichkeiten und Risiken umfänglich auf die Nachunternehmen abzuwälzen. Letzteren fehlt zudem die interdisziplinäre Aufstellung, den u.a. juristischen Kompetenzen innerhalb der Unternehmen der Bauindustrie begegnen zu können.

Quellen

[1] Eriksson, P.-E., “Wood components in steel and concrete buildings – In-fill exterior wall panels”. Studie, erstellt für den Nordic Timber Council, Stockholm 2003
[2] Teibinger, M., Edl, T., „Holz-Mischbau im urbanen Hochbau“, Detailkatalog, HFA-Schriftenreihe, Wien 2005
[3] Bredenbals, B., Hullmann, H., „Holztafelbauweise im mehrgeschossigen Wohnungsbau“, Bauforschung für die Praxis, Stuttgart 1996 et al
[4] Hullmann, H., Rautenstrauch, K. et al., INFORMATIONSDIENST HOLZ „Holzkonstruktionen in Mischbauweise“, R1 T1 F5, Bonn 2006

13.2 Holzbauweisen, Holzbausysteme
Eigenschaften von Leichtbauweisen

Karsten Tichelmann

1 Leichtbausysteme

Die Betrachtung natürlicher Gebilde und die Betrachtung hochleistungsfähiger technischer Konstruktionen zeigen eine Gemeinsamkeit: Die Sparsamkeit in der Verwendung der Mittel und die Optimierung des Gesamtsystems auf die Aufgabenstellung.

Abb. 1: Faltstruktur Palmenblatt

In modernen Leichtbauweisen wie dem Holzbau überlagern sich synergetisch die Prinzipien des Materialleichtbaus, des Strukturleichtbaus und des Systemleichtbaus. Die zielgerichtete Anwendung erzeugt im mechanischen und bauphysikalischen Verhalten hochleistungsfähige Systeme. Dabei kommt dem Systembegriff eine besondere Bedeutung zu.

„Ein System ist im mathematischen Sinn eine Menge von Elementen, zwischen denen Wechselbeziehungen bestehen. Diese Wechselbeziehungen sind im Leichtbau bevorzugt synergetisch."

Diese allgemeine Definition, die auch auf alle "Systeme" im Holzbau zutrifft, macht auf wichtige Probleme von Systemen aufmerksam. Erstens ist es erforderlich, zur Erkenntnis eines so genannten Systems nicht nur dessen einzelnen Bezug zu den Elementen zu kennen, sondern auch die zwischen ihnen bestehenden Beziehungen und Wechselwirkungen – ein oft schwieriges und bis heute im Holzbau in weiten Teilen unbeantwortetes Problem. Zweitens kann aus diesem Grunde ein System als eine Ganzheit mit „eigenartigen" Eigenschaften bezeichnet werden, welches auf äußere und innere Einflüsse in seiner Eigenart reagiert. Drittens ist der Begriff des Systems in Beziehung zu höheren Einheiten mit denen der Ordnung oder Organisation von Teilen nahe verwandt.

Die fortschreitende Entwicklung in der Leichtbautechnik des Holzbaus hat zu komplexen Systemen geführt. Aus funktionstechnischen Gründen ist in diesen Systemen oft eine Addition von Materialschichten mit unterschiedlichen mechanischen und bauphysikalischen Eigenschaften erforderlich. Den einzelnen Komponenten multifunktionale Aufgaben zuzuweisen, ist eine ingenieurtechnische Zielsetzung zur Erhöhung der Leistungsfähigkeit dieser „hybriden Systeme".

Ein komplexes System besteht demnach aus trivialen Systemen. Bei einem bestimmten „Muster"

Abb. 2: Straußenoberschenkel

(konstantes Verhalten) eines komplexen Systems ist oftmals eine eindeutige Aussage über das globale Verhalten vorhersagbar. Jedoch kann daraus nicht geschlossen werden, unter welchen Bedingungen dieses Muster (Verhalten) in Holzbausystemen weiter existiert, vor allem dann nicht, wenn Einfluss von außen auf einzelne Elemente (Variablen) genommen wird. Bei klassischen Holz-Leichtbaussystemen liegt damit ein Problem der so genannten „doppelten Dynamik" vor, d.h. die Varianz eines einzelnen Elementes verändert die Beziehung zu den benachbarten Elementen und nimmt gleichzeitig Einfluss auf das globale Systemverhalten. Je differenzierter jedes einzelne Element reagiert, beispielsweise ein Baustoff in einer Holz-Leichtbaukonstruktion, umso komplexer wird das globale Systemverhalten dieser Konstruktion. Aus diesen Gründen ist es sinnvoller, nicht von komplexen Systemen, sondern vom komplexen Verhalten eines Systems zu sprechen.

Wand-, Dach- und Deckenscheiben in Holzbauweise sind bevorzugt Leichtbausysteme, deren einheitliches Merkmal die optimierte Zuordnung von Werkstoffen darstellt. Plattenbekleidungen übernehmen in diesen Konstruktionen vorrangig raumabschließende, brandschutztechnische, bauakustische und klimaregulierende Funktionen.

Die Konstruktion und die Fügung von Bauteilen in Holzleichtbauweisen ist relativ einfach, ihr Trag- und Funktionsverhalten und die Reaktion bei statischer, dynamischer und klimatischer Beanspruchung allerdings sehr komplex. Damit verbunden ist die Lösung eines Optimierungsproblems unter Vorlage einer Reihe von Restriktionen, welche gleichzeitig eine Vielzahl von Fragestellungen aufwirft.

Zur gezielten Entwicklung von Holz-Leichtbausystemen sind die sich synergetisch überlagernden Prinzipien des Materialleichtbaus, des Strukturleichtbaus und des Systemleichtbaus erforderlich.

2 Materialleichtbau

Unter Materialleichtbau versteht man die Verwendung von Baustoffen mit niedrigem spezifischem Gewicht. Präziser fassend muss man das niedrige spezifische Gewicht in das Verhältnis zur Beanspruchbarkeit des Baustoffs setzen. Der bekannteste derartige Verhältniswert ist die „Reißlänge", (auch Reißfestigkeit) also diejenige Länge, unter der ein hängendes Bauteil unter seiner Eigengewichtsbelastung „reißt".

Tab. 1: Reißlängen einiger wichtiger Bau- und Leichtbauwerkstoffe

Material	Festigkeit σ_u [N/mm²]	Rohdichte γ [kN/m³]	Dehnung ε_u [%]	Reißlänge $R_u = \sigma_u/\gamma$ [km]
Beton	2,4	23,0	0,1	0,1
Stahl S355J2+N	490 – 630	78,5	26,0	6,2 – 8,0
Spannstahl	1.770	78,5	6,0 – 8,0	22,6
Al 99,9 F10	100	26,5	5,0	3,8
Fichte	**80**	**4,7**	**-**	**17,0**
Homogenierte Laubholzfaser	**270**	**6,0**	**-**	**45,0**
Bambus, Mantelfaser	**300 – 1.000**	**6,0 – 9,0**	**-**	**50 – 110**
Seidenfaden	300 – 600	12,3	10,0 – 30,0	24,4 – 48,8
Glasfaser	bis 3.500	25,0	2,0 – 3,5	bis 140,0
Kohlenstofffaser	2.000 – 3.000	16,7 – 19,6	bis 1,0	119,8 – 153,1

Die Reißlänge ist definiert durch das Verhältnis von Zugfestigkeit R_u zum Produkt aus Dichte ρ und Erdbeschleunigung g. Die Länge wird meist in Kilometer angegeben. Die Reißlänge ist unabhängig von der Querschnittsfläche, da nicht nur die Festigkeit linear mit der Querschnittsfläche wächst, sondern auch die Masse. Sie ist eine charakteristische Materialeigenschaft und ein anschaulicher Wert.

3 Strukturleichtbau

Geht man von der Ebene der Baustoffe zu der Ebene der Bauteile über, so stellt hier der Strukturleichtbau die Aufgabe, eine gegebene Belastung mit einem Minimum an Eigengewicht der Konstruktion abzutragen. In erster Linie wird eine möglichst gleichmäßige Ausnutzung des Materi-

alvolumens angestrebt. So werden z.B. biegebeanspruchte Bauteile durch Verbund- und Sandwichsysteme oder Fachwerke ersetzt. Dies lässt sich auch auf andere Formen der Beanspruchung übertragen, z.B. Minimierung des Eigengewichtes bei gegebenen Schalldämmeigenschaften.

Abb. 3: Erhöhung der Biegetragfähigkeit eines Blatt Papiers mit einem Flächengewicht von 70 /m^2 durch die Veränderung der Form.

Im Hinblick auf das Tragwerk entwickelt sich die Konstruktion aus dem sogenannten "Formbestimmenden Lastfall". Der Wahl des formbestimmenden Lastfalls fällt grundlegende Bedeutung zu. Im Bereich der massiven Konstruktionen, wie z.B. dem Stahlbeton, ist der Lastfall Eigengewicht als dominanter Lastfall zugrunde zu legen. Gerade im Leichtbau entfällt jedoch häufig die dominierende Wirkung des Lastfalls Eigengewicht – dies gilt nicht nur für das Tragwerk sondern auch die Gewichtsminimierung rein bauphysikalisch funktionaler Strukturen.

4 Systemleichtbau

Unter Systemleichtbau versteht man das Prinzip, in einem Bauteil neben der lastabtragenden Funktion auch noch andere technische Funktionen, wie z.B. Raumabschluss, Wärmedämmung, Schalldämmung, Feuerwiderstand etc., zu vereinigen. Ein derartiges Prinzip wird im Bauwesen schon immer unausgesprochen und selbstverständlich für eine Reihe von Bauteilen angewendet: Decken und Wände im Holzbau sind klassische multifunktionale Konstruktionselemente. Der Systemleichtbau wird im Holzbau umgesetzt, dabei werden "funktionaler Raumabschluss" und Tragwerk bei niedrigem Eigengewicht vereint.

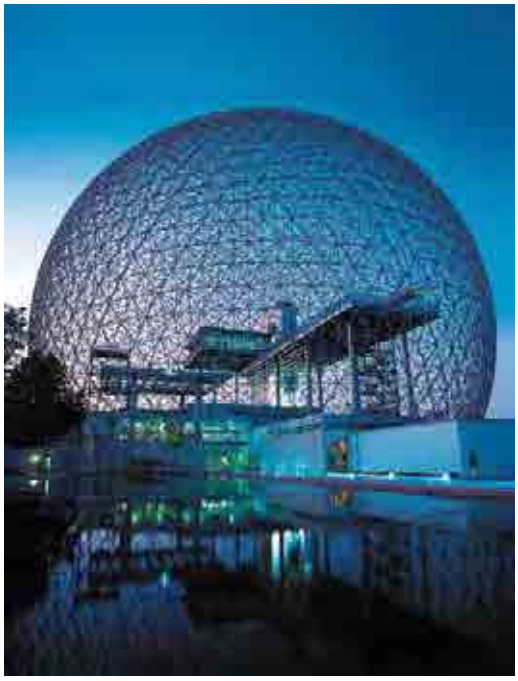


Abb. 4: Biosphere in Montreal

5 Geringes Eigenwicht

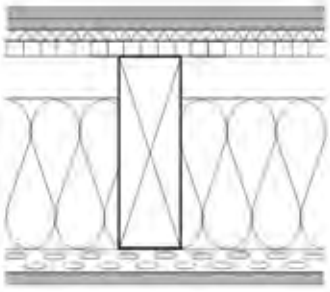
Leicht zu bauen ist Voraussetzung bei Konstruktionen, die große Spannweiten zu überbrücken haben, die große Höhen erreichen sollen oder bei dem eine dynamische Anregung des Eigengewichts zu dem bestimmenden Lastfall werden kann (z.B. Erdbebenbeanspruchung). Bei den im Bauwesen alltäglicheren Dimensionen sowie den Konstruktionen kleiner Abmessungen bedeutet der Einsatz von Leichtbauweisen zunächst eine Ersparnis an eingesetzter Masse, was zumeist mit einer Ersparnis an eingesetzter Energie einhergeht. Beiden Gesichtspunkten wurde bisher keine hohe Bedeutung zugewiesen. Dies wird sich im Rahmen der immer wichtiger werdenden ökonomischen und ökologischen Gesamtbilanzierungen ändern. Hierdurch wird auch das Entwerfen und Konstruieren von Bauwerken beeinflusst werden.

Tab. 2 zeigt den Unterschied des Eigengewichts von Deckenbauarten in Holz- und Massivbauweise für ein Wohngebäude. Dabei werden gleiche zu überbrückbare Spannweiten l = 5,20 und gleiche Verkehrslasten von 2,00 kN/m² zugrunde gelegt.

Das Deckensystem in Holzbauweise erfüllt die Anforderungen mit nur 16 % des Eigengewichtes gegenüber dem Eigengewicht einer Decke in Massivbauweise. Betrachtet man das Verhältnis des Eigengewichts zur Gesamtbeanspruchung der Decke ($g + p$), die für die Bemessung maßgebende Größe, so werden bei der Decke in Stahlbeton bereits 72% der Bemessungstragfähigkeit durch das Eigengewicht aufgezehrt. Um eine Verkehrslast von ca. 200 kg/m² zu tragen wird im Massivbau ein Bauteil mit einem Eigengewicht von über 500 kg/m² gebaut, also dem 2,5-fachen der aufzunehmenden Last.

Geht man weiterhin von einem Einfeld-System der Decken aus, so ergeben sich die Linienlasten für die Vertikallast ableitenden Bauteile, wie ein Unterzug oder eine Wand als Auflager für die der Decke, in der Höhe von 18,6 kN/m (ca. 1,86 t/m). Für das Deckensystem in Leichtbauweise betragen diese Auflagerlasten nur 7,4 kN/m (ca. 0,74 t/m). Hier wird die Sinnhaftigkeit von Leichtbauweisen deutlich. Mit größeren Spannweiten wird dieses Verhältnis für massive Stahlbetondeckensysteme immer ungünstiger. In mehrgeschossigen Gebäuden summieren sich diese Lasten auf und führen zu immer höheren Masseneinsätzen bei den lastableitenden Bauteilen.

Tab 2: Vergleich des Eigengewichts von Deckenkonstruktionen in verschiedenen Bauweisen

Bauart	Aufbau	Eigengewicht g	Verhältnis Eigengewicht g zur Gesamtbeanspruchung $(g + p)$
	Trockenestrich 30 mm Trittschalldämmung 20 mm Holzwerkstoffplatte 22 mm Deckenbalken 10/26 cm, e = 62,5 cm Hohlraumbedämpfung Federschine Gipsplatte 12,5 mm	**84 kg/m²**	**0,,30**
	Zementestrich 35 mm Trittschalldämmung 20 mm Stahlbetondecke 200 mm	**515 kg/m²**	**0,72**

13.2 Holzbauweisen, Holzbausysteme
Brettstapel (BST)

Peter Mestek, Stefan Winter

Brettstapel-, Brettsperrholz- und Verbundkonstruktionen ermöglichen den Einsatz von flächigen Tragstrukturen im modernen Holzbau. Die genannten Elemente sind in tragender und aussteifender Funktion einsetzbar, wodurch sich ein breites Anwendungsspektrum eröffnet. Im Rahmen des Forschungsvorhabens [1] wurden bestehende Vorgehensweisen wie auch vorhandene Berechnungsansätze bewertet und überprüft und so eine systematische Zusammenstellung der derzeit gültigen Berechnungs- und Bemessungsverfahren für die oben aufgeführten Bauweisen erarbeitet.

Abb. 1: Deckenuntersicht [Foto: Frank Lattke]

1 Allgemeines zur Brettstapelbauweise

Die Brettstapelbauweise zählt zur Massivholzbauweise. Durch unterschiedliche Verbindungstechniken werden aus einzelnen hochkant nebeneinander gestellten Brettlamellen flächige, massive Bauteile hergestellt.

Nach ersten Entwicklungen in den 30er Jahren des 20. Jahrhunderts wurde die Brettstapelbauweise vor allem in der Schweiz in den 80er Jahren wiederbelebt [2]. Intensivierte Forschungsarbeiten sowie entscheidende Weiterentwicklungen in der Fertigungstechnik, zum Beispiel die in Betriebnahme der ersten industriellen Fertigungsanlage im Jahre 1996, etablierten seither die Brettstapelbauweise. Dies spiegelt sich in der Menge der realisierten Bauvorhaben wider.

Eine weitere Steigerung der Akzeptanz erfuhr diese Bauweise bei Bauherren, Tragwerksplanern und Architekten durch die Gründung der Gütegemeinschaft Brettstapel – Dübelholzhersteller e.V. im Jahre 2001. Die Güte- und Prüfbestimmungen regeln vor allem die Qualitätsanforderung von Materialien und Herstellung sowie die Maßtoleranzen. Zusätzlich enthalten sie Angaben zur werkseigenen Produktionskontrolle und Fremdüberwachung.

2 Herstellung

Für die Herstellung werden technisch getrocknete Bretter verwendet, die zumindest egalisiert und je nach Anforderung sägerauh, gehobelt oder für spezielle Sichtoberflächen entsprechend profiliert sind. In der Regel handelt es sich um Lamellen aus Fichtenholz, die aus der anfallenden Seitenware bei der Herstellung von Schichtholz gewonnen werden.

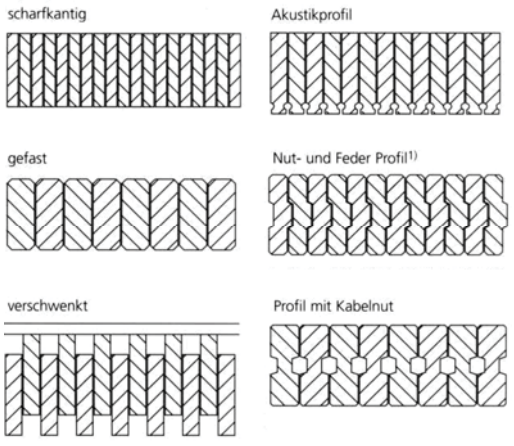


Abb. 2: Profilarten [3]

Die Verbindung der hochkant nebeneinander gestellten Lamellen erfolgt mittlerweile fast ausschließlich auf computergesteuerten Fertigungsanlagen. Um eine kontinuierliche Verbindung der einzelnen Lamellen zu erhalten, kommen im Wesentlichen folgende Verbindungsmittel zum Einsatz:

- stiftförmige Verbindungsmittel (Nägel, Schrauben, Klammern)
- Hartholzdübel
- Kleber

Bei der Herstellung der gedübelten Elemente, auch Dübelholz genannt, werden die zu Elementstapeln fixierten Bretter zunächst vorgebohrt. Anschließend werden getrocknete Hartholzdübel, in der Regel Buchendübel mit einem Durchmesser von 20 mm und einer maximalen Holzfeuchte von ca. 8%, in die Bohrungen eingetrieben. Der sich einstellende Feuchteausgleich erzeugt eine Klemmwirkung zwischen den Dübeln und den Lamellen. Die Anordnung der Dübel erfolgt in der Regel analog zu den zuvor gezeigten Nagelbildern. Abweichend ist auch eine einreihige Ausführung möglich.

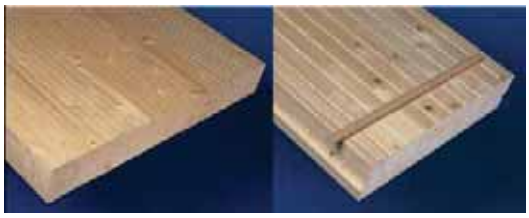


Abb. 3: Genageltes und gedübelte Brettstapelelemente [3]

Die geklebten Elemente sind auch als „liegende Brettschichtholzträger“ bekannt, da ihre Herstellung der von Brettschichtholzträgern entspricht.

3 Anwendungsmöglichkeiten

Brettstapelelemente können als tragende Dach-, Decken- und Wandelemente in Wohn, Schul-, Industriebauten und vergleichbaren Bauvorhaben eingesetzt werden. Übernehmen die Bauteile aussteifende Funktionen, so ist im Einzelfall abzuwägen, ob allein durch die verwendete Verbindungsart ausreichende Scheibensteifigkeit erreicht werden kann. Geklebte Brettstapelelemente erfüllen bei entsprechender Fugenausbildung zwischen den einzelnen Elementen in der Regel diese Anforderungen. Genagelte und gedübelte Ausführungen erfordern bei sehr hohen Beanspruchungen zusätzliche Beplankungen mit Holzwerkstoffplatten, um aussteifende Funktionen übernehmen zu können.

Ihr Einsatz ist auch als nichttragendes Element möglich. Alle Anwendungen sind sowohl in Industrie- als auch in Sichtqualität ausführbar.

Wirtschaftliche Gründe sprechen dafür, die Brettstapelbauweise vor allem bei rechtwinkligen Grundrissen zu verwenden. Abweichungen bei Sonderformen sind jedoch denkbar. Für weit gespannte Deckenelemente empfiehlt es sich Verbundlösungen einzusetzen.

4 Berechnung und Bemessung

Im Grenzzustand der Tragfähigkeit sind für Brettstapelelemente unter Gleichlast in Haupttragrichtung die Spannungsnachweise für die Brettlamellen zu führen. Die Lamellen können einzeln als linienförmiges Bauteil bzw. als Plattenstreifen bemessen werden. Der Nachweis von Einzellasten kann vereinfacht unter Verwendung einer mitwirkenden Breite $b_{w,middle}$, wie sie sich aus dem Ansatz eines Lastausbreitungswinkels ergibt, geführt werden. Für eine wirtschaftlichere Bemessung empfehlen sich Trägerrostberechnungen. In der Regel sind unter Plattenbeanspruchung die Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit für die Bemessung maßgebend. Systemsteifigkeiten für die rechnerische Modellierung des Tragverhaltens von BST-Elementen sind in Tabelle F.22 der DIN 1052:2004-08 enthalten. Demnach wird bei genagelten Elementen keine Biegesteifigkeit in Querrichtung angesetzt.

Die Biege- und Schubfestigkeiten dürfen in Abhängigkeit der Anzahl der mitwirkenden Lamellen um den Systembeiwert k_l erhöht werden. Vergleichsrechnungen zeigen, dass in der Regel fol-

gende Systembeiwerte verwendet werden können:

- k_l=1,10 für nachgiebig verbundene Elemente
- k_l=1,20 für verklebte und vorgespannte Elemente

Aufgrund einseitiger Lastausbreitung sind für Elemente, die im Randbereich durch Einzellasten beansprucht werden, die Systembeiwerte gesondert zu bestimmen.

Für Decken ohne ausreichende Querverteilung gelten nach Tabelle 1 der DIN 1055-3:2006-03 erhöhte Nutzlasten. Zusätzlich ist für alle Nutzungskategorien der Nachweis der örtlichen Mindesttragfähigkeit unter einer Einzellast Q_k zu führen. Ein aus der Literatur abgeleitetes Kriterium zeigt, dass nachgiebig miteinander verbundene BST-Elemente keine ausreichende Querverteilung aufweisen [1]. Somit gilt für Decken in Wohn- und Aufenthaltsräumen aus

- nachgiebig verbundenen BST:
  q_k=2,0 kN/m^2 Flächenlast
  Q_k=1,0 kN Einzellast
- geklebten/vorgespannten BST:
  q_k=1,5 kN/m^2 Flächenlast

4.1 Koppelfugen

Aus Transportgründen werden Brettstapeldecken vorelementiert auf die Baustelle geliefert. Dort müssen die einzeln verlegten Elemente zu Decken der erforderlichen Breite zusammengefügt werden. Um Deckenscheiben für die Gebäudeaussteifung zu erhalten, sind die Elementfugen kraftschlüssig auszubilden. Auch senkrecht zur Elementebene muss die Koppelfuge in der Lage sein, Kräfte zu übertragen. Dies ist notwendig, um bei ungleichmäßig verteilten Deckenlasten Versätze zwischen den Elementen zu vermeiden. Auch für den Ansatz des Systembeiwertes k_l muss eine kontinuierliche Lastverteilung in Querrichtung gewährleistet sein.

Für die kraftschlüssige Ausbildung zwischen den Koppelfugen stehen verschiedene Varianten zur Verfügung. Exemplarisch sind in Abb. 3 Verbindungstypen dargestellt. Die Verbindung mittels gekreuzter Vollgewindeschrauben stellt sicherlich eine der einfachsten Ausführungsvarianten dar (a_l). Zudem können sowohl vertikale Lasten aus der Plattenbeanspruchung als auch horizontale Lasten aus der Scheibenbeanspruchung übertragen werden. Eine Kombination mit Falz- bzw. Federsystemen zur Sicherstellung der Scheibentragwirkung ist denkbar. Die Federsysteme, beispielsweise aus Furniersperrholz, sind zur horizontalen Lagesicherung entweder mittels Lochblechen (c_l) oder Holzwerkstoffplatten (d_l) zu verbinden.

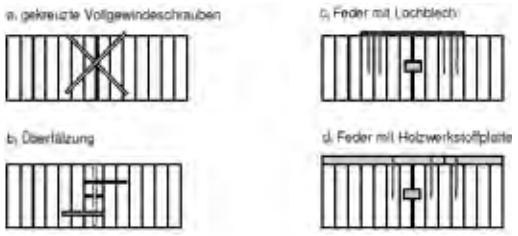


Abb. 4: Varianten der Fugenausbildung

Abb. 5 und 6: Montage von Brettstapeldecken, Koppelfugen [Fotos: Max Merk]

4.2 Streichlasten bei Lamellen-paralleler Randlagerung und Fugenbeanspruchung

Obwohl die Lastabtragung in Haupttragrichtung erfolgt, erhalten Randlager parallel zu den Lamellen Streichlasten. Diese wie auch die aus der Randlagerung resultierenden Beanspruchungen der Deckenelemente in Querrichtung können über das Ersatzsystem eines einseitig unendlich

langen, elastisch gebetteten Trägers abgeschätzt werden [1]. Das Ersatzsystem wird ebenfalls für die Bestimmung der Beanspruchung der Elementfugen unter Teilflächenbelastung verwendet.

4.3 Öffnungen

Aufgrund der geringen Steifigkeiten in Lamellenquerrichtung müssen Öffnungen durch entsprechende Konstruktionen abgefangen und nachgewiesen werden. In gering beanspruchten Bereichen sind bei Installationsöffnungen bis zu einer Größe von ca. 0,2 m konstruktive Verstärkungen mit Vollgewindeschrauben ausreichend.

4.4 Lamellenstöße

Die Verwendung stumpfer Lamellenstöße ist generell zu vermeiden, da diese die Tragfähigkeit und Steifigkeit der Deckenelemente deutlich verringern. Verstärkte Nagelungen im Stoßbereich gewährleisten zwar eine Umlagerung der Beanspruchungen, ihr Einfluss auf die wirksame Biegesteifigkeit ist jedoch vernachlässigbar gering. Sind aufgrund großer Spannweiten Stöße erforderlich, so empfiehlt sich die Herstellung der BST-Elemente aus keilgezinkten Lamellensträngen.

4.5 Wandscheiben

Für Wandelemente unter vertikaler Beanspruchung sind Stabilitätsuntersuchungen durchzuführen. In der Regel ist dabei der Knicknachweis senkrecht zur Elementebene maßgebend. Eine Ausnahme bilden schmale Wandstützen. Diese sind auch auf Knicken in der Elementebene unter Berücksichtigung der Systemschubsteifigkeit nachzuweisen.

Die DIN 1052: 2004-08 fordert im Grenzzustand der Tragfähigkeit die horizontale Verformung $u_{y,d}$ am Wandkopf von aussteifenden Wandscheiben auf $u_{y,d} \leq h/100$ zu begrenzen. Aus Gründen der Gebrauchstauglichkeit empfiehlt sich zusätzlich eine Begrenzung der Verschiebung $u_{y,k}$ auf h/500. Zur Erhöhung der Steifigkeit können aussteifende Wandscheiben mit Holzwerkstoffplatten beplankt werden.

4.6 Deckenscheiben

Werden Deckenscheiben parallel zur Lamellenrichtung beansprucht, so sind zur Aufnahme der aus dem Biegemoment resultierenden Gurtkraft an den Stirnseiten der Lamellen Randschwellen notwendig. Bei Beanspruchungen senkrecht zu den Lamellen sind diese nicht zwingend erforderlich, sie dienen jedoch zur kontinuierlichen Übertragung der Lasten an aussteifende Wände. Die Durchbiegung der Deckenscheiben kann vereinfacht aus der Schubverformung ermittelt werden. Es empfiehlt sich die Verformung auf l/1000 zu begrenzen. Stoßfugen zwischen den einzelnen Deckenelementen sind derart auszuführen, dass der Schubfluss übertragen wird. Dies kann beispielsweise über gekreuzte Schraubenpaare, verschraubte Überfälzungen oder Beplankungen mit Holzwerkstoffplatten erfolgen.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Gerade der Einsatz gedübelter Brettstapelelemente erfreut sich aufgrund ökologischer Gesichtspunkte immer größerer Beliebtheit bei Architekten, Tragwerksplanern und Bauherren. Allerdings liegen in der DIN 1052: 2004-08 für diese Bauweise keine Angaben zu Systemsteifigkeiten vor. Unter Plattenbeanspruchung können die Elemente als einachsig gespannt betrachtet werden. Hinsichtlich der Ermittlung von Streichlast oder der Tragfähigkeit in Öffnungsbereichen ist jedoch das Tragverhalten in Querrichtung und damit die Biege- und Schubsteifigkeit quer zu den Lamellen von entscheidender Bedeutung. Auch für die Verwendung gedübelter Brettstapelelemente in aussteifenden Wandscheiben sind dringend Erkenntnisse zur ansetzbaren Schubsteifigkeit in der Elementebene erforderlich.

Quellen

[1] Winter, S.; Kreuzinger, H.; Mestek, P.: Brettstapel, Brettsperrholz und Verbundkonstruktionen. Abschlussbericht des Teilprojekt 15, HTO Gesamtprojekt "Holzbau der Zukunft"; Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion, TU München, 2008.

[2] Krämer, V.: Trag- und Verformungsverhalten genagelter Brettstapelelemente unter Querlast. In: Berichte der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine der Universität Fridericiana in Karlsruhe, 2003, 5.Folge – Heft 8.

[3] Informationsdienst Holz: Brettstapelbauweise - Holzbauhandbuch. Reihe 1, Teil 17, Folge 1. Arbeitsgemeinschaft Holz e.V. Düsseldorf, 1998.

[4] Informationsdienst Holz: Holzbausysteme - Holzbauhandbuch. Reihe 1, Teil 1, Folge 4. Arbeitsgemeinschaft Holz e.V. Düsseldorf, 2000.

13.2 Holzbauweisen, Holzbausysteme
Brettsperrholz (BSP)

Peter Mestek, Stefan Winter

Brettstapel-, Brettsperrholz- und Verbundkonstruktionen ermöglichen den Einsatz von flächigen Tragstrukturen im modernen Holzbau. Die genannten Elemente sind in tragender und aussteifender Funktion einsetzbar, wodurch sich ein breites Anwendungsspektrum eröffnet. Im Rahmen des Forschungsvorhabens [1] wurden bestehende Vorgehensweisen wie auch vorhandene Berechnungsansätze bewertet und überprüft und so eine systematische Zusammenstellung der derzeit gültigen Berechnungs- und Bemessungsverfahren für die oben aufgeführten Bauweisen erarbeitet.

Abb. 1: Deckenuntersicht
[Foto: Finnforest – Merk]

1 Allgemeines zur Brettsperrholzbauweise

Durch weiterentwickelte Fertigungstechniken stehen dem modernen Holzbau Verfahren zur Verfügung, die den Einsatz flächenhafter großformatiger Elemente ermöglichen. Neben dem Holzrahmenbau mit seinem hohen Vorfertigungsgrad hat sich dabei die Brettsperrholzbauweise einen deutlichen Marktanteil verschafft. Die ökologischen Vorteile wie der geringe Primärenergieverbrauch sowie die dauerhafte Kohlenstoffspeicherung liegen auf der Hand.

Erste Erfahrungen mit großflächigen Elementen aus über Kreuz verklebten Brettlamellen wurden seit 1992 durch das Unternehmen Holzbau Merk gesammelt. Nach der erfolgreichen Durchführung von Pilotprojekten wurde die geregelte Anwendung von Brettsperrholz für tragende Konstruktionen mit der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung des Instituts für Bautechnik (DIBt) für Merk Dickholz [2] im Dezember 1998 möglich. Weitere Zulassungen österreichischer, schweizerischer und deutscher Hersteller folgten in den darauf folgenden Jahren. Die kontinuierlich wachsende Anzahl der Produktionsstätten und der bauaufsichtlichen Zulassungen belegt deutlich die zunehmende Attraktivität dieser ökologischen Bauweise, die sich inzwischen im Ingenieurholzbau etabliert hat.

2 Herstellung und Material

Generell ist der Querschnittsaufbau von Brettsperrholz durch kreuzweise, in der Regel rechtwinklig miteinander verklebte Brettlagen gekennzeichnet. In Sonderfällen wird der Verbund der Brettlagen auch über Vernagelung mit Aluminiumnägeln bzw. Hartholzdübeln hergestellt. Für die Herstellung der Brettsperrholzelemente werden technisch getrocknete Brettlamellen verwendet. In der Regel handelt es sich um Lamellen aus kostengünstiger Seitenware, die bei der Herstellung von Schnittholz anfällt. Die Bretter werden zunächst gehobelt und wenn es die Bauteilabmessungen erfordern mittels Keilzinkung zu Lamellen der geforderten Länge verbunden. Die verwendete Rohware muss mindestens der Sortierklasse S7 nach DIN 4074-1:2003-06 entsprechen. In den jeweiligen allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen sind für die Abmessungen der Einzellamellen unterschiedliche Angaben enthalten.

Die Herstellungsverfahren ermöglichen die Fertigung von Platten von bis zu 4,50 m Breite und 24 m Länge. Im Jahr 2006 lag das europaweite Produktionsvolumen bei ca. 100.000 m^3. Die kontinuierlich wachsende Anzahl an Produktionsstätten und von bauaufsichtlichen Zulassungen belegen deutlich die zunehmende Attraktivität dieser ökologischen Bauweise.

3 Anwendungsmöglichkeiten

Brettsperrholzelemente werden überwiegend für tragende und nichttragende Dach-, Decken und Wandbauteile in Wohn-, Schul-, Gewerbebauten und vergleichbaren Bauvorhaben eingesetzt. In der Regel liegt die Nutzungsklasse 1 bzw. 2 sowie überwiegend ruhende Belastung vor. Aufgrund der kreuzweisen Anordnung der einzelnen Brettlagen können die Elemente auch für aussteifende Zwecke verwendet werden. Dank des hohen Vorfertigungsgrades kann selbst bei großen Bauvorhaben der Rohbau in wenigen Tagen fertig gestellt werden.

Die hohen Steifigkeiten und Tragfähigkeiten der geklebten Brettsperrholzelemente ermöglichen den Einsatz im mehrgeschossigen Wohn- bzw. Bürobau. So zeigen die Abbildungen 2 und 3 ein mehrgeschossiges Wohnhaus, das in Trondheim realisiert wurde. Ein weiteres Beispiel ist das Murray Grove in London, das mit neun Geschossen derzeit größte Wohngebäude aus Holz [3].

Abb. 2 und 3: Mehrgeschossiges Wohnhaus in Trondheim [Fotos: Frank Lattke]

Der hohe Vorfertigungsgrad ermöglicht den Einsatz der Brettsperrholzbauweise auch bei komplexen Baustellensituationen. So wurde nach Fertigstellung der Gründungsarbeiten der Rohbau der Olperer Hütte in nur wenigen Tagen errichtet. Die vorelementierten Bauteile wurden mit Hilfe von Lasthelikoptern zur Baustelle transportiert und direkt an ihren Bestimmungsorten eingebaut.

Abb. 4 und 5: Neubau Olperer Hütte

Auch wurden schon Erfahrungen im Bereich des Brückenbaus und somit auch für veränderliche Belastungen gesammelt. Dabei sind die Brettsperrholzelemente durch Blockverklebung mit Brettschichtholzträgern verbunden und als Plattenbalken ausgeführt worden.

Abb. 6 und 7: Straßenbrücke Ruderting

Wie erwähnt, können in Abhängigkeit des Herstellungsverfahrens auch gebogene Elemente hergestellt werden. Derartige Schalenelemente kamen beim Bauvorhaben der Aussegnungshalle in Gräfelfing zum Einsatz.

Abb. 8 und 9: Aussegnungshalle Gräfelfing (Fotos: [4] bzw. Finnforest Merk)

4 Berechnung und Bemessung

Die Berechnungsgrundlagen von BSP-Elementen sind in Anhang D der DIN 1052 [5] in Verbindung mit den jeweiligen allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen geregelt. Anhang D2 [5] beschreibt das Verfahren der schubstarren Verbundtheorie. Die Berücksichtigung der Schubverformung bzw.

des nachgiebigen Verbundes erfolgt nach dem Verfahren der Schubanalogie und ist in Abs. D3 enthalten. Genageltes Brettsperrholz ist ausschließlich unter Berücksichtigung des nachgiebigen Verbundes nach Abs. D3 der DIN 1052 [5] zu berechnen. Die Spannungsermittlung nach der starren Verbundtheorie liefert bei geklebtem BSP für Einfeldträger unter Gleichlast, mit einem Verhältnis aus Spannweite *l* zu Elementdicke d von l/d>20, ausreichend genaue Ergebnisse. Davon abweichende Systeme sind unter Berücksichtigung der Schubverformung zu berechnen. Gleiches gilt für die Verformungsermittlungen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit.

4.1 Plattenbemessung

Die kombinierten Längs- und Schubspannungsnachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit sind in Abschnitt 10.7 der DIN 1052 [5] enthalten. Gemäß aktuellen bauaufsichtlichen Zulassungen für geklebtes Brettsperrholz ist es unter reiner Biegebeanspruchung ausreichend, die Biegerandspannungen nachzuweisen. Auf den kombinierten Nachweis der Schwerpunkts- und Biegespannungen wird verzichtet. Dabei darf der Bemessungswert der Biegefestigkeit mit dem Systembeiwert k_l multipliziert werden. Für den Systembeiwert k_l gilt:

$$k_l = \min\begin{cases} 1 + n \cdot 0{,}025 \\ 1{,}1 \end{cases}$$

mit n = Anzahl der nebeneinander liegenden Bretter in den Decklagen

In der Regel sind die Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit für die Bemessung maßgebend. Experimentelle und theoretische Untersuchungen zum Langzeitverhalten von Brettsperrholz der TU Graz [6] zeigen, dass das Kriechverhalten der BSP-Elemente dem des Furnierschichtholzes gleicht. Jöbstl leitet aus den Untersuchungsergebnissen folgende Kriechbeiwerte für BSP ab [7]:

- Nutzungsklasse 1: k_{def}=0,85
- Nutzungsklasse 2: k_{def}=1,10

4.2 Streichlasten / Fugenbeanspruchung

Randlagerungen parallel zur Haupttragrichtung erzeugen Streichlasten in den lastabtragenden Wänden. Die Streichlasten sowie die aus der Randlagerung resultierenden Beanspruchungen der Deckenelemente in Nebentragrichtung können über das Ersatzsystem eines einseitig unendlich langen, elastisch gebetteten Trägers abgeschätzt werden [1]. Gleiches gilt für die Bestimmung der Beanspruchungen der Elementfugen unter Teilflächenbelastung.

4.3 Einzellasten / Punktstützung

Im unmittelbaren Bereich der Lasteinleitung ist der Einfluss der Schubverformung der Querlagen ersichtlich. Folglich kann nicht nach der Bernoulli-Hypothese von einem ebenen Querschnitt ausgegangen werden. Zudem treten lokal Spannungsspitzen der Randspannung auf. Dieser Einfluss klingt jedoch rasch ab. Die für die Schubbemessung maßgebende Rollschubspannung erreicht erst in einem gewissen Abstand von der Lasteinleitung ihren Maximalwert.

Bei symmetrischen Querschnitten mit konstanter Einzelschichtdicke hängt die Zunahme der Randspannungen ausschließlich vom Verhältnis der Spannweite zur Elementdicke ab. Daher wurde in [1] ein Beiwert ermittelt, der die Zunahme der Randspannungen aufgrund des lokal schubweichen Tragverhaltens beschreibt. Er ermöglicht die Randspannungen nach der starren Verbundtheorie zu berechnen und den Einfluss der Schubverformung durch die Multiplikation mit dem Beiwert k_{SA} zu berücksichtigen. Dies ist nur für Systeme gültig, die auf ein zweidimensionales Ersatzsystem reduziert werden können und somit eine einachsige Lastabtragung aufweisen. Durch den Beiwert kann ebenfalls der Einfluss der Schubverformung auf die Längsspannungsverlei-

lung im Bereich des Stützmomentes von Durchlaufträgern abgeschätzt werden.

4.4 Öffnungen

Öffnungen in Brettsperrholzelementen stellen aufgrund der größeren Steifigkeiten in Nebentragrichtung im Vergleich zu Brettstapelsystemen geringere Probleme dar. Öffnungen können in Abhängigkeit der Abmessungen und Belastung ohne Verstärkungs- oder Wechselkonstruktionen ausgeführt werden. Allerdings treten im Eckbereich der Öffnungen konzentrierte Beanspruchungen auf, die unter Berücksichtigung der Schubverformung zu ermitteln und nachzuweisen sind.

4.5 Wandscheiben

Für geklebte BSP-Wandelemente darf bei der Ermittlung der Spannungen aus Beanspruchungen senkrecht zur Wandebene der Einfluss des nachgiebigen Verbundes vernachlässigt werden, wenn für das Verhältnis der Knicklänge s_k zur Elementdicke d gilt:

$$s_k/d \geq 20$$

In der Regel liegt der Zuwachs der Schnittgrößen unter Berücksichtigung des geometrisch nicht-linearen Verhaltens bei Wandscheiben aus geklebtem BSP unter 10 %. In diesen Fällen dürfen gemäß Abs. 8.1 (2) der DIN 1052 [5] die Spannungen aus den Schnittgrößen nach Theorie I. Ordnung ermittelt werden.

Die gekreuzte Anordnung der Brettlagen ermöglicht den Einsatz der Brettsperrholzelemente für aussteifende Zwecke. Der aus einer horizontalen Kopflast resultierende Schubfluss erzeugt Schubbeanspruchungen in den einzelnen Brettlagen. Die horizontalen und vertikalen Schichten müssen getrennt voneinander betrachtet werden. Zusätzlich entstehen Torsionsmomente und damit Torsionsschubspannungen in den Kreuzungspunkten. Die charakteristische Torsionsschubfestigkeit ist mit $f_{tor,k}$=2,5 MN/m^2 anzusetzen.

Die DIN 1052 [5] fordert im Grenzzustand der Tragfähigkeit die horizontale Verformung $u_{y,d}$ am Wandkopf von aussteifenden Wandscheiben auf $u_{y,d} \leq h/100$ zu begrenzen. Aus Gründen der Gebrauchstauglichkeit empfiehlt sich zusätzlich eine Begrenzung der Verschiebung $u_{y,k}$ auf h/500.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Verschiedene Forschungsvorhaben haben sich mit der Modellbildung und den Nachweisverfahren von Platten- und Scheibenelementen aus Brettsperrholz befasst. Das im informativen Anhang D der DIN 1052 [5] aufgeführte Verfahren der Schubanalogie sowie die ebenfalls in der DIN 1052 [5] verankerten Nachweisverfahren für Flächentragwerke ermöglichen dem Tragwerksplaner die Bemessung einfacher statischer Systeme unter gängigen Belastungen. In der Regel werden die Platten zweiseitig linienförmig gelagert und nur eine einachsige Lastabtragung unter Gleichlast berücksichtigt.

Durch die Verwendung der großformatigen Elemente und unter Berücksichtigung der zweiachsigen Lastabtragung bieten sich mehrseitige und für anspruchsvolle Konstruktionen auch Punktstützungen als Auflagerung an. Wie die Untersuchungen im Rahmen des Forschungsvorhabens zeigen, treten im Bereich von Punktstützungen hohe Rollschubbeanspruchungen auf, die für die Bemessung der Elemente maßgebend werden können. Eine mögliche Schubverstärkungsmaßnahme stellen diagonal angeordnete Vollgewindeschrauben dar. Da diese Bauweise nicht in der DIN 1052 [5] geregelt ist, sind derzeit für den Einsatz solcher Bauteile kosten- und zeitaufwendige Zustimmungen im Einzelfall notwendig. In einem derzeit laufenden Forschungsvorhaben [8] werden Erkenntnisse zu einer fundierten Modellbil-

dung des Tragverhaltens unter Berücksichtigung der Verstärkungselemente erarbeitet.

Neben der Plattenbeanspruchung bietet auch der Anwendungsbereich der Scheibenelemente weiteres Entwicklungspotenzial. Dies betrifft insbesondere wandartige Träger, die große Spannweiten überbrücken können. Gerade bei Baumaßnahmen im Bestand ist es in der Regel erforderlich, die Lasten gezielt über wenige Auflagerpunkte abzuleiten. So können, beispielsweise bei Aufstockungen bestehender Gebäude, die Lasten über wandartige Träger direkt in die Außenwände abgetragen werden ohne bestehende Dachsysteme zu beeinflussen. Allerdings liegen zu wandartigen Trägern nur wenige Untersuchungen vor. Aus der Torsionsbeanspruchung in den Kreuzungspunkten und den damit verbundenen Schubverformungen ergibt sich für die in Spannrichtung verlaufenden Brettlamellen ein nachgiebiger Verbund. Dieser wird im Anhang D der DIN 1052 [5] zwar berücksichtigt, allerdings basieren die Erfahrungen auf der Beanspruchung von Wandscheiben unter horizontaler Kopflast. Eine Verifizierung der Angaben für wandartige Träger von großer Spannweite erscheint erforderlich. Auch liegen keine Kenntnisse zu Öffnungen in wandartigen Trägern und deren Auswirkungen auf das Tragverhalten vor.

Quellen

[1] Winter, S.; Kreuzinger, H.; Mestek, P.: Brettstapel, Brettsperrholz und Verbundkonstruktionen. Abschlussbericht des Teilprojekt 15, HTO Gesamtprojekt "Holzbau der Zukunft"; Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion, TU München, 2008.

[2] abZ. Nr. Z-9.1-501 vom 06. Mai 2004; MERK-Dickholz; Finnforest Merk GmbH, Aichach; Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin.

[3] Murray Grove. In: Holzbau, die neue Quadriga; 1/2008; Verlag Kastner.

[4] Suess, K.: Sakrales Rätsel. bauen mit holz, 01/2000; Bruderverlag Köln.

[5] DIN 1052:2004-08. Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken – Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau.

[6] Jöbstl, R. A.: Comparative Examination of Creep of GLT an CLT-Slabs in Bending. CIB-W18/40-12-3, Bled, 2007.

[7] Jöbstl, R. A.: Praxisgerechte Bemessung von Brettsperrholz. „Ingenieurholzbau; Karlsruher Tage 2007“; Bruderverlag, Universität Karlsruhe.

[8] Winter, S., Mestek, P.: Konzentrierte Lasteinleitung in Brettsperrholzkonstruktionen – Verstärkungsmaßnahmen. In: AiF-Forschungsvorhaben, Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion, TU München, Laufzeit: 12/2008 bis 12/2010.

13.2 Holzwerkstoffe
Konstruieren mit Brettsperrholz

Jens Jamnitzky

„Vom Stab zur Fläche“ – diese Entwicklung wurde durch den Werkstoff Brettsperrholz, dessen große Elementabmessungen völlig neue Bauweisen ermöglichen, entscheidend vorangetrieben.

Vom Stab zur Fläche bedeutet für den Tragwerksplaner, die von Stäben bekannten Bemessungsregeln auf Flächen anzuwenden und ein paar Ergänzungen und angepasste Gedankengänge mit zu berücksichtigen.

Im Folgenden sollen einige immer wiederkehrende Bemessungsaufgaben bei Wohnbauten unabhängig von der Normenformulierung dargestellt werden. Hierzu gehören die Decke als vertikale Lasten abtragendes Bauteil, die Decke als Deckenscheibe für horizontale Lasten auf das Gebäude, sowie die Wand als Bauteil, welches die vertikalen Lasten abträgt, als auch als Scheibe, die die horizontale Lastabtragung sicherstellt.

Einführend wird kurz auf die Elementplanung eingegangen, da diese die Arbeit des Tragwerksplaners durchaus beeinflusst.

Abb. 1: Hausansicht

1 Elementplanung

Die Planung der Elementeinteilung für Wände und Decken ist sicherlich nicht eine Aufgabe, die man primär dem Tragwerksplaner zuordnen würde und wird, allerdings können ein paar Gedanken hierzu helfen, spätere Überarbeitungen der statischen Berechnung oder gar Planungs- bzw. Ausführungsfehler zu vermeiden. Brettsperrholzelemente können zwar recht beeindruckende Dimensionen annehmen, aus wirtschaftlichen und logistischen Gründen sind Stöße jedoch erforderlich. Und da an Elementstößen meist auch statisch nachzuweisende Kräfte zu übertragen sind und da diese zu übertragenden Kräfte in ihrer Größe mit abhängig sind von der Position der Stöße, sind frühzeitige Überlegungen hierzu auch für den Tragwerksplaner hilfreich. Neben den Kräften, die an Stößen zu übertragen sind, gibt es eine weitere Motivation, sich frühzeitig mit der Elementeinteilung zu beschäftigen. Stöße bestimmen beispielsweise die Größe der ansetzbaren, tragenden (Rest-)Querschnitte neben Fenstern und anderen Ausschnitten und damit auch deren Tragkapazitäten.

Wie ist das gedankliche Vorgehen bei der Elementplanung? Da die Elemente auftragsbezogen gefertigt werden, hat der Planer bei der Elementierung prinzipiell nur die maximale Elementabmessung zu beachten. Während die maximal herstellbaren Bauteilgrößen vom Hersteller des Brettsperrholzes abhängen, sollten aus Transportgründen die Platten die Abmessungen 3,00 m (2,45 m in A, CH, I...) auf 13,50 m in der Regel nicht überschreiten. Im Einzelfall sind über Sondertransporte größere Abmessungen denkbar, wenn die höheren Kosten eine großflächige und damit effiziente und schnelle Montage der Decken auf der Baustelle rechtfertigen.

Um bei Wänden die Zahl der Anschlüsse zu reduzieren, sollten die einzelnen Bauteile so groß wie möglich gewählt werden. Die Decklagenrichtung wird vertikal orientiert. Als Faustwert kann angenommen werden, dass Türen oder Fenster bis zu 2,5 m² Fläche ausgeschnitten werden können, während es bei größeren Öffnungen günstiger ist, diese zu umbauen. Die Wandelemente enden

in diesen Fällen also seitlich an den Festern oder Türen. Für Brüstung und Sturz werden separate Bauteile mit vorwiegend horizontaler Decklagenrichtung geplant.

In der folgenden Abbildung ist die Abwicklung der Außenwände eines Einfamilienhauses dargestellt.

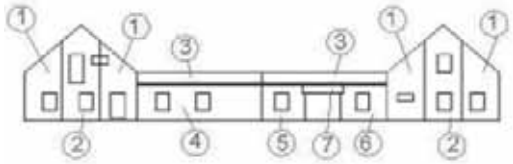


Abb. 2: Beispiel für eine Elementplanung

Die Traufwände werden geschosshoch, die Giebelwände gebäudehoch erstellt. Der Elementplanung liegen folgende Gedanken zu Grunde:

Giebel (Bauteile 1 und 2): Jeweils zwei Giebelwände werden als eine Platte verleimt und in der Folge schräg aufgetrennt, um Verschnitt aus den trapezförmigen Elementen zu vermeiden. Da die Hausbreite hier 9 m beträgt, wird aufgrund der maximalen Transportbreite von 3 m eine Mittelwand eingeplant.

Längswände: (Bauteile 3 bis 7): Die Kniestock-Wände werden jeweils als ganzes Bauteil mittels Stahlwinkeln auf der nach außen durchgehenden Decke befestigt. Traufwand und Kniestock werden nicht in einem Stück geplant, da die Elementgröße nicht mehr als 3 m betragen soll. Die EG-Traufwand wird aus einem Stück mit beliebiger Fensteranordnung geplant (Bauteil 4). Um die große Glasfront nicht als zu bezahlenden Verschnitt zu haben, wird die Traufwand in die Elemente 5, 6 und 7 aufgeteilt. Der Sturz über der Glasfront (Bauteil 7) kann in Brettsperrholz, Kerto oder in Brettschichtholz ausgeführt werden.

2 Deckenbemessung

Das Verfahren zur Bemessung von Brettsperrholz ist in den bauaufsichtlichen Zulassungen geregelt. In den Anhängen der Zulassungen oder in den Tabellenwerken der Hersteller sind Rechenwerte für eine vereinfachte Bemessung angegeben. Dabei wird nach der Beanspruchungsrichtung parallel oder senkrecht zur Faserrichtung der Decklage unterschieden. Angegeben sind der effektive Elastizitätsmodul, die effektive Biegesteifigkeit und die zulässigen bzw. charakteristischen Werte für Biegespannung und Schubspannung. Voraussetzungen für die Anwendung der angegebenen vereinfachten Bemessung sind das Vorliegen einer überwiegend gleichmäßig verteilten Belastung (Gleichstreckenlast) und ein Verhältnis von Spannweite zu Bauteildicke von $l/d \geq 15$.

Bei üblichen Grundrissen lassen sich Brettsperrholzdecken vereinfacht einachsig als Ein- oder Mehrfeldträger auf zwei oder mehr Auflagern berechnen. Die Bemessung erfolgt wie die Spannungsnachweise einteiliger Rechteckquerschnitte. Dabei wird ein 1 m breiter Plattenstreifen betrachtet, auf den eine Gleichlast aufgebracht wird. Die Steifigkeitseigenschaften des Plattenstreifens können dabei den Tabellen der Hersteller entnommen werden. Die Nachweise werden dann mit dem Bruttoquerschnitt geführt und mit den ebenfalls tabellierten Spannungswerten verglichen. Dies heißt, dass für die Berechnung der Querschnittswerte (A, W, I) der Vollquerschnitt, also alle Brettlagen ungeachtet ihrer Richtung, zugrunde gelegt wird:

- statisches Modell wie bei Holzbalken, Balkenbreite 1 m
- E_{eff} aus Tabellen der Hersteller
- Ermittlung Durchbiegung, Momente und Querkräfte
- Widerstandsmoment und Schubfläche bezogen auf 1 m Plattenbreite und Brutto-Bauteilhöhe

- Ermittlung von Biege- und Schubspannungen am Bruttoquerschnitt
- Vergleich mit den charakteristischen Spannungen aus den Tabellen der Hersteller

Bei einem Verhältnis von l/d < 30 ist zusätzlich der Anteil aus Schubverformungen zu berücksichtigen.

Bei den vorab genannten Bemessungskriterien wurde die Schwingungsbetrachtung von Wohnungsdecken außer acht gelassen. Forschungsergebnisse zeigen, dass Decken aus Brettsperrholz aufgrund der hohen Biegesteifigkeit in Querrichtung eine hohe Schwingungsdämpfung aufweisen. Dies gilt insbesondere bei 3- oder 4-seitiger Auflagerung.

Zu berücksichtigen ist allerdings, dass über die Stoßausführungen der Deckenelemente untereinander zwar die Kräfte übertragen werden, eine ausreichende Kopplung des Schwingwiderstandes aber nicht vorhanden ist.

Der kreuzweise Aufbau der Brettsperrholzelemente ermöglicht auch einen zweiachsigen Lastabtrag. Während die Quertragrichtung in der Praxis in Standardfällen eine eher untergeordnete Rolle spielt, können punktförmige Stützungen und Ausschnitte ohne Randträger jedoch auch ergänzende, genauere Untersuchungen notwendig werden lassen, um dieses Potenzial zu nutzen. Grundsätzlich können hierzu Trägerrostmodelle herangezogen werden oder auch FEM-Programme eingesetzt werden. Das ebene Modell ist dann mit unterschiedlichen Steifigkeiten in den beiden Spannrichtungen zu modellieren. Der Elementierung ist dabei verstärktes Augenmerk zu schenken. Der Elementstoß ist im Modell als Gelenk zu berücksichtigen (Abb. 3).

Abb.3: FE-Modell Decke

Brettsperrholzdecken können als Deckenscheiben ausgebildet und zur Aufnahme und Weiterleitung von horizontalen Kräften aus Aussteifung, Wind und Erdbeben herangezogen werden. (Abb. 4).

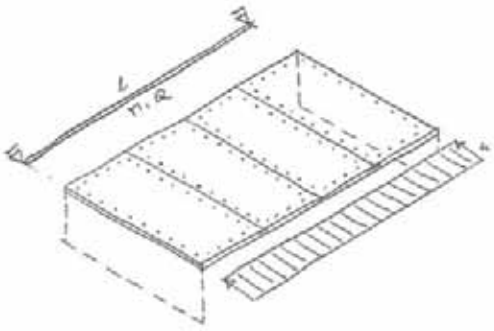


Abb. 4: Modell Deckenscheibe

Sind die konstruktiven Anforderungen erfüllt, so darf in der Regel auf einen rechnerischen Nachweis der Scheibenwirkung verzichtet werden. Eine Überlagerung der Spannungen aus Scheiben- und aus Plattenwirkung darf vernachlässigt werden. Entscheidend sind jedoch eine saubere Konstruktion der Deckenscheibe mit einer Lastverfolgung über alle Bestandteile einer Scheibe sowie

die entsprechende Bemessung und Ausführung der Anschlüsse (Abb. 5).

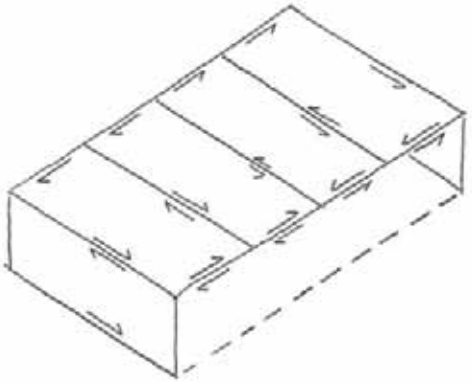


Abb. 5: Deckenscheibe, zu übertragende Kräfte

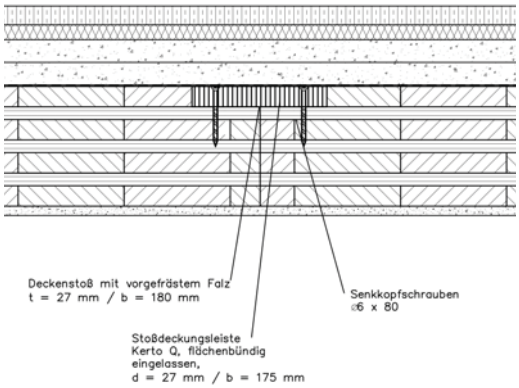


Abb. 6: Elementstoß Decke

Plattenstöße rechtwinklig zur Spannrichtung der Deckenscheibe sind beispielsweise über eingefälzte Stoßdeckungsleisten aus Furnierschichtholz (Abb. 6) schubfest miteinander zu verbinden, um die Querkräfte zu den Auflagerachsen zu leiten. Ferner sind diese Stöße am oberen und unteren Rand der Scheibe über Gurthölzer miteinander zu überbrücken. Dies kann häufig durch meist ohnehin vorhandene Wandelemente realisiert werden, wenn diese im Scheibenbereich ungestoßen durchlaufen oder deren Stöße für die Gurtkraft bemessen überbrückt werden. Mit kontinuierlich eingedrehten, selbstbohrenden Holzschrauben können diese Bedingungen meist einfach und dem jeweiligen Schubfluss angepasst umgesetzt werden (Abb. 7)

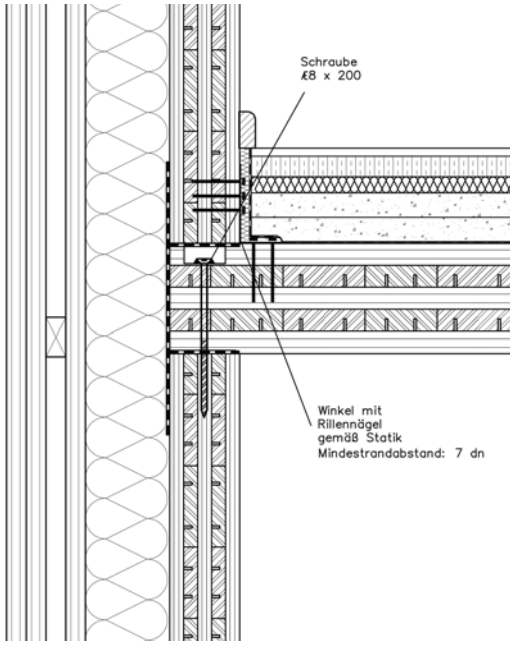


Abb. 7: Anschluss Decke auf Wand

Für genauere Betrachtungen an Brettsperrholzbauteilen steht ferner das Verfahren im Anhang D der DIN 1052:2004-08 zur Verfügung, welches auf der Schubanalogie beruht. Dieses für Flächentragwerke angegebene Bemessungsverfahren lässt sich auch für stabförmige Bauteile einsetzen.

3 Wandbemessung

Wände aus Brettsperrholz werden im Regelfall so ausgeführt, dass die Faserrichtung der Decklagen vertikal verläuft. Es können aber auch Wände mit horizontaler Ausrichtung der Decklage ausgeführt werden. Die vertikale Faserrichtung der Decklage bedeutet ein gutes Verhalten bei der Knickbemessung, während eine horizontale Faserrichtung der Decklagen bei der Sturzbemessung Vorteile bringt.

Wände aus LenoTec® sind für Knickbeanspruchung (auch mit Seitenlast) entsprechend der

DIN 1052 T1 zu bemessen. Bei Wänden ohne Ausschnitte wird eine ideelle „Stabbreite“ von einem Meter mit der auf einen Meter bezogenen Vertikallast in Ansatz gebracht. Der Berechnungsablauf folgt dann dem Vorgehen bei einer Stütze, wobei Knicken nur aus der Wandebene heraus betrachtet wird.

- Bestimmung der Ersatzstablänge l_{ef}, in der Regel Geschosshöhe
- Entnahme des Trägheitsradius i aus Tabelle
- Ermittlung des Schlankheitsgrades λ
- Entnahme von $E_{0,05}$ und $f_{c,0,k}$ aus den Tabellen
- Ermittlung des bezogenen Schlankheitsgrades $\lambda_{rel,c}$
- Ermittlung des Knickbeiwertes k_c mit $\beta_c = 0{,}1$ für Holzwerkstoffe zur Abminderung der Festigkeit, alternativ Verwendung der tabellierten k_c – Werte für GL24c
- Gegenüberstellung der Bemessungsdruckspannung und der abgeminderten Bemessungsdruckfestigkeit

Gegebenenfalls ist eine Überlagerung mit Biegung aus Wind erforderlich. Das Vorgehen hierbei ist wie oben beschrieben. Die beiden Anteile werden addiert.

Bei Wänden mit Fenster- oder Türausschnitten sind zwei zusätzliche Überlegungen mit einzubeziehen. Auf der Einwirkungsseite ist die Lasteinflussbreite des Wandpfeilers zu bestimmen und zu berücksichtigen. In der Regel dürfte diese jeweils bis in die Mitte des Sturzes der benachbarten Öffnung reichen (Abb. 1 und 8). Auf der Widerstandsseite ist anstatt des Ein-Meter-Streifens die tatsächliche Breite des Wandpfeilers anzusetzen. Die Nachweise sind dann mit dieser tatsächlichen Geometrie durchzuführen.

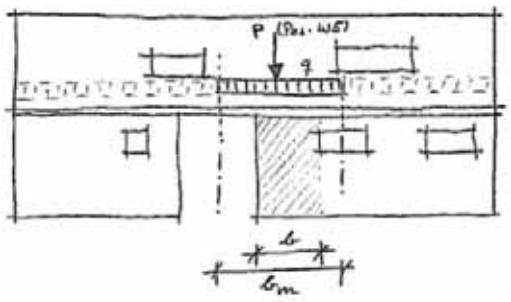


Abb. 8: Einflussbreite eines Wandpfeilers

Für den Nachweis der Restquerschnitte von Wandelementen über den Fenstern und Türen sind Modellbildungen erforderlich, die den jeweiligen Gegebenheiten Rechnung tragen. Bei relativ schmalen, verbleibenden Wandpfeilern neben der Öffnung liegt die Annahme eines Gelenkes für das Auflager des Sturzes nahe, auch wenn die Öffnung aus einer Rohplatte herausgeschnitten wird. Bei breiteren Restquerschnitten neben der Öffnung ist die Annahme einer Einspannung des Sturzes in der Wandscheibe möglich (Abb. 1 und 9).

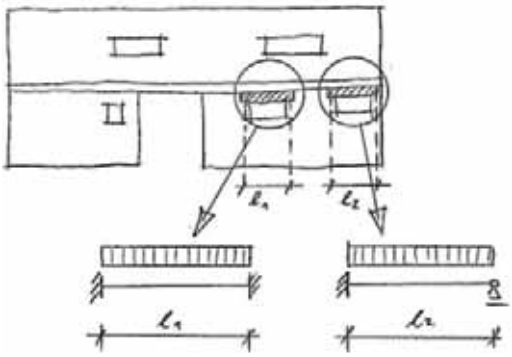


Abb. 9: Modellbildung bei Stürzen

Für die Biegebeanspruchung und Durchbiegung der Stürze werden ausschließlich die horizontal verlaufenden Brettlagen einbezogen. Für die Ermittlung der Schubspannungen wird auf der sicheren Seite liegend grundsätzlich der schwächere Querschnittsanteil des kreuzweise verklebten Aufbaus herangezogen. Für diese relevanten La-

mellenanteile können in der Regel die Werte von Nadelholz C24 angesetzt werden.

Für die Ableitung von horizontalen Lasten zum Beispiel aus den oben behandelten Deckenscheiben kann Brettsperrholz ohne Öffnungen bzw. mit kleinen Öffnungen im üblichen Hausbau als ausreichend schubsteif angesehen werden. Entscheidend ist die kraftschlüssige horizontale und vertikale Verbindung der als Scheiben angesetzten Wandelemente mit den Deckenscheiben und dem Fundament (Abb. 1 und 10). Aufgrund der relativ geringen Auflasten im Holzhausbau werden an den Wandenden auch abhebende Kräfte zu verankern sein, die insbesondere während der Bauzeit auftreten können.

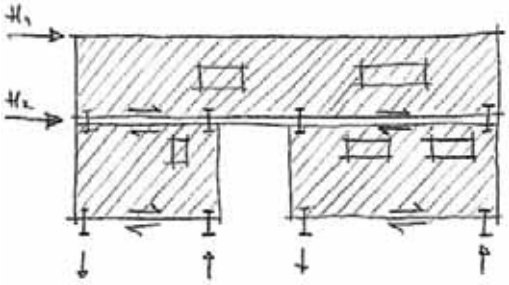


Abb. 10: Wandscheiben und zu übertragende Kräfte

Bei der Verankerung mit Stahlwinkeln (Abb. 11) ist bei der Ermittlung der Auszugskräfte von Dübeln oder anderen Verbindungsmitteln besonders auf die tatsächlichen Hebelverhältnisse zu achten.

Aufgrund der hohen Scheibensteifigkeit der Brettsperrholzelemente kann die Horizontalkraft nicht anteilig der einzelnen Wandlängen auf diese verteilt werden. Die Verteilung hat entsprechend der Trägheitsmomente bzw. der Steifigkeiten zu erfolgen. Bei asymmetrischen Scheibenanordnungen ist die Exzentrizität der angreifenden Lasten vom Scheibenschwerpunkt zu berücksichtigen.

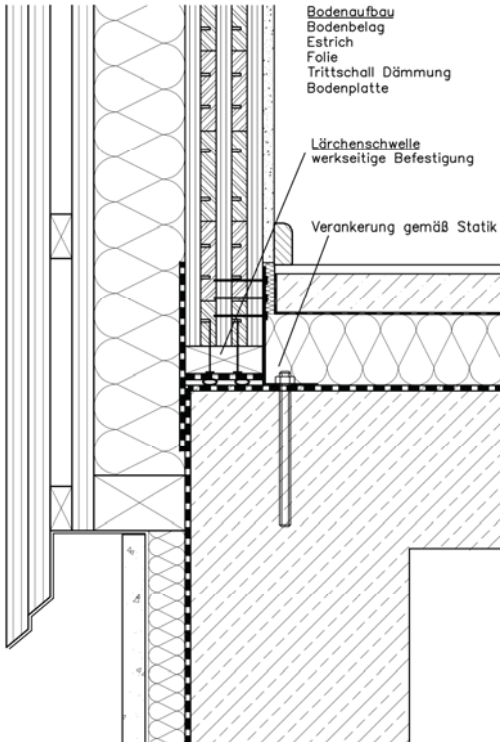


Abb. 11: Verankerung Wand

4 Verbindungsmittel

Die Behandlung von Verbindungsmitteln bei Brettsperrholz ist derzeit noch stark von den einzelnen Zulassungsformulierungen abhängig. Im Einzelfall ist die jeweilige Zulassung zu Rate zu ziehen. Nachfolgende Angaben basieren auf der Zulassung für LenoTec (Z-9.1-501).

Die charakteristischen Werte der Tragfähigkeit der Verbindungsmittel in Brettsperrholz können wie nach DIN 1052: 2004-08 üblich ermittelt werden. Fugen zwischen den Brettern einer Lage gelten dabei nicht als Rand. Randabstände sind jedoch gegenüber Elementrändern, Ausschnitten und tieferen Ausfräsungen einzuhalten.

Für Dübel besonderer Bauart in Schmalflächen ist die charakteristische Tragfähigkeit wie für Hirnholzdübel zu bestimmen. Dabei entsprechen die Schmalflächen den Schnittkanten des Brettsperr-

holzes. Diese weisen sowohl Hirnholz- als auch Seitenholzflächen auf.

Bei Stabdübel- und Bolzenverbindungen ist die Faserrichtung der Decklagen für die Berücksichtigung des Winkels auf die Lochleibungsfestigkeit maßgebend. In den Schmalflächen dürfen diese nicht als tragend in Rechnung gestellt werden.

Bei Nägeln ist die Faserrichtung der Decklage für die Mindestnagelabstände entscheidend. Der Mindestdurchmesser beträgt 4 mm. Auch Nägel dürfen in den Schmalflächen nicht als tragend in Rechnung gestellt werden. Auf Herausziehen können nur Nägel der Tragfähigkeitsklasse 3 nachgewiesen werden, wobei der charakteristische Wert des Ausziehparameters der Tragfähigkeitsklasse 2 anzuwenden ist. Für die Rohdichte kann, auf der sicheren Seite liegend, der Wert der Rohdichte von C24 verwendet werden, wobei neuere Untersuchungen den Schluss zulassen, dass auch ein höherer Wert gerechtfertigt sein dürfte.

Bei Schrauben wird für Schmalflächen ein Mindestdurchmesser von 8 mm gefordert, während er in den Seitenflächen, die durch die Oberflächen der Brettlagen gebildet wird, 4 mm betragen muss. Auch hier ist die Decklagenrichtung für die Mindestschraubabstände entscheidend. Des Weiteren können die Regeln der DIN 1052 für Holzschrauben angewendet werden, wobei der Gewindedurchmesser als maßgebender Durchmesser der Schrauben zu verwenden ist. Für die Lochleibungsfestigkeit von Brettsperrholz auf der Schraubenkopfseite der Verbindung darf für die Lochleibungsfestigkeit der Wert für Baufurniersperrholz verwendet werden. Werden die Schrauben in das Hirnholz einer Schmalfläche eingedreht, so ist für dieses Bauteil die Lochleibungsfestigkeit um 50 % abzumindern.

Werden die Schrauben im Seitenholz auf Herausziehen nachgewiesen, so ist der Ausziehparameter um 25 % abzumindern.

5 Ausblick

Die vorangegegangenen Kapitel zeigen die Situation, welche durch die flächigen Holzbauelemente für den berechnenden Ingenieur entstanden ist. Er muss sich nun Gedanken machen über die Modellfindung bei flächigen Systemen, wie es den Holzbauern so noch nicht geläufig ist.

Die Nachweise stabförmig betrachteter Bauteile und Bereiche sind dank der Tabellen der Hersteller relativ einfach durchführbar. Das Material eröffnet jedoch Möglichkeiten, für die bisher noch keine allgemein anerkannten Werkzeuge der breiten Anwendung zur Verfügung stehen: großformatige Bauteile, welche Scheibe und Platte zugleich sind, zweiachsig wirkende Platten(teil)bereiche, punktförmige Lagerungen mit einer Verstärkung der limitierenden Rollschubtragfähigkeit, tragende Wandscheiben mit Löchern. Vieles lässt sich ersinnen und auch bauen, für das die gewohnten Bemessungsregeln nicht direkt angewendet werden können. Es bleiben stark vereinfachende Modelle und Anleihen aus dem Stahlbetonbau, die wiederum das technische Vermögen nicht abrufen können und hinsichtlich ihrer Anwendung auf einfache Strukturen begrenzt bleiben.

Das Potenzial zum Massenbaustoff hat Brettsperrholz bereits bewiesen. Um sich jedoch tatsächlich zum Massenbaustoff zu entwickeln, sind Werkzeuge erforderlich, die sich auf Augenhöhe mit den anderen (Massen-) Baustoffen wie Stahl und Beton befinden, und auch in komplexeren Fällen mit wirtschaftlichem Ergebnis angewendet werden können.
Noch lässt das Normenwerk den Ingenieur in Sachen Kreativität und Verantwortung relativ alleine. Und auch gängige Softwareanwendungen

lassen den Werkstoff – die kaum überschaubare Vielfalt an herstellerabhängigen Aufbauten mag hier entschuldigen – bisher links liegen. Die händische Berechnung von Querschnittsfestigkeiten diverser Aufbauten oder das Modellieren anhand der Schubanalogie sind jedoch für im Wettbewerb stehende Ingenieurbüros nicht praktikabel und daher nicht zeitgemäß. In den gängigen Programmen sind für Brettsperrholz materialgerechte Ansätze für die Berechnung von Flächen oder auch Stäben zu implementieren. Erste Ansätze hierfür sind vorhanden, es werden jedoch weitere Bemühungen erforderlich sein.

Neben der Seite der statischen Nachweisführung sind selbstverständlich auch die weiteren Aspekte zu lösen, die für einen umfangreichen Einsatz geklärt, zugänglich und im Regelwerk verankert sein müssen. Der Brandschutz und das Kapselkriterium seien hier beispielhaft erwähnt, insbesondere da sich der mehrgeschossige Einsatz aufgrund der bei Einfamilienhäusern und vergleichbaren Gebäuden statisch kaum geforderten Tragfähigkeit geradezu aufdrängt. Einzelne Beispiele bestätigen dies.

Quellen und weiterführende Literatur

[1] Allgemeine Bauaufsichtliche Zulassung Z-9.1-501 MERK-Dickholz
[2] Finnforest Merk, LenoTec – Material und Konstruktion,
[3] Finnforest Merk, Service CD Bausysteme/Bauprodukte
[4] DIN 1052:2004-08: Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken
[5] Schweizerische Arbeitsgemeinschaft für Holzforschung, Praktische Anwendung von Massivholzplatten, Tagungsband, Zürich, 2007
[6] Fördergesellschaft Holzbau und Ausbau mbH (Hrsg.), DIN 1052 Praxishandbuch Holzbau, Weka Verlag, Kissing, 2005
[7] TU Graz Institut für Holzbau und Holztechnologie, 5. Grazer Holzbau-Fachtagung – Brettsperrholz - Ein Blick auf Forschung und Entwicklung, Tagungsband, Graz, 2006

Anhang

Werte gemäß Zulassung Z-9.1-501, für LenoTec 85 mm gemäß Zulassung Z-9.1-354

Tab.1

k_{mod}	Nutzungsklasse	
Klasse der Lasteinwirkungsdauer	1	2
ständige Einwirkung	0,60	0,60
lange Einwirkung	0,70	0,70
mittlere Einwirkung	0,80	0,80
kurze Einwirkung	0,90	0,90
sehr kurze Einwirkung	1,10	1,10
k_{def}	0,60	0,80

Tab. 2: Rechenwerte für die charakteristischen Festigkeits-, Steifigkeits- und Rohdichtewerte und geometrische Kennwerte für LenoTec-Standardaufbauten zur Bemessung nach DIN 1052:2004-08

Leno-Querschnitt		**51**		**61**		**71**	
Aufbau [1]		17 17 17		17 27 17		27 17 27	
Beanspruchungsrichtung [2]		parallel	senkrecht	parallel	senkrecht	parallel	senkrecht
Festigkeitswerte in N/mm²							
Plattenbeanspruchung							
Biegung flachkant	$f_{m,k}$	23,11	2,67	21,93	4,68	23,67	1,37
Druck senkrecht zur Plattenebene	$f_{c,90,k}$	2,50		2,50		2,50	
Schub/Plattenschub	$f_{v,k}$	0,92	0,67	0,97	0,89	0,89	0,48
Scheibenbeanspruchung							
Biegung hochkant	$f_{m,k}$	16,00	8,00	13,38	10,62	18,25	5,75
Zug in Plattenebene	$f_{t,k}$	9,33	4,67	7,80	6,20	10,65	3,35
Druck in Plattenebene	$f_{c,k}$	14,00	7,00	11,70	9,30	15,97	5,03
Schub/Scheibenschub	$f_{v,k}$	0,67		0,89		0,48	
Steifigkeitskennwerte in N/mm²							
Plattenbeanspruchung							
Elastizitätsmodul	E_{mean} [3]	10590	410	10050	950	10850	150
Schubmodul	G_{mean} [3]	60		60		60	
Scheibenbeanspruchung							
Elastizitätsmodul	E_{mean} [3]	7330	3670	6130	4870	8370	2630
Schubmodul	G_{mean} [3]	460	230	385	305	525	165
Rohdichtekennwerte in kg/m³							
Rohdichte (charakteristischer Wert)	ρ_k	350		350		350	
geometrische Kennwerte							
Elementdicke [mm]	D	51		61		71	
Trägheitsradius [cm]	i	1,77	0,49	2,25	0,78	2,33	0,49
Nettoquerschnitt [cm²/m]	A_{netto} [4]	340	170	340	270	540	170
Bruttoquerschnitt [cm²/m]	A_{brutto} [4]	510		610		710	

Tab 3: Rechenwerte für die charakteristischen Festigkeits-, Steifigkeits- und Rohdichtewerte und geometrische Kennwerte für LenoTec-Standardaufbauten zur Bemessung nach DIN 1052:2004-08

Leno-Querschnitt		**147**		**153**		**162**	
Aufbau [1]		33-27-27-27-33		33-27-33-27-33		27-27-27-27-27	
Beanspruchungsrichtung [2]		parallel	senkrecht	parallel	senkrecht	parallel	senkrecht
Festigkeitswerte in N/mm²							
Plattenbeanspruchung							
Biegung flachkant	$f_{m,k}$	20,16	7,01	19,85	7,33	17,76	9,33
Druck senkrecht zur Plattenebene	$f_{c,90,k}$	2,50		2,50		2,50	
Schub/Plattenschub	$f_{v,k}$	0,84	0,42	0,85	0,44	0,93	0,54
Scheibenbeanspruchung							
Biegung hochkant	$f_{m,k}$	15,18	8,82	15,53	8,47	16,00	8,00
Zug in Plattenebene	$f_{t,k}$	8,86	5,14	9,06	4,94	9,33	4,67
Druck in Plattenebene	$f_{c,k}$	13,29	7,71	13,59	7,41	14,00	7,00
Schub/Scheibenschub	$f_{v,k}$	0,73		0,71		0,67	
Steifigkeitskennwerte in N/mm²							
Plattenbeanspruchung							
Elastizitätsmodul	E_{mean} [3]	9230	1770	9090	1910	8150	2950
Schubmodul	G_{mean} [3]	60		60		60	
Scheibenbeanspruchung							
Elastizitätsmodul	E_{mean} [3]	6960	4040	7120	3880	7330	3670
Schubmodul	G_{mean} [3]	437	253	446	244	460	230
Rohdichtekennwerte in kg/m³							
Rohdichte (charakteristischer Wert)	ρ_k	350		350		350	
geometrische Kennwerte							
Elementdicke [mm]	D	147		153		162	
Trägheitsradius [cm]	i	4,89	2,81	4,99	3,10	4,93	4,12
Nettoquerschnitt [cm²/m]	A_{netto} [4]	930	540	990	540	1080	540
Bruttoquerschnitt [cm²/m]	A_{brutto} [4]	1470		1530		1620	

13.2 Holzbauweisen, Holzbausysteme
Dübelholz

Peter Kaufmann

1 Allgemeines

Dübelholz ist ein moderner Holzwerkstoff, der aus einer traditionellen Holzverbindungstechnik entwickelt wurde. Sägeraue oder gehobelte, hochkant stehende Bretter werden mittels eines Hartholzdübels leimfrei zusammen gedübelt so entsteht eine reine Holzverbindung ohne Zusatzstoffe (z.B. Klebstoffe). Für Dübelholz wird hauptsächlich aus Nebenprodukten, die beim Sägen ausscheiden, hergestellt. Es werden ausschließlich Heimische Hölzer aus der Region verwendet.

Abb. 1: Traditionelle Verbindungstechnik [2]

2 Herstellung, Abmessungen

Dübelholz wird hauptsächlich maschinell produziert. Die Lamellen werden hochkant in die Dübelholzanlage eingelegt und zusammengepresst um ein Verschieben zu verhindern. Mittels eines Spezialbohrers mit Durchmesser 19,5 mm, werden im Abstand von 30 cm Löcher gebohrt. Nach dem Bohrvorgang wird in das gebohrte Loch ein 20 mm Hartholzdübel eingepresst. Je nach Maschine können Elemente mit eine Dicke von bis zu 30 cm, Längen bis zu 12 m und Breiten bis zu 2,60 m hergestellt werden. Standardisierte Elemente sind 62,5 cm breit. Die Lamellenbreiten betragen meist $\leq$ 60 mm.

Abb. 2: Dübelholzanlage [1]

Abb. 3: Bohr und Dübelvorrichtung [1]

Die Lamellen, die für ein Dübelholzelement verwendet werden, sind auf 15 ± 3 % technisch getrocknet. Der Hartholzdübel, der meist aus Buche besteht, besitzt eine Holzfeuchte von 6 bis 8 %. Das gesamte Element wird durch den Maßunterschied des Bohrlochs und des Dübels (0,5 mm) sowie durch den Feuchteaustausch zwischen Lamelle und Dübel fest zusammen gehalten. Der Buchedübel passt sich der Holzfeuchte der Lamellen an und quillt auf. Ein späteres Schwinden und Quellen passiert parallel.

3 Weiterverarbeitung

Da weder Nägel noch sonstige Zusatzstoffe im Dübelholz vorhanden sind, kann es mit jeder Holzbearbeitungsmaschine weiterverarbeitet werden.

Die sägerau zusammen gedübelten Elemente werden meist mittels einer Hobelmaschine auf planmäßig präzise Abmessung gehobelt. Im Vergleich der anfallenden Hobelverluste zwischen BSH und sägerauen Dübelholz wird klar, wie ressourcenschonend dieses Produkt ist. ca. 20 % Holz wird gegenüber vergleichbaren Produkten gespart. Beim BSH muss jede Lamelle vor dem Klebevorgang gehobelt werden. Bei sichtbaren Dübelholzprodukten ist der Hobelspanabfall jedoch ähnlich, da die Lamellen, wie beim BSH, vorher gehobelt werden.

Die Dübelholzelemente können mittels herkömmlichen Handabbundmaschinen, oder modernen CNC-gesteuerten Abbundanlagen weiterverarbeitet werden.

Abb. 4: Hundegger Abbundanlage mit Dübelholz

4 Anwendung

4.1 Decken aus Dübelholz

Die Unterseiten sind in der Regel sichtbar und können zur Verbesserung der Raumakustik profiliert werden. Ansonten werden Sie mit Gipsbaupatten bekleidet.

Abb. 5: Dübelholzdecke „Top Fase“ [1]

Abb. 6: Dübelholzdecke „Akustik“ [1]

Abb. 7: Dübelholzdecke „Combitherm“ [1]

Abb. 8: Dübelholzdecke „Basic“ [1]

Abb. 9: Dübelholzdecke „Holuton“ (Holz-Beton-Verbund) [1]

Spannweiten für Einfeldträger sind bis 6,00 m, für Durchlaufträger bis 7,50 m und für Dächer bis 9,00 m wirtschaftlich. Im Holz-Beton-Verbund er-

reicht man größere Spannweiten und verbesserten Schallschutz.

4.2 Wände aus Dübelholz

Die Wände sind in der Regel 10 ± 2 cm dick. Die abgebundeten, einzelnen Elemente werden auf einem Produktionstisch zusammengelegt und durch Nägel bzw. Schrauben mit Rähm und Schwelle verbunden. Die Wandelemente können nicht tragend und tragend ausgebildet werden.

Dienen die Wände zur Aussteifung, werden sie zur Aufnahme der horizontalen Kräfte außen mit Plattenwerkstoffen beplankt. Die Aussteifungen sind statisch nachzuweisen.

Die Oberflächen sind nicht sichtbar oder einseitig sichtbar, wenn z.B. Anforderungen an den Schallschutz oder an die Aussteifung gestellt werden. Beidseitig sichtbare Elemente sind möglich. Diese sind dann nicht tragend, nicht brandsicher und erfüllen nur geringe Schallschutzeigenschaften.

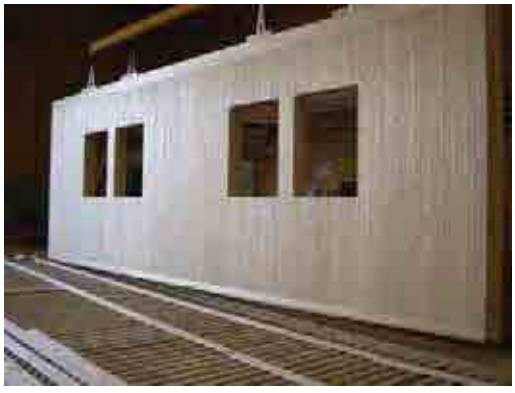


Abb. 11: Dübelholzwand [1]

4.3 Vorteile

- Massive Wände
- Leim und kleberfreier Baustoff
- Wärmespeicher
- Feuchtespeicher
- Schallschutz
- 100% Ökologischer Baustoff aus heimischen Wälder
- Schnelle Montage/ Bauzeit

5 Eigenschaften

Dübelholz besitzt die positiven Eigenschaften des massiven Holzes. Das Schwinden und Quellen wird jedoch weitgehend minimiert. Die schmalen Lamellen verringern das Schwinden und Quellen des Elementes und damit der gesamten Wand. Das Schwinden der Lamellen, kann man mit aufgespießten Orangen vergleichen. Jede für sich trocknet auf dem Spieß aus und wird kleiner. Die Achse der Orange bleibt jedoch am gleichen Punkt. Beim Schwinden ist es ähnlich. Dadurch können Gipskartonplatten ohne Probleme direkt auf den Wänden befestigt werden.

5.1 Wärmespeicher

Durch den massiven Holzkern, den das Dübelholz beim Hausbau darstellt, ist im Gegensatz zu Holzständer- oder Tafelbauten ein großer Wärmespeicher vorhanden.

5.2 Ökologie/ Nachhaltigkeit

Die Ökologie spielt heute eine immer bedeutendere Rolle. Zum einen sorgt der Klimawandel mit Stürmen, Überflutungen und Eisschmelzen täglich für Schlagzeilen. Zum anderen verlangen die Menschen immer mehr nach ökologischen, gesunden Produkten. Vor allem in Gebäuden, in denen man sich sehr lange Zeit aufhält oder auch schläft, ist eine gesunde, angenehme Umgebung wichtig.

Dübelholz ist dafür perfekt geschaffen, denn von der Herstellung über die Fertigstellung des Gebäudes, benötigt es sehr wenig Energie. Außerdem ist es naturbelassenes Holz, ohne jegliche Zusatzstoffe oder Chemikalien.

Der ganze Produktionsprozess verbraucht im Vergleich zu anderen Holzbauprodukten, wie Brett-

schichtholz oder Brettsperrholz, insgesamt sehr wenig Energie.

5.3 Feuchtespeicher

Die Feuchtigkeit der Dübelholzelemente schwankt im eingebauten Zustand zwischen 9 und 15%. In den Jahreszeiten, in denen die Luftfeuchtigkeit höher ist, also vom späten Frühling bis Anfang Herbst nehmen die Elemente Feuchtigkeit auf. Während der Heizperiode im Winter wird die Feuchtigkeit wieder langsam abgegeben und somit stellt sich ein angenehmes Raumklima ein. Vor allem bei Häusern, die nur über die Lüftungsanlagen geheizt werden, wirkt sich dies positiv aus.

5.4 Schallschutz

Durch die große Masse der Dübelholzelemente wird auch der Schallschutz positiv beeinflusst. Standardmäßige Konstruktionen bleiben deutlich unterhalb der Grenzwertanforderungen des Schallschutz.

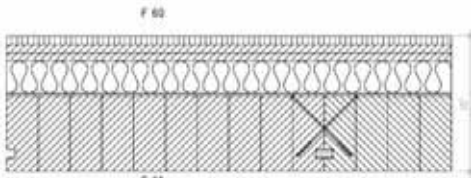


Abb. 12: Schallschutz- Luftschall $R`_w$ 47 dB, Trittschall $L`_{n,w}$ 64 dB [1]

Der Trittschall bei Decken kann durch den richtigen Aufbau weiter minimiert werden. Bei Einfamilienhäusern reicht eine Kombination von Dübelholzdecke, Trittschalldämmung und Fließestrich aus. Für höhere Anforderungen gibt es Hoch-Tief-Dübelholzelemente, die mit Splitt ausgefüllt werden, und somit eine noch höhere Masse im Deckenelement erzeugen.

5.5 Brandschutz

Holz hat ein besseres Brandverhalten als Stahl oder Stahlbeton. Die massive Holzwand bildet eine Schutzschicht/ Verkohlung. Diese lässt das Feuer nur langsam in das Material eindringen. Wichtig ist allerdings, dass die Wände luftdicht abgeklebt sind, um die Fugen gegen Durchbrand zu sichern. Nach einem reellen Brand in einem Rosenheimer Einfamilienhaus aus Dübelholz, war selbst die Feuerwehr verblüfft, wie resistent Holz gegenüber Feuer ist.

Abb.13: Nach dem reellen Brand in einem Dübelholzhaus [1]

Abb. 14: Brandversuch in Oberstadion [1]

6 Weiterentwicklung/ Ideen

6.1 Holz-Beton-Verbund

Im Verbund werden die positiven Eigenschaften von Beton und Holz kombiniert. Der Beton wird auf Druck, das Holz auf Zug beansprucht. Vor allem bei Einfeldträger kann man somit bei geringen Deckenhöhen große Spannweiten erreichen.

Abb. 15: Selbstversuch einer HBV-Decke [1]

Man könnte auch ganze Wände aus einer Kombination aus Hoch-Tief-Dübelholzelementen (Abb. 10) und Beton vorfertigen. Da Dübelholz nur allein zur Horizontalaussteifung nicht geeignet ist, könnte ein Verbund der beiden Materialien Holz und Beton sehr gute Ergebnisse liefern. Wenn man diese Idee weitertreibt könnte man aus diesen Holz-Beton-Elementen einen kompletten Keller bauen.

Abb. 16: Hoch-Tief-Dübelholzelemente [1]

6.2 Dübelholz mit direktem Putzauftrag

Eine weitere Möglichkeit, die Dübelholzelemente zur Horizontalaussteifung heranzuziehen, könnte der direkte Putzauftrag sein. Testversuche ergaben, dass durch das minimale Schwinden und Quellen der einzelnen Lamellen beim Dübelholz verschiedene Putze (ohne Armierung) direkt aufgetragen werden können. Vom Kalkputz bis zum Lehmputz hält jeden Temperaturunterschieden im Außenbereich stand Nach über drei Jahren sind keine Risse zu sehen. Die Idee, die dahinter steckt ist, dass ganze Wände kostengünstiger vorgefertigt werden. Diese Wände können zusätzlich die Aussteifung übernehmen.

Abb. 17: Putzauftrag auf Dübelholz bei einer der vier Testflächen [1]

6.3 Kreuzlagendübelholz

Man könnte Dübelholz mit einer Dicke von 5 bis 8 cm auch in drei überkreuzten Lagen ausführen. Man könnte sich vorstellen, dass dies bei einer Verklebung der 3-Schichten hervorragende Eigenschaften für weite, flächige Spannweiten besitzt.

Mit 2-Lagen (eine Lage um 90° gedreht) könnte man selbst mit Vollgewindeschrauben ein zweiachsig gespanntes Flächenbauteil ausbilden (z.B als Holz-Bodenplatten, die auf Glasschaum gesetzt sind).

6.4 Maschine

Dübelholz wird heutzutage noch recht langsam hergestellt (Ein Element mit 5 m Länge benötigt ca. 12 min). Es existieren bereits Pläne für eine Maschine, die eine 10-fach schnellere Herstellung zulässt. Ähnlich wie bei der Herstellung von KVH und BSH wird das Rohholzpaket auf die Maschine gelegt. Senkrecht aufgestellt und später im ersten Vorgang komplett gebohrt und im zweiten Schritt gedübelt. Nach diesem Vorgang läuft das sägeraue Dübelholzelement vollautomatisch in eine Hobelanlage. Für diese vollautomatische Dübelmaschine muss jedoch die Nachfrage nach Dübelholz noch gesteigert werden. Dies ist in der Sicht des Autors durch die vielen Vorteilen vom Dübelholz durchaus möglich.

6.5 Mehrgeschossiger Wohnbau

Dübelholz ist vollkommen offen für den mehrgeschossigen Wohnbau- die richtige Konstruktion ist ausschlaggebend. Nach Meinung eines erfahrenen Dübelholzherstellers, der den Mehrgeschosser in Växjö/ Schweden begutachtet hat, ist es technisch kein Problem auch aus Dübelholz über zehn Stockwerke hoch zu bauen.

7 Chile/ Südamerika

Dübelholz ist ein Produkt, das in jedem Land der Erde, das über Holzvorkommen verfügt, hergestellt werden kann. Die meisten Holzarten sind dazu geeignet, da schmale Lamellen zu einem massiven Holzklotz zusammengedübelt werden.

Mit Unterstützung des Institut für Holzbau Biberach läuft derzeit ein Projekt in Chile. Studenten aus Deutschland und der Universität Bio-Bio planen und bauen derzeit eine voll funktionsfähige Dübelholzanlage in Chile. Damit kann man das Holz mit geringer Festigkeit, welches in dieser Region reichlich vorhanden ist, zu Dübelholz verarbeiten. Kostengünstige und komfortable Bauten können somit auch in den ärmeren Regionen der Erde hergestellt werden.

Abb. 18: Projekt „Dübelholz für Chile“ [1]

8 Fazit

Dübelholz ist ein traditionelles Holzbauprodukt, das für die Zukunft perfekt gerüstet ist. Für neue Kombinationen mit anderen Baustoffen ist Dübelholz völlig offen. Ideen, die zuerst recht skeptisch angesehen werden, müssen weiter erforscht und dann umgesetzt werden.

Der Schweizer Holzbauvisionär Hermann Blumer sagt: „Damit wir mit Holz im Wettlauf der Baustoffe mithalten können, müssen wir permanent etwas „Neues“ erträumen. Wenn ich „Neues“ sage, dann ist das für mich in der Regel Bekanntes in einer vorerst noch ungewöhnlichen Kombination. Im Volksmund heißt das dann „Alter Wein in neuen Schläuchen“. Ich traue mich auch einmal etwas auszudenken, das nach „Neuer Wein in neuen Schläuchen“ aussieht.“

Der massive Holzbau ist auf dem richtigen Weg. Im Hinblick auf Forschung und Umsetzung in die Praxis gibt es jedoch noch viel zu tun.

Quellen

[1] Kaufmann GmbH, Oberstadion
[2] Archiv Arge Holz, Düsseldorf

Siehe auch 13.2 Holzbausysteme „Brettstapel“

13.2 Holzbauweisen, Holzbausysteme
TWOODS - Bauelemente

Urs Steinmann

TWOODS®-Bauelemente werden metall- und leimfrei durch Holzdübel verbunden. Neben dem einzigartigen Wohnklima profitieren Sie von einer ausgezeichneten Wärmedämmung und einem besseren Hitze-, Brand- und Strahlenschutz.

1 Ziel

Es muss unser Ziel sein Häuser zu bauen, in welchen ein möglichst großes Wohlbefinden zu spüren ist. Ein Haus kann auch als großes Kleid der Bewohner betrachtet werden. Es soll sich den Bewohnern anpassen können, sie schützen und Ihnen Geborgenheit und Lebensqualität geben. Mit möglichst kleinem Energieeinsatz soll es ein ausgeglichenes Klima bieten. Oder in Kleidern ausgedrückt: Es soll eine Goretex-Jacke sein und nicht ein Ölanzug.

Es muss auch unser Ziel sein, unseren Nachkommen ein sauberes Haus zu überlassen. Ein Haus, welches nicht als Sondermüll in der Landschaft steht, sondern ein Haus, welches mit gutem Gewissen wieder dem natürlichen Kreislauf übergeben werden kann. Ein Haus, welches wieder zu Erde werden kann. Ein Haus ohne schädliche Fremdstoffe für die Umwelt.

2 Holzverbrauch

Wir dürfen kein Holz „verbrauchen“ sondern die Natur gibt uns die Möglichkeit Holz zu gebrauchen. Nach dem Gebrauch müssen wir den edlen Baustoff „Holz“ mit gutem Gewissen wieder zurückgeben können.
Wenn wir das Holz während der Gebrauchsphase zu Sondermüll machen, so haben wir wohl etwas falsch gemacht…….

Die Idee
…….einfach und bestechend!

TWOODS® die Kombination der drei Holz-Weisheiten:

- Gekreuzte Anordnung der Bretter für tragende, aussteifende Elemente (Tragwerkskunst)
- Holznägel zum Verbinden von Brettern (Zimmermannskunst)
- Tuch als Dichtung (Schiffsbaukunst)

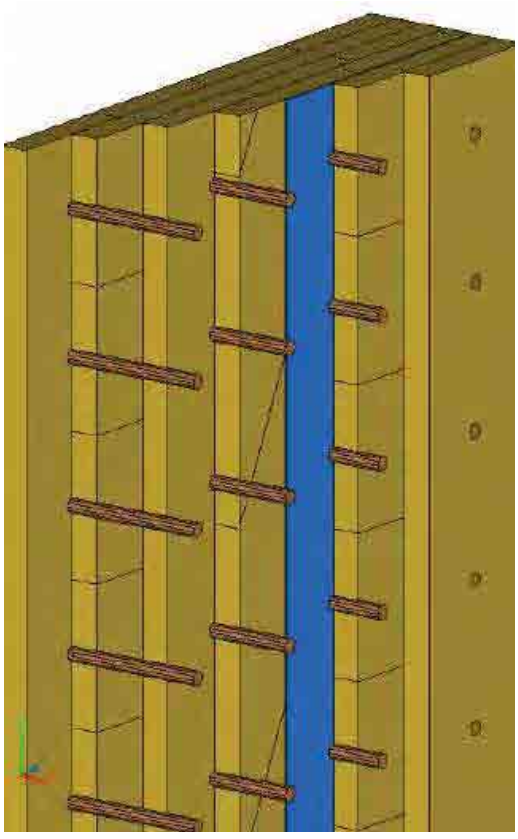


Abb. 1: Aufbau TWOODS®-Bauelement

2.1 Bretterlagen

Grundelement für die Bretterlagen sind sägerohe Bretter direkt von der lokalen Sägerei auf 6 % bis 10 % technisch getrocknet. Die optimale Abmessung der Bretter liegt bei ca. 150 / 30 mm. Damit wird ein Minimum an grauer Energie in die Bretter gesteckt. Die TWOODS®-Bauelemente können eigentlich vom Tragwerk her als geschlossener Gitterträger betrachtet werden. Gitterträger haben im Holzbau eine lange Tradition und haben

sich bereits zu Zeiten der Industrialisierung bewährt. Wurden und werden doch viele Eisenbahnbrücken in dieser Bauweise konstruiert.

Abb. 2: Gitterträgerbrücke im Neckertal (CH)

2.2 Holznägel

Zur Verbindung der Bretter untereinander dienen Holznägel oder auch Dübel genannt. Es werden Dübel aus der einheimischen Laubholzart „Buche“ eingesetzt. Die Holznagelverbindung ist altbewährt. Sie hält unzählige Objekte bereits Jahrhunderte lang zusammen.

Abb. 3: Bug mit Holznägeln

Abb. 4: Holznägel

2.3 Dichtung

Zur Dichtung der Elemente wird ein von uns entwickelter Filz eingesetzt. Die Lage besteht aus Wolle, Baumwolle und Hadern. Eine spezielle Anforderung an „das Tuch“ ist, dass es beim Bohren nicht aufreißt und sicherstellt, dass es um den Dübel herum sauber schließt. Eine weitere Anforderung ist, dass diese Schicht winddicht aber dampfdiffusionsoffen ist. Diese Schicht stellt eigentlich die Goretex-Schicht in unserem Kleid dar.

Diese drei Komponenten - sägerohe Bretter, Holznägel und Filz intelligent kombiniert - ergeben ein perfektes Element mit unschlagbaren Leistungen - ökologisch, nachhaltig und angenehm.

Abb. 5: TWOODS®-Bauelement

3 Leistungen von TWOODS®-Bauelementen

3.1 Schutz vor Kälte

TWOODS-Häuser besitzen einen ausgezeichneten Wärmebalancewert, die Minergie- Standardwerte werden spielend erreicht. Wohlige Wärme strahlt von den Wänden. Insbesondere das ausgezeichnete dynamische Verhalten der TWOODS-Bauelemente sichert ein ausgeglichenes Klima. Die nachfolgende Grafik zeigt Messkurven der Innentemperatur in drei Raumzellen mit unterschiedlichem Wandaufbau. Die Untersuchungen wurden und werden an der ETH in Zürich durchgeführt.

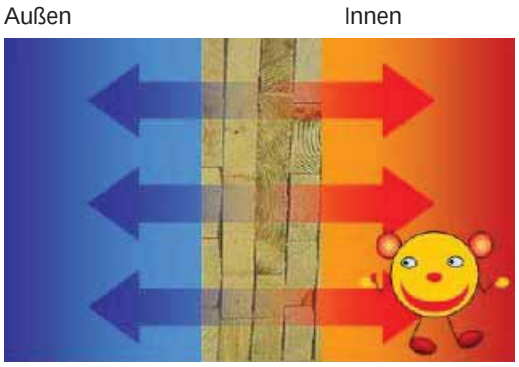


Abb. 6: Schutz vor Kälte im Winter

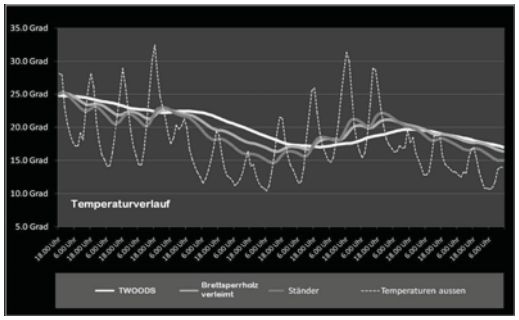


Abb. 7: Schutz vor Kälte im Winter

3.2 Schutz vor Zugluft

In jedem TWOODS®-Bauelemente ist mindestens eine Winddichtung eingebaut. Es wird eine Art Filz aus Wolle, Baumwolle und Hadern eingelegt um den Wind außen vor zu halten. Schon unsere Vorfahren haben Filz eingesetzt um sich vor Wind und Wetter zu schützen.

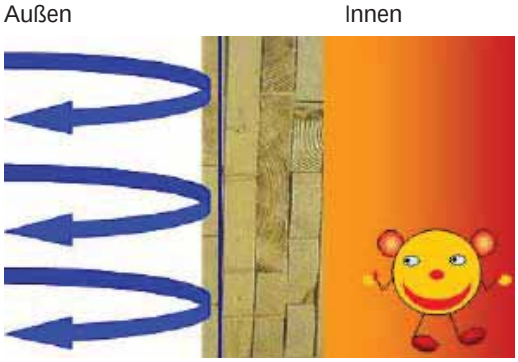


Abb. 8: Schutz vor Wind

3.3 Schutz vor Nässe im Haus, Dampfdiffusion

TWOODS®-Bauelemente sind dampfdiffusionsoffen. Die Feuchtigkeit oder eben der Dampf kann ungehindert durch das Element wandern. Die Vollholzelemente stellen auch einen riesigen Dampfpuffer dar, was ein ausgeglichenes Klima sicherstellt. Eine Dusche in einem Vollholzraum bringt die Wände nicht zum schwitzen. Der Dampf kann ungehindert durch die Konstruktion wandern. Wie bei einer Goretex-Jacke um bei den Kleidern zu bleiben.

Abb. 9: graue Ecken in herkömmlicher Bauweise

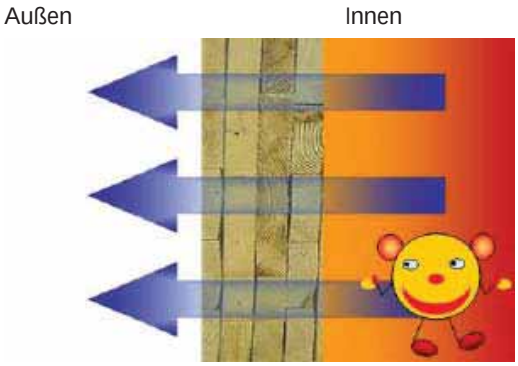


Abb. 10: Dampfdiffusionsoffen

Die Feuchtebalance in einem TWOODS®-Haus ist ausgezeichnet. Feuchte Ecken gehören dank der guten Diffusionswerte der Vergangenheit an. Die große Masse an unbehandeltem Holz kann Feuchtigkeit aufnehmen und auch wieder dosiert abgeben. Der Dampf bzw. die Feuchtigkeit kann ungehindert durch das Element wandern, ohne auf eine bremsende oder stauende Schicht zu stoßen.

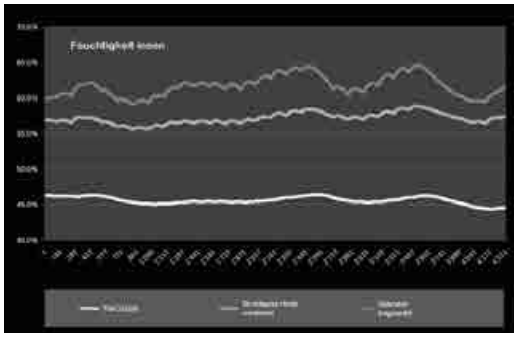


Abb. 11: Ausgeglichene Feuchtigkeit im Haus

3.4 Schutz vor Hitze

Mit einem TWOODS®-Haus müssen Sie am Nachmittag nicht Siesta machen weil es im Gebäude zu heiß ist. Einmal mehr hilft die große Speichermasse ein ausgeglichenes Klima im Haus sicherzustellen. Im Haus bleibt es angenehm, es kommt kein Barackenklima auf.

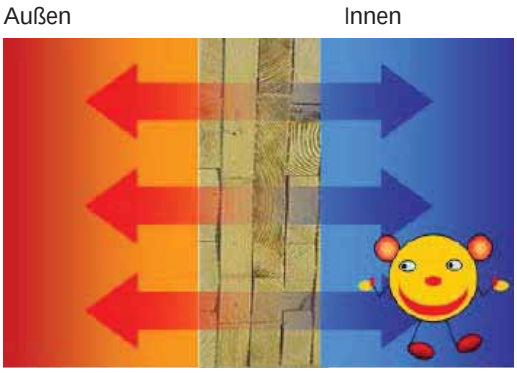


Abb. 12: Schutz vor Hitze im Sommer

3.5 Schutz vor Lärm

Holz hat grundsätzlich eine sehr hohe Dämpfungseigenschaft. Allein durch die große Masse an rohen Holzbrettern erreichen wir schon einen sehr hohen Schallschutz. Dazu kommt noch die Wirkung des Schichtaufbaus. Durch den Schichtaufbau der rohen Bretter in verschiedenen Richtungen kommen die Auflagepunkte der Bretter willkürlich zu liegen. Dazwischen befindet sich Luft. Währen die Bretter gehobelt, so hätten wir einen wesentlich schlechteren Schallschutzwert, da die Bretter sich nicht punktuell berühren sondern flächig aufeinander liegen. Noch schlechter Werte ergeben verleimte Schichtholzplatten, wo der Leim ein perfekter Leiter des Schalls von einer Schicht zur anderen darstellt.

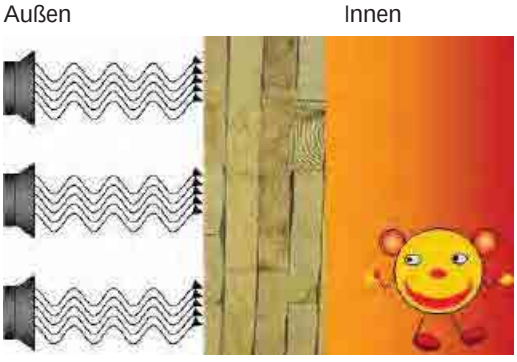


Abb. 13: Schutz vor Lärm, Schallschutz

3.6 Schutz vor Emissionen

TWOODS®-Elemente sind frei von schädlichen Emissionen da keine Zusatzstoffe verwendet werden. Allergiker wissen diese Tatsache enorm zu schätzen. Auch die Entsorgung der Elemente wird niemandem Sorge bereiten. Die Bewohner von TWOODS®-Häusern haben eine herrlichen, neutralen Holzduft in der Nase.

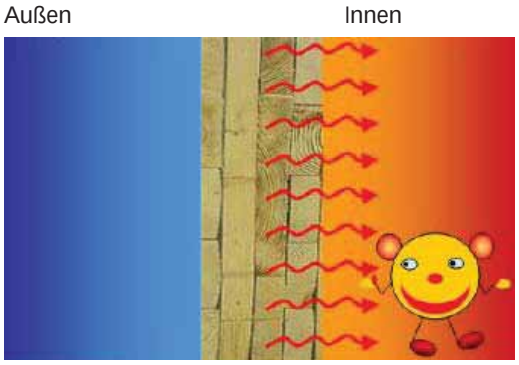


Abb. 14: Schutz vor Emission

4 Wertschöpfung

Mit dem Produkt TWOODS® bleibt eine riesige Wertschöpfung vom rohen Brett bis zur fertigen Wand bzw. bis zum fertigen Haus im Betrieb. Damit vergrößert sich auch der Bereich, in welchem man die Kosten beeinflussen kann. Schlussendlich hat man damit ein Instrument in der Hand um sich von den Mitbewerbern klar abzugrenzen.

5 Prozesssicherheit

Das Vollholzelement TWOODS® ist bei exzellenter Leistung auf sehr wenige Schichten unterschiedlicher Materialien bzw. Werkstoffe reduziert. Der Aufbau ist sehr einfach. Damit sind auch wesentlich weniger unterschiedliche Prozesse nötig um ein TWOODS®-Element herzustellen. Der Schlüsselprozess bei der Herstellung von TWOODS®-Elementen ist die Verdübelung der einzelnen Bretterlagen. Gerade weil keine Fremdstoffe wie Leim, Topfen, usw. zum Einsatz kommen, sondern nur Wasser zum Quellen der komprimierten Dübel eingesetzt wird, wird auch dieser Prozess relativ einfach. Entscheidende Parameter beim Dübelprozess sind folgende:

- Ausgangsdurchmesser des Dübels
- Dübellänge passend zu Lagenanzahl
- Faserverlauf des Dübels (abhölzig)
- Befeuchtung des Dübels (Menge, Bereich)
- Qualität der Lochwandung
- Qualität der Absaugung (keine Späne im Loch)

6 Qualitätskontrolle

Je weniger Prozesse zur Herstellung eines Produktes notwendig sind, umso einfacher lässt sich im Allgemeinen auch die Qualitätskontrolle gestalten.

6.1 Eingangskontrolle

Die Bretter und die Dübel werden auf Maßhaltigkeit und Feuchtigkeit kontrolliert. Dabei werden pro Lieferung Stichproben durchgeführt und die Messwerte werden protokolliert.

6.2 Kontrollen im Produktionsablauf

Der Legeroboter fährt nach jeder Lage in eine Ruheposition und fordert den Bediener auf eine visuelle Kontrolle durchzuführen. Die Befeuchtung der Dübel wird von der Dübelanlage kontinuierlich kontrolliert. Zudem wird auch kontrolliert, dass in jedem gebohrten Loch ein Dübel steckt.

Visuell muss von den Bedienern kontrolliert werden dass die Dübel in die Kreuzungspunkte der Bretter zu liegen kommen.

Im Abbundbereich werden die Elemente auf eine präzise Dicke überfräst.

Anhand der Planungsgrundlagen wird die Maßhaltigkeit der Elemente überprüft.

7 Planung

Die Planung vereinfacht sich gegenüber Ständerbauten mit zahlreichen Schichten wesentlich. Das Innenleben der TWOODS®-Elemente wird durch die unterschiedlichen Richtungen der Lagen definiert, was im CAD bereits codiert ist. Man muss sich also keine Gedanken machen wo ein Ständer zu positionieren ist um Vertikallasten abzutragen oder ein Waschbecken aufzuhängen. Es hat einfach überall Holz.

Auch der Materialeinkauf bzw. die Materialbeschaffung vereinfacht sich wesentlich da die Vielfalt äußerst gering ist. Es beschränkt sich auf Dübel, Bretter und Dichtfilz. Im CAD werden nur Fensterausschnitte, Türausschnitte, usw. gezeichnet. Auch Bohrungen und Ausschnitte für Installationen (Elektro, Sanitär) werden, wenn möglich, auch bereits im CAD definiert. Schlussendlich werden noch die Verbindungen festgelegt und fertig ist die Planung. Je einfacher die Planung ist, umso tiefer ist im Allgemeinen auch die Fehlerquote.

8 Produktion

Für die Herstellung von TWOODS®-Elementen wurde von der Firma TechnoWood eine Produktionslinie entwickelt, welche sich aus drei Portal-CNC-Maschinen zusammensetzt.
Legeportal ZP-4
Dübelportal DS-2
Abbundportal TW-3500

Das Legeportal ZP-4 ergreift sägerohe, getrocknete Bretter aus vordimensionierten Behältern und legt sie auf dem Arbeitstisch aus. Die Vorgaben für die Legemuster kommen direkt aus dem Programmiersystem. Aussparungen wie Fenster und Türen werden durch das System erkannt und nicht ausgelegt, womit der Verschnitt auf ein Minimum reduziert wird.

DS-2 steht für ein vollautomatisches Dübelcenter. Zwei Bohraggregate bohren präzise Löcher in den Kreuzungspunkten der Bretter. Dabei wird auf eine hohe Qualität der Lochwandung geachtet. Die Dübel werden vor dem Eindrücken automatisch komprimiert, befeuchtet und millimetergenau in das saubere Loch gedrückt. Dieses spezielle Verfahren wurde von TechnoWood entwickelt und ist zum Patent angemeldet. Für den ganzen Vorgang wird kein einziger Tropfen Leim verwendet.

Mit dem Bearbeitungscenter TW-3500 können beliebige Teile millimetergenau und rationell bearbeitet werden. Die individuelle Ausstattung mit beliebigen Werkzeugen lässt kaum Wünsche offen. Fensterausschnitte, Türausschnitte, Nuten, Falze, Bohrungen, Elektroausschnitte, Aufhängungen, Schnitte und viele Bearbeitungen mehr können auf dem TW-3500 in hoher Präzision hergestellt werden.

Abb. 15: Twoods-Produktionsstrasse mit Lege-Dübel- und Abbundportal

13.2 Holzbauweisen, Holzbausysteme
Vorteile und Ausführung des massiven Holzbaus

Andreas Ludewig

1 Einleitung

Um in wirtschaftlich schwierigen Zeiten und entgegen allgemeiner Abwärtstrends erfolgreich zu sein, ist mehr denn je Kreativität und der Mut sich gegen den Strom zu stemmen, gefordert.

Neue Ideen im Holzbau, die Wiederbesinnung auf Bewährtes; dass an die modernen Erfordernisse angepasst wird und das Bemühen so genau wie möglich auf die Bedürfnisse der Bauherren an Behaglichkeit, technische Leistungsfähigkeit und letztendlich auch die Kosten einzugehen, sind die Ansprüche mit denen wir antreten müssen.

Wir, das heißt die MHM Entwicklungs GmbH, haben als Tochterunternehmen der Hans Hundegger Maschinenbau GmbH die Massiv-Holz-Mauer entwickelt, zur Marktreife gebracht und betreiben auch die fortlaufende Weiterentwicklung Produktes.

Der Grundgedanke der regionalen Wertschöpfung, d.h. Holz, Säger, MHM - Produktion und Zimmerei sollten möglichst nahe beim Bauherren sein, ist ein bedeutender Orientierungspunkt für uns und hilft dabei schnell, ökologisch aber auch preiswert zu produzieren und dabei auch die heimische Wirtschaft zu stärken.

Der Bau oder Kauf eines Hauses ist für alle Bauherren ein großer Schritt. Man möchte in der Regel ein Leben lang darin wohnen und es evtl. an Kinder oder Enkel weitergeben. Auch dient es häufig als Absicherung des eigenen Lebensabends. Diesen Erwartungen und auch den Erfordernissen an unsere Umwelt, dass heißt vor allem unserer Zukunft, gerecht zu werden gelingt gerade mit massiven Holzbaustoffen einfacher und überschaubarer als mit den traditionellen Mitteln.

Abb. 1: Mark Twain

„Ich habe nie verstehen können, warum die Deutschen, die so viele Wälder haben, sich partout darauf versteifen, Häuser aus Stein zu bauen. Jetzt allerdings, wo ich weiß, über welche Mengen an Rheumabädern dieses Land verfügt, sehe ich ein, dass sie Deutschen in feuchten Steinhäusern wohnen müssen. Wo sollten sie sich sonst den Rheumatismus holen, ohne den ihre Bäder überflüssig wären?“ (Zitat: Markt Twain)

Diese Erkenntnis, zu der Mark Twain schon vor etwa 120 Jahren kam, ist heute aktueller denn je, und zwar nicht nur weil es sich in Holzhäusern einfach angenehmer und behaglicher lebt, sondern auch will unsere Lebensweise ganz erhebliche Mengen an Energie verschlingt und damit deutlich spürbare Auswirkungen auf Natur, Umwelt und Kosten hat!

Um als Alternative zum herkömmlichen Massivbau mit Stein und Beton wahrgenommen zu werden, muss der Baustoff Holz stärker ins Bewusstsein der Bevölkerung und auch der Anwender gerückt werden, seine Werkstoffqualitäten deutlich herausgestellt und seine Vorteile aufgezeigt werden. Auch Fachleute, egal ob Planer oder Anwender, vergessen oftmals was mit Holz alles zu machen und wie unglaublich leistungsfähig dieser Werkstoff ist.

Private Bauträger und die öffentliche Hand müssen in der Lage sein auch mehrgeschossige Bauvorhaben ökologisch wie ökonomisch sinnvoll und sicher bauen zu können. Die massive Holzbauweise kann diesen Ansprüchen gerecht werden.

Wo liegen also die großen Vorteile massiver Holzbausysteme, sowohl für den Planer und Architekten, für den Zimmermann als verarbeitender Betrieb, als auch für die Bauherren, die das alles ja bezahlen sollen.

2 Wandelemente

2.1 Aufbau und Herstellung

Die Massiv-Holz-Mauer ist eine rein ökologische Vollholzwand für den Haus- und Objektbau, bestehend aus beliebig breiten, getrockneten 24 mm Seitenwarebrettern. Als Rohholz finden Nadelhölzer, in der Regel Fichte, Kiefer, Tanne und Douglasie Verwendung, die Hölzer müssen den Anforderungen der Sortierklasse C 24 nach EN 338 entsprechen.

Die einzelnen Bretter werden mit Nuten versehen, die als Raum für eine stehende Luftschicht dienen und den Dämmwert der Wand deutlich verbessern. Anschließend werden die einzelnen Bretter auf dem „Wandmaster“ mit Alu-Rillenstiften kreuzweise zu einem Wandelement in Wandstärken von 11,5 u. 16 cm für Innenwände und von 20,5 bis 34 cm für Außenwände verbunden.

So wird optimale Festigkeit bei problemloser Bearbeitbarkeit erreicht. Auf den Einsatz von Leim oder Folien kann komplett verzichtet werden. Mit einer CNC gesteuerten Portalbearbeitungsanlage werden die rohen Wandplatten zu montagefertigen Elementen mit allen notwendigen Ausfräsungen für Elektro- und Sanitärleitungen, Wand- und Deckenanschlüssen oder Rollladenkästen versehen. Um die Planung des Architekten „maschinenfähig“ zu machen, muss sie auf Schachtelungs- und Elementierungsmodule der Ansteuerungssoftware umgelegt werden. Die Programme der Dietrichs AG, von cadwork; HSB-CAD und SEMA können hier die Portalbearbeitungsanlagen des Marktführers Hundegger Maschinenbau GmbH ansteuern.

Auf diese Wiese entsteht ein durch und durch massiver Wandaufbau mit all seinen Vorzügen, ein Ziegel dagegen ist heute alles andere als massiv.

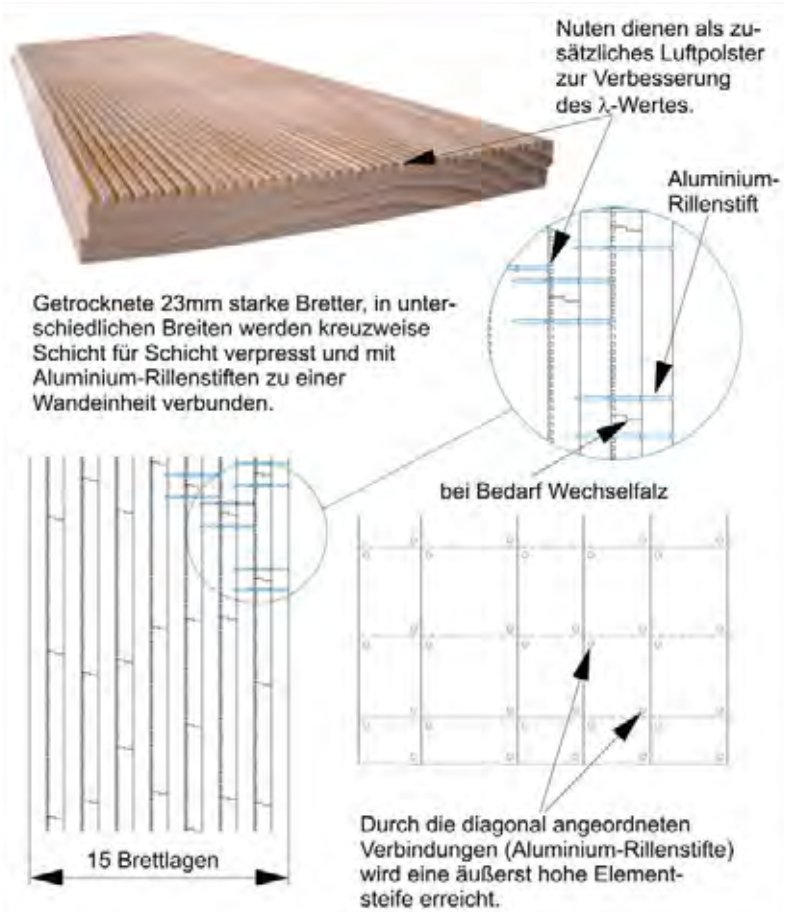


Abb. 2: Wandaufbau

2.2 Verbindungen

Die Verbindung der Wandelemente untereinander erfolgt mittels Verschraubungen. Im Detail stellt sich das wie folgt dar:

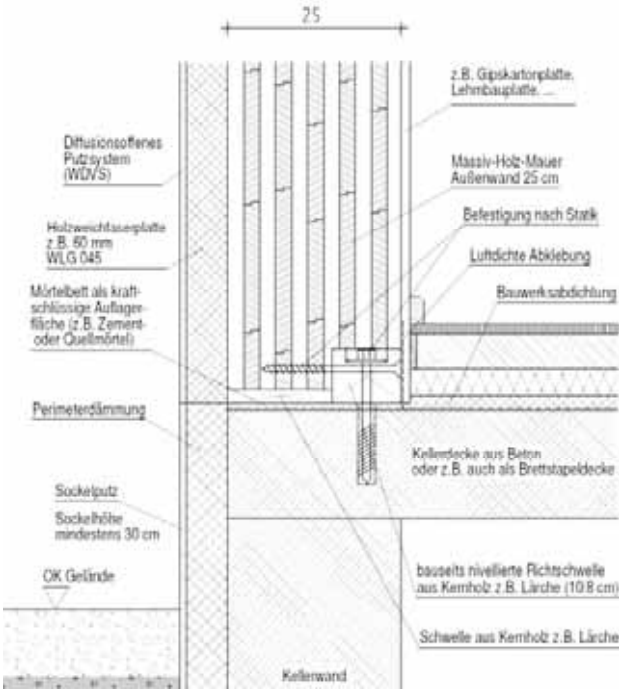


Abb. 3: Sockelanschluss

Um eine feste Verbindung zu garantieren und evtl. Unebenheiten der Bodenplatte auszugleichen, wird eine Montageschwelle (10 x 8 cm, Lärchenholz) mit der Bodenplatte vertikal verschraubt und nivelliert. Die Wandelemente werden auf die Montageschwelle auf gesetzt, mit ein einer Hilfsabstrebung gegen kippen und umfallen gesichert und nun horizontal verschraubt. Als Verbindungsmittel sind Teilgewindeschrauben mit einem Mindestdurchmesser d = 8 mm zu verwenden.

Ebenso wird im Längsstoß verfahren. Die Wandelemente werden mit einem stumpfen Stoß aneinander gefügt und diagonal miteinander verschraubt. Der stumpfe Stoß ist, dies haben Untersuchungen der TU Graz [1] festgestellt, genauso dicht wie eine Falzverbindung. Da mit dem schneiden eines Falzes aber unnötiger Holzverlust einhergeht ist der stumpfe Stoß die wirtschaftlichste Lösung. Sollte außenseitig keine Dämmung oder winddichte Bahn angebracht werden, empfiehlt es sich den Stoß abzukleben. Gleichermaßen wird die Eckverbindung gelöst, wobei hier auf die Dicke der Wand 2 Lagen tief ausgefräst wird sodass die Wände ineinander eingelassen werden können.

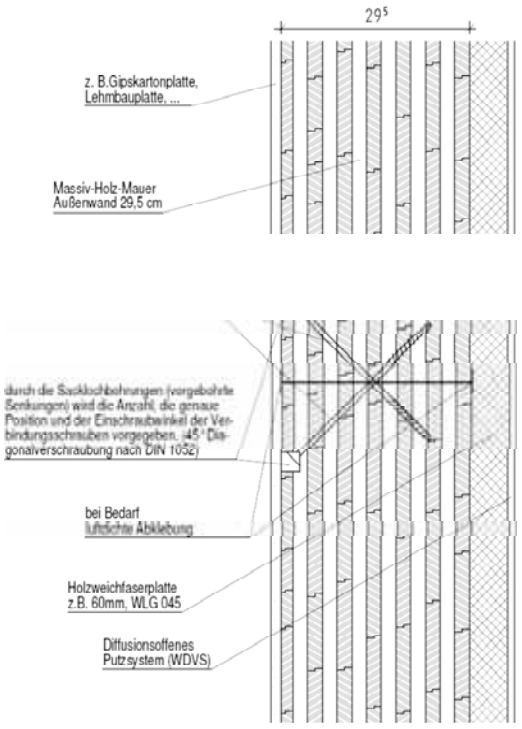


Abb. 4: Längsstoß

Durch die millimetergenaue Fertigung der Massivholzelemente entfällt das nachträgliche Maßnehmen, wie es im herkömmlichen Massivbau bis dato notwendig ist. Im Falle einer verputzten Fassade, wenn also das anbringen einer zusätzlichen Dämmung als Putzträger notwendig ist, wird das Fenster bündig mit der Außenkante der Wandelemente angebracht und das WDVS bis auf den Rahmen gezogen. Die Fenster werden direkt mit den Wandelementen verschraubt, Fugen zwischen Wand und Fenster mit Hanf oder Steinwol-

le abgedichtet und abgeklebt. Dabei ist darauf zu achten dass schlagregendichte Flexbänder z.B. von Würth verwendet werden um evtl. Quell-Schwundverhalten der Bauteile auszugleichen.

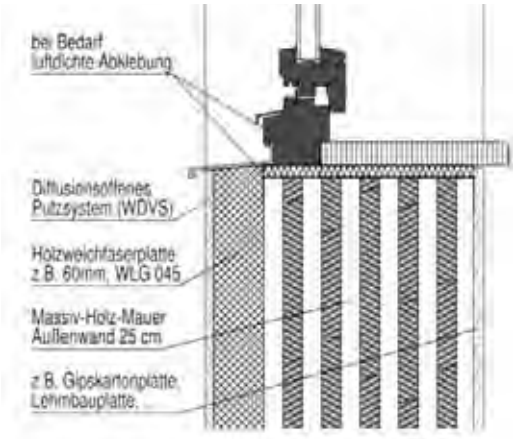


Abb. 5: Fensteranschluss

3 Wärmeschutz

3.1 Energieberechnungen - Phasenverschiebung

Wird auf die beschriebene Art die Gebäudehülle hergestellt, können bereits mit einer 25 cm dicken Massiv-Holz-Mauer Wand die Vorgaben nach EnEV ohne zusätzliche Dämmebene erreicht werden.

Auch wenn, wie jedermann einleuchten wird, jeder Baustoff ein anderes energetisches Verhalten hat, werden in den gängigen Energieberechnungen leider keine Differenzen zwischen Glas, Beton, Ziegel oder Holz gemacht. Der Heizenergiebedarf berechnet sich aber nicht nur nach dem U-Wert, auch die Phasenverschiebung oder die Oberflächentemperatur haben hier gewichtige Anteile. Gerade für den sommerlichen Wärmeschutz, aber auch für den Heizenergiebedarf im Winter ist die Phasenverschiebung, also die Zeit die ein Grad K durch die Wand benötigt, mindestens so bedeutsam wie der U-Wert. [2]

Sie können sich das so Vorstellen:
Sie haben eine Badewanne die sich mit Wasser füllt. Irgendwann ist sie voll und das Wasser läuft über. Der U-Wert sagt mir nur wie viel Wasser verloren geht, aber nicht wie hoch die Wanne ist. Bei einem sehr leichten Baustoff mit kurzer Phasenverschiebung wäre die Badewanne eben nur 10 cm hoch, bei einem schweren wie der MHM eben 1m und es dauert entsprechend länger bis etwas überläuft.

Die Raumtemperatur bei der wir uns wohlfühlen, ist zu einem guten Teil von der Oberflächentemperatur der Raumumschließungsflächen abhängig. Durch die Struktur des Holzes ist die Oberflächentemperatur in Durchschnitt 3-4 Grad höher als in einem Steinbau. Jedes Grad Raumtemperatur erfordert rund 6 % mehr Heizenergie. Auch so wird schon effektiv Energie gespart.

3.2 Hygroskopischen Verhalten

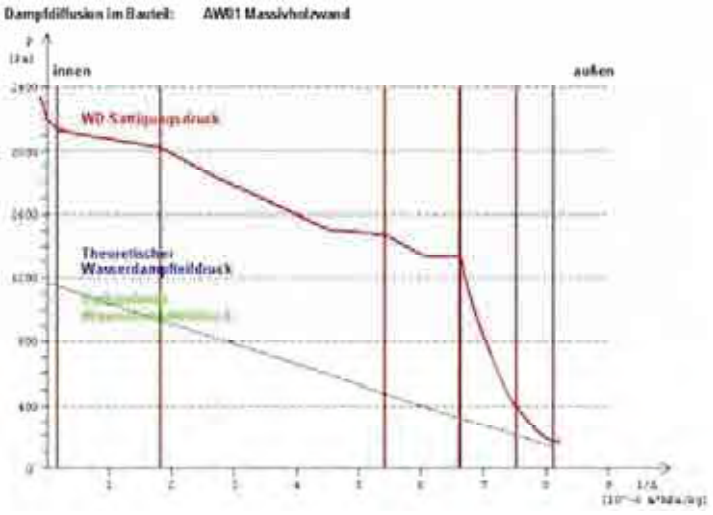


Abb. 6: Dampfdiffusion

Holz ist im physikalischen Sinne nicht kompakt; es enthält zahlreiche winzige Hohlräume. Dadurch bedingt hat Holz eine sehr große innere Oberfläche. Dieses Hohlraumsystem kann durch den kapillaren Effekt, gleich den Wurzeln einer Pflanze, Feuchte aufnehmen und weitergeben.

Das Holz nimmt Feuchte aus seiner Umgebung auf und passt sich in seinem Feuchtegrad der Umgebung an. So kann die Raumluft auch nie zu trocken werden, gleichzeitig schütz die Holzmasse vor Bauschäden. [3]

Durch die hygroskopischen Eigenschaften des Holzes liegt der Taupunkt im Normalfall immer außerhalb der Konstruktion.

Sollte aber, im Extremfall, eine Leckage so groß sein dass Tauwasser innerhalb des Wandaufbaues anfällt, ist die umgebende Holzmasse groß genug um mit der anfallenden Feuchtigkeit gut fertig zu werden.

Es wäre ein Volumenstrom von 228 m³/h Luft notwendig um eine Holzfeuchte zu erreichen bei der sich Schimmel bilden kann. Und dies setzt voraus das alle Feuchtigkeit ausschlägt, was praktisch wiederum nicht möglich ist. Kurz gesagt, in dieser Form schützt sich die Wand selbst! Die massive Holzbauweise zeigt auch hier dass sie den gängigen Systemen schon aufgrund der Konstruktion überlegen ist.

Abb. 7: Eckverbindung

Man muss das Rad nicht immer neu erfinden um sicher zu sein. Die konsequente Nutzung der natürlichen Eigenschaften des Holzes reicht schon ohne komplizierte technische Hilfsmittel aus um effiziente bauliche Sicherheit zu erzielen

4 Kurze Bauzeiten

4.1 Bauzeit

„Time is cash, time is money“

Abb. 8: Transport

Der hohe Vorfertigungsgrad und die Möglichkeiten z.B. Leitungen, Wandbekleidungen oder Dämmungen bereits ab Werk anzubringen sorgen dafür dass Bauzeiten sehr kurz gehalten werden können! Das ist natürlich gerade im Holzrahmenbau heute schon Standard, mit der Massiv-Holz-Mauer lassen sich aber gerade Wandanschlüsse leichter und sicherer ausführen. Die zeitaufwändige Schaffung von luftdichten Ebenen, das exakte Abkleben von Anschlüssen entfällt weitestgehend, eine wind-/luftdichte Ebene wird auch leichter zwischen Wand und Dämmung, als Raum für Raum auf der Innenwandseite angebracht.

4.2 Architektonische Freiheit

Schön zu wissen sei hierbei, dass dies nicht zu Lasten der architektonischen Freiheit gehen muss. Aufgrund der statischen Eigenschaften der Massiv-Holz-Mauer sind viele „Problemfälle“ die im konventionellen Bau unmöglich oder aber nur äußerst schwierig und kostenintensiv umzusetzen sind, hier relativ einfach zu lösen.

So sind an diesem Wohngebäude in Burghaun (Hessen) die Fensterleibungen innen um 30 ° angeschnitten und wie auf dem Bild schön zu sehen, einige „Fenstertrauben“ auszuführen gewesen. Gerade die Fensterelemente ohne Sturzelemente auszuführen, ist im traditionellen Bau ausgesprochen schwierig wenn nicht unmöglich, in der hier gewünschten Weise tatsächlich nicht umsetzbar. Auch unseren Produzenten und dessen Statiker hat dies einiges Nachdenken gekostet, mittels einer zusätzlichen Verschraubung im Bereich der Wand, zwischen den Fensterelementen, lies es sich aber doch umsetzen. Ein solcher Bau mag vielleicht nicht jedermanns Sache sein, zeigt aber die vielfältigen Möglichkeiten an die auch versierte Holzbauplaner zunächst nicht denken wollen.

Abb. 9: Haus Gietz, Burghaun

Ein weiteres interessantes Beispiel ist dieses Haus in Weissendietz in Thüringen. Der Bauherr ist Holzbildhauer und wollte seine individuellen Vorstellungen in seinem Ateliergebäude umgesetzt sehen. Dabei hatte er zunächst gar nicht an einen Holzbau gedacht. Da die Realisierung dieses Hauses, das keine geraden Wände hat, in Ziegel nicht machbar war, stieß er bei seiner Suche auf den Architekten Norman Heimbrodt. Dieser hat schon mit dem vorangegangen Haus seine Erfahrungen mit der MHM und deren Möglichkeiten gemacht und konnte nun auch hier den Wünschen des Bauherren folgen. Eine Vielzahl relativ schmaler, im Winkel angeschnittener Elementplatten war nötig um die geschwungenen Wände zu schaffen. Dank der millimetergenauen, CNC - gesteuerten Fertigung war dies aber unproblematisch. Einzig das zusammensetzen und verankern der Einzelteile war eine richtige Herausforderung.

Abb. 10: Weissendietz

5 Ausbau

5.1 Wandbekleidungen

Deckenauflager werden wie in Abb. 11 beschrieben ausgeführt. Das Wandelement wird mittig bis auf die Stärke der Decke ausgeschnitten, das Deckenelement mit Filzstreifen o.Ä. entkoppelt aufgelegt und das Obergeschosselement vollflächig aufgebaut. So ist das Deckenelement komplett von der Wand umschlossen, eine Wärmebrückenfreie Ausführung möglich. Grundsätzlich wird die Wanddicke von den Vorstellungen hinsichtlich der Wärmedämmeigenschaften und der Fassadengestaltung bestimmt. Ist eine Holzfassade geplant und nur ein mittlerer Wärmeschutz

gefordert würde schon die Ausführung einer 34,0 cm dicken Wand ohne zusätzliche Dämmung mit einem U-Wert von 0,26 W/m²K genügen, außenseitig wird eine Lattung zur Hinterlüftung und die Fassadenbretter angebracht. Im Falle einer Putzfassade oder eines besonders hohen Wärmeschutzes wird außen direkt das Dämmmaterial, in unserem Falle eine Holzfaserplatte, als zusätzlich Dämmung und als Putzträger angebracht. Eine Verschraubung oder Klammerung sollte immer mindestens in die zweite Brettlage geschossen werden um spätere Putzrisse zu vermeiden.

Innenwändig werden Gipskartonplatte, Lehmbauplatte oder Holzverschalung ebenso direkt auf die Wand, in die zweite Lage geklammert befestigt.

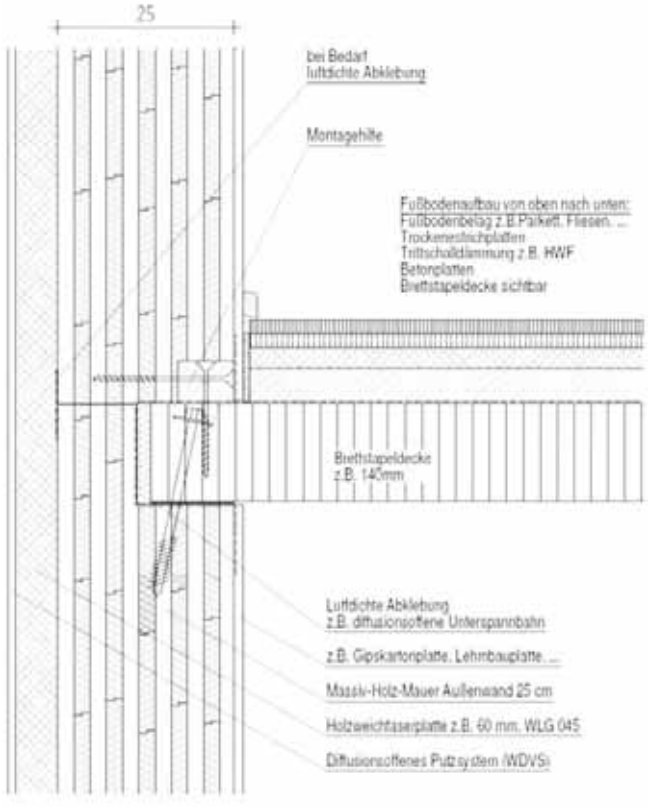


Abb. 11: Deckenanschluss

Auf diese Weise wird auch eine ausreichende Dichtigkeit der Gebäudehülle erreicht. So erreicht die Rohwand im Blower-Door-Test Werte zwischen 1,3 – 1,5 -fachen Luftwechsel pro Stunde, mit Außenwanddämmung zwischen 0,8 – 1,0-fachen Luftwechsel, lediglich im Falle von Passivhäusern muss zwischen Wand und Dämmung eine winddichte Bahn angebracht werden um die Luftwechselrate unter 0,5/h zu drücken.

5.3 Wohnqualität

In einem solchen Fall muss aber auch die Frage gestellt werden, welchen Preis wir zahlen müssen um bestimmten gesetzlichen Anforderungen zu genügen.

Das Drängen nach immer niedrigeren Energiekennzahlen, die grundsätzlich schon aufgrund der Berechnungsweise nicht korrekt sind, führt dazu dass unsere Häuser immer dichter und dichter werden.

Wenn verlangt würde dass wir alle nur noch in einem Raumanzug mit Beatmungsgerät herumlaufen sollen, würden ein solches Ansinnen als völlig abwegig zurückgewiesen werden. Wenn es aber um das Leben in den eigenen vier Wänden geht, ist es scheinbar völlig normal auf künstliche Hilfsmittel und High-tech zu vertrauen.

Wir müssen uns also überlegen wie Energieeffizienz und Lebensqualität miteinander vereinbar sind. In einem superdichten Haus muss die Luftfeuchtigkeit geregelt werden und Frischluft zugeführt werden. Die Regelung der Luftfeuchte kann die Massiv-Holz-Mauer sehr gut alleine und ohne mechanische Unterstützung leisten, es ist also nur noch notwendig in den Räumen in denen wir uns lange aufhalten, also Schlaf- oder Kinderzimmern, für eine evtl. dezentrale Belüftung zu sorgen. Die Abhängigkeit von komplexen und damit auch störanfälligen Lüftungssystemen wird vermieden. Auch die eher fragwürdige hygienische

Leistungsfähigkeit von solchen Anlagen wird nicht mehr zum Diskussionsthema. Ein jedes Jahr wieder aufkommendes Thema ist der Umgang mit flüchtigen organischen Verbindungen (VOC). Mehr als 90 % unserer Zeit verbringen wir in Innenräumen. Entsprechend groß ist die Sensibilität vieler Menschen gegenüber möglichen oder vermuteten Beeinträchtigungen der Wohnumwelt durch Schadstoffe. Neben Möbeln, Bodenbelägen o.Ä. emittieren auch Baustoffe und Ausbaumaterialien verschiedene Stoffe in die Innenluft. Da aber im Wohnklima eine biologische Gefährdung durch Pilze oder Insekten ohnehin nicht gegeben ist kann auf Chemischen Holzschutz heute komplett verzichtet werden. Terpene und Formaldehyd, die als Stoffwechselprodukt des Baumes auf natürliche Weise in geringen Konzentrationen in allen Holzbauteilen vorkommen, sind hier wohl die meist untersuchten Stoffe. Mit Regelkonzentrationen selbst, bei verleimten Platten von unter 0,03 ppm liegen die Werte aber deutlich unter den als gesundheitlich unbedenklich angesehenen Grenzwerten von 0,1 ppm.

6 Rückbaubarkeit

Da es eher zweifelhaft ist das die Mehrzahl unserer Wohnhäuser irgendwann als Kulturdenkmal gelten, müssen wir uns auch Gedanken über die Rückbaubarkeit und die Möglichkeiten der Wiederverwertung machen. Klar ist, dass sich der Bauherr oder Investor von heute nicht zwingend Gedanken macht, was in 50 oder 100 Jahren mit seinem Bau passiert. Dennoch ist es so, dass ein Haus Teil der Altersvorsorge ist oder gewinnbringend angelegtes Kapital sein sollte. Somit ist es, langfristig betrachtet (gerade in Zeiten der Finanzkrise), schon wichtig im Hinterkopf zu behalten, was das gute Stück einmal bringen kann. Sei es nun als Verkauf um sich selbst im Altersheim unter zu bringen, die Enkel versorgt zu wissen oder zumindest ohne große Aufwendungen wieder abzubauen. Eine nachweisbar positive Ökobilanz und entsprechend gesicherte Widerverwertbarkeit bringen hier deutlich Punkte, oder einfach gesprochen Werterhalt und damit Euro!

7 Energiebilanzen im Vergleich

Durch Aufbau und Konstruktion bedingt sind Gebäude aus der Massiv-Holz-Mauer genauso einfach und schnell zu demontieren, wie auch ursprünglich zu montieren. In Hackschnitzel recycelt, entspricht die gewonnene Nutzenergie etwa 30.400 l Heizöl. Das würde den heutigen Bedarf einer Familie von 12 Jahren abdecken [(150 m³ * 450 Kg/m³ Rohdichte * 19 MJ Heizwert Holz / 42 MJ Heizwert Heizöl)(3,6 MJ = 1kw/h)], und das CO_2 neutral!

Reste des Alustiftes verbleiben im Ascherost und können ebenso wieder dem Recycling zugeführt werden. Wir können also, auch unter Berücksichtigung des Aufwandes eines Rückbaues, eine positive Umweltbilanz ziehen. [4]

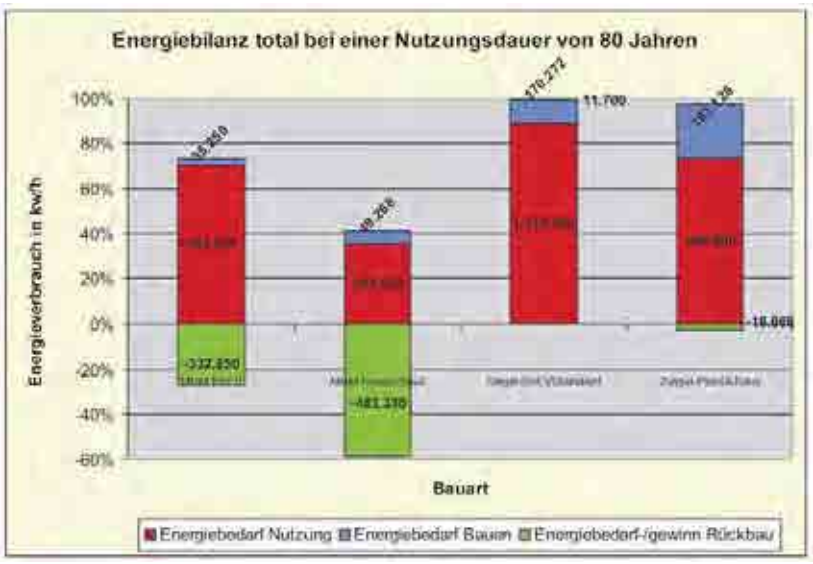


Abb. 12: Energiebilanz im Vergleich

Da übrigens die meisten der MHM Produzenten die während der Produktion anfallenden Holzreste nutzen, um daraus Wärme zum Heizen der Hallen oder zum Trocknen der Bretter zu gewin-

nen bzw. den Strom zum Antrieb der Maschinen und Geräte zu erzeugen, sinkt der Energieaufwand real nochmals.

Im herkömmlichen Massivbau fallen aber nach wie vor aufwändige Abrissarbeiten an, das Trennen in die unterschiedlichen Baumaterialien und die Entsorgung in Bauschuttdeponien. Es entstehen also ausschließlich Kosten und zusätzliche Umweltbelastungen, ohne irgendeinen Nutzen aus der Maßnahme zu ziehen – außer natürlich dass die alte Bude weg ist.

All die geschilderten Eigenschaften und Vorteile des massiven Holzbaues mit der Massiv-Holz-Mauer finden auch international Anklang. So wird die Massiv-Holz-Mauer mittlerweile an 19 Standorten in 8 Nationen gefertigt, so werden wir mit dem Produkt auch den wirtschaftlichen und sozialen Ansprüchen der regionalen Wertschöpfung gerecht. Darüber hinaus hat eine unabhängige, international besetzte Expertenkommission im Auftrag der australischen Regierung die Massiv-Holz-Mauer als eines der besten Bauprodukte bewertet. [5]

Dabei wurden 88 Bausysteme aus aller Welt nach Kriterien wie Qualität, Werthaltigkeit, Auswirkungen auf das Klima, Nachhaltigkeit und einfache Anwendung untersucht und nach einem Punktesystem bewertet. Die Massiv-Holz-Mauer hat sich dabei mit deutlichem Vorsprung als das beste Bausystem herausgestellt.

8 Fazit

Als Basis zur Werkplanung dient in der Regel die Ausführungsplanung des Architekten M 1:50 bis 1:5. Der Planer und Architekt muss im Bereich des Einfamilienhauses im Vergleich zum traditionellen Massivbau insgesamt keinen höheren Planungsaufwand berücksichtigen. Im Gegenteil, durch die Elementbauweise, den hohen Vorfertigungsgrad und die vielfältigen Bearbeitungsmöglichkeiten gestaltet sich im massiven Holzbau vieles einfacher und überschaubarer. Einzig die Schnittstellen und Übergreifungen mit den systemunabhängigen Gewerken können einen weiteren Planungsbedarf darstellen, z.B. für Unterkonstruktionen (Keller) oder Anschlüsse an Bestandsbauten. Die Hersteller der verschiedenen massiven Holzbausysteme stellen meist recht umfassende Hilfsmittel wie statische Rechentabellen oder -programme zur Verfügung, auch sind die Bauteilkataloge und Planungsordner umfangreich und Regeldetailgenau mit Nennung der Voraussetzungen und Anwendungsgrenzen. Allerdings sollte nie außer Acht gelassen werden, dass ein guter Holzschutz die Lebensversicherung eines Holzgebäudes ist. Ein ausreichender Feuchteschutz, gerade im Fassadenbereich, ist durch konstruktive Maßnahmen leicht sicherzustellen.

Etwas komplizierter gestaltet sich der mehrgeschossige Bau. Durch die geltenden Vorschriften vor allem im Brandschutz sind besondere Ausführungsvorgaben nach Länderrecht zu beachten. So sind die ersten Rettungswege, also meistens die Treppenhäuser mit Oberflächen aus nicht brennbaren Materialien zu versehen, eine Verrauchung muss mit baulichen oder mechanischen Mitteln verhindert werden. Weiterhin ist der Feuerwehr durch entsprechende Feuerwiderstandsdauer der tragenden Bauteile eine sichere Brandbekämpfung zu ermöglichen. Diese höhere Feuerwiderstanddauer ist bei den „dickeren“ Systemen meist schon von Grund auf gegeben, so wird z.B. bei der „Massiv-Holz-Mauer“ schon ab 20,5 cm Dicke F90 B nachgewiesen.

Bei Erstellung der sowieso notwendigen Brandschutzkonzepte im mehrgeschossigen Bau ist hier also etwas mehr Sorgfalt aufzuwenden, es besteht aber kein grundsätzlicher Hinderungsgrund auch für Großbauten.

Jeder Zimmereibetrieb der schon einmal ein Holzrahmenhaus aufgestellt hat, wird auch mit massiven Holzbausystemen keine Probleme haben. Zur Montage ist nur das „übliche“ Werkzeug, also Sparrenzug, Stützpfosten, Schrauber etc. notwendig. Die Arbeitsvorbereitung wird in aller Regel von den produzierenden Betrieben übernommen. Einzig Betriebe, die für den eigenen Bedarf den Abbund von Deckenelementen und Dachkonstruktionen übernehmen, sollten bei der Abstimmung mit Massivholzproduzenten auch die Daten dieser Gewerke mitsenden, um mögliche Abweichungen durch unterschiedliche Planungsannahmen zu vermeiden.

So stellt sich zum Schluss die Frage:
Wie wollen wir nun in Zukunft bauen?
Wie zu Großvaters Zeiten industriell, energieaufwändig incl. Raubbau an der Natur?
oder
innovativ, ökologisch und ökonomisch

Niemand sollte sich mit dem erhobenen Zeigefinger hinstellen und den Moralapostel spielen, aber wir alle sollten uns genau Überlegen was uns unsere Bequemlichkeit noch kosten soll.

Wir haben die Wahl!
Die Möglichkeiten im Interesse von uns selbst und vor allem der nachfolgenden Generationen verantwortungsbewusst und damit Energieeffizient zu Bauen, bestehen bereits.

Wir müssen sie nur nutzen.

Eines ist sicher!
Stein hat Geschichte, aber dem Holz gehört die Zukunft.

Abb. 13: Neuschwanstein

Quellen

[1] Bauprodukte aus Bauschnittholz - Rahmenbedingungen. Prof. G. Schickhofer, M. Brandstätter, B. Hasewend 1998

[2] Informationsdienst Holz; Holzbauhandbuch Reihe3: Bauphysik. H. Frey; H. August: Bautechnik - Fachkunde Bau. Europa Verlag, Haan-Gruiten 2003

[3] Holzspektrum – Ansichten, Beschreibungen und Vergleichswerte. Josef Fellner, Alfred Teischinger, Walter Zschokke (http://www.-proholz.at/zuschnitt/22/holz-feuchtigkeit.htm)

[4] LGA QualiTest GmbH; Hintergrundinformationen – Schadstoffgeprüfte Produkte 2007. Burkhard Schulze-Darup, "Bauökologie" Bauverlag GmbH Wiesbaden und Berlin 1996.

[5] Australien Government; Emerging technologies and timber products in construction FRPRDC 2007

13.2 Holzbauweisen, Holzbausysteme
HIB-Bausystem

Dieter Junker

1 Die HIB – Elementbauweise

Das HIB – System ist eine Elementbauweise für Wände. Mit der Einfachheit eines Selbstbausystems können - architektonisch völlig flexibel – ökologisch gebaute, schadstofffreie Wohngebäude errichtet werden. Durch die Vorfertigung und das geringe Gewicht (max. 25 kg) der Elemente sowie die einfache Montage kann bereits im Rohbau ein großer Anteil Eigenleistung durch die Bauherrn erbracht werden, was die Bauweise sehr wirtschaftlich macht.

Abb. 1: Vorgefertigter Wandbaustein

Bei dem System werden vorgefertigte Holzelemente, bestehend aus zwei parallel angeordneten Platten sowie in der Mitte angebrachten Stegen, auf der Baustelle ineinander gesteckt und mit Klammern verbunden. Die flächengleichen, rechteckigen Platten werden durch mehrere Stege zusammengehalten. Die Beplankungsmaterialien werden durch eine Schwalbenschwanzverbindung mit den Stegen verbunden. Das Grundelement mit einer Länge von 1,0 m und der Höhe von 0,5 m ist je nach gewünschtem Dämmstandard in verschiedenen Wanddicken erhältlich. In den Hohlräumen können sowohl die Dämmung als auch teilweise die Elektroinstallationen untergebracht werden.

Abb. 2: Rohbau eines Gebäudes in HIB–Elementbauweise

Ähnlich dem Mauerwerksbau werden die Bauelemente Schicht für Schicht aufeinander gesteckt und mit Klammern verbunden, wobei die oben überstehenden Stege horizontale Verschiebungen verhindern. Die Holzbauweise ist für die Verwendung in Gebäuden mit bis zu drei Vollgeschossen seit September 2007 bauaufsichtlich zugelassen.

Abb. 3 Aufbau des Rohbaus

Um die sehr guten bauphysikalischen Eigenschaften zu erreichen, kann zwischen verschiedenen Dämmmaterialien, wie z.B. Hobelspan-Lehm-Muschelkalkmischung, Holzweichfaserplatten, Hanf oder ähnlichen Naturprodukten gewählt werden. Patentierte Lüftungsschlitze sorgen dafür, dass es nicht zu Feuchtigkeits- und Schimmelpilzbildung kommt. Als zusätzlicher Wärmespeicher und Schallschutz können die Innenwände auch mit Flusskieselstein gefüllt werden.

Abb. 4: Dämm- und Füllmaterialien für die HIB–Elementbauweise

2 Holzbauten in Erdbebengebieten

Bilder und Nachrichten aus Erdbebengebieten erreichen uns leider in regelmäßigen Abständen. Während Beton und Mauerwerksbauten bei starken Erdbeben immer wieder einstürzen und zur Todesfalle für die eingeschlossenen Menschen werden, haben sich Holzbauten bei Erdbeben oft als standhaft erwiesen: Im Falle von starken Erschütterungen sind zwar Schädigungen des Tragwerks zu beobachten, der Einsturz von Holzbauten ist jedoch selten.

Abb. 5: Zerstörte Bauwerke nach einem Erdbeben in Indonesien

2.1 Vorteile von Holzbauten bei Erdbeben

Holzbauten bieten eine Reihe von Vorteilen gegenüber Massivbauweisen. Holz besitzt bezogen auf seine Tragfähigkeit eine geringe Masse. Bei einem Erdbeben ist die zur Schwingung angeregte Masse („seismische Masse") geringer als bei anderen Werkstoffen, die daraus resultierenden Kräfte entsprechend geringer.

Die im Holzbau verwendeten mechanischen Verbindungen verhalten sich unter Belastung „duktil", d.h. sie verformen sich zäh und plastisch und versagen nicht etwa schlagartig. Durch die Fähigkeit zur plastischen Verformung können Holzbauten so bemessen werden, dass der Großteil der eingetragenen Energie in den Verbindungen abgebaut wird.

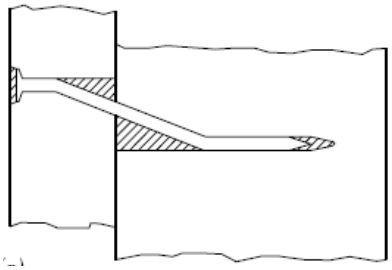


Abb. 6: Nagelverbindung nah plastischer Verformung aus zyklischer Belastung

Außerdem verformen sich die im Holzbau in großer Anzahl eingesetzten mechanischen Verbindungsmittel (Klammern, Nägel, Schrauben etc.) unter Belastung. Auch das Holz wird unter dem Verbindungsmittel zusammengepresst, also plastisch verformt. So können bei dem HIB-System durch ineinandergreifende Schwalbenschwanzverbindungen große Verschiebungen aufgenommen werden, ohne dass die Holzverbindung komplett versagt. Bei Erdbeben sorgt dieses gutmütige Verhalten dafür, dass das Tragwerk zwar Schäden erleidet, nicht jedoch einstürzt.

Bei diesem Verbiegen der Verbindungsmittel wird die eingetragene Bewegungsenergie durch plastische Verformungsprozesse im Wärme- und Schallenergie umgewandelt, man spricht hierbei von Energiedissipation. Holzbauten können so bemessen werden, dass der Grossteil der eingetragenen Energie letztlich in den Verbindungen abgebaut wird und so die Standsicherheit des Gebäudes beim Erdbeben gewahrt bleibt.

2.2 Bauteilversuche für den Extremfall Erdbeben

In Zusammenarbeit mit der Universität Karlsruhe wurde zwischen 2006 und 2008 eine Forschungsstudie über Erdbeben- und Sturmsichere HIB- Wandelemente durchgeführt. In diesem Forschungsvorhaben wurden die Eigenschaften der Wände bei starken horizontalen Einwirkungen, z.B. aus Erdbebenlasten geprüft. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen zeigen absolut gutmütiges Verhalten der HIB-Bauweise unter Erdbebenlasten.

Bei der horizontalen Belastung eines Gebäudes durch Erdbeben werden die angreifenden Lasten auf die aussteifenden Wände weitergeleitet. Um realistische Versuche zu ermöglichen, wurde an der Universität Karlsruhe eine Prüfapparatur errichtet, mit der Wandscheiben in Originalgröße unter kombinierten vertikalen und horizontalen Lasten geprüft werden können. Im Gegensatz zu den vertikalen Lasten aus Eigengewicht und Verkehr sind Erdbeben keine statischen Lasten, sondern ändern ihre Bewegungsrichtung. Die Erdbebeneigenschaften von Wänden werden daher mit Versuchen erforscht, bei denen die Belastung wiederholt aus entgegen gesetzten Richtungen („zyklisch“) aufgebracht wird.

Neben der aufnehmbaren Höchstlast und der Steifigkeit der Wandscheibe werden in diesen Versuchen vor allem die in den Verbindungen durch plastische Verformungen abgebaute („dissipierte“) Energie ermittelt. Als Parameter zur Beschreibung der Energiedissipation wird das äquivalente proportionale Dämpfungsverhältnis gewählt. Hierbei wird das das Verhältnis der über einen Halbzyklus dissipierten Energie zur verfügbaren potentiellen Energie (multipliziert mit 2π) gebildet.

Wie beschrieben, hängt das Erdbebenverhalten einer Bauweise vornehmlich von den verwendeten Verbindungsmitteln ab. Schlanke Verbindungsmittel verformen sich leichter als gedrungene Verbindungsmittel und sind daher beim Entwurf von Tragwerken für erdbebengefährdete Gebiete vorzuziehen. Beim HIB–System werden die einzelnen Elemente durch ineinandergreifende Schwalbenschwanzverbindungen sowie durch zusätzliche Klammern in den horizontalen Fugen verbunden. Die Klammern sind leicht verformbar und in großer Anzahl vorhanden. Das System wird weiterhin mit einer ineinandergreifenden Steckverbindung aufgebaut, die sich bei starker horizontaler Belastung gegeneinander verkantet und abstützen kann. Bei diesen Bewegungen tritt Reibung auf, wodurch weitere Energiedissipation stattfindet. Die genannten Punkte lassen günstiges Verhalten unter wiederholt – zyklischer Belastung bzw. unter Erdbebenlasten erwarten.

Im Rahmen der Versuchsdurchführung an den Systemwänden wurden zwei Versuche mit Kiesfüllung in den Stegzwischenräumen durchgeführt. Durch die Reibung zwischen den Kieselsteinen wird bei zyklischer Belastung ein weiterer Mechanismus der Energiedissipation aktiviert. Weiterhin wird zusätzliche Masse in die Wände eingebracht, was speziell bei niedrigen Gebäuden deren Verhalten bei hohen Windlasten begünstigt. Da die Kiesfüllung bereits in Bauten zur Verbesserung der bauphysikalischen Eigenschaften von Innenwänden eingesetzt wird, ist ein Einsatz für Außenwände durchaus denkbar.

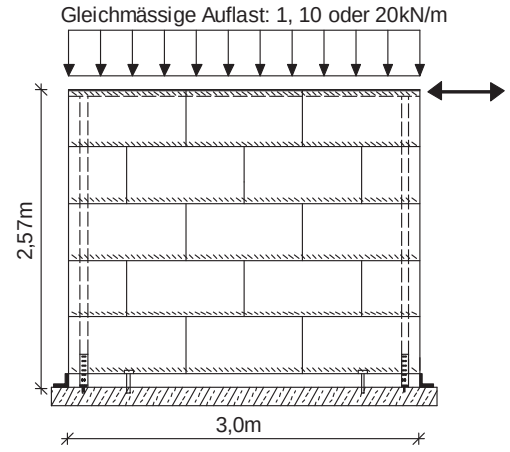


Abb. 7: Geometrie der Wandscheibenversuche (oben), Wände nach dem Versuch (unten)

2.3 Ergebnisse der Forschung

Die HIB – Elementbauweise konnte unter zyklischen Belastungen die hohen Erwartungen aus dem Vorfeld vollauf erfüllen. Während unter geringen Auflasten das äquivalente proportionale Dämpfungsverhältnis dem der Holztafelbauweise ähnlich ist, steigen die Werte für das äquivalente proportionale Dämpfungsmaß unter höheren Auflasten über die Werte der Holztafelbauweise hinaus, was auf ein sehr gutmütiges Verhalten bei Erdbeben schließen lässt.

Die Versuche zeigen, dass das System in die Duktilitätsklasse 3 nach der deutschen Erdbebennorm DIN 4149 eingeordnet werden kann. In diese Duktilitätsklasse ist die Holztafelbauweise aufgrund ihrer Energiedissipationseigenschaften durch das Vorhandensein „vieler dissipative Bereiche mit stiftförmigen Verbindungsmitteln“ ebenfalls eingeordnet.

13.2 Holzbauweisen, Holzbausysteme
PALISADIO

Werner Grosse, Harald Pöhler

Bauen mit hohem Holzanteil ist nachhaltig und ökobilanzorientiert. Dem trägt das neue Nichts-als-Holz-Bausystem PALISADIO Rechnung. Das Grundprinzip von PALISADIO basiert darauf, aus einstieligem Nadelholz einen ökologischen und industriell herstellbaren monolithischen Baustoff zu schaffen. Die daraus erstellten Gebäude zeichnen sich durch gesundes Wohnklima, geringe Energiekosten und hohe Werthaltigkeit aus. Die Fertigung der Holzbauelemente übernimmt die NintegrA Unternehmen für Integration gGmbH. In der Produktion kommen unter anderem Arbeitslose und Menschen mit Behinderung zum Einsatz, denen auf diese Weise eine Integration ins Arbeitsleben ermöglicht wird. PALISADIO reiht sich in diesem Zusammenhang in ein Produktportfolio ein, das auch andere Holzprodukte wie Designer-Bambusmöbel oder das massive Holz-Bodensystem Quadino umfasst.

1 Ausgangslage

In Zeiten eines gestiegenen ökologischen Bewusstseins kommt Holz eine zentrale Rolle beim umweltbewussten Bauen zu. Moderner, innovativer und qualitätsbewusster Holzbau ist nicht nur geeignet, die teilweise immer noch bestehenden Vorurteile gegenüber dem Baustoff Holz aufzulösen, sondern kann sogar gegenüber anderen Materialien hinsichtlich seiner bauphysikalischen Eigenschaften und positiven Ökobilanz punkten. Diese Vorzüge führten zu einer massiven Steigerung beim Bau von Ein- und Zweifamilienhäusern aus Holz innerhalb der letzten 20 Jahre.

2 Material und Verarbeitung

Ausgangsmaterial für das Bausystem PALISADIO ist Fichten-, Tannen- oder Kiefernholz mit Durchmessern zwischen 80 und 130 mm aus nachhaltiger Bewirtschaftung regionaler bzw. heimischer Wälder. Für bewitterte Flächen bieten sich Lärche oder Douglasie an.

Abb. 1: Bohr und Dübeleinrichtung [3]

Ein speziell neu entwickeltes und patentiertes Fertigungsverfahren ermöglicht eine maßgenaue Bearbeitung des Holzes. Gegenwärtig wird das Ausgangsmaterial noch von den Sägewerken als Kantholz mit Profilmaßen von 75 x 75 mm eingesägt und bereits getrocknet geliefert. Zukünftig werden als Weiterentwicklung des Fertigungsprozesses die vom Forst gelieferten frischen Schwachholzstämme in einer Kette von Arbeitsschritten selbst bis hin zum montagefertigen Bauteil bearbeitet.

Zuerst werden die Stämme mit einer Fräsmaschine zylindrisch gefräst, dann wird der Kern axial durchbohrt. Nach Vortrocknung an der Luft werden die Holzröhren kurz in der Kammer auf 15 % Holzfeuchte technisch getrocknet. Dieser geringe Feuchtegehalt lässt den Einsatz von Bauholz ohne chemischen Holzschutz zu. Abschließend werden die Holzröhren in das eigens entwickelte zwölfeckige PALISADIO-Profil gehobelt.

Durch das Ausbohren des Kerns ist man nicht auf die ausschließliche Verwendung von teurem Starkholz angewiesen, sondern preiswertes Schwachholz bzw. Industrie- und Papierholz wird bei minimalem Energieaufwand als präzises Bauholz erschlossen. Der Nachhaltigkeitsanspruch des Bausystems wird durch den Einsatz von Schwachhölzern noch weiter ausgebaut. Zusätz-

lich werden durch die entstandenen Luftkanäle bessere Dämmwerte erreicht. PALISADIO ermöglicht eine Holznutzung von annähernd hundert Prozent, denn durch die Fräs-, Bohr- und Hobelarbeitsgänge werden Holzreste für die Nutzung als Energieholz (Pellets, Briketts) erzeugt. PALISADIO entspricht damit den Zielen der Charta für Holz [1].

Wo der Baukörper nicht aus den oben genannten PALISADIO-Profilen besteht (zum Beispiel bei Deckenkonstruktionen aus Kanthölzern), wird primär Konstruktionsvollholz (KVH) eingesetzt, welches sich durch über die Anforderungen der DIN 4074 und der Tegernseer Gebräuche hinausgehende Qualitätseigenschaften (Holzfeuchte, herzgetrennte bzw. herzfreier Einschnitt zur Verringerung von Schwindrissen, Oberflächenbeschaffenheit etc.) auszeichnet.

Bei der Entscheidung zum Massivbau mit Holz spielen in der Regel ökologische und baubiologische Gesichtspunkte eine wichtige Rolle. Die weitest mögliche Reduzierung von chemischen und metallischen Stoffen auf das absolute Minimum wird in vielen dieser Fälle vom Bauherren als wünschenswert angesehen. Dieser Tatsache trägt PALISADIO bereits von der Konstruktionsseite her Rechnung. Durch die guten bauphysikalischen Eigenschaften der massiven Holzbauweise ist bei entsprechender Materialstärke ein Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) von 0,27 W/m²K oder besser realisierbar. Diese Werte wurden durch Untersuchungen des Fraunhofer-Institut für Bauphysik bestätigt [2].

Für die Vor- und Endmontage der Bauteile wird eine präzise 3D CAD-Planung erstellt. Zur Vermeidung von Kleber, Leim und Metall werden die Holzprofile mittels Hartholzdübeln zu massiven Bauteilen verbunden. Eine eigens entwickelte Bohr- und Dübeleinrichtung übernimmt die Bestückung der Profile mit den Hartholzdübeln. Diese werden quer zur Profillänge in festgelegten Abständen bündig in das Holz eingetrieben und dienen der Verbindung der einzelnen Elemente untereinander. Nach Einlegen der gehobelten Hölzer auf das Einzugband erfolgt der Vorgang des Bestückens vollautomatisch, kann aber zur Beschleunigung auch von Arbeitskräften händisch ergänzt werden. Die vorkonfektionierten Bauteile können durch eingebrachte Querfräsungen mit anderen Bauteilen zu Gebäuden zusammengesteckt werden, ohne dass weitere Verbindungsmittel benötigt werden.

Am Ende der Produktionslinie steht die abschließende Qualitätskontrolle und ggf. das Verpacken sowie das Lagern oder Transportieren. Der Transport der Bauteile erfolgt mit wettergeschützten LKWs, um Sonneneinstrahlung, Regenwasser sowie Verschmutzung zu vermeiden und eine reibungslose Endmontage an der Baustelle sicher zu stellen.

3 Montage

Für die Montage können Baukräne, mobile Autokräne oder auch größere Gabelstapler verwendet werden. Bei kleineren Gebäuden, wie z.B. Gartenhäusern, Saunen oder Messeständen können die Profilstäbe oder Elemente auch einzeln vor Ort mit handgeführten Drucklufthämmern montiert werden. Die Gebäude werden nicht von unten nach oben montiert (wie z.B. beim traditionellen Blockhausbau), sondern im seitlichen Vortrieb. Nach Auflegen des ersten Bodenteils (die Module sind in der Regel ca. 1 m breit und erstrecken sich in der Länge über die gesamte Gebäudebreite) werden ebenso breite Wand- und Decken-, bzw. Dachteile aufgesteckt. Dieser Gebäudeabschnitt ist statisch schon voll tragfähig und leicht gegen Regeneinwirkung durch Abdecken zu schützen. Die Montagedauer für ein durchschnittliches Einfamilienhaus beträgt ca. 5 bis 8 Tage; für eine Garage werden ca. 8 Stunden benötigt. Die Montage selbst erfolgt durch erfah-

renes Fachpersonal. Dabei können bei Bedarf auch Zimmerleute, Holzbauunternehmen oder externe Architekten aus der jeweiligen Region mit einbezogen werden.

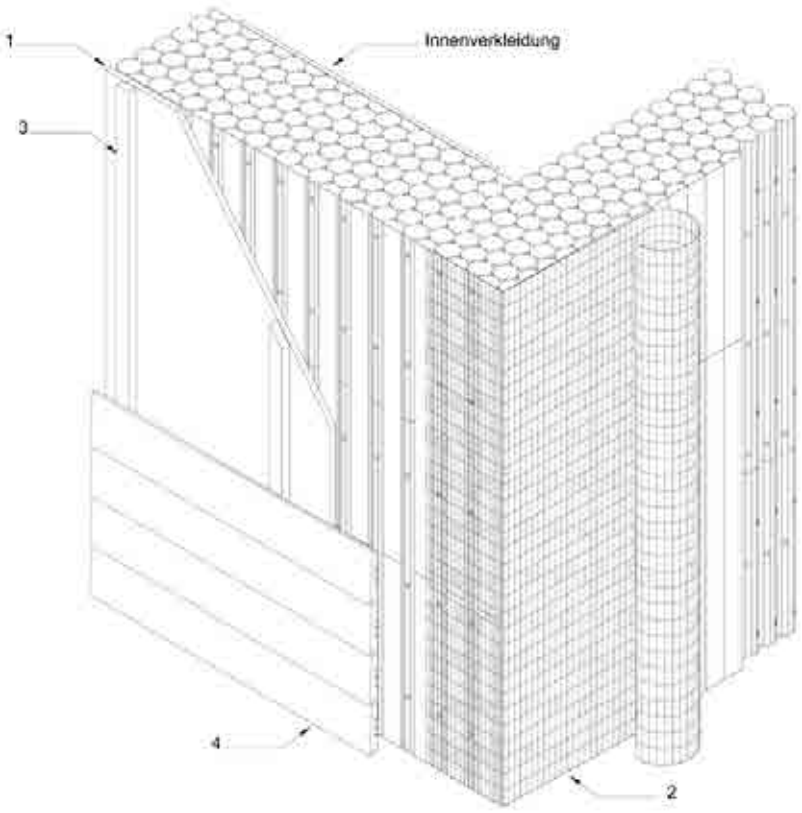


Abb. 2: Wandaufbau (1: Weichfaserplatte als Winddichtung; 2: alternativ Winddichtpapier; 3: Lattung; 4: Holzverschalung) [3]

4 Ausführung

Nahezu jede Gebäudeart, -form und -größe lässt sich mit PALISADIO auf rein ökologische Weise herstellen. Von der Sauna mit 3 m² Grundfläche bis zum vielgeschossigen Wohnkomplex – PALISADIO sind kaum Grenzen durch die Statik gesetzt, denn bedingt durch das Ineinandergreifen der vorkonfektionierten Bauteile ergibt sich insbesondere bei lateraler Belastung eine zusätzliche Versteifung des Baukörpers. Durch die variable Baustruktur sind die Gebäude jederzeit erweiterbar.

Bei der Entwicklung von PALISADIO war Variabilität ein Hauptkriterium. Konstruktionsbedingt bestehen keinerlei Einschränkungen für die Folgegewerke nach Erstellung des Rohbaus. So kann die Außenfassade mit jedem Trägersystem kombiniert werden, wenn beispielsweise bauherrenseitig ein Verputz gewünscht oder gefordert sein sollte. Grundsätzlich wird bei der Bauausführung in den meisten Fällen der Wunsch bestehen, bei den Folgegewerken den ökologischen Charakter des PALISADIO-Systems zu erhalten und fortzuführen. Im Innenbereich bieten sich Lehmputze und / oder Verkleidungen mit Lehmbau- bzw. Lehmtrockenputzplatten an, um das konstruktionsbedingt günstige Raumklima von massiven Holzbauten zu erhalten.

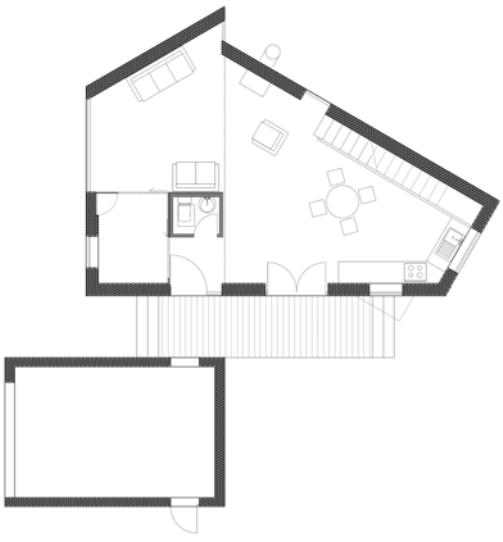


Abb. 3: Grundriss Ferienhaus [3]

5 Fazit

Seit seiner Einführung am Markt wurde PALISADIO sehr gut angenommen. Messestände, einfache Gartenhäuschen, Ferienhäuser, Einfamilienhäuser, gewerbliche Gebäude, Reitschulen, Dachaufstockungen bei Altbauten: Die Palette der bisher ausgeführten Projekte ist vielseitig. Optimierungen des Profils und des Fertigungsprozesses

fließen nach einer gründlichen Evaluation und Testphase evolutionär in das Produkt ein. Gründe für den Erfolg von PALISADIO sind neben diesem zukunftsoffenen Charakter die vier Prinzipien:

- Ökologie. PALISADIO bietet sämtliche Vorzüge des ressourcenschonenden, ökologischen und baubiologisch vorteilhaften Baustoffes Holz.
- Werthaltigkeit. Dank der massiven Holzbauweise ist PALISADIO eine Investition in zukünftige Generationen.
- Flexibilität. Das Konstruktionsprinzip bietet Raum für individuelles Bauen. Freiheit in Form und Größe kann mit unterschiedlichsten Bauprinzipien kombiniert werden. Geringere Wandstärken kombiniert mit Dämmmaterial bieten ein Preisniveau im Bereich des Leichtbaues, stärkere Wände den Vorteil des Bauens nur mit dem natürlichen Baustoff Holz.
- Solidarität. Die Fertigung von PALISADIO bietet Menschen mit Problemlagen die Möglichkeit einer Integration ins Arbeitsleben. Dies stärkt langfristig den Wirtschaftsstandort Deutschland.

Quellen

[1] „Verstärkte Holznutzung zugunsten von Klima, Lebensqualität, Innovationen und Arbeitsplätzen (Charta für Holz)“. Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (BMVEL), Berlin, 2004.
[2] „Prüfbericht P5-135/2005“. Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Stuttgart, 2005
[3] NintegrA / T. Rautenberg

Linkliste

www.palisadio.de

Abb. 4: Ferienhaus, gebaut mit dem Nichts-als-Holz-Bausystem PALISADIO [3]

13.2 Holzbauweisen, Holzbausysteme
Bionisches Bausystem in Holz bzw. Holz-Beton-Verbundbauweise

Dieter Oligmüller

1 Ausgangssituation

Die bisherigen Holzbauweisen sind hauptsächlich Holzrahmenbauweisen, die für ein- / zweigeschossiges Bauen prädestiniert sind. Aber schon bei drei- / viergeschossiger Bauweise sind zur Erfüllung der bauphysikalischen Anforderungen, wie sie z.B. Schall- und Brandschutz stellen, umfangreiche Zusatzkonstruktionen erforderlich. Ausgehend von diesen Prämissen soll mit dem bionischen Bausystem ein Holz bzw. Holz-Beton-Verbundsystem zur Serienreife entwickelt werden, das sogar bis zu zehngeschossiger Bauweise (und diese Höhe ist erst der 1. Schritt) eine echte Alternative zum Massivbau darstellt. Ein großer Vorteil des bionischen Bausystems in Holz bzw. Holz-Beton-Verbundbauweise liegt u.a. darin, dass zum überwiegenden Teil nachwachsende Rohstoffe zur Verwendung kommen und somit der Energiebedarf schon beim Herstellungsprozess wesentlich reduziert ist (graue Energie).

2 Beschreibung der geplanten Forschungsarbeiten und des Arbeitsprogramms

Bei den Forschungsarbeiten handelt es sich hauptsächlich um angewandte Forschung, bei der das Verhalten der Verbundkonstruktionen unter statischer, bauphysikalischer und brandmäßiger Belastung im Vordergrund steht.

Das laufende Arbeitsprogramm geht für die Hinführung zur Serienreife von einem Zeitraum von ca. drei Jahren aus, für die hier beantragte Förderung zur Prototypenreife von einem Zeitraum von 18 – 20 Monaten. Es umfasst die Schwerpunkte des architektonisch / ingenieurmäßigen Entwurfs und die Ausführungsplanung für die Prototypenherstellung. In weiteren Entwicklungsschritten erfolgt die Prototypenherstellung bis zur Serienreife. Zum Abschluss ist die Ausführung eines acht- / zehngeschossigen Gebäudes angestrebt. Bei fehlender Realisierungsmöglichkeit ist es möglich, die Ergebnisse in einem Projekt anzuwenden, dies kann ein fünf- / sechsgeschossiges Gebäude sein.

Die auf diesem Untersuchungsprinzip beruhende Bauweise ist auch für Schalen- und Kuppelkonstruktionen prädestiniert. Die Versorgungssysteme werden auch bei diesen Formen integriert sein. Forschungs- und Entwicklungsuntersuchungen auf Grundlage von Muschel- und Schalentieren sind nach ersten Untersuchungen geplant.

3 Darstellung des bionischen Ansatzes

Das bionische Bausystem wurde und wird unter ganzheitlicher Betrachtung der Bauaufgaben entwickelt. Es ist nicht auf eine einzige Materialart beschränkt, sondern es ermöglicht die Anwendung verschiedener Baustoffe, je nach Verlangen der Bauaufgabe, z.B. bis zu zehngeschossiger Bauweise Holz bzw. Holz-Beton-Konstruktionen.

Bei höherer Bauweise Beton-Holz-Konstruktionen in den unteren Geschossen zur Ertüchtigung der Tragfähigkeit. Die höheren Geschosse können in Holz bzw. Holz-Beton-Konstruktionen ausgebildet werden. Nie wird von den Grundprinzipien, die seiner Entwicklung zugrunde liegen, abgewichen.

Das bionische Bausystem folgt dem Grundsatz der Natur: Es erreicht wie sie mit minimalem Material- und Energieaufwand für die gestellte Aufgabe bzw. Anwendung das Optimum der Möglichkeiten. Dabei übernehmen, übertragen auf ein Bausystem, die Faktoren Tragfähigkeit, Schallschutz, Brandschutz, Verhalten in seismisch aktiveren Gebieten entscheidende Rollen.

Bauaufgaben sind sehr komplex. Oft steht die endgültige Lösung der Bauaufgabe zur Zeit des Baubeginns noch nicht fest, die Anforderungen können sich ändern; deshalb muss und deshalb hat ein bionisches Bausystem noch Anpassungsreserven. Es erfüllt die Aufgaben einer sich per-

manent ändernden Umwelt, vergleichbar einem Baum, der sich in seinem Wachstum optimiert und nur Material in der Menge zur Verfügung stellt, wie er es zur erforderlichen Konstruktionsergänzung benötigt.

Dieses Konstruktionsprinzip zu übersetzen heißt, neue Konstruktionsprinzipien durch Abstraktion der Wachstumsmethoden zu entwickeln. Das bionische Bausystem ist ein sich ergänzendes System. Daraus folgt, dass es im Konstruktionsprinzip für alle Baustoffe, hier: Holz und Beton, gleich ist. Wesentliches Konstruktionsprinzip für Decke, Wand und Dach ist der Zellenstruktur eines Baumes entlehnt. Dadurch werden keine unnötigen Füllmaterialien „mitgeschleppt", die bei Vollkonstruktionen bis zu 40 % des Eigengewichtes ausmachen, ohne die Tragfähigkeit zu erhöhen. Membrankonstruktionen, auch im Holzbau, finden hier Anwendung. Eine besondere Bedeutung kommt dem Holzbau bzw. der Holz-Beton-Verbundbauweise vor dem Hintergrund der Ressourcenschonung und der Verwendung nachwachsender Rohstoffe zu.

4 Expertise

Im Rahmen der BIOKON II Förderung wurden die bereits in den Jahren davor begonnen Vorarbeiten und Forschungen weitergeführt, auf zahlreichen Kongressen, in den Fachbüchern „Baubionik" und „Bionik für Ingenieure", verschiedenen Ausgaben des BIONA Reportes, Ausstellungen der Hannover-Messe, Wanderausstellung Faszi-Natur der DBU entsprechend des jeweiligen Entwicklungsstandes veröffentlicht.

Im Springer-Verlag wird eine erweiterte Ausgabe des Buches „Baubionik" mit dem Titel „Baubionik – Architekturbionik - Bionische Baukunst" erscheinen. Das Buch wird von Prof. Dr. Werner Nachtigall und Dipl.-Ing Dieter Oligmüller gemeinsam bearbeitet.

Die bisherigen Forschungen und Entwicklungen führten kurz gefasst zu folgenden Erkenntnissen:

4.1 Eine moderne, leistungsfähige Holzbauweise in Ergänzung mit einer Holz-Beton-Verbundbauweise, wobei das Holz der Hauptbaustoff ist, kann bei Erfüllung aller bauphysikalischen und baurechtlichen Anforderungen mindestens bis zu einer zehngeschossigen Bauweise angewandt werden.

4.2 Die Verbindungen zwischen Decke, Wand, Stützen, usw. sind Steckverbindungen, die in ihrer Form und Wirkungsweise aus den Knotenpunkten der Schachtelhalmgewächse abgeleitet wurden. Sie ermöglichen eine kraftschlüssige Verbindung zwischen den einzelnen Bauteilen und werden nur durch eine bolzenähnliche Verbindung fixiert. Diese Konstruktionsart lässt jeder Zeit ein Lösen der Bauteile zu, ohne dass sie beschädigt werden. So können sie an anderer Stelle wieder verwendet werden.

4.3 Der zellenartige Aufbau von Wand, Decke, Stütze und Dach bildet natürliche Installationskanäle, die auch jederzeit eine nachträgliche Ergänzung oder Änderung der Installation ohne Beschädigung der vorhandenen Bauteile ermöglicht. Ein wesentlicher Punkt für die Anpassungsfähigkeit an technische Entwicklungen.

4.4 Vorfertigung des Bausystems-Maßsystem

Wie bei allen Bauten liegt auch dem bionischen Bausystem eine Maßordnung zugrunde. Dass hier das menschliche Verhalten Grundlage des Ordnungsprinzips ist, versteht sich bei einem bionischen Bausystem von selbst, denn über Jahrhunderte war der Mensch Maßstab für Architektur. Das metrische System wird durch das Grundmodul von 18 cm und seiner Unterteilung in 9 cm und 6 cm ergänzt. Einer individuellen Baukörpergestaltung sind somit keine Grenzen gesetzt. Der bisherige Entwicklungsstand des bionischen Bau-

systems sieht eine weitergehende Vorfertigung als bisher üblich vor: Die Außenwände werden bereits mit der erforderlichen Wärmedämmung, die aus natürlichen Baustoffen besteht (z.B. Mineralschaum), versehen, die Innenwände werden mit dem endgültigen Materialbaustoff ausgestaltet, die Decken mit Estrich versehen. Die Fugen werden nicht gespachtelt oder versiegelt, sondern mit Passstücken gleichen Materials versehen. Die entwickelte Außenwandkonstruktion ermöglicht es, Sonnenschutz oder Rollladen verdeckt, ohne Sturz, einzubauen. Eine wesentliche Voraussetzung für eine bessere Tageslichtnutzung. Die Einheitlichkeit der Außenfassade wird damit gewährleistet.

4.5 Klima
Die beschriebene Bauweise bietet die besten Voraussetzungen für eine natürliche Klimatisierung des Baukörpers auch bei höhergeschossigen Bauvorhaben. Hierzu trägt u.a. das dynamische Temperaturverhalten der Baustoffe bei, das voll genutzt werden kann. Durch die Nutzung der Nachtauskühlung kann der sommerliche Wärmeschutz, der immer mehr Bedeutung gewinnt, voll erfüllt werden. Solarelemente, die in die Baukonstruktion integriert sind, nutzen zur Senkung des Bedarfs an Energieträgern aus endlichen Rohstoffen die regenerativen Energiepotentiale.

4.6 Aufgrund der in den letzten Jahrzehnten gestiegenen Lärmbelästigungen durch externe und interne Quellen wird durch zielgerichtete Auswahl der Oberflächen, Konstruktionsmöglichkeiten und Baustoffe positiver Einfluss auf die Raumakustik genommen und damit die Behaglichkeit und das Wohlbefinden der Bewohner gesteigert.

4.7 Der Energiebedarf für Gebäude mit diesem Bausystem liegt unterhalb des sog. Passivhausstandards (Nullheizenergiehaus) Entscheidende Vorteile dieser Bauweise liegen in der Kombination von Wärmedämmung, Wärmespeicherung und Erdtemperaturnutzung. Damit sind bessere Voraussetzungen für eine natürliche Klimatisierung und somit für ein besseres Raumklima gegeben. Der Heizungsenergiebedarf für das menschliche Wohlbefinden hängt wesentlich von der Oberflächentemperatur der Raum bildenden Wände ab. Je geringer das Temperaturgefälle zwischen Raumtemperatur und Wandoberflächentemperatur ist, umso niedriger muss für das menschliche Wohlbefinden die Raumtemperatur sein. Auch dieser Tatsache wird mit dem Bausystem Rechnung getragen.

5 Erfolgsaussichten, Umsetzungskonzepte
Die Holz bzw. Holz-Beton-Verbundbauweise ist die zukunftsweisende Holzbauweise, die der Autor nur in konsequenter Anwendung all seiner sich selbst gestellter bionischer Prinzipien entwickeln konnte. Weil Wand, Decken und Stützen auf demselben Konstruktionsprinzip beruhen, bietet die Holz bzw. Holz-Beton-Verbundbauweise eine echte Alternative zum Massivbau.

Das Baumaterial besteht größtenteils aus nachwachsenden Rohstoffen, der heute sehr knappe Baustoff „Kies“ (knapper als Öl) wird sehr sparsam und nur dort, wo keine Alternative besteht, eingesetzt. Der Energieverbrauch bei der Herstellung eines Bauwerkes in Holz-Beton-Verbundbauweise liegt bei ca. 30 % eines entsprechenden Massivbaues (Einsparung also 70 %), bei reiner Holzverwendung noch deutlich tiefer. Darüber hinaus werden durch den Einsatz des regenerativen und leistungsfähigen Baustoffs Holz bedeutende Mengen des Klimagases CO_2 gespeichert. Die konsequente Holznutzung stellt somit einen aktiven Beitrag zum Umweltschutz dar, der sich wirtschaftlich, auf kurze und erst recht auf lange Sicht auszahlt.

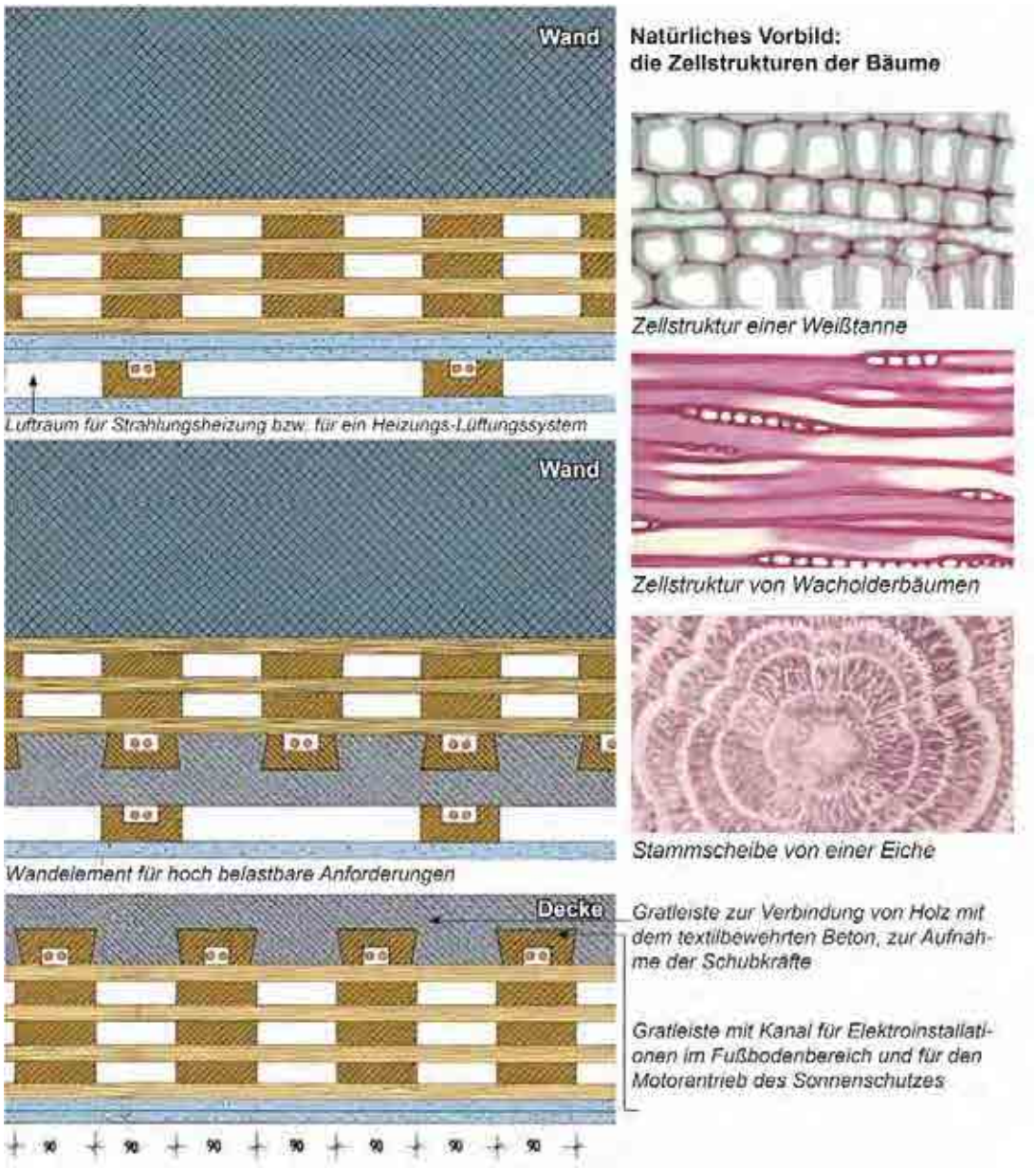
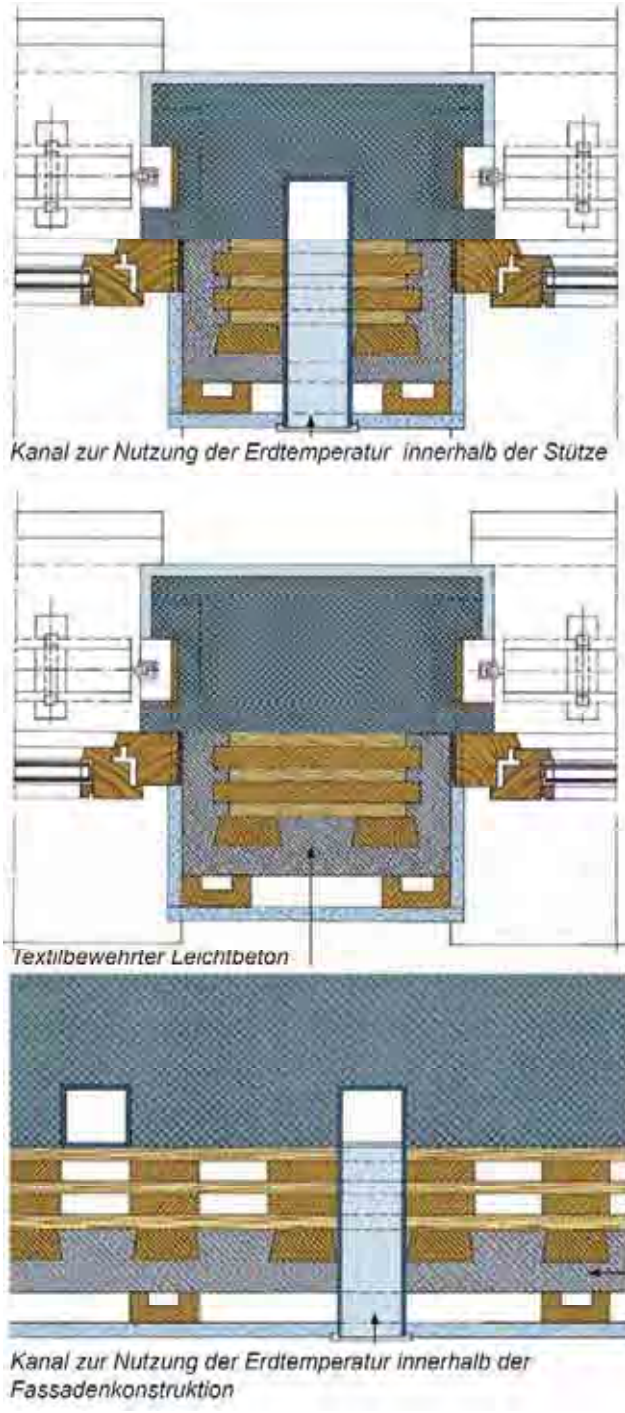


Abb. 1: Zellkonstruktion der Wand und Decke durch kreuzweise verleimte Holzlamellen; Ausführung F90



Natürliches Vorbild und technische Nutzung;
A Der Bau des Präriehundes und sein Durchlüftungssystem.
B Kühlung eines Hauses im mittleren Osten; Für die Kühlung eines Hauses wurde über Jahrhunderte die Konstruktion eines Kühlturmes angewendet. Eine Weiterentwicklung des Prinzips führte die Luft über ein Wasserbecken, so daß zusätzlich Verdunstungskühle entstand.

Abb. 2: Nutzung der Erdtemperatur für die Vorkühlung der Frischluft im Sommer und Vorwärmung der Frischluft im Winter. Vorbild ist das genial einfache aber ausgezeichnet effektvolle Lüftungsprinzip des Präriehundbaues.

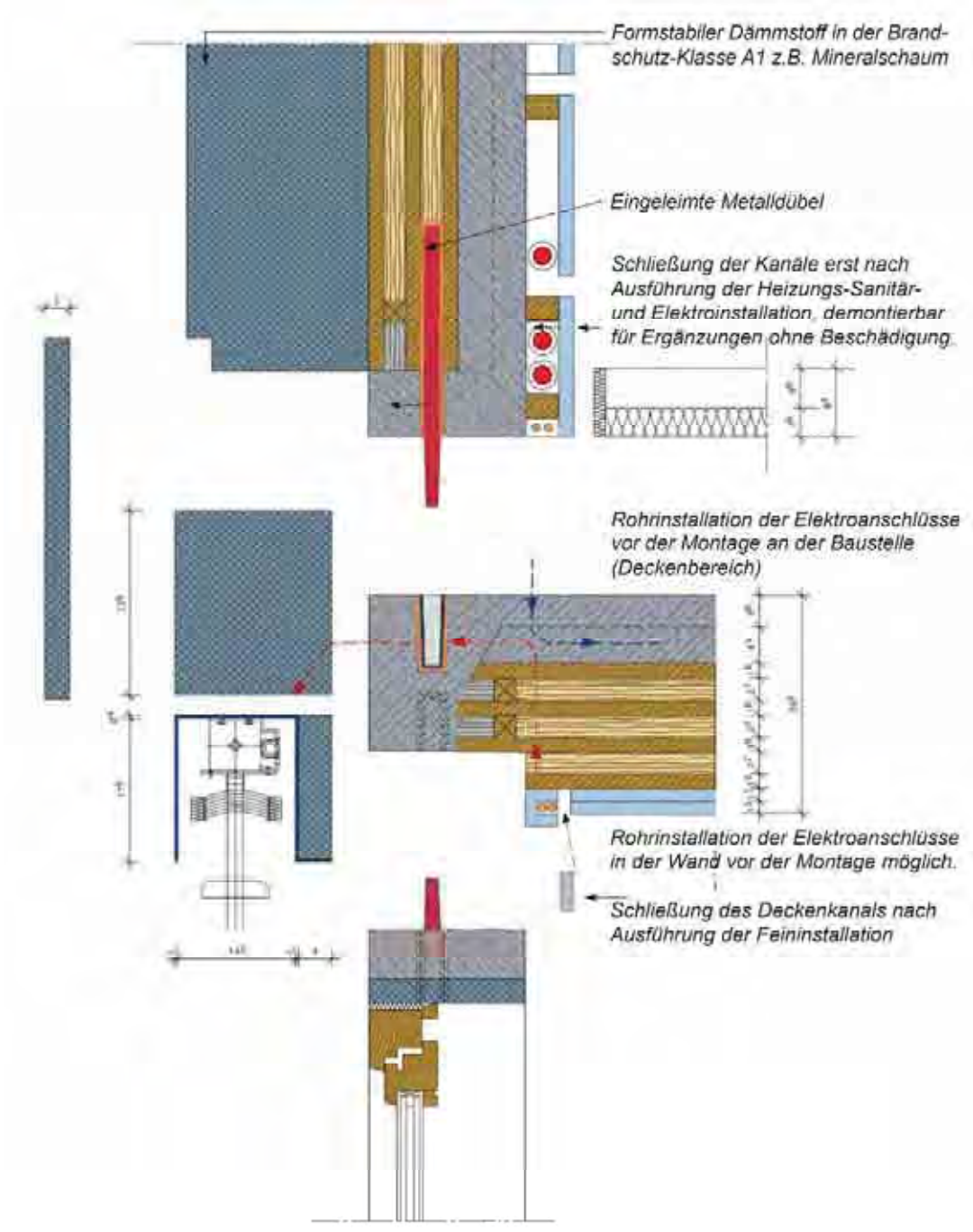


Abb. 3: Wand- und Deckenelemente als Einzelteile vor der Verzahnung, Fensterbereich

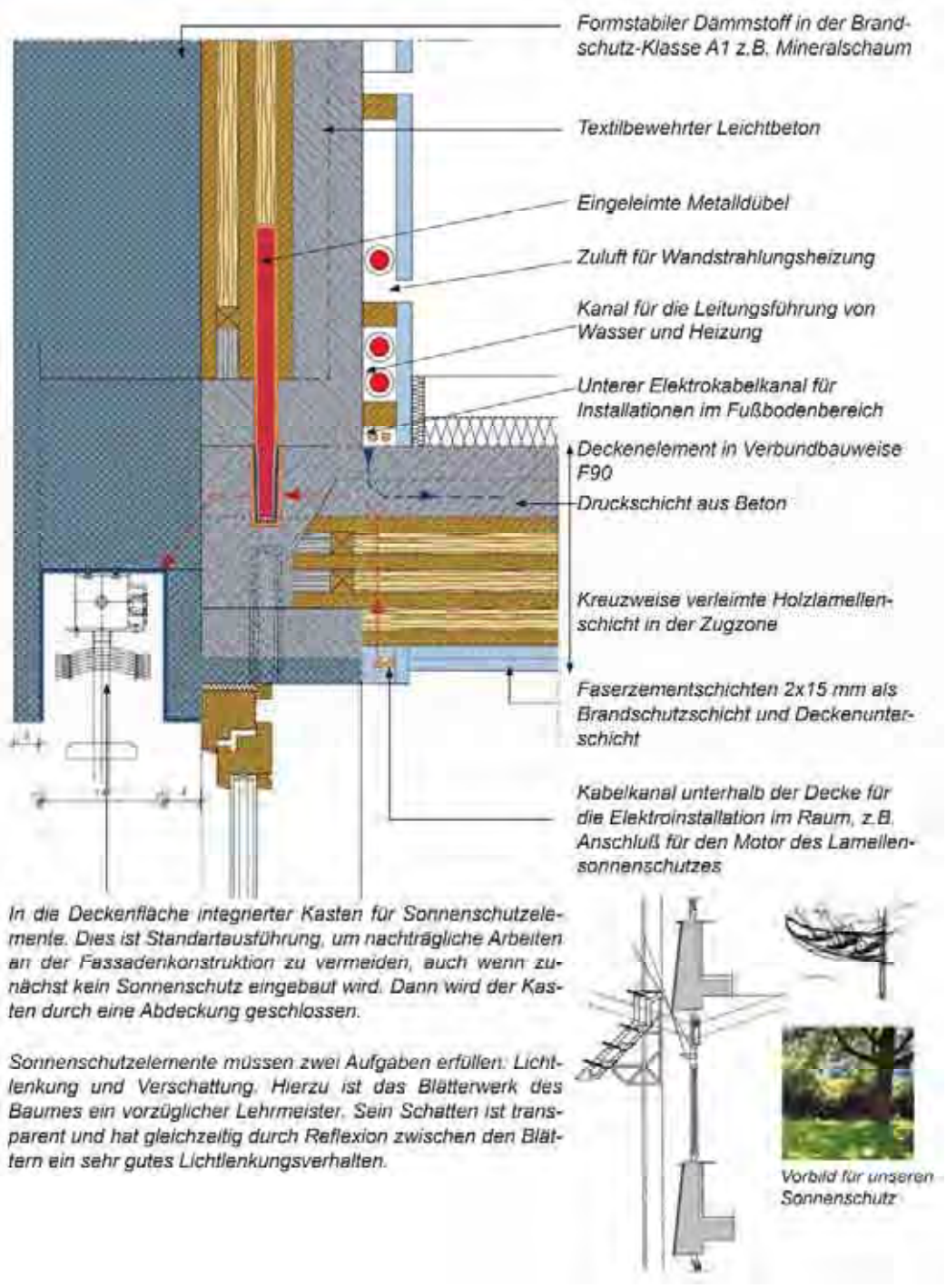


Abb. 4: Zusammengefügte Decken-Wandelemente mit Fenster im Bereich der Verzahnung

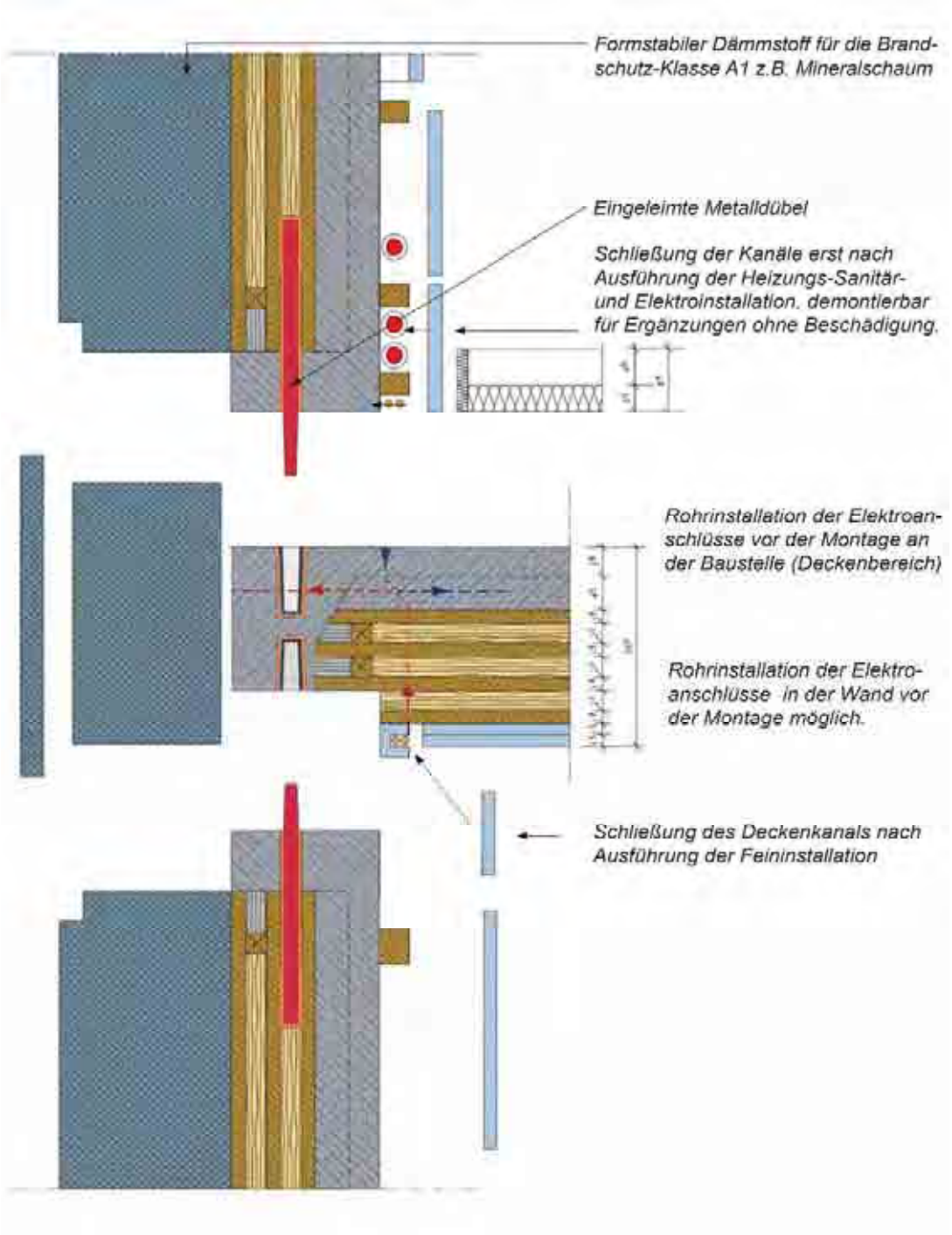


Abb. 5: Wand- und Deckenelemente als Einzelteile vor der Verzahnung

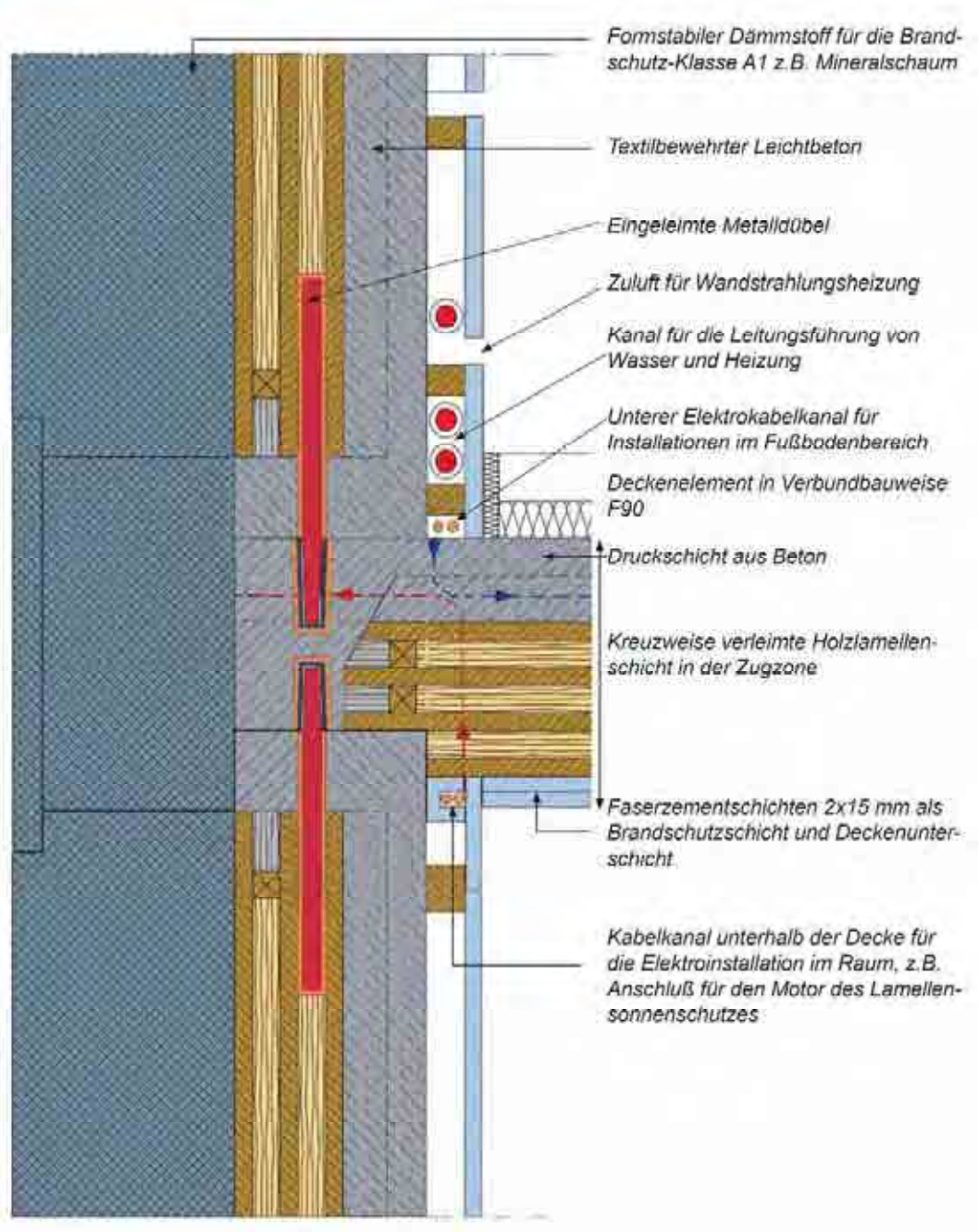


Abb. 6: Zusammengefügte Decken-Wandelemente im Bereich der Verzahnung

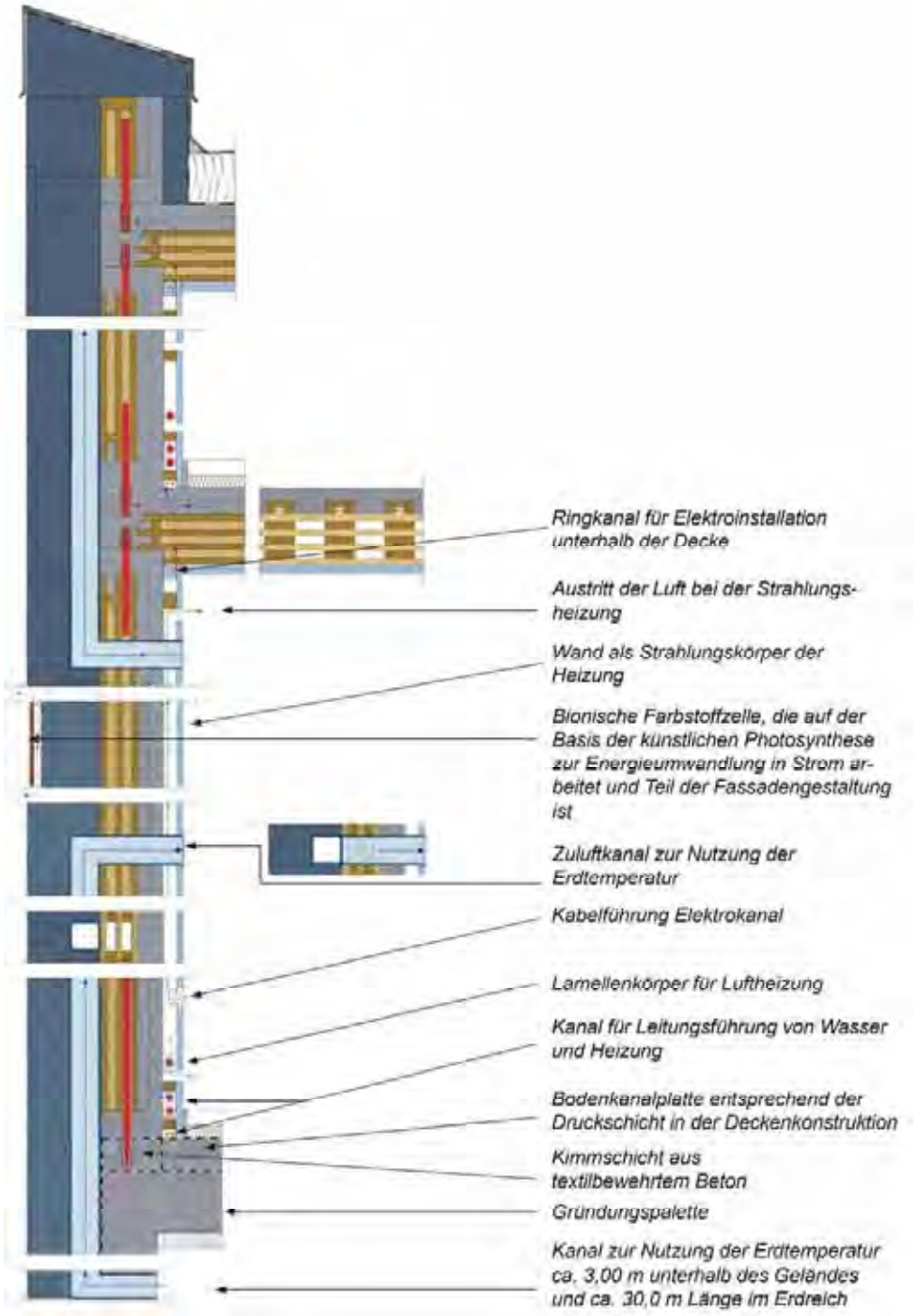


Abb. 7: Zusammengefügte Decken- und Wandelemente mit Darstellung der natürlichen Klimatisierung

13.2 Holzbauweisen, Holzbausysteme

Klimatische Verhältnisse in Kriechkellern Anwendung in Verbindung mit Holzbodenplatten

Norman Werther, Stefan Winter

1 Ausgangssituation

Übliche Gründungsvarianten für Gebäude in Holzbauweise sind neben der Gründung über Kellern und Stahlbetonbodenplatten auch aufgeständerte Konstruktionen auf Pfählen, Punkt- und Streifenfundamenten. Die im Holzhausbau verbreitetste Gründungsvariante mit Stahlbetonbodenplatte zeigte jedoch vor allem in den letzten Jahren, besonders in Kombination mit energetisch hocheffizienten Holzbaukonstruktionen, vermehrt Nachteile. Alternativ dazu entstanden vielfach Konstruktionen mit Holzbodenplatten auf umlaufenden, belüfteten Streifenfundamenten, so genannten Kriechkellern (Abb. 1 und Abb. 2) oder auf Stahlträgern über Punktfundamenten.

Besonders belüftete Kriechkellerkonstruktionen, die seit Jahrzehnten in Nordamerika, Schottland, den Niederlanden und vor allem in Skandinavien eine weite Verbreitung aufweisen und dort zum allgemeinen Baustandard zählen, bieten in Kombination mit Holzbodenplatten für Zweck- und Wohnungsbauten neue und innovative Möglichkeiten.

Abb. 1: Wohnhaus mit Holzbodenplatte über Kriechkeller

Abb. 2: Verlegung einer Holzbodenplatte über Kriechkeller mit Streifenfundament

Die Vorteile dieser Konstruktionsform können wie folgt zusammengefasst werden:

- Die Holzbauteile werden durch die Aufständerung aus dem spritzwassergefährdeten Bereich heraus gehalten.
- Der Wegfall der flächigen Betonarbeiten führt maßgeblich zur Reduktion der eingetragenen Baufeuchte.
- Durch die Ausführung des untersten Fußbodens in Holzbauweise werden hohe Dämmstandards einfach ermöglicht.
- Die gezielte Aufständerung ermöglicht den nachträglichen Einbau und ggf. die Änderung von Ver- und Entsorgungsleitungen mit Revisionsmöglichkeit.
- Die Belüftung führt im Kriechkeller zur Reduktion und zum Abtransport schädlicher Gase (Radon) und minimiert das Risiko für die Anreicherung dieser Gase in den Wohnbereichen.

In Deutschland wurden Holzbodenplatten über Kriechkellern in der Vergangenheit bezüglich ihrer Dauerhaftigkeit als kritische Bauteile angesehen, was infolge eingetretener Schadensfälle der 70er Jahre auch gerechtfertigt schien [1].

Bis zum heutigen Zeitpunkt wurden nur wenige Bemühungen unternommen, die damals getrof-

fenen Aussagen zu überprüfen und vor allem ihre Richtigkeit bezogen auf den jetzigen Stand der Technik zu bewerten. Vor allem hohe Dämmstandards, luftdichte Ausführung der Konstruktion, feuchteresistentere Plattenwerkstoffe und planmäßig trocken verbautes Holz bieten dabei bessere Voraussetzungen und Möglichkeiten eine dauerhaft schadensfreie Konstruktion zu erstellen. Internationale Forschung, besonders aus dem skandinavischen Raum [2] aber auch erste Objektmessungen der MFPA Leipzig [3] zeigten zugleich vielversprechende Lösungsvorschläge. National fehlende normative Regeln und Richtlinien (entsprechend DIN 68800 und DIN 4108) zur Ausführung von Holzbodenplatten über Kriechkellern geben verschiedenen konstruktiven Varianten eine Daseinsberechtigung, jedoch keine Sicherheit für den Anwender.

2 Grundlagen - Problematik

Bei einem Blick über die Grenzen von Deutschland hinaus wird deutlich, dass vor allem in den skandinavischen Ländern Untersuchungen zu den hygrothermischen Verhältnissen in Kriechkellern vorliegen und die Konstruktionen über Jahre weiterentwickelt wurden. Die Problematik der Anwendung von Holz und Holzwerkstoffen unter hohen Feuchtebedingungen, die im Kriechkeller auftreten können und sich mit zunehmendem Dämmstandard der Bodenplatte verstärken, sind ebenfalls bekannt. Als konstruktive Maßnahmen zur Beeinflussung der hygrothermischen Mechanismen in diesem Bereich werden vor allem die Bodenabdeckung und die Belüftung der Kellerbereiche angesehen.

Vor allem die Verdunstung aus dem Erdreich stellt eine wichtige Feuchtequelle in Bezug auf das Mikroklima im Kriechkeller dar, deren Grad es zu minimieren gilt [2]. Die Aufgabe der Belüftung der Kriechkellerbereiche besteht darin, eingedrungene Außenluftfeuchte, Tauwasser, aufsteigende Bodenfeuchte, Feuchtebelastungen infolge Diffusion aus den Wohnräumen aber auch Baufeuchte durch Luftzirkulation abzuführen und eine kontinuierliche Auffeuchtung der verwendeten Baustoffe bis auf ein kritisches Niveau zu unterbinden.

Für belüftete Kriechkellerkonstruktionen stellen sich entsprechend der internationalen Erfahrungen in den Sommermonaten die kritischsten Bedingungen ein, da warme und feuchte Außenluft durch die Belüftung eindringt, in den Kellerbereichen abgekühlt wird und zur Erhöhung der relativen Luftfeuchtigkeit führt. Für den Winterfall stellt die Belüftung dagegen einen durchaus positiven Effekt dar, da kalte Außenluft in die wärmeren Bereiche des Kriechkellers eingetragen wird und zur Entfeuchtung beiträgt [3]. Eine Belüftung ist demnach immer dann dienlich, wenn die absolute Außenluftfeuchte unter der des Kriechkellers liegt.

Zur Ermittlung grundlegender Zusammenhänge für belüftete Kriechkellerkonstruktionen in Verbindung mit Holzbodenplatten unter deutschen Klimarandbedingungen sowie zur Bestätigung der internationalen Erfahrungen, wurden im Rahmen eines Forschungsvorhabens umfangreiche Untersuchungen in Form von Labor- und Feldversuchen (vgl. Abb. 3), an der MFPA Leipzig und dem Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion der TU - München durchgeführt. Die Untersuchungen berücksichtigten dabei unterschiedliche Arten der Bodenabdeckung des Kriechkellers, verschiedene kriechkellerseitige Bekleidungen der Bodenplatte und variierende Belüftungssituationen unter wechselnden Klimabedingungen.

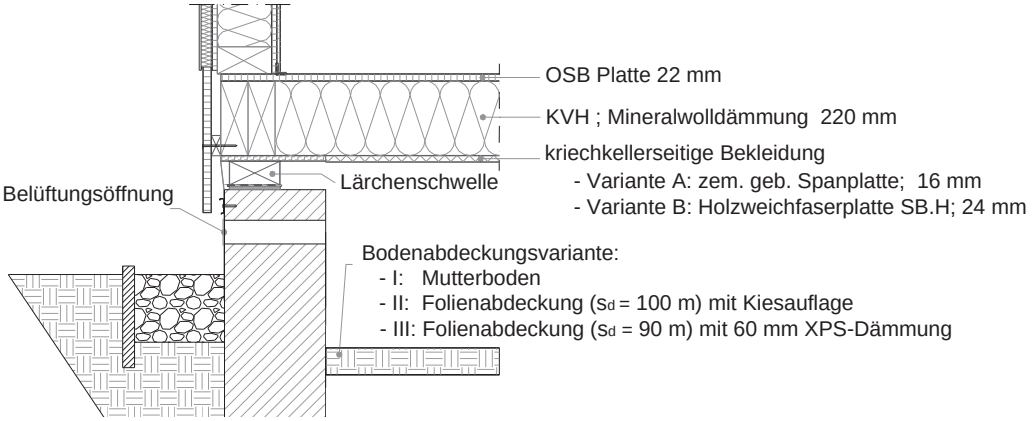


Abb. 3: konstruktiver Aufbau der Bodenplatte und des Kriechkellers im Laborversuch

3 Ergebnisse aus Feld- und Laborversuchen

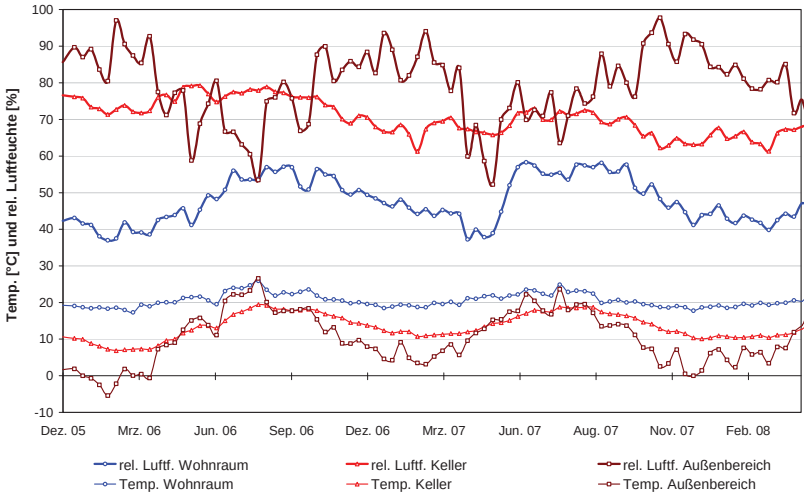


Abb. 4: Relative Luftfeuchten und Temperaturen–Dekadenmittel eines Feldversuches mit Folienabdeckung im Bodenbereich und aufliegender 60 mm dicker Mineralwolle-Dämmung

In den Untersuchungen wiesen alle Objekte eine eindeutige Beziehung zwischen Außenklima und Kriechkellerklima auf. Die Temperaturen im Kriechkeller folgten dabei dem sinusförmigen Verlauf des Jahresaußenklimas, jedoch mit einer deutlichen Dämpfung, die wiederum abhängig vom Maß der Belüftung war. Zurückgeführt werden konnte dies ebenfalls maßgeblich auf den zusätzlichen Einfluss der Bodentemperatur, die in den Wintermonaten zu „wärmeren“ und in den Sommermonaten zu „kälteren“ Bedingungen als im Außenbereich führte (vgl. Bild 4). Durchschnittlich traten über die Beobachtungszeiträume für alle untersuchten Objekte Kellertemperaturen von ca. 13 °C ± 5 auf.

Die Jahresverläufe der relativen Kriechkellerluftfeuchten verhielten sich asynchron zum Verlauf der relativen Außenluftfeuchten. Die feuchtesten und damit kritischsten Bedingungen traten erwartungsgemäß für belüftete Kriechkeller jeweils in den Sommerdekaden auf. Besonders in den Untersuchungsbereichen ohne Bodenabdeckung traten schnell kritische Situationen mit relativen Luftfeuchten von 90 – 95 % auf, was durch Holzfeuchten von über 20 % bestätigt wurde. In diesen Bereichen konnte ab Juni 2007 an verschiedenen Holzwerkstoffproben Schimmelpilzwachstum an der kriechkellerseitigen Bekleidung verzeichnet werden (vgl. Abb. 5).

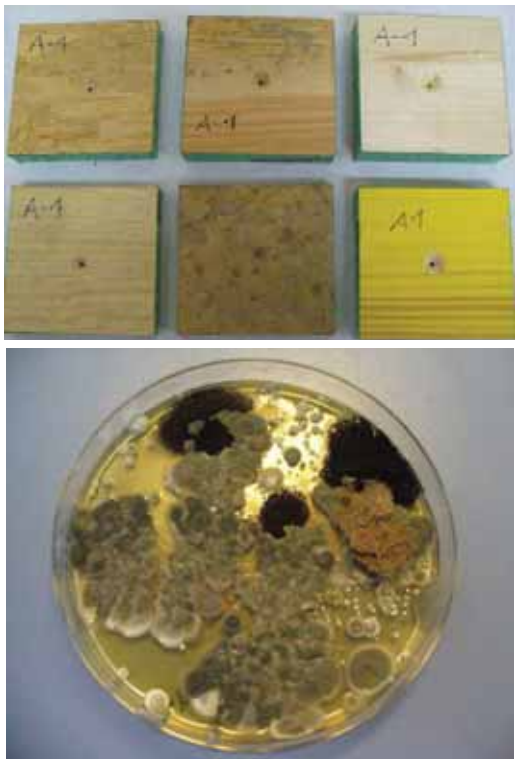


Abb. 5: Schimmelbefall (Penicillium und Aspergillus niger) an im Kriechkeller angeordneten Holzwerkstoffproben im Teilbereich ohne Bodenabdeckung des Laborversuchsstandes

Bereiche des Laborversuchsstandes, deren Boden mit PE-Folie abgedeckt war, wiesen dagegen 10 – 15 % geringere relative Kriechkellerfeuchten auf, was im Mittel in den Sommerdekaden relativen Luftfeuchten von ca. 80 % entsprach. Eine weitere Reduktion der relativen Luftfeuchtigkeit, um ca. 3 % konnte in den Sommerdekaden durch eine zusätzliche Dämmung des Erdreiches erzielt werden. Hohe Verhältnisse von gedämmter Grundfläche zu der umfassenden Fundamentfläche können diesen Effekt weiter verbessern.

In den Winterdekaden zeigten alle untersuchten Objekte mit Abdeckung im Bodenbereich unkritische Holzfeuchten, infolge der relativen Luftfeuchten von unterhalb des 70 % Niveaus. Für die mit Bodendämmung versehenen Bereiche ergaben sich aufgrund der abgemilderten Kriechkellertemperatur geringfügig höhere relative Luftfeuchten (vgl. Abb. 6).

Ein Vergleich der ermittelten absoluten Luftfeuchten über den Untersuchungszeitraum weist auf vorhandene Feuchtequellen hin. Die absoluten Kriechkellerluftfeuchten aller untersuchten Objekte wichen nur in geringem Maß voneinander ab. Sie zeigten über ein Jahr hinweg ein mit dem Temperaturverlauf und damit mit dem äußeren (absoluten) Dampfgehalt synchrones Verhalten. Im Bodenbereich abgedeckte Bereiche wiesen um ca. 1 g/m³ höhere absolute Luftfeuchten als der Außenbereich auf. In Bereichen ohne Bodenabdeckung wurde das Niveau um weitere 1 - 2 g/m³ erhöht. Der Unterschied der absoluten Luftfeuchten zwischen Außen- und abgedeckten Kriechkellerbereich verdeutlicht dabei den Einfluss weiterer Feuchtequellen. Neben den flächigen Diffusionsvorgängen durch die Folienabdeckung des Bodens und Verdunstungsvorgängen in den Randbereichen der Fundamente, sind ebenfalls Diffusionsvorgängen aus dem Wohnraum zu nennen.

Für die bisher als „große Unbekannte“ angesehene Größe des Luftwechsels im Kriechkeller wurden im Freilandversuch in der ersten Untersuchungsperiode Luftwechsel von $> 0{,}5\ h^{-1}$ verzeichnet, was zur Abfuhr der gegenüber außen erhöhten Kellerfeuchte nennenswert beitragen kann. In einer zweiten Untersuchungsperiode, ab Dezember 2007 wurde der Einfluss der Belüftung genauer untersucht. Geringe Öffnungsverhältnisse mit 4,5 cm²/m² (netto) bei planmäßiger und gleichmäßiger Verteilung über die Fundamentflächen führten zu den konstantesten Bedingungen über den Untersuchungszeitraum hinweg. Die vollständige Unterbindung der Belüftung zeigte erwartungsgemäß eine kontinuierliche Auffeuchtung der Kellerbereiche bzw. eine Stagnation der Luft- und Bauteilfeuchten auf sehr hohem Niveau, mit kritischen Zuständen.

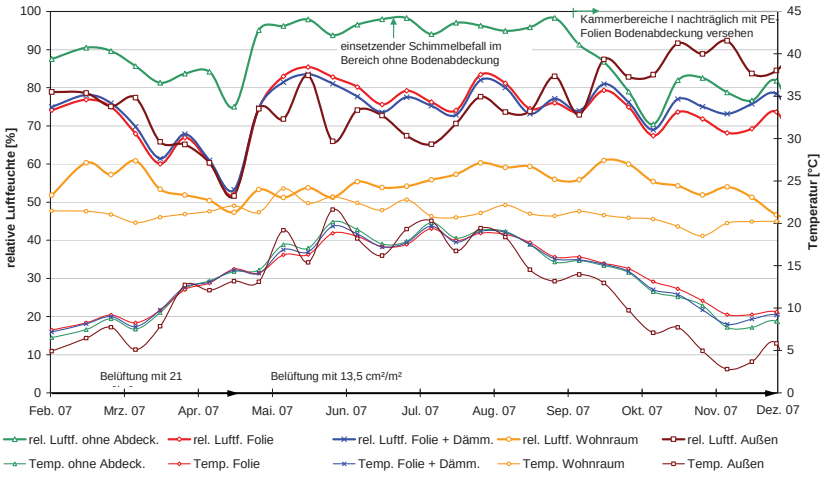


Abb. 6: Relative Luftfeuchten und Temperaturen in den Bereichen mit einer kriechkellerseitigen Bekleidung aus Holzweichfaserplatten im Laborversuch– Dekadenmittelwerte

5 Zusammenfassung der wesentlichen Untersuchungsergebnisse

Die Untersuchungen im Rahmen des Forschungsvorhabens [5] bestätigten, dass die klimatischen Verhältnisse in Kriechkellern durch zahlreiche Randbedingungen beeinflusst werden. Vor allem das Außenklima, die Art der Bodenabdeckung, die Belüftungssituation, die Baufeuchte, der Aufbau der Bodenplatte und Diffusionsvorgänge sind dabei vorrangig zu nennen.

Auf Grundlage der Forschungsergebnisse wird für die praktische Anwendung eine vollflächige Abdeckung des Bodenbereiches mit kapillar nicht saugfähigen, diffusionshemmenden Schichten $s_d \geq 100$ m notwendig. Eine zusätzlich aufgebrachte Dämmung im Boden- und Fundamentbereich reduziert vor allem in den kritischen Sommermonaten die Kriechkellerfeuchten. Eine weitere Grundvoraussetzung stellt eine funktionsfähige Belüftung dar. Für deutsche Klimarandbedingungen wird ein Brutto - Belüftungsquerschnitt von 10 – 20 cm²/m² empfohlen, eine nachträgliche Einengung durch das Anbringen üblicher Lüftungs- oder Kleintierschutzgitter ist hierbei bereits berücksichtigt. Die Anordnung der Lüftungsöffnungen sollte dabei regelmäßig über die Grundfläche erfolgen, um auch für innenliegende Fundamenträume eine gleichmäßige und sichere Durchströmung zu gewährleisten. Pro Fundamentkammer sollten dabei mindestens zwei Öffnungen vorgesehen werden.

Aus den Untersuchungen lassen sich für belüftete und im Bodenbereich abgedeckte Kriechkeller klimatische Verhältnisse ableiten, die der Nutzungsklasse 2 nach DIN 1052: 2008-12 entsprechen. Die aufgetretenen Holzfeuchten in den untersuchten Objekten unterhalb des 20 % Niveaus verdeutlichen diese Ergebnisse nochmals und schließen den Befall von holzzerstörenden Pilzen aus. Der Befall der Tragkonstruktion durch holzzerstörende Insekten wird durch die zugangsfreie Bauweise der Bodenplatte ausgeschlossen.

Auf Basis dieser Erkenntnisse wird zukünftig eine Zuordnung der Deckenbalken der Bodenplatte zur Gebrauchsklasse 0 nach DIN 68800-2 (aktuell in Überarbeitung) möglich sein. Zusätzliche Schutzmaßnahmen können somit entfallen.

Holzwerkstoffe, die im direkten Kontakt mit dem Kriechkeller stehen, müssen dabei mindestens für den Einsatz in der Nutzungsklasse 2 zugelassen sein. Erfüllt wird diese Anforderung für Holzwerkstoffe, die nach DIN EN 13986 mindestens für den Feuchtbereich anwendbar sind. Ein vollständiger Ausschluss eines Schimmelbefalls der kriechkellerseitigen Holzwerkstoffe ist unter diesen Randbedingungen jedoch nicht gegeben. Empfohlen werden daher flächige Plattenwerkstoffe, die durch ihre Zusammensetzung und Herstellung ein fungizides Wachstum (Schimmelbefall) erschweren. Hier können beispielsweise mineralisch gebundene – oder kunstharzbeschichtete Platten zur Anwendung kommen.

Festhalten lässt sich somit, dass unter Einhaltung der vorgenannten konstruktiven Randbedingungen sichere und dauerhafte Kriechkellerkonstruktionen in Verbindung mit Holzbodenplatten auch unter deutschen Klimarandbedingungen erstellt werden können.

Für den Holzbau ist somit eine weitere Gründungsvariante entstanden, die für Zweck- und Wohnungsbauten zahlreiche Vorteile bietet und für klein- und mittelständische Unternehmen die Wertschöpfung im Bereich des Holzbaus erhöhen kann. Auch für die in letzter Zeit in einigen Teilen Deutschlands vermehrt angesprochenen Thematik, zur Radoninfiltration in Wohnräume aus dem Boden entstehen für den Holzbau in Verbindung mit Kriechkellern vielversprechende Lösungsansätze, die jedoch zukünftig noch detailliert nachzuweisen sind.

Quellen

[1] Schulze, H.: Baulicher Holzschutz, Holzbau Handbuch Reihe 3 Teil 5 Folge 2, Entwicklungsgemeinschaft Holzbau in der DGfH 1981

[2] Kurnitski, J.; Matilainen, M.: Moisture conditions of outdoor air- ventilated crawl spaces in apartment buildings in cold climate, Energy and Buildings 33, No. 1, Elsevier Verlag 2000

[3] Kurnitski, J.; Matilainen, M.: Moisture conditions in highly insulated outdoor ventilated crawl spaces in cold climates, Energy and Buildings 35, No. 2, Elsevier Verlag 2003

[4] Borsch- Laaks, R.; Kehl, D.; Werther, N.: Prima Klima im Kriechkeller?, Holzbau die neue quadriga, Kastner Verlag 02/2005, 04/2005

[5] Winter, S., Bauer, P., Werther, N.: Untersuchung der klimatischen Verhältnisse in Kriechkellern unter gedämmten Holzbodenplatten zur Vermeidung von Bauschäden bei nicht unterkellerten Gebäuden und zur Kostenreduzierung, Fraunhofer IRB Verlag 2009

13.2 Holzbauweisen, Holzbausysteme
Fachwerkträger

Hans Joachim Blaß

1 Einleitung

Der aufgelöste Fachwerkträger weist im Vergleich mit Vollwandträgern aus Brettschichtholz einige Vorteile im Hinblick auf Materialverbrauch und Beanspruchung auf. Schubspannungen in den Querschnitten, die wegen der vergleichsweise geringen Schubfestigkeit des Brettschichtholzes zunehmend für die Bemessung von Vollwandträgern mit kurzer Spannweite oder von Satteldachträgern maßgebend werden, sind für das globale Gleichgewicht eines Fachwerkträgers nicht erforderlich. Obwohl der Fachwerkträger mit Stäben aus Vollholz und Nagelplattenverbindungen sehr erfolgreich im nicht sichtbaren Bereich für Spannweiten zwischen etwa 15 m und 30 m eingesetzt wird, sind sichtbare Fachwerkkonstruktionen in diesem Bereich vergleichsweise selten. Hier dominiert der Vollwandträger aus Brettschichtholz, häufig in der Form des Satteldachträgers mit gekrümmtem Untergurt.

Abb. 1: Fachwerkträger aus Vollholz mit Nagelplattenverbindungen

Der Erfolg der Nagelplattenbinder liegt einerseits in der Softwareunterstützung der Nagelplattenhersteller, die eine sehr schnelle und wirtschaftliche Bemessung der Träger ermöglicht, andererseits sind Nagelplattenverbindungen als hoch effizient zu bezeichnen, d.h. die Tragfähigkeit der Verbindung kann die Zugtragfähigkeit des angeschlossenen Stabes erreichen und die Nettoquerschnittsfläche der Zugstäbe ist gleich der Bruttoquerschnittsfläche. Darüber hinaus ist die Herstellung der Nagelplattenverbindung ebenfalls sehr wirtschaftlich, insbesondere wenn größere Stückzahlen gleicher Fachwerkträger hergestellt werden. Die Effizienz mechanischer Verbindungen mit stiftförmigen Verbindungsmitteln ist dagegen deutlich geringer, bei Stahlblech-Holz-Verbindungen mit Stabdübeln beträgt die Nettoquerschnittsfläche oft nur 60 % der Bruttofläche und die Herstellung der Verbindungen auf der Baustelle ist arbeitsintensiv.

Fachwerkträger aus Brettschichtholz im sichtbaren Bereich werden daher nur unter folgenden Voraussetzungen erfolgreich sein können:

- Effiziente Knotenverbindungen, die darüber hinaus ästhetisch ansprechend sein sollten,
- Einfachere und damit schnellere Herstellung der Verbindungen auf der Baustelle,
- Einfachere Bemessung der Verbindungen,
- Bessere Ausnutzung der Holzquerschnitte, d.h. größere Verhältniswerte zwischen Netto- und Bruttoquerschnittsfläche.

Abb. 2: Satteldachträger mit gekrümmten unteren Rand

Die genannten Voraussetzungen lassen sich mit Fachwerkträgern erreichen, deren Gurte aus

Brettschichtholz und deren Füllstäbe aus Brettsperrholz bestehen. Als Verbindungsmittel werden Gewindestangen mit einem Holzschraubengewinde nach DIN 7998: 1975-02 verwendet, die von mehreren Herstellern zur Querbewehrung von Brettschichtholz mit Längen bis zu 3 m und einem Durchmesser von 16 mm oder 20 mm angeboten werden.

2 Überlegungen zur Materialwahl und zur Knotengestaltung

Die Füllstäbe von Holzfachwerkträgern werden fast ausschließlich durch Normalkräfte beansprucht. Daher liegt zunächst der Gedanke nahe, für diese Füllstäbe einen Baustoff zu verwenden, der eine möglichst hohe Zug- bzw. Drucktragfähigkeit in Achsrichtung der Stäbe aufweist. Dies ist in der Praxis meist Vollholz oder Brettschichtholz, deren Faserrichtung in Achsrichtung der Stäbe verläuft.

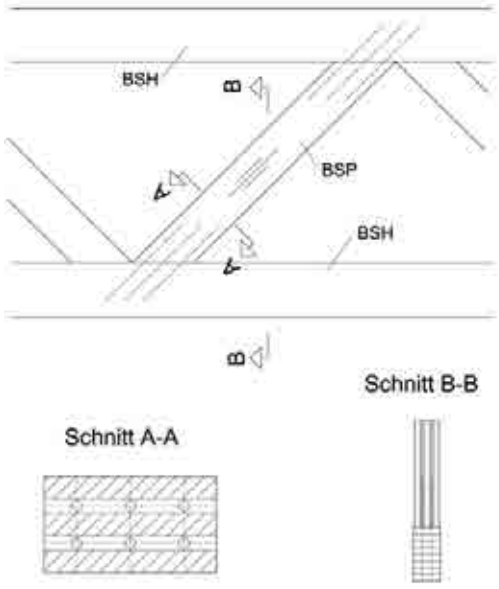


Abb. 3: Anordnungen von Gewindestangen in Querlagen von Brettsperrholz

Betrachtet man unabhängig vom Baustoff der Füllstäbe das Potential mechanischer Verbindungsmittel, dann zeigt sich, dass in Achsrichtung beanspruchte Schrauben hohe Kräfte übertragen können und damit sehr steife Verbindungen entstehen [1]. Allerdings sind faserparallel angeordnete Verbindungsmittel wegen des unbekannten Langzeitverhaltens nur in Ausnahmefällen zulässig, ein Einsatz auf Zug beanspruchter Schrauben im Hirnholz von Füllstäben aus Vollholz oder Brettschichtholz ist daher nicht möglich.

Um dennoch axial beanspruchte Schrauben als Verbindungsmittel für den Anschluss Füllstab – Gurt verwenden zu können, wird für die Füllstäbe Brettsperrholz verwendet, in das Schrauben parallel zur Achsrichtung des Stabes so eingedreht werden, dass sie vollständig in einer Querlage angeordnet sind, d.h. dass der Winkel zwischen Schraubenlängsrichtung und der Faserrichtung des unmittelbar das Gewinde umgebenden Holzes 90° beträgt.

Aus einem Forschungsvorhaben über die Tragfähigkeit von stiftförmigen Verbindungsmitteln in Brettsperrholz [2] ist bekannt, dass planmäßig in Querlagen eingedrehte Schrauben eine Tragfähigkeit auf Herausziehen aufweisen, die der Tragfähigkeit von rechtwinklig zur Faserrichtung eingebrachten Schrauben in Vollholz oder Brettschichtholz entspricht. Der geringe Abstand der Schraube zum Rand der Querlage wirkt sich nicht auf die Tragfähigkeit aus, das Versagen bei Beanspruchung auf Herausziehen ist nach wie vor durch das Scherversagen des Holzes in der Mantelfläche des Schraubengewindes gekennzeichnet. Die in die Querlagen eingebrachten Kräfte müssen über Rollschubbeanspruchungen der Klebfugen zwischen den Quer- und Längslagen in die Längslagen eingebracht werden, da ja nur letztere die Zugkräfte parallel zur Stabachse übertragen können.

Grundlage des Knotenkonzepts ist die Übertragung der Normalkräfte von den Füllstäben in die Gurte durch Vollgewindeschrauben oder Gewindestangen, die in vorgebohrte Löcher durch den Gurt hindurch in die Hirnholzenden der Füllstäbe eingedreht werden. Das Bohren der Löcher sollte mit Hilfe von Abbundanlagen erfolgen, um einen genauen Sitz der Schrauben gewährleisten zu können. Da die Schrauben parallel zur Füllstabachse verlaufen, würden sie bei der Verwendung von Vollholz oder BS-Holz für die Füllstäbe parallel zur Faser eingeschraubt sein. Dies ist weder durch Norm noch durch Zulassung für die erforderlichen Schraubenmaße abgedeckt. Aus diesem Grund wird für die Gurte Vollholz, Balkenschichtholz oder BS-Holz verwendet, für die Füllstäbe jedoch Brettsperrholz, das genau dort, wo die Schrauben angeordnet sind, Querlagen aufweist. Um eine Übergreifung der Schrauben zweier Füllstäbe in einem Knoten zu ermöglichen, sind erforderlichenfalls unterschiedliche Aufbauten des Brettsperrholzes benachbarter Füllstäbe mit unterschiedlicher Anordnung der Querlagen zu verwenden.

Damit sind die Schrauben in den Füllstäben stets rechtwinklig zur Faser, in den Gurten je nach Neigung der Füllstäbe zwischen etwa 45° und 90° zur Faser angeordnet und die hohe Ausziehtragfähigkeit der Schrauben kann für die Verbindungen ausgenutzt werden. In der Praxis sollte die Einschraubtiefe möglichst so groß gewählt werden, dass die Zugtragfähigkeit der Schrauben maßgebend wird. Wird für die Schrauben bzw. Gewindestangen ein duktiles Material verwendet, folgt daraus auch ein duktiler Versagensmechanismus der Verbindung durch Erreichen der Fließgrenze in den zugbeanspruchten Schrauben.

Der Anteil der Querlagen in den Füllstäben kann so gestaltet werden, dass ein möglichst großer Anteil an Längslagen für die Übertragung der Zug- oder Druckkräfte zur Verfügung steht. Im Rahmen erster Tastversuche wurde die Tragfähigkeit von zwei Verbindungen mit jeweils sechs Gewindestangen des Durchmessers 16 mm ermittelt. Dabei wurde ein Füllstab aus Brettsperrholz mit drei Längslagen und zwei Querlagen an einen Gurt aus Brettschichtholz angeschlossen. Bei den für die Prüfung vorgesehenen Verbindungen (Abb. 4) waren die Längslagen z.B. 22 mm bzw. 13 mm dick, die entsprechenden Schraubendurchmesser betrugen 16 mm und 12 mm. Der Längslagenanteil oder Nettoquerschnitt lag damit zwischen 69 % und 82 %. Dieser Anteil ist höher als bei üblichen Stabdübelverbindungen in BS-Holz.

Die Verbindung wurde durch eine Zugkraft in Richtung des Füllstabes bis zum Versagen belastet. Die Tragfähigkeit der ersten geprüften Verbindung lag bei 395 kN, das Versagen wurde durch das Aufspalten einer Querlage ausgelöst, anschließend wurden die drei Schrauben in der zweiten Querlage aus dem Gurt herausgezogen (Abb. 5). Um das Aufspalten der Querlagen zu verhindern, wurden in zwei weiteren Versuchen vier Vollgewindeschrauben zur Querzugverstärkung am Ende des Füllstabes eingesetzt. In diesen Versuchen wurden bei Höchstlasten von 382 kN und über 400 kN sämtliche Schrauben aus dem Gurt herausgezogen, Spalten traten nicht auf.

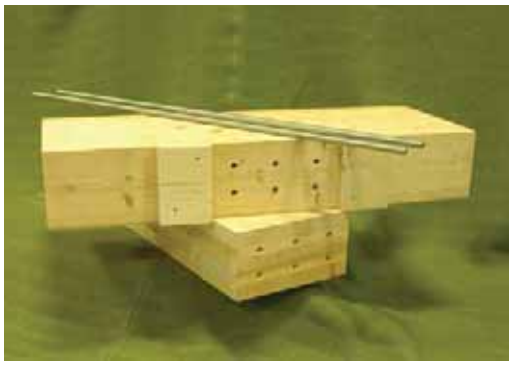


Abb. 4: Gewindestangen, Gurtabschnitt aus Brettschichtholz (oben) und Füllstab aus Brettsperrholz (unten)

Die orientierenden Versuche haben bestätigt, dass selbst sehr geringe Abstände zwischen dem Brettrand und dem Schraubengewindeumfang gegenüber rechtwinklig zur Faser in Vollholz oder Brettschichtholz eingebrachten Holzschrauben keine signifikanten Unterschiede im Tragvermögen erkennen lassen. Dies gilt selbst für die mit einem Gewindeaußendurchmesser von 12 mm in eine nur 13 mm dicke Querlage eingebrachten Schrauben

Abb. 5: Versagen durch Aufspalten einer Querlage

Die Brauchbarkeit der vorgestellten Verbindungstechnik für die Ausbildung von Fachwerkknoten wurde durch die orientierenden Versuche qualitativ bestätigt. Weitere Untersuchungen sind notwendig, um zu definierten Bemessungsansätzen und zu minimierten Mindestabständen zu führen. Die Verbindung mit Schrauben in den Querlagen der Füllstäbe verbindet eine sehr einfache Herstellung mit ähnlicher Tragfähigkeit wie z.B. von Stabdübelanschlüssen und eingeschlitzten Blechen. Weitere Vorteile des Knotenentwurfs sind die nur geringe Sichtbarkeit der Verbindungsmittel und bei Verpfropfung der Eindrehlöcher der Schrauben ein hoher Feuerwiderstand.

Abb. 6: Herausziehen der hinteren Stange aus der Querlage

3 Beispielrechnung

Um einen Eindruck von der möglichen Wirtschaftlichkeit von Fachwerkträgern mit der vorgestellten Verbindungstechnik zu ermöglichen, wurde eine Vergleichsrechnung mit zwei unterschiedlichen Varianten durchgeführt:

- Satteldachträger mit geradem unteren Rand
- Fachwerkträger mit Gurten aus Brettschichtholz und Füllstäben aus Brettsperrholz

Die Ergebnisse der Beispielrechnung zeigen, dass der Materialaufwand des BS-Holzes deutlich reduziert werden kann. Allerdings steht dieser Ersparnis ein Zusatzaufwand aus den Schraubenverbindungen gegenüber. Durch weitere Untersuchungen im Hinblick auf Mindestabstände der

Schrauben untereinander und vom Rand sowie durch eine optimierte Querschnittsgestaltung sind weitere Einsparungen zu erwarten.

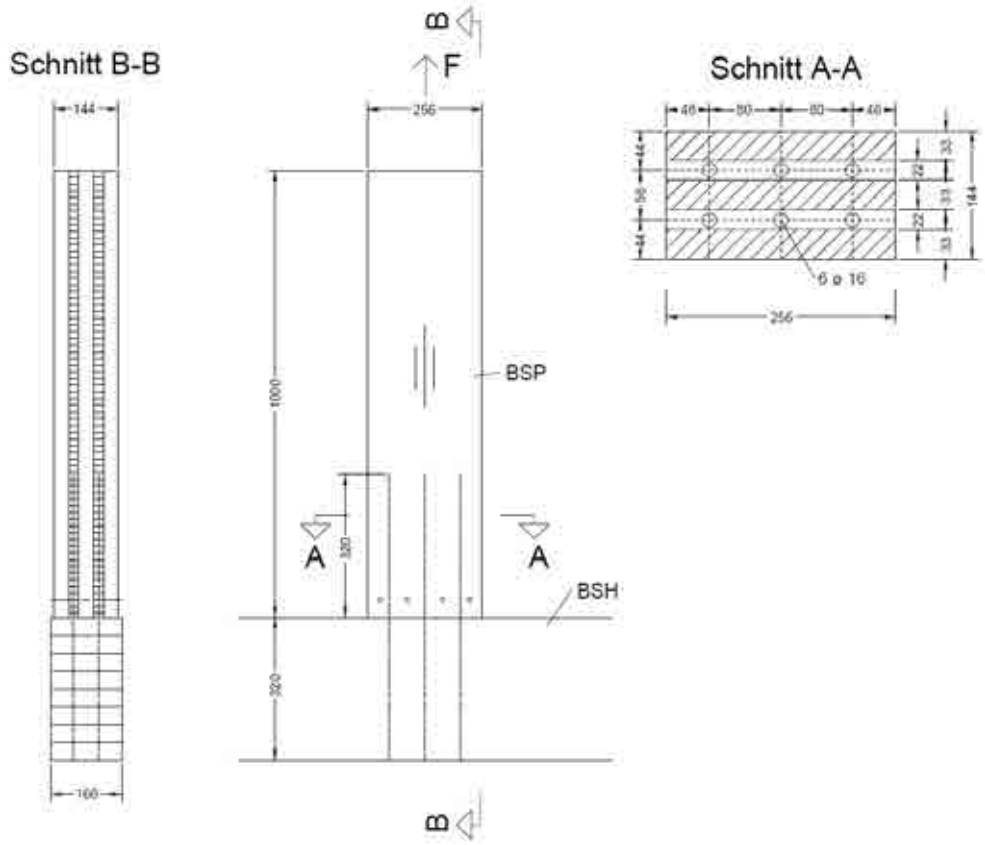


Abb.7: Anschlüsse bei Querverbindungen

Quellen

[1] Blaß, H. J.; Bejtka, I.; Uibel, T.: Tragfähigkeit von Verbindungen mit selbstbohrenden Holzschrauben mit Vollgewinde, Karlsruher Berichte zum Ingenieurholzbau, Band 4, Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen (Hrsg.), Universität Karlsruhe (TH), Karlsruhe, 2006

[2] Blaß, H. J.; Uibel, T.: Tragfähigkeit von stiftförmigen Verbindungsmitteln in Brettsperrholz, Karlsruher Berichte zum Ingenieurholzbau, Band 8, Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen (Hrsg.), Universität Karlsruhe (TH), Karlsruhe, 2007

aus Tagungsband „Ingenieurholzbau Karlsruher Tage 2008“, Universität Karlsruhe und Bruderverlag

14 Gebäudekonzepte, Bauen im Bestand
Inhaltsverzeichnis

14.1 Besondere Gebäudekonzepte
- Mehrgeschossiger Holzbau – heute und in naher Zukunft S. 1185
- Nachhaltige, energetische Gebäudekonzepte S. 1193
- Bauen mit Raummodulen S. 1199
- Anforderungen an den Wohnungsbau der Zukunft S. 1209
- Holz in temporärem Einsatz S. 1215
- Hochhäuser aus Holz S. 1221

14.2 Bauen im Bestand
- Bauen in der Stadt S. 1227
- Dachaufstockungen S. 1231
- Sanierung auf Passivhausstandard S. 1239
- Gebäudeupdate S. 1247
- Erhaltung und Ertüchtigung von Holztragwerken S. 1253
- Bestand geometrisch erfassen S. 1259
- Baubegleitendes 3D-Laserscannen S. 1267

14.3 Besondere Einsatzgebiete
- Sperrholz – Ein Werkstoff im Gerüstbau S. 1273

14.4 Gebäudetechnik
- Zukünftige Gebäude S. 1277
- Photovoltaik und Holz – Eine Verbindung mit Zukunft S. 1285
- Zeitgemäße Gebäudeautomation – Aktueller Stand und Potenziale S. 1293
- Wärmepumpen S. 1299

14 Gebäudekonzepte, Bauen im Bestand
Einleitung

Neben den direkt ökologischen und logistischen Vorteilen des Bauens mit Holz gewinnt der Baustoff Holz als komplex leistungsfähiges Rohbaumaterial aufgrund seines geringen Gewichts immer mehr an Bedeutung bei der Sanierung von Bestandsgebäuden, aber auch bei der qualitätvollen Nachverdichtung bestehender Stadtquartiere. Das geringe Gewicht der Holzbaukonstruktionen hilft nicht nur die Bauzeit vor Ort zu verkürzen, sondern auch die Baukosten zu reduzieren.

Aufstockungen lassen sich oft überhaupt nur in Holzbauweise realisieren, da der Bestand nicht für weitere große Belastungen ausgelegt ist und Lasten aus zusätzlichen Konstruktionen nur in wenigen Bereichen abgeleitet werden können. Auch bei Anbauten und der Schließung von Baulücken können werkseitig erstellte Bauteile wie Wände, Decken und Dächer mit Hilfe von Mobilkränen in einem Arbeitsgang montiert werden. Bauteile aus Holz lassen sich mit leichtem Gerät auch in unzugängliche Bereiche bewegen und schnell montieren. Umbaumaßnahmen tragen im Idealfall zum Klimaschutz bei, senken anfallende Kosten für Heizenergie und sorgen für eine Wertsteigerung der Immobilie.

Gerade die Wohnungswirtschaft steht vor einem umfassenden Wandel und damit vor neuen Herausforderungen. Der Rückgang der Bevölkerung in allen Regionen und zeitversetzt der Rückgang der Haushalte fordern einen verstärkten Wettbewerb um Standorte und Kunden. Heute gelten bereits über 60 % der Wohnungen in Deutschland als überaltert, hinzu kommen neue Anforderungen an Qualitäten und differenzierte Nutzergruppen und Nutzungen. Damit müssen die Produkte der Wohnungswirtschaft mehr denn je auf Nachhaltigkeit ausgerichtet sein.

Beim Bauen im Bestand bietet der Holzbau vielfältige Möglichkeiten zur Schaffung attraktiven Wohnraums. Voraussetzung dafür ist vor allem eine sorgfältige Planung und hohe Kompetenz bei den beteiligten Partnern am Bau. Die Praxis lehrt, dass die Produkte der industriellen Holzbau-Systemhersteller einen flexiblen und unabhängigen Einsatz zulassen und mit anderen Bauweisen stärker vernetzbar sein müssen, um den weiterhin bestehenden vielschichtigen Anforderungen an die Ausbaugewerke standzuhalten.

Wohnen in der Zukunft

Im Beitrag „Anpassungsfähig, funktional, kommod, nachhaltig: Anforderungen an den Wohnungsbau der Zukunft“ (Robert Kaltenbrunner) werden grundsätzliche Überlegungen zur Funktion des Wohnens und den sich daraus ableitenden Strukturen für die Zukunft angestellt. Haus und Wohnung stehen heute am Schnittpunkt von serieller Produktion und individueller Erscheinungsform. Mangelnde Spektakularität und Unaufgeregtheit werden den künftigen Wohnungsbau prägen. Und neuartig wäre seine Bauform nur insofern, als der Rhythmus ihrer Primärstruktur und das freie Maßwerk ihres Ausbaus jene Funktionen übernehmen können, die seinerzeit das Denkmodell des Fachwerks erfüllt hat: Nämlich ein zeittypisches, allgemein verständliches und akzeptiertes Ordnungsprinzip darzustellen, dass den Rahmen und Maßstab individueller Selbstverwirklichung bildet.

Beim künftigen Wohnungsbau werden die Ambitionen durchaus ins Grundsätzliche gehen, wobei das Spiel stets auf der Möglichkeit vielfältiger Verwendungen weniger gleichförmiger Elemente beruhen sollte. Nur so werden sich Kostendruck, Nachhaltigkeitserfordernis und sozialpsychologische Bedürfnisse unter einen Hut bringen lassen. Nach Lage der Dinge kann eben dies für den Holzbau eine große Chance darstellen.

Mehrgeschossiger Holzhausbau

Das Holz kommt mit dem Bauen im Bestand in die Stadt. Bei Nachverdichtungsmaßnahmen bestehender Gebäude kommt oft aus statischen Gründen nur ein Holzbau in Frage. Auch beim mehrgeschossigen Holzbau sind die Vorteile wie kurze Bauzeiten, koordinierter und trockener Bauablauf ausschlaggebend. Das ist eine große Chance für den Holzbau. Diese Unterschiede müssen herausgestellt und vermittelt werden. Durch immer bessere und weiter getriebene Vorfertigung kann sich der Holzbau gerade in Bezug auf Bauablauf und -zeit noch konsequenter von den anderen Baustoffen absetzen.

Siebengeschossiges Wohngebäude in Berlin, Esmarchstraße. Architekt: Kaden u. Klingbeil

Das derzeit wohl berühmteste mehrgeschossige Wohngebäude in Deutschland (7 Geschosse) wurde durch die Architekten Kaden und Klingbeil in der Großstadt Berlin geplant und realisiert. Der Beitrag „Mehrgeschossiger Holzbau – heute und in naher Zukunft“ (Stefan Winter) sieht in der aktuellen Entwicklung die schrittweise Eroberung eines wichtig werdenden Marktes durch Holzbauweisen für mehrgeschossige Bauten. Erforderlich dafür ist eine konsequente Weiterentwicklung der Brandschutzvorschriften, aber auch von Konstruktionen, die alle bauphysikalischen Eigenschaften (Schallschutz, Wärmeschutz) und die erforderlichen brandschutztechnischen Eigenschaften optimiert kombinieren.

In Kombination mit Fertigstellungen auf der Baustelle und mit Vorkonfektionierungen sind hierbei noch administrative Fragen der Verantwortlichkeit und der Überwachungsfähigkeit zu klären. Vielgeschossige Holzbauweisen werden aber in der Lage sein, einen wesentlichen Beitrag zur Baugeschwindigkeit, Qualitätssicherheit und Energieeffizienz der Gebäude zu leisten. Die neuen Erkenntnisse müssen allerdings in baurechtliche Regelungen Eingang finden. Die Diskussionen zu einer neuen Muster-Holzbau-Richtlinie wird man nur mit einer gemeinsamen Anstrengung aller interessierter Kreise voranbringen können.

Hochhäuser aus Holz

Noch einen Schritt weiter gehen die Schweizer Kollegen der ETH Zürich und der Schweizer Holzbauindustrie. Im Beitrag „Hochhäuser aus Holz“ (Hermann Blumer) wird eine Projektstudie beschrieben, die den Bau eines Hochhauses mit 40 Geschossen und damit etwa 120 m Höhe in Holz vorsieht. Das anspruchsvolle Vorhaben sollte Konzepte und Strategien hervorbringen, um ein solches Gebäude sicher und trotzdem wirtschaftlich bauen zu können.

Am vielversprechendsten erscheint die Option eines Tragwerkes in Mischbauweise. Die unterschiedlichsten Systemleistungen im Bereich Standfestigkeit, Brandsicherheit, Behaglichkeit und Ökologie verlangen geradezu nach Baustoffallianzen. Die Kernbereiche aus Beton und Stahl,

die Wohnbereiche aus Holz, Holzwerkstoffen und Verbundbauteilen. Eine besondere Herausforderung ergibt sich aus der Brennbarkeit, die das Material aus vielen Bereichen verdrängt hat, heute aber mit technischen Maßnahmen wettgemacht werden kann. Mit den vorgesehenen Maßnahmen erreicht das Hochhaus aus Holz ein Brandsicherheitsniveau, das über dem Standard liegt. Mit der Entwicklung einer adäquaten Löschtechnik können sich Ingenieure, Architekten und Handwerker den Weg zu mehr Holz am Bau erschließen.

Studie Dock Tower, Hochhaus aus Holz

Effiziente Gebäudekonzepte

Nachhaltiges und energieeffizientes Bauen ist das zentrale Thema in der Bauwirtschaft geworden. Vor dem Hintergrund explodierender Rohstoff- und Energiepreise verlangt der Klimawandel infolge hoher CO_2-Emissionen ein radikal verändertes Handeln, auch und ganz besonders im Bau und Betrieb von Gebäuden. Die Baubranche ist nun verbindlich gefordert, neben den technischen Eigenschaften eines Gebäudes auch die ökologischen Qualitäten zu verantworten. Die Holzwirtschaft ist im einhergehenden politischen Willensprozess gefordert, noch stärker als bisher Holz als nachwachsenden Baustoff und Energieträger in den Blick der Betrachtungen zu rücken.

Der Beitrag „Nachhaltige, energetische Gebäudekonzepte“ (Jörg Wollenweber) erinnert als Ausgangslage an den Fortschrittsglauben der Moderne, die letztendlich isolierte, von den vielfältigen Wechselbeziehungen abgelöste Architekturen mit enormen Energieverbräuchen hervorgebracht hat. Um diesem Weg dauerhaft und nachhaltig für die kommenden Generationen entgegenzutreten, sind neue Überlegungen und Konzepte für ressourcenschonende Bauweisen und das damit verbundene architektonische Erscheinungsbild erforderlich.

Die grundlegenden Eigenschaften einer optimierten Bauweise sind die Minimierung des Energiebedarfs und die Optimierung der Energieversorgung. Für die Entwicklung effizienter und nachhaltiger Gebäudekonzepte ist das optimierte Zusammenspiel von aktiven und passiven Systemen erforderlich. Hierbei ist den passiven Systemen Vorrang einzuräumen, um in der Regel die besten Ergebnisse zu erzielen.

Raummodule

Der Beitrag „Bauen mit Raummodulen“ (Gerhard Lutz) beschreibt die Errichtung eines fünfgeschossigen Studentenwohnheims in Konstanz aus 170 Raummodulen in Holzbauweise, bei dem in mehrfacher Hinsicht Neuland betreten wurde. Interessant ist die Feststellung, dass die in Deutschland in den letzten 50 Jahren entstandenen Fertigteilwerke für Holzhäuser fast ausschließlich individuell geplante Einzelstücke für den Ein- oder

Zweifamilienhausmarkt liefern. Die ursprüngliche industrielle Herstellung von gleichförmigen Typenhäusern ist dabei einer fast handwerklichen Fertigung gewichen. Das hat dazu geführt, dass der noch vor 20 Jahren vorhandene Kostenvorteil der seriellen Fertigung im Wettbewerb zur Baustellenproduktion verloren gegangen ist.

Studentenwohnheim in Konstanz

Biegesteife, sich selbsttragende Raumeinheiten aus holzbasierten Bauteilen lassen sich aber sowohl technisch als auch wirtschaftlich hergestellen, wie der Bau des Studentenwohnheims belegt. Auffällig war hier die Einrichtung einer Feldfabrik. Die Raummodule wurden über ein Fließband auf einer eigenen Fertigungstrasse unter einem Zelt vor Ort hergestellt. Die Produktion der Module erfolgte „Just-in-time“ in acht Arbeitswochen. Für diese Art der Fertigung ist nach Auffassung des Autors noch großes Entwicklungspotenzial vorhanden.

Überdachte Linienfertigung vor Ort

Bauen in bestehender Substanz

Die Bauwirtschaft trifft auf ein reichhaltiges Betätigungsfeld in bestehender Substanz: Bereits heute sind über 60 Prozent der Projekte in Deutschland diesem Segment zuzuordnen. Bis ins Jahr 2050 werden in Deutschland über 90 % des Gebäudeenergiebedarfs durch Gebäude verursacht, die vor dem Jahr 2000 erstellt wurden. Bauen im Bestand weist also ein signifikant wachsendes Auftragsvolumen auf. Modernisierung, Umnutzung oder auch Aufstockung und Nachverdichtung gewinnen wieder an Bedeutung. Holz spielt hierbei eine besondere Rolle. Die große Bandbreite von Holzprodukten erlaubt individuelle Lösungen, die gerade im Altbau gefragt sind. Die trockene Bauweise mit ihrer hohen Maßhaltigkeit sorgt für kurze Bauzeiten und damit eine geringstmögliche Störung der Anwohner – Faktoren, die schon immer beim Bauen im Bestand eine Rolle spielten.

Der Beitrag „Gebäude-Update“ (Richard Adriaans) ermittelt das ungeheure Potenzial auf der Basis bestehender politischer Vorgaben: 20 % weniger Energie zu verbrauchen, 20 % weniger CO_2-Ausstoß zu verursachen und eine 20 % höhere Energie-Effizienz aufzuweisen. So hätte man in Deutschland bis 2020 ca. 1,1 Mio. Wohnungen mit dem Faktor 10 (Heizwärmebedarf ca. 2 l/m²) jährlich zu sanieren! Die höchste Wirtschaftlichkeit wird bei steigendem Energiepreis mit der Wärmedämmung der äußeren Gebäudehülle, vor allem der Wände erreicht. Aus technischen Gründen ist neben dem Dach und den Fenstern vor allem auch die Haustechnik zu erneuern.

Der Autor entwickelt in der Theorie ein System, bei dem bestehende Außenwände von außen mit hochwärmegedämmten Holzfertigbauelementen renoviert werden. Diese Elemente bieten so große Hohlräume, dass in ihnen neben der Wärmedämmung die technische Gebäudeausrüstung

verlegt werden kann. Positive Konsequenzen: weitgehende Vorfertigung durch CAD-unterstützte Arbeitsvorbereitung nach elektronischer Gebäudeaufnahme durch 3D-Scanner, dadurch höchstmögliche Qualität der Elemente, sehr schnelle, effektive und trockene Montage mit dem Effekt, dass die Bewohner in den Wohnungen bleiben können, weil die Verlegung der neuen TGA weitgehend von außen geschieht.

So erlebt Holz an der Fassade wieder eine Renaissance, und zwar nicht als primärer Konstruktionswerkstoff, sondern für den Schutz vorhandener Gebäude, die aus Gründen der Dauerhaftigkeit ursprünglich mineralisch ausgeführt wurden, im Sinne der Energie-Effektivität aber größte Schwächen aufweisen. Wenn sich im Laufe der kommenden Jahre die Lebenszykluskosten an den wirklichen, umweltrelevanten Kosten orientieren werden, sind solche Fassaden ökonomisch kaum zu schlagen.

Dachaufstockungen

Die den Städtebau der 1950er bis 1970er Jahre prägenden flachgedeckten Gebäude benötigen größtenteils eine energetische Sanierung der Außenfassaden, wobei sich im Zuge der Baumaßnahmen zusätzlich die Möglichkeit der Aufstockung anbietet. Die umfassende Sanierung von Siedlungen dieser Art unter Gewinnung neuer Wohnfläche ermöglicht es, die Gebäude wieder dem Immobilienmarkt zuzuführen. Die technischen Möglichkeiten, die der Holzbau hierfür bietet, müssen von der Holzwirtschaft deutlicher als bisher an die jeweiligen Bauherren – zumeist Wohnungsbaugesellschaften – herangetragen werden.

Gerade bei Aufstockungen werden die angestrebten Lösungen durch den Holzbau überhaupt erst möglich. Oft ist der Bestand nicht für weitere große Belastungen ausgelegt, so dass die Lasten aus zusätzlichen Konstruktionen nur in wenigen Bereichen abgeleitet werden können. Den Werkstoff Holz zeichnet dabei die Eigenschaft aus, bei geringem Eigengewicht über hohe Festigkeit zu verfügen, so dass Holz auch noch bei großen Spannweiten ausreichend tragfähig ist und damit eine wirtschaftliche Überbrückung ermöglicht.

Die in dem Beitrag „Dachaufstockungen“ (Joachim Seinecke) beschriebene Siedlung in Köln steht für viele Wohnungsbauten dieser Zeit. Der dort anzutreffende Haustyp ist durch massive Schlichtbauweise und fehlende Wärmedämmung gekennzeichnet. Da die letzte Geschossdecke keine Lasten aufnehmen konnte, wird sie durch eine neue Tragkonstruktion komplett überbrückt. Eine neue Brettsperrholzdecke mit Auflagerpunkten an den Außen- und Mittelwänden kragt umlaufend über die Außenwände aus. Sämtliche tragenden Wände und Dächer der Aufstockung sind als Holztafelelemente mit montierten Fenstern und eingebauter Dämmung vorgefertigt und montiert worden.

Historische Holztragwerke

Bei Erhalt und Umnutzung bestehender Bausubstanz ist der Blick aber auch auf den Umgang mit historischen Holzkonstruktionen zu richten. Die Bautechnik des Holzbaues hat in ihrer langen Entwicklungsgeschichte eine Vielfalt von Konstruktionen und Tragwerken hervorgebracht, die in vielen Fällen prägender Bestandteil der Baukultur Deutschlands sind. Man denke in diesem Zusammenhang nur an die ca. 2 Millionen Fachwerkbauten, aber auch an historische Dachkonstruktionen, die nach über 800 Jahren immer noch ihre Tragfunktion erfüllen oder die historischen Blockbauten, die als Wohn- oder Wirtschaftsgebäude ganze Regionen Deutschlands prägen. Über die lange Zeit der Nutzung wurden diese Holztragwerke auch immer neuen Bedingungen und Ansprüchen angepasst.

Der Beitrag „Erhaltung und Ertüchtigung von Holztragwerken“ (Wolfgang Rug) fordert ein klares Bekenntnis zu dem baukulturellen Erbe, das historische Holzbauten vermitteln. Die Erhaltung historischer Konstruktionen erfordert eine Auseinandersetzung mit der Geschichte des Bauens, seiner konstruktiven Entwicklung, seiner kulturgeschichtlichen und sozialen Bedeutung. Das Wissen hierüber ist in der Bevölkerung nur wenig vorhanden und nimmt immer weiter ab.

Rathaus Esslingen- herausragendes Beispiel für den alemannischen Fachwerkbau, 1430 erstmals erwähnt

Wer den zukünftigen Holzabsatz verbessern will, muss in der Bildung der zukünftigen Verbraucher ansetzen und das durchgängig vom Kleinkind bis zur Schul- und Hochschulbildung organisieren. Die Bedeutung des Waldes und des Holzbaus als Wirtschaftsfaktor kann in jedem Geschichtsunterricht auch unter dem Aspekt der jeweiligen regionalen Entwicklung (gerade in Baden-Württemberg) ein spannender Lehrstoff sein. Wie sich ein Fachwerkhaus oder eine Dachkonstruktion zusammensetzt, wie aus Holzstäben zusammen mit zimmermannsmäßigen Verbindungen eine standsichere Konstruktion entsteht – das sollte man durch entsprechende Bausätze spielend erlernen. Puppenhäuser oder Spielhäuser sollten nicht aus Kunststoffen, sondern aus Fachwerk- oder Blockbauten bestehen.

Die Erhaltung und Ertüchtigung von Holztragwerken ist eine anspruchsvolle fachliche Aufgabe, denn sie umfasst neben einer sorgfältigen Prüfung der Erhaltungswürdigkeit Kenntnisse zu den historischen Holzbautechniken, zum Werkstoff und zu den Methoden einer substanzgerechten und -schonenden Erhaltung. Nach Einschätzung des Autors wird die Ausbildung der Architekten und Bauingenieure diesen Ansprüchen nicht umfassend gerecht. Hier muss in jedem Fall die Ausbildung und vor allem auch das Studien- und Lehrmaterial verbessert werden. Wenn schon die Holzbauausbildung in den letzten Jahrzehnten wesentlich verringert wurde, so sollte unbedingt die Möglichkeit der gezielten Zusatzqualifizierungen ausgeweitet werden.

14.1 Besondere Gebäudekonzepte
Mehrgeschossiger Holzbau – heute und in naher Zukunft

Stefan Winter

1 Allgemeines

Die nachfolgenden Ausführungen beziehen sich insgesamt auf Gebäude mittlerer Höhe, d.h. die Gebäudeklassen 4 und 5 entsprechend der derzeit in Deutschland geltenden Musterbauordnung (MBO 2002). Sie beleuchten insbesondere die Aspekte von Holzhäusern an der Hochhausgrenze (mittlere Geschosshöhe des obersten Geschossfußboden ≤ 22 m).

Es ist eine alte Wahrheit, aber man kann sie nicht oft genug wiederholen: Mehrgeschossiger Holzhausbau bis zur Hochhausgrenze ist eigentlich eine Bauweise mit sehr langer Tradition. Auf vielen Marktplätzen im deutschsprachigen Raum findet man repräsentative, mittelalterliche Fachwerkbauten mit teilweise sieben oder acht Geschossen, zählt man die ausgebauten und genutzten Geschosse in den spitzen, großen Dächern mit. In der Schweiz findet man im oberen Rhônetal im Wallis bis zu siebengeschossige Blockbohlenbauweisen, die ebenfalls schon seit vielen Jahrhunderten bestehen. Erst in der neueren Baugeschichte nach dem zweiten Weltkrieg hat man sich von den vielgeschossigen Holzhäusern, insbesondere wegen der vermeintlich hohen Brandgefahren, abgewendet. Und – der Wahrheit Ehre – in den letzten 20 Jahren wären sie wohl auch aus wirtschaftlichen Gründen kaum mit den sehr billigen Stahlbeton- und Mauerwerkskonstruktionen konkurrenzfähig gewesen.

In den letzten Jahren allerdings hat es vermehrt wieder Holzhausbauten im Wohnungs- und im Verwaltungsbau gegeben, die die übliche Höhe von Gebäuden mit geringer Höhe (Höhe des obersten Geschossfußbodens i.M. ≤ 7 m gegenüber Geländeoberkante) deutlich übertreffen. Das derzeit wohl berühmteste siebengeschossige Wohngebäude in Deutschland wurde durch die Architekten Kaden und Klingbeil in Berlin in der Esmarchstraße geplant und realisiert. Der vielleicht prominenteste Verwaltungsbau in Europa ist im Moment die Zentrale von Finnforest Metsäliitto in Helsinki.

Abb. 1: Wohngebäude in Berlin, Esmarchstraße (Foto: Kaden u. Klingbeil Architekten, Berlin)

In Deutschland wurden baurechtlich zunächst in der Musterbauordnung 2002 und darauf folgend durch Umsetzung in den einzelnen Landesbauordnungen bis zu fünfgeschossige Holzgebäude mit einer Höhe des obersten Geschossfußbodens von nicht mehr als 13 m über mittlerer Geländehöhe eingeführt. Diese Gebäude der Gebäudeklasse 4 sind in hochfeuerhemmender Bauweise (F60) zu errichten. Die Musterrichtlinie für hochfeuerhemmende Holzbauweisen (M-HFHHolzR) schreibt allerdings ergänzend vor, dass die Holzbauteile durchgehend durch eine nichtbrennbare Bekleidung so zu schützen sind, dass sie über den Zeitraum der Schutzklasse, also 60 Minuten, nicht mitbrennen dürfen. Diese sogenannte „Kapselklasse“ (K60) führt allerdings de facto dazu, dass

der Feuerwiderstand der Bauteile im Regelfall 90 Minuten oder deutlich mehr beträgt und der eigentlich gewünschte Effekt - die Einführung einer zusätzlichen Feuerwiderstandsklasse von 60 Minuten, die bis dahin nicht existierte, und das geringere Risikopotential bei Gebäuden mittlerer Höhe widerspiegeln sollten - nicht realisiert wurde. Die nichtbrennbare Bekleidung auf allen Bauteilen führt zudem dazu, dass die Holzbauweise optisch und haptisch nicht wahrgenommen werden kann und dadurch die positiven gestalterischen und auch psychologischen Effekte der Verwendung von Holz verloren gehen.

Abb. 2: Verwaltungsbau in Holzbauweise in Helsinki

An dieser Stelle also besteht Handlungsbedarf, der nachfolgend weiter beschrieben werden soll. Die oben erwähnten Gebäude im Übrigen weisen teilweise sichtbare Holzoberflächen in ihren Decken und Stützenkonstruktionen auf und sind daher von innen heraus auch deutlich als Holzgebäude wahrnehmbar. Das Verwaltungsgebäude in Helsinki ist auch von außen deutlich als Holzbau erkennbar.

Zu den besonders wichtigen Fragen des Brandschutzes treten bei vielgeschossigen Holzgebäuden bis zur Hochhausgrenze statische und ökologische Fragen hinzu. Letztere fokussieren sich besonders auf den Primärenergiegehalt der Konstruktionen, d.h. auf den zur Herstellung der Baustoffe, der Fertigung der Bauteile und der Errichtung des Gebäudes erforderlichen Energieeinsatz.

2 Bautechnische Aspekte

Bei Häusern bis zur Hochhausgrenze werden im Erdgeschoss und in den beiden darauffolgenden Geschossen häufig Beanspruchungen erreicht, die den üblichen Traglastbereich heutiger Holztafel und Holzskelettkonstruktionen deutlich überschreiten. Insbesondere muss in diesen Bereichen der Einbau quer zur Faser druckbeanspruchter Hölzer praktisch vermieden werden, da die auftretenden Querpressungen die charakteristischen Festigkeitseigenschaften meist deutlich überschreiten. Hier sind also Pfosten-Riegel-Konstruktionen einzusetzen, bei denen entweder die Stützenkonstruktionen vertikal durchlaufen oder entsprechende Stahlbauteile als Zwischenbauteile eingesetzt werden müssen. Eine Kombination von Holz- und Stahlbauteilen ist hier in vielen Fällen unvermeidlich. Sofern die Lasten über Wandbauteile abgetragen werden sollen, sind häufig Materialien als Schwelle einzusetzen, die wesentlich höhere Querdruckbeanspruchbarkeiten aufweisen. In Zukunft könnte hier z.B. eine vermehrte Verwendung von Harthölzern zu höher beanspruchbaren Bauteilen führen.

In den unteren Geschossen können alternativ Brettsperrholz oder verwandte Bauweisen eingesetzt werden, die eine Abtragung großer Beanspruchungen auf kleinen Grundrissflächen ermöglichen.

Für die Erdgeschosse solcher vielgeschossigen Bauwerke sollte man jedoch eine andere Konstruktionslösung zumindest einmal grundsätzlich abwägen. Gemeint ist der Einsatz eines Erdgeschosses in Betonbauweise, da mit einer Stützen-Flachdecken-Konstruktion sehr häufig die nutzungsbedingt aufgelösten Grundrisse in den Erdgeschossen besser realisiert werden können.

Außerdem war es schon immer gute Bautradition, den Holzbau nicht bis zu den erdberührten Bauteilen zu führen und einen ausreichenden Abstand zur Geländeoberfläche zu gewährleisten. Bei vielen traditionellen Holzbauten ist dieses Prinzip des massiven Unter- oder Halbgeschosses realisiert worden. Da in den Erdgeschossen durch Ladennutzungen oder durch die Anforderung des behindertengerechten Bauens meist stufenlose Eingangssituationen geschaffen werden sollen, ist dies ein weiterer Grund, den Holzbau erst ab Oberkante der Erdgeschossdecke beginnen zu lassen.

Kein Dogma – aber eine wohl abzuwägende Grundsatzentscheidung bei jedem individuellen Bauvorhaben!

Auch der Einsatz von Holz-Beton-Verbundbauteilen sollte immer am Beginn einer Planung sorgfältig im Grundsatz überlegt werden. Die Verbundbauweisen helfen, weit gespannte Deckensysteme zu realisieren, führen aber auch zu höheren Lasten. Andererseits gewährleisten sie durch die höhere Massebelegung der Decken auf relativ einfache Art und Weise die Sicherstellung der erforderlichen Schallschutzeigenschaften der Bauteile. Das Argument, dass das Einbringen eines nassen Baustoffs wie Ortbeton wenig mit dem Holzbau harmoniert, kann man sicher in Zukunft dadurch eliminieren, dass eine Holz-Beton-Fertigteilbauweise entwickelt wird. Diese kommt mit relativ geringen Anteilen von Fugenverguss aus und gewährleistet eine trockene Errichtung der Bauwerke sowie gleichzeitig einen guten Feuchteschutz der Holzbauteile während der Montagevorgänge.

Ebenso häufig wird man eine Grundsatzentscheidung treffen müssen, wie die Treppenräume in diesen Gebäuden an der Hochhausgrenze aussehen sollen. Auch hier bietet sich - derzeit zumindest - eine Kombination mit Betonbauteilen an. Sie sollten aus Gründen der Maßgenauigkeit, der Geschwindigkeit des Baufortschrittes und der Fügungen mit den Holzbauteilen ebenfalls aus Fertigteilen hergestellt werden. Die heute häufig zu hörenden Einwände, dass dadurch zu große oder zu schwere Bauteile entstehen, sollen durch Abb. 3, die Montage von Treppenturmfertigteilen, widerlegt werden.

Abb. 3: Montage von 12 m hohen Fertigteilbauteilen eines Stahlbetontreppenhauses

Durch die geschickte Kombination elementierter Bauweisen können Baugeschwindigkeiten realisiert werden, die heute noch ein wenig außerhalb

des Vorstellungsbereichs liegen. Hier muss es ein Ziel sein, insbesondere in innerstädtischer Lage zu einem sehr schnellen Montagefortschritt zu kommen und damit die störenden Einflüsse von Baustellen auf die gesamte Umgebung drastisch zu minieren.

Die Errichtung eines siebengeschossigen Wohngebäudes in einer innerstädtischen Baulücke sollte in einem Zeitraum von zwei bis vier Wochen problemlos möglich sein.

Und wie soll sich das Holzhaus nach außen darstellen? Natürlich ist es wünschenswert, wenn auch in der Fassadengestaltung ablesbar wird, dass es sich um ein Gebäude aus dem ökologischen Baustoff Holz handelt. Allerdings gilt es auch hier sorgfältig zu gewichten! Zwar können aus brandschutztechnischen Gründen Holz- oder Holzwerkstofffassaden bis zur Hochhausgrenze sicher realisiert werden (vgl. nachfolgenden Abschnitt), aber es müssen Materialien eingesetzt werden, die nicht einer wiederkehrenden Pflege in kurzen Intervallen bedürfen. Resistente unbehandelte Hölzer, wie Lärche oder Douglasie, sind dafür durchaus geeignet. Mit der daraus entstehenden Optik allerdings muss man bewusst und wollend umgehen. Holzwerkstoffe, die mit entsprechenden Beschichtungssystemen versehen sind, müssen ihre Dauerhaftigkeit noch nachweisen. Hier ist definitiv weiterer Forschungs- und Prüfbedarf erforderlich. Modifizierte Hölzer oder Werkstoffe aus modifizierten Hölzern, z.B. aus Thermoholz, sind ebenfalls sicher sehr gut beständig. Auch hier sind aber die Fragen der dauerhaften optischen Gestaltung nicht endgültig gelöst. Einsetzbar sind natürlich Glasfassaden oder Wärmedämm-Verbundsysteme mit Putzoberflächen, die damit die gleichen Wartungsintervalle aufweisen wie bei allen anderen Bauarten auch. Oder hinterlüftete Fassaden mit zementgebundenen Fassadenplatten.

Natürlich spielt die Energieeffizienz der Gebäude bereits heute aber noch viel mehr in naher Zukunft eine wesentliche Rolle. Vielgeschossige Holzgebäude sollten zumindest den Standard von Drei-Liter-Häusern erreichen, d.h. einen Heizenergiebedarf von nicht mehr als 30 kWh/m²a benötigen. Während in den Innenbereichen – wie oben erwähnt – massive Bauweisen auch wegen ihres positiven Einflusses auf das Raumklima einzusetzen sind, sind für die Außenwände hochgedämmte Tafelbauweisen vorzuziehen. Sie vermeiden auch den Einsatz sehr dicker Wärmedämm-Verbundsysteme, deren Dauerhaftigkeit ja auch noch nachzuweisen ist.

Schwierig ist derzeit (noch) die Bewertung des Primärenergieeinsatzes zur Herstellung der Holzbauweisen. Vergleichsrechnungen [1] mit dem Programmsystem LEGEB haben zwar gezeigt, dass deutliche Energieeinsparpotentiale bei der Errichtung möglich sind, allerdings relativiert sich der Anteil dieses Energieaufwandes im Vergleich zur 60 - 80jährigen Lebensdauer und des in dieser Zeit verbrauchten Energiebedarfs erheblich. Dennoch – eine realistische und nachvollziehbare Bewertung der Energieeffizienz der Bauteile selbst sollte in Zukunft auch bei Vergabeverfahren berücksichtigt werden. Ebenso sollte die Energieeffizienz der Gebäude während der Nutzung bei der Bewertung der erforderlichen Herstellungspreise einfließen. Eine grundsätzliche Überarbeitung des Vergaberechts ist hier von höchster Notwendigkeit!

Und wie gestaltet man die Gebäudeaccessoires? In Wohngebäuden und natürlich auch in Bürogebäuden sind Freibereiche erforderlich – Balkone- oder Terrassenanbauten. Was die Beläge angeht, so kann man sich uneingeschränkt für Holz entscheiden. Was allerdings frei bewitterte und frei stehende Konstruktionen angeht, so sollte man die Grenzen des Werkstoffs Holz erkennen.

Sofern es möglich ist, aus gestalterischen und konstruktiven Gründen einen durchgehenden baulichen Holzschutz, wie bei modernen gedeckten Holzbrücken, zu gewährleisten, so kann man auch bei diesen vorgestellten Bauweisen auf Holzbau zurückgreifen. Frei bewitterte, ungeschützte Balkone in Holzbauweise sollten allerdings der Vergangenheit angehören. Hier ist es wieder wesentlich sinnvoller, auf einen guten Materialmix zurückzugreifen und beispielsweise Stützen, Querträger und Geländer in Stahlbauweise und die Balkonbodenplatten in Betonfertigteilbauweise zu realisieren.

Auskragende Bauteile sollten tunlichst vermieden werden. Aus energetischen Gründen aber auch aus konstruktiven Gründen sind gerade die vielgeschossigen Holzhäusern mit einer durchgehenden möglichst ungestörten Hülle zu versehen.

3 Brandschutz

Wie bereits erwähnt, ist in der Gebäudeklasse 4 derzeit eine gekapselte Bauweise baurechtlich uneingeschränkt möglich. Die beiden Projekte, die in der Einleitung genannt sind, weisen allerdings sichtbare Bauteile auf. Das Berliner Projekt beispielsweise eine von unten sichtbare Holz-Beton-Verbunddecke und sichtbare Brettschichtholzstützen. Das Projekt in Helsinki ebenfalls sichtbare Stützenkonstruktionen und Deckenkonstruktionen. Das deutsche Projekt konnte nur auf der Grundlage eines Brandschutzkonzeptes und mit Einsatz einer entsprechenden Brandmeldeanlage realisiert werden.

Von Bedeutung ist in den vielgeschossigen Bauwerken vor allen Dingen die Vermeidung von Hohlraumbränden in Konstruktionen. Sie sind von der Feuerwehr kaum zu erkennen und zu

Tab. 1: Notwendige brandschutztechnische Bekleidung für hochfeuerhemmende Bauteile (Vorschlag für neue M-HolzR)

Lineare Bauteile (Stützen und Träger) sowie nicht raumabschließende Wandbau-		
R 60	$K_2$30-nbb	keine zusätzlichen Maßnahmen
R 60	-	Mindestabmessung[2)] + Rauchmeldetechnik[3)]
Raumabschließende Wand- und Deckenbauteile		
REI 60[1)]	$K_2$60-nbb	keine zusätzlichen Maßnahmen
REI 60[1)]	$K_2$45-nbb	Rauchmeldetechnik[3)]
REI 60[1)]	$K_2$30-nbb	Brandmeldeanlage[3)]
REI 60[1)]	$K_2$30	Rauchmeldetechnik[3)] + Sprinkler[4)]
REI 60[1)]	$K_2$15	Brandmeldeanlage[3)] + Sprinkler[4)]

[1)] sämtliche, hinter der Kapselung liegenden Hohlräume sind mit brandschutztechnisch wirksamer Dämmung aus nichtbrennbaren Baustoffen mit einem Schmelzpunkt ≥ 1000°C gemäß DIN 4102-17, Ausgabe Dezember 1990, vollständig zu dämmen. Fugen von stumpf gestoßenen, einlagigen Dämmschichten müssen dicht sein. Bei zweilagigen Dämmschichten sind die Stöße zu versetzen.

[2)] Mindestabmessung nach Abschnitt 6.3

[3)] Mindestanforderungen an Rauch- und Brandmeldetechnik nach Abschnitt 5.1

[4)] Mindestanforderungen an Sprinklertechnik nach Abschnitt 5.2

bekämpfen. Insofern ist die Kapselung von Konstruktionen mit gedämmten oder ungedämmten Hohlräumen durchaus sinnvoll. Beim Einsatz von massiven flächigen Bauteilen, wie Brettsperrholz oder Brettschichtholzdecken und –wänden, oder von massiven linearen Bauteilen, wie Brettschichtholz- oder Furnierschichtholzunterzügen und –stützen, sollte jedoch eine deutlich differenzierte Bewertung einsetzen. Im Rahmen eines Forschungsvorhabens aus dem Großprojekt „Holzbau der Zukunft“ [2] wurde daher ein Vorschlag für eine neue Muster-Holzbau-Richtlinie (M-HolzR) erarbeitet, in der eine Reihe von Vorschlägen enthalten sind, das derzeitige Baurecht weiter zu entwickeln. So sollte beispielsweise zukünftig zwischen linearen und flächigen Bauteilen unterschieden werden und es sollten klare Regeln eingeführt werden, mit welchen Zusatzmaßnahmen eine Reduzierung der Kapselzeiten möglich wird. Tab. 1 zeigt einen Vorschlag für Leistungsanforderungen an Bauteile von Gebäuden bis zur Hochhausgrenze.

Für raumabschließende Wand- und Deckenbauteile werden danach natürlich immer noch Kapselanforderungen gestellt. Allerdings nicht immer zwangsweise mit nichtbrennbaren Bekleidungen und – je nach Einsatz von Elementen des technischen Brandschutzes – mit deutlich reduzierten Schutzzeiten. Auch dann aber sind im Grundsatz die Bauteile rundum zu schützen. Ein Beispiel für einen Fenstereinbau zeigt Abb. 4.

Ebenso sollten zukünftig vermehrt Verbundkonstruktionen untersucht werden. Durch den Verguss der Bauteile und die damit luftdichte Ausbildung von Geschoss zu Geschoss sind hier noch wesentlich bessere Brandschutzeigenschaften zu erwarten als bisher angenommen werden. Unter bestimmten konstruktiven Randbedingungen ist bei Verbundbauteilen auch vorstellbar, dass sichtbare Holzkonstruktion geregelt eingesetzt werden, wie sie auch in Berlin im Bauvorhaben Esmarchstraße verwendet wurden.

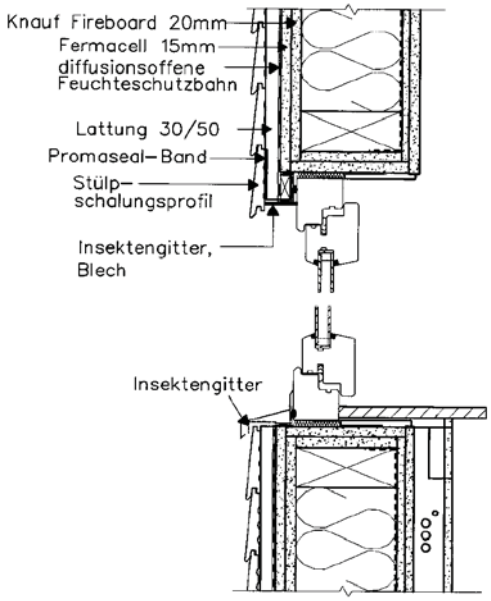


Abb. 4: Fensteranschluss in gekapselter Holzrahmenbauwand (Zeichnung: bauart, Lauterbach)

Es ist auch zu bedenken, dass die Erhöhung der Brandlasten in Holzgebäuden mit üblicher Wohn- oder Büronutzung durch sichtbare Konstruktionsbauteile nur unwesentlich ist. An der Holzoberfläche bildet sich sehr schnell eine schützende Holzkohleschicht aus. Bei den umfangreichen Versuchen in der Schweiz zur Anwendung von Fassaden bis zur Hochhausgrenze konnte immer wieder beobachtet werden, dass eine Ausbreitung von Flammen über verkohlte Holzoberflächen eben nicht weiter stattfindet.

4 Zusammenfassung

Es darf erwartet werden, dass die vielgeschossigen Holzbauweisen bis zur Hochhausgrenze sich schrittweise einen zunehmenden Markt erobern. Erforderlich dafür ist eine konsequente Weiterentwicklung der Brandschutzvorschriften, aber auch von Konstruktionen, die alle bauphysikali-

schen Eigenschaften (Schallschutz, Wärmeschutz) und die erforderlichen brandschutztechnischen Eigenschaften optimiert kombinieren. Der Einsatz sichtbarer Holzoberflächen muss bei linearen Bauteilen und bei flächigen massiven Holzbauteilen möglich werden.

Selbstverständlich ist dabei eine Erhöhung des Brandrisikos nicht vertretbar und auch nicht gewünscht. Das Brandentstehungsrisiko wird dadurch sowieso nicht erhöht werden. Die Vorfertigung solcher Konstruktionen muss weiter optimiert werden und mit sinnvoller Vorkonfektionierung verbunden werden. Allerdings gehören zur Vorfertigung auch Zertifizierungsverfahren und eine intensive Eigen- und Fremdüberwachung der Betriebe. In Kombination mit Fertigstellungen auf der Baustelle und mit Vorkonfektionierungen sind hierbei noch administrative Fragen der Verantwortlichkeit und der Überwachungsfähigkeit zu klären. Vielgeschossige Holzbauweisen werden aber in der Lage sein, einen wesentlichen Beitrag zur Baugeschwindigkeit, Qualitätssicherheit und Energieeffizienz der Gebäude zu leisten. Diese Vorzüge auch in bewertbare Kriterien in Ausschreibungsverfahren umzusetzen, ist eine zusätzliche besondere Herausforderung. Zuvor aber müssen die neuen Erkenntnisse in baurechtliche Regelungen Eingang finden. Die Diskussionen zu einer neuen Muster-Holzbau-Richtlinie wird man nur mit einer gemeinsamen Anstrengung aller interessierter Kreise voran bringen können.

Quellen

[1] Wolf, A.: Vergleichende Bewertung eines 5-geschossigen Mehrfamilien-Passivhauses in Stahlbeton bzw. in Massivholzbauweise unter ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten. Diplomarbeit, TU München, November 2008.

[2] Merk, M; Winter, S.: High-Tech-Offensive Bayern – Holzbau der Zukunft. Teilprojekt 02 – Brandsicherheit im mehrgeschossigen Holzbau, TU München, 2008.

14.1 Besondere Gebäudekonzepte
Nachhaltige, energetische Gebäudekonzepte

Jörg Wollenweber

1 Ausgangslage

In der Architekturgeschichte verfügten Gebäude immer über vielfältige Wechselbeziehungen mit ihrer natürlichen Umgebung. Der Städtebau und die Architektur entwickelten sich im Wesentlichen aus dem Kontext lokaler Klimabedingungen sowie vorhandener Material- und Energieressourcen. Seit wenigen Generationen und nur für eine kurze Zeitspanne hat sich das Bauen durch die übermäßige Nutzung fossiler Energieträger vermeintlich von diesen Rahmenbedingungen losgesagt.

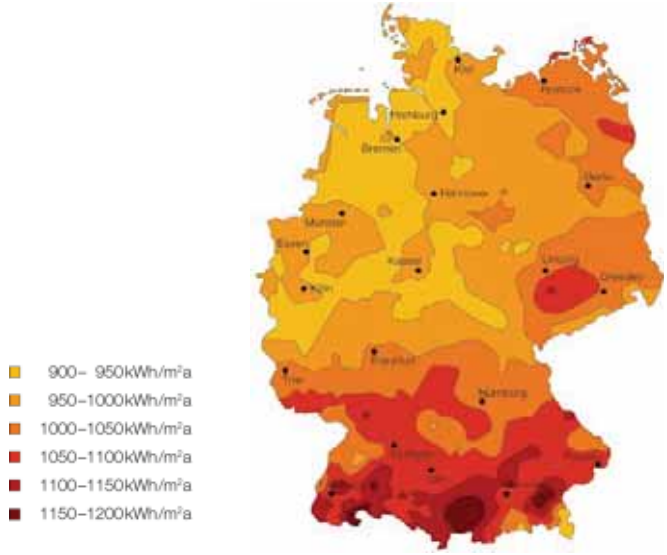


Abb. 1: Durchschnittliche jährliche Globalstrahlung in Deutschland
[Quelle: TU Darmstadt, FG_ee}

Vor der Industrialisierung, als das Komfortniveau im Vergleich zum heutigen Standard deutlich niedriger lag und nur wenige technische Möglichkeiten zur Verfügung standen, ein von den Umfeldeinflüssen unabhängiges Raumklima zu erzeugen, waren besonders die Hüllbauteile von Gebäuden unmittelbar vom Einfluss der jeweils standortspezifischen Bedingungen geprägt.

Die Vergegenwärtigung der prägenden Klimafaktoren und -elemente bildet die Voraussetzung, um energieeffiziente Entwurfskonzepte bei gleichzeitig optimalen Komfortbedingungen entwickeln zu können.

Abb. 2: Durchschnittliche jährliche Niederschlagsmenge in Deutschland
[Quelle: TU Darmstadt, FG_ee]

Noch in den 1940er Jahren verstand man hohen Energieverbrauch als Ausdruck überlegener Kultur. Amerikanische Statistiken verwiesen damals stolz auf die Fähigkeit der USA, mehr Energie erzeugen und verbrauchen zu können als andere Staaten.

Als eines der bekanntesten Gebäude des 20. Jahrhunderts verdeutlicht die Neue Nationalgalerie in Berlin symptomatisch das Denken dieser Zeitepoche. In den Jahren 1962–68 realisierte Mies van der Rohe mit diesem Projekt seine Idealvorstellung des »Universalraums«. Die nutzungsneutrale, monumentale Eingangshalle im Obergeschoss (allseitige Einfachverglasung) und die aus-

kragende, ungerichtete Dachtragstruktur (ohne thermische Trennung) gelten in konstruktiver Hinsicht als Meisterwerke der Moderne.

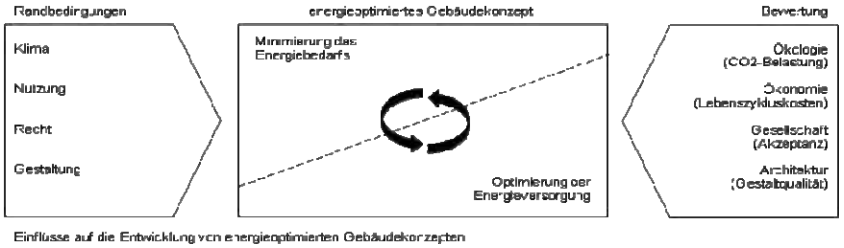
Die haustechnischen Anlagen im Keller des Gebäudes weisen jedoch eine gänzlich andere Formensprache als die Ausstellungsräume auf. Nur durch den immensen Einsatz leistungsstarker Klimatechnik lässt sich das für Museumsräume erforderliche Raumklima herstellen.

Abb. 3 (links): Teilansicht Neue Nationalgalerie, Abb. 4 (rechts): Technikzentrale, Neue Nationalgalerie, Berlin (1968) Mies van der Rohe

Der Fortschrittsglaube der Moderne, die Bereitstellung komfortabler Lebensbedingungen durch Technik zu gewährleisten – unabhängig von äußeren Bedingungen und inneren Anforderungen – hat letztendlich isolierte, von den vielfältigen Wechselbeziehungen abgelöste Architekturen mit enormen Energieverbräuchen hervorgebracht.

2 Grundlagen für effiziente Gebäudekonzepte

Um diesem Weg dauerhaft und nachhaltig für die kommenden Generationen entgegen zu treten, sind neue Überlegungen und Konzepte für eine ressourcenschonende Bauweise und somit einer nachhaltigen und effizienten Architektur erforderlich.



Einflüsse auf die Entwicklung von energieoptimierten Gebäudekonzepten

Abb. 5: Integrale Planungsprozess / Einfluss [TU Darmstadt, FG_ee]

Die Abbildung zeigt die Einflüsse, die ein energieoptimiertes Gebäudekonzept beeinflussen und die eine effiziente und nachhaltige Architektur prägen. Die grundlegenden Eigenschaften einer optimierten Bauweise sind die Minimierung des Energiebedarfs und die Optimierung der Energieversorgung.

Die aufgeführten Randbedingungen können in Informationen und deren Handlungsfelder aufgeteilt werden. Als Beispiel werden hier kurz zu jedem Bereich der Randbedingungen zwei Themen dargestellt.

2.1 Klima

Sonnenbahnverlauf - Optimierung des sommerlichen Wärmeschutzes
Hohe Temperaturwerte - Thermische Qualität der Gebäudehülle

2.2 Nutzung

Zielvorgaben für sommerlichen Wärmeschutz – Raumtemperatur und Temperaturspreizung
Anforderung an beheizte Flächen – minimale und maximale Temperatur

2.3 Recht

Bebauungsplan – Optimierung der Flächennutzung und Orientierung
DIN 18599 – Wärmequellen und –senken

2.4 Gestaltung

Umgebende Bebauung und Makroklima – Gestaltung in Verbindung mit Nutzung von Umweltenergien

Verhältnis Nutzfläche zu potentieller Solarfläche – Anteil transparenter Wandflächen nach Himmelsrichtungen

Die nachfolgenden Grafiken stellen die Abhängigkeiten und die erforderlichen Randbedingungen und Maßnahmen sowie die betreffenden Energiethemen für die Planung effizienter Gebäudekonzepte dar.

Tab. 1: integraler Planungsprozess / Anforderungen [TU Darmstadt, FG_ee]

Anforderung	Randbedingungen	Dienstleistung	Energiethemen
Temperaturkomfort herstellen	Außentemperatur (-20 bis + 40 °C	Heizen und Kühlen	Wärme
Helligkeitskomfort herstellen	Helligkeit (0 bis 100.000 Lux)	Beleuchten	Kälte
Luftqualität sichern	Luftverbrauch (15 bis 130 m³/h Pers.)	Be- und Entlüften	Luft
Luftfeuchtekomfort herstellen	Luftfeuchtigkeit (0 bis 100%)	Be- und Entfeuchten	Licht
Trinkwarmwasser bereitstellen	Trinkwasserversorgung (ca. 10 °C	Trinkwasser erwärmen	Strom
Elektrische Geräte betreiben	Geräteeffizienz	Mit Strom versorgen	
Prozesswärme bereitstellen	Prozesseffizienz	Prozesswärme erzeugen	
Prozesskälte bereitstellen	Prozesseffizienz	Prozesskälte erzeugen	

Die fünf Energiethemen können in die Bereiche Energiebedarf und Energieversorgung unterteilt werden, wobei zu beachten ist, dass der Energiebedarf zu minimieren und die entsprechende Energieversorgung für den Restenergiebedarf zu optimieren ist. Nachhaltige energetische Gebäudekonzepte können so bereits in der Entwurfsphase generiert werden.

Tab. 2: 10 Bausteine des energieoptimierten Bauens nach Energiethemen [TU Darmstadt, FG_ee]

Energiethemen	Energiebedarf minimieren	Energieversorgung optimieren
Wärme	Wärme erhalten	Wärme effizient gewinnen
Kälte	Überhitzung vermeiden	Wärme effizient abführen
Luft	Natürlich lüften	Effizient maschinell lüften
Licht	Tageslicht nutzen	Kunstlicht optimieren
Strom	Strom effizient nutzen	Strom dezentral gewinnen

Für die Entwicklung effizienter und nachhaltiger Gebäudekonzepte ist das optimierte Zusammenspiel von aktiven und passiven Systemen erforderlich. Hierbei ist den passiven Systemen Vorrang einzuräumen um in der Regel die besten Ergebnisse zu erzielen. Im Folgenden werden die 10 Bausteine des energieoptimierten Baues näher dargestellt.

3 Anwendung der Energiethemen

3.1 Wärme erhalten

Grundlage für effiziente Gebäudekonzepte ist im Bereich Wärme der Erhalt und die optimierte Wärmegewinnung. Die Minimierung des Wärmebedarfes lässt sich im Holzbau sehr gut umsetzen. Im Verhältnis zur Massivbauweise werden auf gleicher Wandgrundfläche wesentlich bessere Dämmstandards erreicht. Gleiche Dämmleistungen lassen sich im Holzbau mit geringeren Wandquerschnitten erzielen. Somit wird auf gleicher Gebäudegrundfläche mehr nutzbare Fläche generiert.

3.2 Wärme effizient gewinnen

Die Gewinnung des Restwärmebedarfes sollte möglichst effizient und ressourcenschonend gedeckt werden. Dies kann durch thermische Solaranlagen oder durch geothermische Wärmepumpenanlagen erfolgen. Kombinierte Systeme können entsprechende Synergien für Wärmeversorgung und Warmwasserbereitung erzeugen. Die Anwendung von Pellet-Anlagen ist im Bereich der Niedrigstenergiehäuser oder Passivhäuser nur schwer möglich. Da der Pelletkessel wesentlich höhere Temperaturen erzeugt als für die genannten Gebäudetypen erforderlich ist. Daher ist diese Anlage für diese Gebäudetypen als nicht optimal einzustufen.

3.3 Überhitzung vermeiden

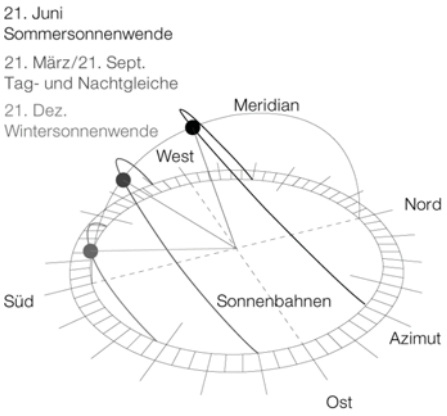


Abb. 6: ähnlicher Sonnenverlauf auf der Nordhalbkugel [Hegger et al. 2007, S. 54]

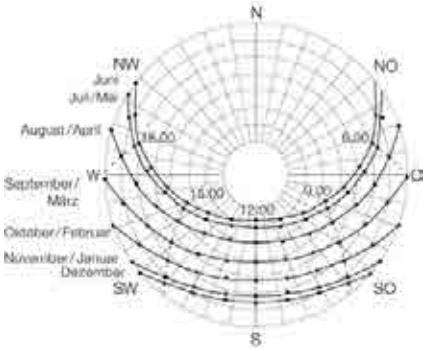


Abb. 7: Sonnenstanddiagramm für 51° nördlicher Breite (jeweils am 21. jeden Monats) [Hegger et al. 2007, S. 54]

Einer Überhitzung der Innenräume muss im Sommer zwingend vorgebeugt werden. Dies ist am effizientesten durch Verschattungssysteme oder bauliche Maßnahmen zu erreichen. Sofern diese Maßgaben nicht greifen oder nicht im erforderlichen Maße vorhanden sind, ist eine Einspeicherung der überschüssigen Wärme in Massespeichern im Innenraum erforderlich.

Abb. 8: Semitransparente Überdachung als solaraktivierter Sonnenschutz [TU Darmstadt, FG_ee]

Dies lässt sich in den meisten Fällen im Holzbau nur in abgeminderter Form erreichen. Der Holzmassivbau bietet hier das größte Potential. Aber auch hier ist die Speicherfähigkeit nur begrenzt verfügbar. Neue technische Möglichkeiten mit PCM Materialien (Phase Change Material) ermöglichen eine gleichwertige Speicherfähigkeit wie im Massivbau. Entsprechende Forschungen im Bereich der Plattenwerkstoffherstellung versuchen die Integration dieser Materialien in Holzfaserplatten. Somit wäre eine Anwendung im Innenraum ohne Gipsbauplatte möglich, was dem Holzbau zu gute käme.

3.4 Wärme effizient abführen

Die aufgeladenen Speichermassen müssen in der Nacht durch eine ausreichende Querlüftung wieder entladen werden. Die Entladung kann auch über Kühldeckensysteme erfolgen, die z.B. über bivalente Wärmepumpensysteme im Sommer mit Kaltwasser versorgt werden. Nur bei einem optimalen Zusammenspiel dieser Systeme kann die gewünscht Wirkung dieser Materialien und Bauteile sicher gestellt.

3.5 Natürlich lüften

Mit dem Bereich, Wärme effizient über eine ausreichende natürliche Querlüftung abzuführen, ist ein wichtiger Beitrag der natürlichen Lüftung von Gebäude beschrieben. In den Zeiten, einer geringen Temperaturdifferenz zwischen Innen- und

Außenluft ist die natürliche Lüftung soweit möglich, der maschinellen Lüftung vorzuziehen. Dies reduziert den Energieaufwand und schafft einen Bezug zwischen Außen und Innen.

3.6 Effizient maschinell lüften

Zukünftige gesetzliche Anforderungen an Gebäude fordern eine weitere Reduzierung der aufzuwendenden Energie im Bereich der Gebäudeunterhaltung und damit auch eine höhere Dichtheit der Gebäudehülle. Dies führt zu einer ausgeprägteren technischen Lösung zur Lüftung des Gebäudes. Diese ist aber in der Regel nur für extreme Situationen erforderlich, wie bei hohen oder niedrigen Außentemperaturen. In diesen Fällen ist das Gebäude mit entsprechend temperierter Frischluft zu versorgen um einen Behaglichkeitsverlust zu vermeiden.

3.7 Tageslicht nutzen

Mit der Positionierung von transparenten oder transluzenten Bauteilen in der Gebäudehülle wird wesentlich auf die Tageslichtnutzung eingewirkt. Die richtige Anordnung von Öffnungen erhöht die Tageslichtausbeute bei diffusen Wetterlagen sowie in Wintertagen auch die solaren Gewinne. Dies führt zu einer Reduzierung des Energiebedarfes für Wärmeerzeugung und Beleuchtung.

Abb. 9: Ansicht Südfassade, Solardecathlon 2007, TU Darmstadt [TU Darmstadt, FG_ee]

Abb. 10: Nachtsimulation, geschlossene Fassade mit Innenraumbeleuchtung
[TU Darmstadt, FG_ee]

3.8 Kunstlicht optimieren

Die Optimierung des Kunstlichteinsatzes bezieht sich im Wesentlichen auf die Anwendung im gewerblichen Bereich wie Bürogebäude oder Shoppingmalls, da hier bis zu 80 % der Energie für die Beleuchtung aufgewendet werden muss. Im Wohnungsbau nimmt der Strombedarf durch Beleuchtung im Verhältnis auch weiter zu. Die immer geringer werdenden Energiebedarfe sorgen für eine Verschiebung der Verhältnisse, sodass Strom eine immer größere Rolle in der Gesamtbilanz einnimmt.

3.9 Strom effizient nutzen

Gebäude ohne einen Strombedarf sind heute noch nicht vorstellbar. Umso wichtiger ist der effiziente und reduzierte Einsatz dieser Energiequelle. Strom wird im deutschen Strommix mit einem Primärenergiefaktor von 2,7 angegeben. Das bedeutet, dass für eine Kilowattstunde Strom in Deutschland 2,7 Kilowattstunden Energie für die Produktion aufgewendet werden müssen.

3.10 Strom dezentral gewinnen

Die stetig steigende Zahl von privaten Photovoltaikanlagen auf oder am Gebäude lässt die dezentrale Stromversorgung permanent ansteigen.

Abb. 11: Bildausschnitt der Photovoltaikfassade, Beitrag Solardecathlon 2009, TU Darmstadt [TU Darmstadt, FG_ee]

Die privaten Betreiber speisen den erzeugten Strom in das öffentliche Netz und beziehen dafür die gesetzlich geregelte Einspeisevergütung. Im Gegenzug entnehmen Sie dem öffentlichen Stromnetz den erforderlichen Strombedarf. Die Differenz zwischen Einspeisevergütung und Strompreis dient der Finanzierung und der Rendite der Anlage. Somit wird durch die dezentrale Stromproduktion der CO_2 Ausstoß gemindert.

14.1 Besondere Gebäudekonzepte
Bauen mit Raummodulen

Gerhard Lutz

1 Ausgangslage

Die Menschen in Deutschland sind mobiler geworden. Arbeitsplätze sind nicht mehr dort wo der Wohnort ist, das Berufseintrittsalter hat sich erhöht und Berufsbiographien gravierend verändert. Dazu kommen der demoskopische Wandel und die damit verbundene Alterung der Gesellschaft. Dieser Umstand verlangt auch von Gebäuden mehr Flexibilität. Wo heute ein Gebäude als Kindergarten genutzt ist, wird morgen die Kindertagesstätte gebraucht, aus der Schule wird vielleicht eine Hochschule oder am Ende die Altentagesstätte.

Die landläufige Vorstellung, dass Gebäude für die „Ewigkeit" gebaut sind, muss revidiert werden auch Angesicht der Tatsache, dass wir relativ neue Bausubstanz bereits nach wenigen Jahrzehnten Standzeit aufwändig beseitigt haben. Dies waren nicht nur die Plattenbauten der ehemaligen DDR sondern auch unflexible, nicht wirtschaftlich umnutzbare Mauerwerks- und Stahlbetongebäude in ganz Deutschland.

2 Holzfertigteilwerke produzieren Einzelstücke

Die in Deutschland in den letzten 50 Jahren entstandenen Fertigteilwerke für Holzhäuser liefern fast ausschließlich individuell geplante Einzelstücke für den Ein- oder Zweifamilienhausmarkt. Die ursprüngliche industrielle Herstellung von gleichförmigen Typenhäuser ist dabei einer fast handwerklichen Fertigung gewichen. Das hat dazu geführt, dass der noch vor 20 Jahren vorhandene Kostenvorteil der seriellen Fertigung, im Wettbewerb zur Baustellenproduktion verloren gegangen ist. Dies führt zu der paradoxen Situation, dass das freistehende individuelle Einfamilienhaus als Einzelfertigung in hochmechanisierten Fabriken produziert wird, das gleichförmige, aus wiederholenden Bauteilen bestehende, Reihenhaus aber fast ausschließlich in konventioneller Mauerwerks oder Betonbauart errichtet wird. Die Errichtung von Mehrfamilienhäusern, selbst solche von Bauhöhen unter 15 m, ist in Deutschland eine Domäne der herkömmlichen Bauindustrie geblieben.

3 Mobiles Bauen mit Containern

Parallel zu dem regulären Baugeschehen hat sich eine Branche etabliert die mit mobilen Einheiten temporären Raumbedarf befriedigt. Dabei sind die ursprünglich sehr einförmigen Baustellencontainer einer beachtlichen Formen und Formatvielfalt gewichen. Allein in Deutschland bieten 123 Firmen ihre Dienste als Lieferanten von Raummodulen an. Der Jährliche Markt für neu produzierte Container wird auf 170.000 Einheiten geschätzt. Dabei werden nicht mehr nur Lösung für den Baustellen oder Werkseinsatz geboten sondern durchaus auch individuell gestaltete Gebäude zusammengestellt.

Das für die Herstellung von Containern überwiegend verwendete Material ist dem Vorbild „Seecontainer" geschuldet: der Baustahl. Typischerweise sind die Produzenten der Container in dem industriellen Bereich des Stahlbaues, Maschinen- oder Fahrzeugbau angesiedelt und gewohnt serielle Herstellungsverfahren anzuwenden. Dadurch werden die relativ hohen Kosten des Baustahls offensichtlich noch aufgefangen. Die typischen Nachteile des Werkstoffes Stahl: Hohe Wärmeleitfähigkeit, geringer Brandschutz, hoher Herstellaufwand und geringe „Wohnakzeptanz" beschränken allerdings eine weiterverbreitete wohnwirtschaftliche Verwendung der „Stahlcontainer".

4 Alternative: Holzbasierte Raummodule

Biegesteife, sich selbsttragende Raumeinheiten können sowohl technisch als auch wirtschaftlich aus holzbasierten Bauteilen hergestellt werden.

Die dafür notwendigen Technologien sind im Holzbau vorhanden:

- Großserielle, hocheffiziente Herstellung von Holzgroßtafeln
- Industrielle Ausformung von Tragwerksstäben
- Hoher Vorfertigungsgrad in den bewährten Holzfertigteilwerken
- Hochbelastbare Systemverbinder für die Ausbildung von Tragwerksknoten
- Zulassung von Gebäuden in den deutschen Landesbauordnungen
- bis zur Gebäudeklasse 4 (in Baden-Württemberg bis zur GKL 5) und damit
- bis zur Hochhausgrenze von zur Zeit 22 m
- neue Holztechnologien wie z.B. Brettsperrholz, Holzkastenelemente
- sind wirtschaftlich verfügbar
- Kombinationsfähigkeit mit Metall und / oder Stahlbetonkonstruktionen

Dabei kann Holz seine werkstoffspezifischen Vorteile anwenden:

- extrem günstiges Gewicht / Nutzlastverhältnis
- hohe Elastizität
- gute Wärmedämmeigenschaften
- geringster Primärenergieaufwand aller Konstruktionsbaustoffe
- leichte Bearbeitbarkeit
- hohe, weltweite Verfügbarkeit
- systembedingte Zerlegbarkeit

5 Über den Prototypansatz hinaus

Bespiel: Studentenwohnheim Konstanz, Baujahr 2007

Bisherige serielle Holzraummodule sind häufig nicht über den Prototypstatus hinaus zur bautechnischen Verwendung gekommen. Deshalb lohnt es das Bauprojekt in Konstanz bei einem fünfgeschossigen Wohngebäude für 167 Studenten näher zu betrachten. Dabei sind gleich mehrere „Neuigkeiten“ umgesetzt worden die es lohnt dem Fachpublikum vorzustellen.

6 Konstruktion des Raummodules (eingetragene Marke: StudyCase)

Abb. 1: Prototyp Juli 2005

Jedes der verbauten 170 Raummodule besteht aus einer Bodenplatte aus Stahlbeton. Die in „Kopflage“ hergestellten Fertigbetonplatten wurden werkseitig mit der Heizleitung für die Fußbodenheizung ebenso versehen wie mit geschweißten Stahlschlössern die als Montagehilfe und Auflagerelement die übereinander zu stapelnden Module verbinden. Durch das Rütteln des Betons in der Schalung entsteht auf der „Gutseite“ der Platte eine belagsfertige Oberfläche.

Abb. 2: Stahlbetonbodenplatte - Fußbodenheizung

Abb. 3: Stahlbetonbodenplatte – 16 cm stark

Die tragenden Seitenwände der Räume bestehen aus klassischen Holzgroßtafeln nach DIN 1052. Damit die hohen Einzellasten aufgenommen werden können sind an den Raumecken und je in der Mitte des Moduls die Holzstützen durchgehend. Dabei in mit einer max. Anmessung der Mittelstütze von 12 / 42 cm kein für Brettschichtholz unübliches Maß erreicht.

Durch die innenseitige Beplankung der Tafeln mit zwei Gipsfaserplatten, der Füllung der Wandgefache mit Mineralfaserdämmung und der Beplankung der Modulaußenseite mit Holzwerkstoffplatten wurden die Tafeln F90 B tauglich. Die Gipsfaserplatten konnten erstmalig im großtechnischen Einsatz von dem Lieferanten in Raumhöhe und 6 m Länge geliefert werden, so dass in den Räumen kein Plattenstoß entsteht.)

Abb. 4: Längswand - Wendetisch am Band

Auf der Fensterseite des Appartements ist in die Holztafel ein raumhohes doppelflügliges Element verbaut, das im Rastermaß die Plattenfassade aufnimmt. Den Außenabschluss bildet ein neuentwickeltes Rolladenaufsatzbauteil, das die Funktion Fensterabdeckung, Fensterleibung und französischer Balkon in einem übernimmt. Mit einer angeformten umlaufenden Blechschürze ist die neuralgische Fuge zwischen Fenster und Fassade höchst einfach und dauerhaft entschärft. Auf der Flurseite sind neben der Apartmenttür die Versorgungsleitungen für Heizung, Lüftung, Sanitär und Elektroinstallation angeordnet. Der werkseitige Vorfertigungsgrad mit in die Wandelemente eingebauten Rohrlängen beschleunigt die Modulmontage.

Abb. 5: Installationswand - Verlegung der Leitungen

Jedes der Einzelapartments und jedes zweite Model der Doppelapartments ist mit einem voll ausgerüsteten Duschbad versehen. Dazu wurden fertig vormontierte Badezellen verbaut, die auf der Innenseite bezugsfertig sind und mit den Steigsträngen der Ver- und Entsorgungsleitung gekoppelt werden.

Die raumseitige Verkleidung der Nasszelle übernimmt das Einbaumöbel für Pantryküche, Garderobenschrank, Bettschrank und integrierter den Wohnbereich abteilenden Schiebetür. (Abb. 6, 7) Für die Zweiraumappartements wird eine wand-

dicke Feinspanplatte als nichttragende Innenwand verwendet, für den Deckenabschluss kommen Tafeln aus KVH und beidseitiger Gipsfaserplattenschale zum Einbau.

Abb. 6: Pantryküche

Abb. 7: Wohnraum

Die Größe der Raummodule richtete sich nach den Vorgaben des Bauherrn der für jeden Studenten eine Wohnfläche von ca. 20 qm gefordert hatte. Die sich daraus ergebenden Außenabmessungen bei einem Achsraster 3,25 x 3,25 m ergibt bei einer Transportbreite von 3,40 m, einer Länge von Ca. 6,80 m und einer Masse von 13 t (130 KN) die Möglichkeit zwei Module auf mit einer LKW Fuhre zu versenden.

7 Herstellung der Raummodule mittels Feldfabrik

Für das Zusammensetzen der Einzelbauteile zu einer montagefertigen Einheit wurde eine Produktionsmethode entwickelt, die aus der Serienfertigung besonders des Fahrzeugbaues bekannt ist: das Fließband. Einheiten mit gleichen oder ähnlichen Abmessungen lassen sich durch eine verkettete Abfolge von Tätigkeiten deutlich preiswerter herstellen als es die Einzelfertigung ermöglicht. Dabei lohnt sich ab einer Losgröße von >100 Einheiten auch das separate Einrichten einer eigenen Fertigungstrasse. Dazu bietet sich häufig, so auch in Konstanz, die unmittelbare Nähe zum Aufstellort der Module an. Für die Baustelle an der Rheingutstraße wurde dazu die zukünftige Parkplatzfläche des Wohnheimes genutzt. (Abb. 8) Die Baustelle Studentenwohnheim benötigte arbeitstäglich bis zu acht Raummodule auf die, die Produktionskapazität der Feldfabrik auszulegen war. Für die witterungsgeschützte Produktion der Raumzellen wurden dazu zwei Zelte errichtet, mit unterschiedlichen Traufhöhen. Während das erste Zelt giebelseitig offen aufgestellt wurde, hat das zwei, niedrigere Zelt allseitig geschlossene Wände und wurde witterungsbedingt beheizt.

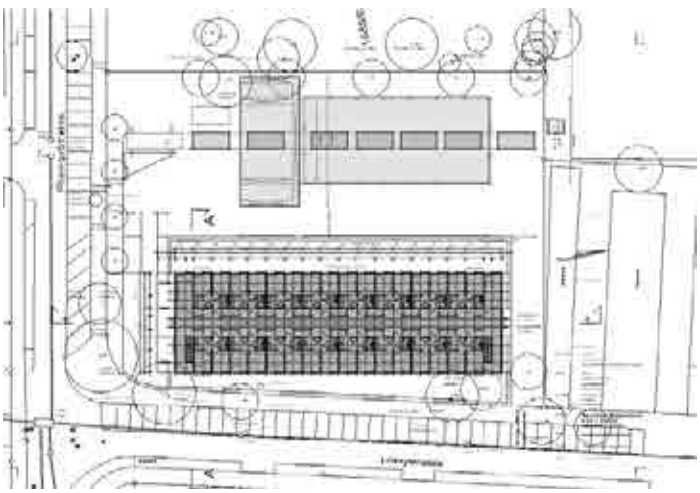


Abb. 8: Feldfabrik / Studentenwohnheim

Der Weitertransport der Module erfolgt auf einer „Gleisanlage“ aus Kanthölzer mit einer Spurweite von 2,50 m und je Modul vier untergelegte Schwerlastrollen. Durch die Verlegung Bahn im Gefälle konnte weitgehend manuell geschoben werden.

Die Betriebzeit der Fabrik betrug acht Arbeitswochen wobei je eine Woche für den Aus- und Abbau der Einrichtung und eine Woche für das Teamtraining an den Arbeitsplätzen verwendet wurden.

An sieben eingerichteten Spezialarbeitsplätzen wurden je zwischen zwei und vier Mitarbeiter eingesetzt um die nach REFA Grundsätzen geplanten Arbeitsgängen zu verrichten. Das Montieren der schweren Boden, Wand und Raumzelle erfolgte mittels Mobilkran am Arbeitsplatz ein und zwei, das Auflegen der Deckenelemente am Arbeitsplatz drei mittels ortsfestem Kleinschwenkkran, das Innenfinish und die Installationsarbeiten in den Modulen an den Plätzen fünf und sechs sowie das Aufnehmen der Module am Arbeitsplatz sieben und das Zuführen zur Baustelle mittels geländegängigem Containerstapler. Für den Platzwechsel wurde eine Taktzeit von zwei Stunden vorgegeben.

Abb. 9: Montage der Sanitärzelle

Abb. 10: Linienfertigung aus insgesamt sieben Montageplätzen

Abb. 11: Transport Raummodul: 20 t Schwerlaststapler

Konnte in den ersten Arbeitswochen die Planvorgaben der Fabrik noch nicht erreicht werden, war nach drei Wochen Einlaufzeit aber die Kapazität erreicht. Die Herstellung der Module erfolgte im Wesentlichen „Just in Time“, d.h. die Produktionsfolge der Fabrik war mit der Montagefolge an der Baustelle abgestimmt. Allerdings waren Lieferengpässe der Vorlieferanten durch die besondere Situation der „Jahresendralley“ 2006 unvermeidlich. Deshalb musste zum Beispiel das Anbringen der Unterkonstruktion und der Außenfassade von der Feldfabrik auf die Baustelle verlegt werden.

8 Hochbaukonzept

Das Gebäude mit den Außenabmessungen 62 x 19 m und einer Bauhöhe von 14 m einem Bauvolumen von ca. 17.500 cbm umbautem Raum schafft Raum für 166 Studenten

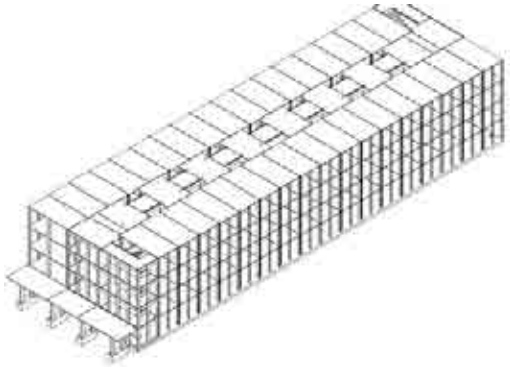


Abb. 12: Tragwerksplanung

Die Arbeiten sind in fünf zum Teil gleichzeitig laufende Baulose realisiert.

8.1 Gründungsarbeiten

Der am Seerhein gelegene Bauplatz in Konstanz hat den bekannt schwierigen Baugrund, der eine Baugrundverbesserung mittels Rüttelstopfpfählen erforderte. Die auf ca. 100 Pfählen und einem verdichteten Kiesbett gelagerte Stahlbetonbodenplatte mit einer Stärke von 35 cm konnte zwei Monate nach dem 1. Spatenstich im Oktober 2006 an einem Stück gegossen werden.

Abb. 13: Bewehrung Bodenplatte

8.2 Aufstapeln der Raummodule

Die vorgefertigten Studentenapartments sind Stockwerksweise beginnend auf der Bodenplatte reihum mittels Mobilkran zu versetzen. (Abb. 7) Dazu werden die Module an den die Module „überragenden“ Holzstützen oben angehängt. Vor dem Aufsetzen wird zwischen die Auflagerpunkte der Module exakt dimensionierte Sylomerlager gelegt, die eine Schallentkopplung der einzelnen Apartments bewirken. (Abb. 1) Vorgabe an den Schallschutz ist Mehrfamilienhausstandard. Deshalb wird zwischen Oberkante Deckenplatte und Unterkante der darüber liegenden Bodenplatte ein Scheibenabstand ca. 15 cm hoher Scheibenabstand gewählt. Nachdem täglichen Arbeitspensum von acht Modulen kann der Mobilkran umgesetzt werden. (Abb. 11, 12)

Abb. 14: Feldfabrik

Abb. 15: Aufbau des 5. Geschosses

Abb. 16: 170 montierte Raummodule

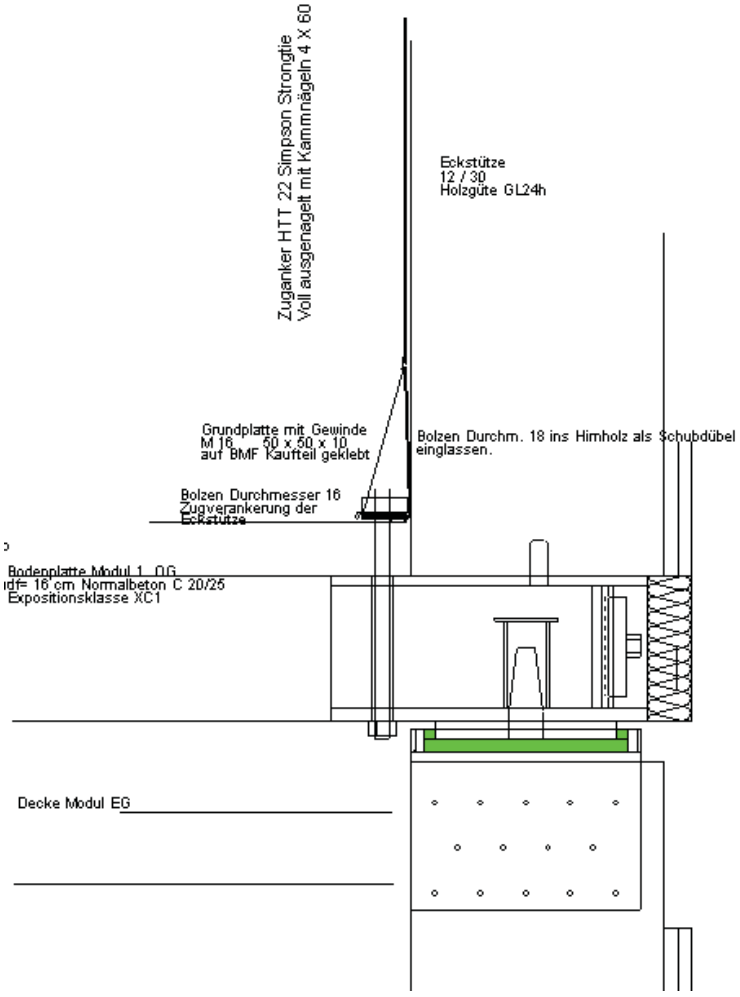


Abb. 17: Detailzeichnung- Elastomerauflager

8.3 Montage der Treppenhäuser und Flure

Zwischen die Raummodulzeilen werden Stahlbetonwandelemente, Deckenplatten und Treppenläufe so montiert, dass diese selbsttragend, ohne Kontakt zu den Raummodulen stehen. Auch hier ermöglicht eine ausgeklügelte Bauteilgeometrie, dass mit wenigen Plattenformaten gearbeitet werden kann. Die Verwendung von Stahlbeton für die Treppen und Flur stellt sich als die ökonomisch günstigste Baumethode dar die hohen Anforderungen des Gebäudebrandschutzes zu erfüllen. Das Gebäudekonzept sieht unbeheizte, Außenluft durchströmte Flure zu mit zwei jeweils an den Gebäudegiebeln angeordneten Treppenhäusern.

Abb. 18: Etagenflur

In der Gebäudemitte wird ein Brandabschnitt angeordnet. Dazu werden die angrenzenden Apartments je einseitig zusätzlich mit Gipsfaserplatten und eingelegten dünnen Stahlblechen „aufgerüstet“, in die Flure geschlossene Stahlbetonscheiben und geforderte Türen eingesetzt.

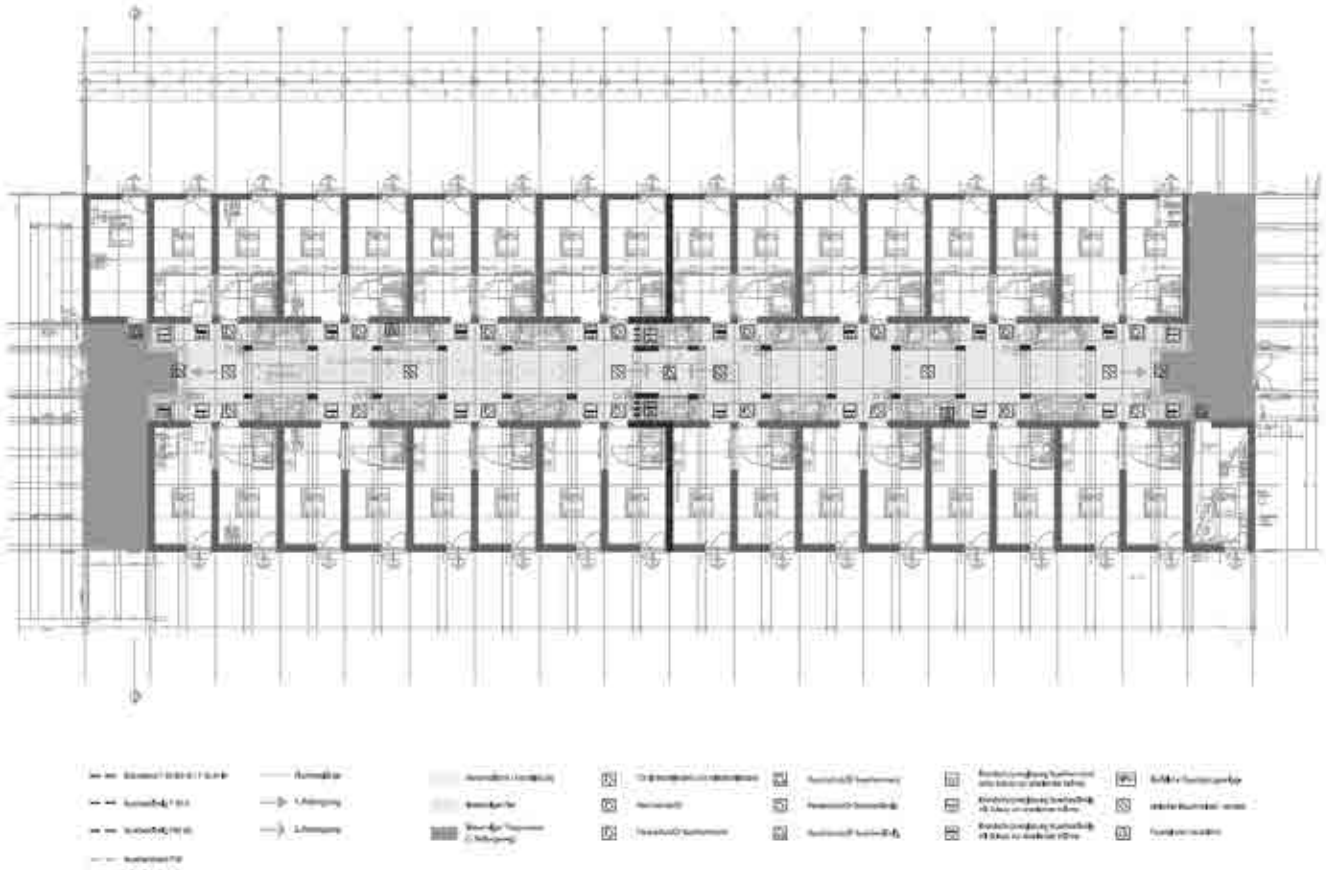


Abb. 19: Grundriss

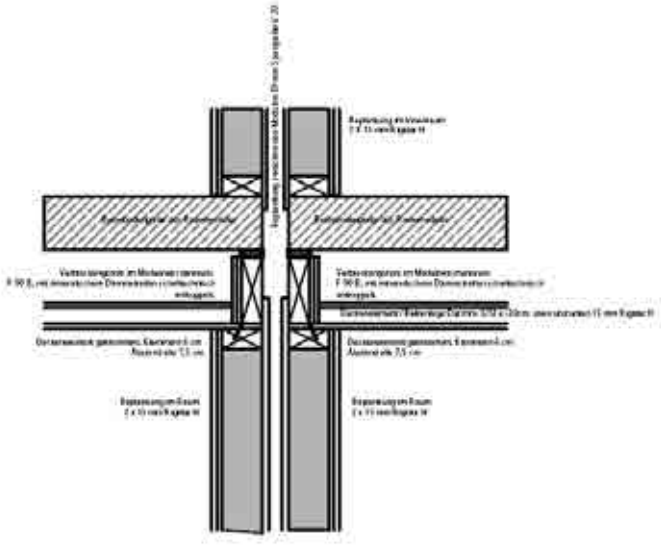


Abb. 20: Verblockung Schnitt durch vier Module

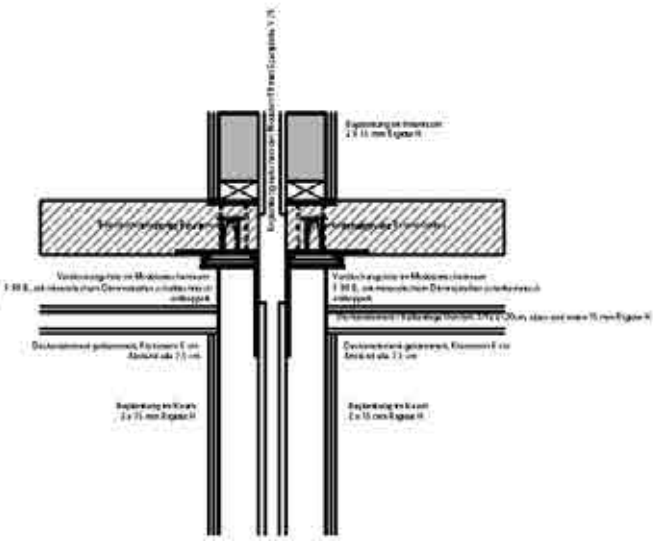


Abb. 21: Vertikalschnitt durch Lagesicherung

Am Ende der Hochbaumontage Anfang Dezember 2006 werden je vier Raummodule mittels „Zugstange“ in Deckenebene an die Stahlbetonflure rückverankert.

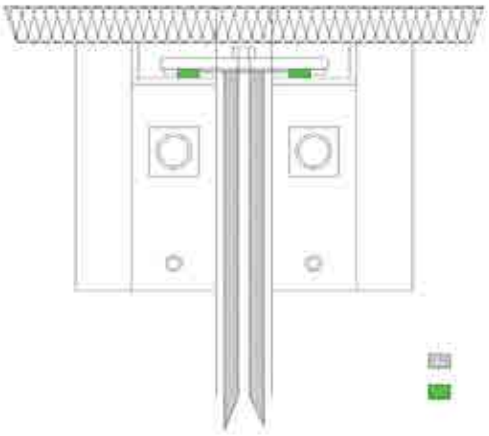


Abb. 22: Detailzeichnung- Zugstab

Sichtbetonscheiben am Haupt- und Nebeneingang tragen die Vordachanlagen.

Abb. 23: Hauszugang

8.4 Dach

Den Gebäudeabschluss nach oben bildet ein aufgelegtes begrüntes Flachdach aus einer im Apartmentbereich wärmegedämmten Holzbalkenlage. Rauchoffene Oberlichter sollen zusätzlich Tageslicht in die darunterliegenden Flure bringen.

Abb. 24: Dachbegrünung

Die Entwässerung des Daches erfolgt mittels in den Fluren sichtbar angeordneten Fallrohren. Die Montage des Daches endete im Dezember 2006.

8.5 Versorgung des Gebäudes

Die Versorgung der Apartments erfolgt Steig- und Fallsträngen je auf der Flurseite angeordnet für die fünf übereinander stehenden Module. Dabei wurde der Elektroanschlussraum in dem letzten Obergeschoß in dem giebelseitigen Eckmodul angeordnet und die Zuleitungen unter der Dachebene im Flur geführt. Eine abgehängte Decke sichert den Fluchtweg.

Die Wasser- und Heizungszuleitungen sind auf der statischen Bodenplatte verlegt und im Flurbereich mit einem Glattstrich abgedeckt. Die Heizzentrale und der Wasseranschluss sind im Erdgeschoßeckmodul vorgenommen. Das darüber liegende Modul im ersten Geschoss nimmt den Raum für die Waschmaschinen der Bewohner auf. Für die Hausverwaltung ist das Eckmodul am Haupteingang vorbehalten.

Die hoch wärmegedämmte Gebäudehülle und die in den Modulbodenplatten eingebauten Heizschlangen ermöglichen die Beheizung des Gebäudes mittels Sole-Wasserwärmepumpe. Die dafür notwendigen Bohrungen wurden nach Abbau der Feldfabrik niedergebracht und mittels Erdleitung an das „Heizmodul“ angeschlossen.

Der Bezug des Gebäudes erfolgte Anfang April 2007.

9 Resümee und Ausblick

Ein Gebäude in derart kurzer Zeit zu bauen stellt allein eine beachtliche Leistung dar. Rechnet man dazu, dass sowohl während der Planung als auch während der Bauphase ständig noch Neuland betreten wurde und „Erfindungen" gemacht wurden wird die Größe der Aufgabe klar.

Wo die Planer gemeint hatten auf die Zulieferindustrie zurückgreifen zu können (Steckelemente für Wasser und Elektroverbindungen oder Stahlverbinder für die Module) wurde Sie nicht oder noch nicht fündig.

Das eine Hochbaustelle auch mit einem „Kletterzelt" witterungsgeschützt werden kann machen uns jüngst die Schweden bei dem neungeschossigen Wohngebäude vor. Hier ist noch Entwicklungspotential vorhanden.

Die Baustelle in Konstanz aber hat gezeigt, dass mit der Fertigungsmethode „Feldfabrik" und „Raummodulen aus Holz / Beton an beliebigen Bauorten (nicht nur in Deutschland), auf schlechtem Baugrund und in Erdbebenzonen rasch hochwertiger Wohnraum hergestellt werden kann. Nicht nur für Studenten!

14.1 Besondere Gebäudekonzepte

Anpassungsfähig, funktional, kommod, nachhaltig: Anforderungen an den Wohnungsbau der Zukunft (… und was der Baustoff Holz dazu beitragen mag …)

Robert Kaltenbrunner

1 Allgemeines

Der Kulturkritiker Wend Fischer hat einmal mit Blick auf den Wohnungsbau empfohlen, „dass das Brauchen dem Machen vorangeht, dass der Gebrauch die Gestalt bestimmt, dass die Brauchbarkeit das Kriterium der Qualität ist. Diese Wahrheit konzentriert die Dinge und Bauten auf den Menschen, der sie braucht; der Mensch ist der Sinn ihrer Zweckbestimmung, hierin beruht ihre selbstverständliche Humanität." Ganz in diesem Sinne muss die Wohnarchitektur an jene Bautraditionen anknüpfen, die weniger fertige Lösungen anbieten, als vielmehr den Rahmen vorgeben, der von den Nutzern erst noch auszufüllen ist. Weil die Individualisierung unter dem Stichwort der ‚Erlebnisgesellschaft' auch einen so sehr von Standardisierung bestimmten Bereich wie den Geschosswohnungsbau erfasst hat, braucht es zukunftstaugliche Konzepte. Und dabei kann der Baustoff Holz durchaus eine gewichtige Rolle spielen.

Obwohl ungefähr 60 % der Deutschen zur Miete wohnen, sind sie ein Volk von ‚Luxuswohnern'. Im Vergleich zu allen früheren Zeiten, in denen ein Großteil der Gesellschaft in vergleichsweise katastrophalen Verhältnissen lebte, wurde im 20. Jahrhundert der demokratische Traum wahr gemacht, (fast) jeder Familie eine menschenwürdige Wohnung zu verschaffen.[1] Was jedoch nicht heißt, dass man nicht auch anders wohnen, dass man sich „verbessern" möchte. Stichwort ‚Demographischer Wandel': In immer mehr Regionen Deutschlands besteht kein baulicher Erweiterungsbedarf mehr. Wie kann das Wohnen solchen Bedingungen folgen, wenn (fast) alles schon gebaut ist? Darf man sich der Hoffnung hingeben, dass bei geringerer wirtschaftlicher Dynamik mehr Aufmerksamkeit für Qualität einkehrt, dass das Schlagwort von der „Masse statt Klasse" sich umkehrt? Oder muss man damit rechnen, dass die lahmende Nachfrage bloß durch billigere Bauproduktion angeschoben wird? Es wäre auszuloten, ob der Wohn- und Baubedarf sich nach den Regeln der Produktinnovation gestalten lässt, wo über Produktdesign ziemlich zuverlässig neue Nachfrage in Gang gesetzt wird. Wobei jede Innovation das weit verbreitete Unbehagen gegenüber dem Neuen berücksichtigen muss.

Um die weiteren Entwicklungen abschätzen zu können, muss man einen kurzen Blick zurück werfen. Denn Rationalisierung und Standardisierung im Wohnungsbau begannen in Deutschland bereits in den ersten beiden Jahrzehnten des letzten Jahrhunderts. Walter Gropius, der als damaliger Bauhaus-Direktor in Dessau-Törten mit dem Thema Vorfertigung laborierte, hatte es 1924 programmatisch formuliert: „Die menschliche Behausung ist eine Angelegenheit des Massenbedarfs. Genauso, wie es heute 90 Prozent der Bevölkerung nicht mehr einfällt, sich ihre Beschuhung nach Maß fertigen zu lassen, sondern Vorratsprodukte bezieht, die infolge verfeinerter Fabrikationsmethoden die meisten individuellen Bedürfnisse befriedigt, so wird sich in Zukunft der einzelne auch die ihm gemäße Behausung vom Lager bestellen können. Die heutige Technik wäre vielleicht schon dafür reif, die heutige Bauwirtschaft aber ist noch fast ganz an die alten handwerklichen Baumethoden gebunden, die Maschine spielt in ihr erst eine geringe Rolle. Die grundlegende Umgestaltung der gesamten Bauwirtschaft nach der industriellen Serie hin ist daher

[1] 1950 standen für 15,5 Millionen Haushalte nur 10 Millionen Wohnungen zur Verfügung (Bundesgebiet ohne Saarland), jede davon war von knapp fünf Personen belegt. Nur 20 % dieser Wohnungen hatte Bad oder Dusche. 1998 wohnten - bei rund 39 qm Wohnfläche pro Person, statistisch 2,2 Personen in einer Wohnung. Noch 1965 betrug die verfügbare Wohnfläche in der Bundesrepublik 22 qm/ Person, sie hat sich also in etwas mehr als dreißig Jahren noch einmal fast verdoppelt, obwohl inzwischen das Gebiet der DDR hinzugekommen ist.

zwingendes Erfordernis für eine zeitgemäße Lösung des wichtigen Problems."

Ideelle Ansätze dieser Provenienz bildeten eine neue Basis, wobei das Auto zum Inbegriff und Katalysator eines übergreifenden Zukunftsmodells wurde. Etwa zu dieser Zeit hatte Henry Ford mit seiner Unternehmensphilosophie einen weltweiten Prozess angeschoben, der auch und gerade auf der Ebene des Bauens seinen Niederschlag fand. Der 'Fordimus' wurde, zumindest in wirtschaftlicher und politischer Hinsicht, enthusiastisch aufgenommen. Als Fords Buch „Mein Leben und Werk" 1923 in Deutschland erschien, galt es in der von Verarmung und Inflation gekennzeichneten Nachkriegszeit vielen als eine Heilslehre. Die Analogie der Wohnung „als Maschine" ging dabei auf den Ford-Verehrer Le Corbusier zurück. Wobei in diesem Assoziationsbereich ein Aspekt eine ganz wesentliche Rolle spielte: Das Durchsetzen der sozialen Massenwohnung. Dahinter stand die Vorstellung, Häuser wie Autos zu produzieren. Zunächst konnte man damit durchaus Erfolge zeitigen; spätestens mit dem Bau von Großsiedlungen aber wurde viel Akzeptanz verspielt. Die Unbedingtheit des industriellen Bauens, die Rigidität einer Bauform, die in scheinbar endloser Addition gleicher Bauelemente den Schwellenwert einer überschaubaren und begreifbaren Ordnung häufig überschritt, desavouierten Aspekte wie Vor- oder Serienfertigung beim Bauen recht nachhaltig.

Nicht sehr viel besser war es um die Grundrissgestaltung bestellt. Zwar hatten die Architekten seit den 20er Jahren das Wohnen als ‚ihre' Aufgabe entdeckt: Sie wollten Haus und Wohnung nach rationell-funktionalen, ihnen als vernünftig erscheinenden Gesichtspunkten gestaltet wissen. Aber ganz selbstverständlich nahmen sie an, dass sich die Menschen ebenfalls nach diesen Maßstäben erziehen lassen werden. Was als „befreites Wohnen" proklamiert wurde, ähnelte alsbald einer Zwangsjacke. Minimalmaße wurden oft genug als notwendige Maße missverstanden und mussten als Ausgangspunkt für den Entwurf herhalten. Die „Wohnung für das Existenzminimum", so hieß es schon in den frühen 30er Jahren, ist zur Richtschnur, ja zum Ausgangspunkt für den Gestaltungswillen geworden. Das mag überzeichnet erscheinen; andererseits jedoch muss man fragen: Warum ist die Binnendifferenzierung unserer heutigen Sozialbau- oder Mietwohnungen oder auch des Eigenheims in der Regel kaum weiter fortgeschritten als im Nürnberger Stadthaus der Dürerzeit oder ein Jahrhundert später in den Niederlanden?

Aller Intensität und Kreativität zum Trotz, die namhafte Architekten seit einem Jahrhundert im Entwurf von Wohnungen und Wohnhäusern an den Tag gelegt haben, sind deren Grundkonstanten nicht aus den Angeln gehoben worden. Bei allen kulturellen Differenzierungsleistungen im Erscheinungsbild und im Gebrauch, ist das Wohnen eine anthropologische Konstante, ein Teil des Bedürfnishaushaltes geblieben. Mit Sicherheit hat IKEA das zeitgenössische Wohnen stärker beeinflusst als die Werke und Konzepte irgendeines Baumeisters.

Wobei das mit den Wohnbedürfnissen so eine Sache ist. Nicht nur ausreichend groß, bezahlbar und kommod, auch flexibel soll es sein, das eigene Heim. Sich in stärkerem Maße an sich verändernde Lebenssituationen anzupassen, ist als Desiderat seit langem erkannt und benannt.[2] Die

[2] Im allgemeinen ist unter Flexibilität die größenmäßige Veränderung der, Binnenstruktur' einer Einheit angesprochen. Stellt man sich die Wohnfläche als konstante Größe vor, ihre Umfassung als fixiert, so obliegt es dem Bewohner, durch Nutzungs- und Zustandsänderungen (wie Durchbrechen einer Tür; Einziehen einer Wand etc.) veränderte Bedingungen zu artikulieren. Dazu müssen die ‚konstanten' konstruktiven Elemente möglichst reduziert und die Installationsanschlüsse an optimalen Punkten angeordnet werden. Demgegenüber meint Variabilität die Expansions- und Reduktionsmög-

nicht determinierten Räume von Gründerzeitwohnungen mit ihren mehrfachen Erschließungen bieten hier fraglos mehr als die - auf die vermeintlichen Gebrauchsmuster der Kleinfamilie abzielenden - Grundrisse des modernen Wohnungsbaus. Auch die Popularität, der sich Lofts bei einem bestimmten, meist freiberuflichem Klientel erfreuen, spricht diesbezüglich Bände. Trotzdem muss man konstatieren, dass sich im Wohnungsbau fast nur im „gehobenen" Marktsegment etwas bewegt - und dann eher im Service-Bereich mit Doorman- oder in Boarding-House-Konzepten als bei der Realisierung flexibler Wohnformen.

Offenkundig setzt die ‚Wohnungsproduktion' in sich – programmatisch und entwerferisch – eine Auseinandersetzung mit Widersprüchen voraus: Individualisierung versus Massenproduktion, kulturelle Heterogenität versus regionale Identitäten, gemeinsamer Raum versus funktionale Flächennutzung. Insofern kann der Wohnungsbau weniger „Lösungen" in Aussicht stellen, als mit widersprüchlichen Besonderheiten experimentieren. Will man darin eine Standortbestimmung vornehmen, dann wäre das Machbare irgendwo zwischen Traumhaus und Fertighaus anzusiedeln. Nachdem bis in die 70er Jahre hinein der Wohnungsbau einem fordistischen Konzept folgte und Produzenten wie Architekten sich an der Durchschnittsfamilie und -wohnung leitbildhaft orientierten, müssen sich heutige Vorstellungen auf dem schmalen Grat zwischen 'Norm' und 'Wunsch' bewegen. Der Wandel gesellschaftlicher Rahmenbedingungen[3] erzwingt ein Umdenken. Neben dem wachsenden Stellenwert, den die kostenminimierenden und flächensparenden Aspekte einnehmen (müssen), liegt es nahe, für unübersehbare Individualitäten private Spielräume des Wohnens auszureizen.

Unter solchen Bedingungen stehen Haus und Wohnung heute am Schnittpunkt von serieller Produktion und individueller Erscheinungsform; sie sind damit zugleich professionell entwickeltes Produkt wie Heimat für einen Lebensabschnitt.[4] Dabei stellt heute die Erweiterung des Raumangebots den Dreh- und Angelpunkt dar, von dem der vorwiegend auf funktionalen Zusammenhängen beruhende Standard in Frage gestellt wird. Die Wohnung ist nicht mehr ausschließlich im Bereich der Bedürfnisbefriedigung anzusiedeln, vielmehr erwartet man heute von seiner Wohnung Unterstützung bei der eigenen Selbstverwirklichung. Erlebnisansprüche, so der Soziologe Gerhard Schulze, „wandern von der Peripherie ins Zentrum der persönlichen Werte; sie werden zum Maßstab über Wert und Unwert des Lebens schlechthin und definieren den Sinn des Lebens." [5].

lichkeiten einer Wohnung, d.h. ein wechselndes Flächenreservoir, um unterschiedlichen Anforderungen an den je nach Gusto und Belegung verschiedenen Flächenbedarf realisieren zu können. Da diese Unterscheidung im diskutierten Zusammenhang kaum relevant ist, werden beide Begriffe hier synonym benutzt.

[3] Als Stichworte mögen genügen: sinkende Bevölkerungszahl, fortschreitende Alterung, kleinere Haushaltsgrößen, Veränderung der Arbeitswelt, zunehmende Mobilität, steigender Kostendruck, Individualisierung und Globalisierung, verschärfte Zweiteilung der Gesellschaft usw.

[4] Als gedankliche Analogie sei hier nur auf das Reihenhaus im niederländischen Kontext verwiesen: Es steht für stadtnahes Wohnen ohne verpflichtende Nachbarschaft; zwar stiftet es wohl weniger Identität als das freistehende Haus, ist aber als Lebensabschnittshaus höchst alltagstauglich für eine Gesellschaft im Aufbruch. Relativ niedrige Baulandpreise werden durch eine zentrale Steuerung sichergestellt; rationelle Planung und Standardisierung, eine Bauorganisation und der Bauteam-Gedanke, die sich stark abheben beispielsweise vom deutschen System der Spezialisierung und Handwerksordnungen: Das sind die Hintergründe für die verhältnismäßig preiswerten, und damit gut vermarktbaren Ergebnisse im Nachbarland. (Wobei allerdings ein deutlich niedrigerer Ausbaustandard - geringere Achsbreiten, abgemagerte Grundstücke, kleinere Zimmer, keine Keller, fehlende Drehkippbeschläge, Weichholztreppen etc. - zu berücksichtigen ist.)

[5] Gerhard Schulze: Die Erlebnisgesellschaft. Kultursoziologie der Gegenwart. Frankfurt a.M. 1997, S. 59

Gleichwohl, mittels ‚Funktionalisierung' wird das vielschichtige mentale und psychologische Phänomen menschlicher Wohnbedürfnisse noch immer auf objektivierbare und messbare Zweckkategorien reduziert. „Zusehends werden die Bedürfnisse des Menschen analysiert und kategorisiert, und der Wohnungsbau wird auf ‚rationelle Bebauungsweisen' reduziert. Dies hat zur Folge, dass die entwickelten Wohnungsgrundrisse unmöglich noch etwas anderes beherbergen können als das unmittelbar vorgesehene Programm, das ihnen zugrunde liegt."[6] Mit dieser von Max Weber als ‚Entzauberung der Welt' bezeichneten Entwicklung verkümmert die Teilhabe des Menschen an seiner Wohnumwelt. Letztendlich wird aus dem ‚Bewohner' damit der ‚Nutzer', dessen vitale Ansprüche an den Wohnbereich in der Scheinobjektivität einer planungskonformen Bedürfnis-Interpretation verlustig gehen.

Freilich gibt es eine Reihe objektiver Barrieren. So lässt es sich etwa empirisch nicht ableiten, ob man neue Wohnquartiere in ihrem äußeren Erscheinungsbild an möglichst egalitären Wertvorstellungen orientiert oder ob man ein größeres Maß an Differenzierungen der Wertigkeit einzelner Gebiete und Gebäude zulässt. Auch die Entscheidung für offene, auf Kommunikation angelegte oder stärker die Privatheit betonende Bauformen ist das Ergebnis einer Wertung. Beide Komponenten, normative Vorstellungen und empirische Analyse von Nutzerbedürfnissen und Nutzerverhalten, gehen als Rohstoff in den Entwurf ein und bilden den Rahmen für den Einzelinvestor. Dabei bleibt jede Empirie denknotwendig auf Vorgegebenes bezogen. Sie kann insbesondere neue, noch in der Zukunft liegende Entwicklungen nicht erfassen. Gerade weil es hier keine abgeschlossenen Antworten gibt, bleibt es immer gefährlich, sich bei Investitionen, die auf lange Frist Geltung behalten, auf einen abgeschlossenen Kanon von Funktionen und Bedürfnissen zu beziehen.

In diesem Zusammenhang stellen sich zudem einige Fragen, die vielleicht banal klingen, für den Erfolg aber von zentraler Bedeutung sind: Wie ordnet sich das eigene Haus ein in ein größeres Gefüge? Wie entstehen einfache Orientierungen? Wo gibt es besondere Merkpunkte oder Wahrzeichen der eigenen Lebenswelt? Welche Arten von Stadträumen werden durch die Gebäude geschaffen? In welcher Form werden sie für die Bewohner nutzbar? Wie werden sie erlebt und bewertet? In welcher räumlichen Beziehung sollen Autoverkehr und Fußgänger zueinander stehen? Wo kann man spazieren gehen, sich ausruhen, zuschauen, wo kann man am öffentlichen Leben teilnehmen? Ist die Kinderwelt in die Lebenswelt der Erwachsenen integriert oder werden die Kinder abgedrängt in monofunktionale Spielbereiche? Welcher Zusammenhang besteht zwischen Bauformen, Materialwahl und der Veränderung der Umwelt mit dem Verlauf der Zeit? Wie wird eine Qualitätsstruktur der Wohnung und eine innere Differenzierung von Siedlungen möglich?

Daraus lässt sich ableiten, dass „Neutralität" der Bau- und Siedlungsstruktur ein ganz wesentliches Kriterium ist. Sie mag auf dem ersten Blick den immer wieder geäußerten Bedürfnissen der Menschen nach konkreten, figürlichen, gutverständlichen architektonischen und städtebaulichen Zeichen, nach Vertrautheit, Wärme und Gefühl widersprechen. Doch gerade indem sie sich der unmittelbaren sinnlichen Aneignung entzieht, befreit sie das Bauen von der Einengung einer besonderen Aussage für eine besondere Kundschaft in einem besonderen historischen Augenblick. Zudem lädt diese Neutralität dadurch, dass sie an – oft vermeintlichen – Bedürfnissen rüttelt, zum kritischen Nachdenken ein; zuweilen zwingt sie sogar dazu. Den Bauträgern und Wohnungsun-

[6] Kommentar von Felix Claus, in: Bauwelt 18/19, 2002, S. 15

ternehmen aber wird damit einiges abzuverlangen sein: Dass nicht nur angeboten wird, was gewünscht ist.

Das Fundament eines heute zeit- und aufgabenadäquaten Wohnungsbaus müsste demnach eine größtmögliche Nutzungsneutralität bilden, was jedoch nicht strukturelle Verschwommenheit oder gar Indifferenz bedeutet. Sie erfordert im Gegenteil typologische Festlegungen, die den Gebrauch einer Baustruktur sinnvoll antizipieren können. Es geht mit anderen Worten darum, eine Lösung zu finden, die die jeweils möglichen Verwendungen der Baustruktur (auch) nach architektonischen Gesichtspunkten konfiguriert: Erschließung, Belichtung, Unterteilbarkeit, Möglichkeiten der Zusammenlegung usw.[7]

Mit großer Sicherheit werden die Wohnhäuser der Zukunft vernetzt und in sich ‚mobil' sein, wird die Einbeziehung modernster Informations- und Kommunikationstechniken schon deswegen unabdingbar, weil das ‚Arbeiten' von zuhause aus zunimmt. Die Wohnwelt aber muss dafür nicht neu erfunden werden. Just das hatte der österreichische Architekt Josef Frank bereits 1927 in pointierter Form deutlich gemacht, in seinem Essay ‚Vom neuen Stil', der als fiktives Interview verfasst wurde: „A: Der Mensch hat sich seit hunderttausend Jahren nicht verändert, er ist nicht besser und nicht schlechter geworden, nicht höherentwickelt und nicht degeneriert. Auch die Geräte des täglichen Lebens in seiner Umgebung sind deshalb die gleichen geblieben. - F: Und das Automobil und das elektrische Licht? – A: Das Automobil ist noch immer nichts anderes als der Sitz mit den vier Rädern darunter, und das elektrische Licht ist der leuchtende Punkt. Wie sie erzeugt werden und mit welcher Geschwindigkeit sie funktionieren, ist nebensächlich. Das Haus aber ist das primitive Gerät geblieben, das es war, weil sich sein Zweck nie geändert hat. Alle Neuerungen technischer Art können leicht hinzugefügt werden. Die Wohnart gleichgearteter Menschen war immer die gleiche, sie können in alten Häusern gleicher Art ebenso gut wohnen wie in neuen, wenn sich die Lebensbedingungen nicht geändert haben. Das aber ist selten der Fall, weshalb wir zu unseren raum- und zeitsparenden Erfindungen greifen."[8]

Ohnehin hat das Haus gegenüber öffentlichen Dienstleistungen immer wieder erstaunlichste Integrationsleistungen vollbracht. Die wichtigste war vielleicht die Privatisierung des WC, das lange noch ein externes Reglement auf der Etage erforderte. Auch die öffentlichen Wasch-, Bade- und Saunaanstalten sind längst in der Wohnung privatisiert. Und sie hat auch die Eigenküche gegen alle rationalistischen Vorschläge verteidigt, mit enormen technischen Aufwand sogar ausgebaut. Warum sollten bei dieser ‚Absorbtionsfähigkeit' der Wohnung nun deren Grundfesten ins Wanken geraten, wenn seit zwanzig Jahren Techniker und Marktstrategen sich mit dem ‚Smart House' beschäftigen? Ein high-tech-Regelmechanismus, die intelligente Vernetzung von Zentralheizung über Waschmaschine, Rollläden, Dusche bis Kaffeekocher, ist als künftige Grundausstattung durchaus denkbar – als eine Art Intranet für das eigene Haus –, ohne dass deswegen

[7] In gewisser Weise geht es dabei auch um die Anknüpfung an ein traditionelles – und lang tradiertes – Wissen beim Bauen. Beispielsweise wird die autochthone Volksarchitektur äußerlich von der Form und den örtlich verfügbaren Baustoffen geprägt. Betrachtet man sie unter dem Gesichtspunkt des Energiesparens, so entpuppt sie sich in der Regel als meisterhaft durchdacht und wirkungsvoll. So hat die Halbkugel des Iglu, der Schneehütte der Eskimos, die kleinste Oberfläche bei gegebenen Rauminhalt und somit den geometrisch geringstmöglichen Wärmeverlust. Der alpine Bauernhof ist ein Musterbeispiel für solches dem örtlichen Klima gerechtwerdendes Bauen: nach Süden gerichtet (für passive Solarnutzung), oft in einen Hang eingebettet, kleine und gedrungene Hausform einbezogen, darüber wärmedämmender Heuboden, Nadelbäume (und Hügel) als Windbrecher usw.

das tradierte Wohnmuster selbst in Frage gestellt wird. Die grundsätzlichen Ansprüche an das Wohnen bleiben, nur verfeinern sie sich gegebenenfalls. Sie finden ihre Bestätigung, indem sie sich technischer Innovationen bedienen.[9]

Sie erschöpfen sich aber weder darin, noch in gutgemeinten Architekturen. Denn zuvorderst muss man „verstehen, dass die Bausteine solcher Lebensqualitäten, wie Wohnlichkeit oder Kultur, nicht einzelne, in bestimmten Quantitäten auftretende Objekte sind, etwa Wohnraum oder Grünfläche, sondern kleine Subsysteme, die organisatorische, gestalthafte und materielle Komponenten haben. ‚Nächtliche Sicherheit' ist beispielsweise solch ein System, das sich nicht mit der Abwesenheit von Verbrechen definieren lässt; ‚Ruhe' ein anderes, das sich nicht in der Unterschreitung eines bestimmten Geräuschpegels auf der Dezibel-Skala erschöpft. Schließlich müssen wir noch verstehen, dass die Wohnlichkeit, selbst wenn es uns gelänge, sie vollkommen zu definieren, nicht verordnet werden kann, dass sie kein Wohlfahrtsprinzip ist, sondern aktive gesellschaftliche Beteiligung voraussetzt."[10] Die allerdings kann der Baumeister allenfalls stimulieren, nicht erzeugen oder gar steuern. Naheliegend ist immerhin, besonderen Wert zu legen auf die atmosphärische Qualität einzelner differenzierter Räume, deren nicht funktional begründete Unterschiedlichkeit anders als im funktionalen Grundriss vielfältige Bespielungen und Kodierungen durch den jeweiligen Benutzer ermöglicht. Das bedeutet jedoch keineswegs, dass es um singuläre Architekturen geht. Im Gegenteil: Mangelnde Spektakularität und Unaufgeregtheit werden (auch) den künftigen Wohnungsbau prägen.[11] Und neuartig wäre seine Bauform nur insofern, als der Rhythmus ihrer Primärstruktur und das freie Maßwerk ihres Ausbaus jene Funktionen übernehmen können, die seinerzeit das Denkmodell des Fachwerks erfüllt hat: Nämlich ein zeittypisches, allgemein verständliches und akzeptiertes Ordnungsprinzip darzustellen, dass den Rahmen und Maßstab individueller Selbstverwirklichung bildet.

Mit anderen Worten: Beim künftigen Wohnungsbau werden die Ambitionen durchaus ins Grundsätzliche gehen dürfen (oder gar: müssen), wobei das Spiel stets auf der Möglichkeit vielfältiger Verwendungen weniger gleichförmiger Elemente beruhen sollte: Dass aus industriell standardisierten Einzelteilen nicht zwangsläufig jene normierten Bauwerke resultieren müssen, die allenorts beklagt werden; dass der Innenausbau nicht von einzelnen Fachleuten oder fabrikmäßig vorgegeben ist, sondern eine vielfältig variable Raumbildung durch die Bewohner und Benutzer selbst zulässt. Nur so werden sich Kostendruck, Nachhaltigkeitserfordernis und sozialpsychologische Bedürfnisse unter einen Hut bringen lassen. Nach Lage der Dinge kann eben dies für den Holzbau eine große Chance darstellen.

---

[8] Zit. in Johannes Spalt u. Herman Czech (Hrsg): Josef Frank 1885-1967. Wien 1981, S. 179f.

[9] Dass Innovation sich auch über vermeintlich traditionelle Methoden materialisieren kann, illustriert ein kleines Beispiel: Unlängst ist in Berlin, in der Esmarchstraße im nördlichen Prenzlauer Berg, ein immerhin siebengeschossiges Wohnhaus als Baulückenschließung fertig gestellt worden. Die Architekten Tom Kaden und Tom Klingbeil haben mit einer kreativen Interpretation der Bauordnung einen massiven urbanen Holzbau geschaffen, wobei es ihnen nicht um einen ästhetischen Imperativ ging – dem Haus sieht man gar nicht an, dass es aus Holz ist –, sondern um die gleichsam selbstverständliche Verwendung eines Rohstoffs mit vorteilhafter Ökobilanz.

[10] Lucius Burckhardt: Die Kinder fressen ihre Revolution. Köln 1985, S. 102

[11] Hier sei ein zusätzlicher Hinweis gestattet: In Zeiten des demografischen Wandels werden innerstädtische Wohnlagen (nicht nur) für Betagte wieder attraktiver. Entsprechend geeignete Baugrundstücke sind jedoch knapp. Eine Lösung könnten „Wohnungen obendrauf" sein, wie sie etwa auf der Veranstaltung *plan08* in Köln (September 2008) vorgestellt wurden. Nachverdichtungen – auch und gerade in Form von Aufbauten – werden für die weitere Bestandsentwicklung von strategischer Bedeutung sein, und der Holzbau könnte hierzu einen genuinen Beitrag leisten.

14.1 Besondere Gebäudekonzepte
Holz in temporärem Einsatz

Andreas Theilig

1 Holz in seinen unterschiedlichen Zuständen

Holz ist nicht Holz. Holz hat ganz unterschiedliche Facetten in Gestalt, Materialität, Oberfläche, Festigkeit, etc. Es ist geradezu ein Zyklus von unterschiedlichen Materialeigenschaften im Verlauf des Lebens von Holz:

- Der Baumstamm in seinem rohen und unveränderten Zustand (Abb. 1, 2).
- Das geometrisch aufbereitete Holz: gesägt, gehobelt, geschnitten.
- Verleimte Strukturen, um auch kompliziertere Geometrien erstellen zu können.
- Die Spanplatte in unterschiedlichen Graden der Feinheit als Holzwerkstoff (Abb. 5).
- Natürlich die Wellpappe in der Verarbeitung von Holz zu Papier (Abb. 6, 7).
- Holz in unterschiedlicher Materialität, in einzelnen Schritten - viele Zwischenschritte sind noch gar nicht erwähnt.

Holz in seinen unterschiedlichen Zuständen findet bei temporären Installationen wie beispielsweise Messen, bevorzugt Einsatz. Entweder gestalterisch aktiv oder als Unterkonstruktion – in jedem Fall aber sehr leistungsfähig, warum?

2 Holz als recycelbarer, nachwachsender Baustoff

Holz ist ein recycelbarer nachwachsender Baustoff und damit ökologisch zunächst unkritisch. So lässt sich manch ein extremer Einsatz auch rechtfertigen: eine Messe von z.T. erheblicher Größe – der Messestand eines renommierten Zustellers im Rahmen der Automobilausstellung in Frankfurt hat 15.000 m² Fläche auf bis zu vier Ebenen. Holz und Holzwerkstoffe werden bis zu 5x verwendet ohne Berücksichtigung der technologischen Verarbeitungsprozesse, die danach kommen. Die Formate werden immer wieder neu zugeschnitten und erst am Ende wird das Material geschreddert und oft in firmeneigene Feuerungsanlagen zum Heizen der Räume verwendet. Die Heizsysteme sind inzwischen so weit, dass in Kombination mit dem Holz verwendete Materialien (PVC oder sonstige Beschichtungen) ohne Probleme für die Umwelt weiterverarbeitet werden können. Gelegentlich sind einzelne Bauteile für Wand, Boden und Decken genormt, ohne dass man direkt und gestalterisch ablesbar von modularen Systemen reden muss. So entsteht die Möglichkeit der unmerklichen Wiederverwendung von Unterkonstruktionen aufgrund von ähnlichen geometrischen Verhältnissen (Abb.8 - 10).

3 Holz als idealer Baustoff für den temporären Einsatz

Holz ist im Gewicht leicht, schnell bearbeitbar hat aber dennoch ausreichende physikalische Eigenschaften wie beispielsweise Tragfähigkeit und Abriebfestigkeit. Dies hat erhebliche Vorteile in der Bearbeitung von typischen Messeprojekten:

Eine Messe als temporärer Raum hat, wie der Name schon sagt, nicht nur eine beschränkte Dauer der Nutzung (zwischen 3 und 14 Tagen) sondern auch eine beschränkte Aufbauzeit. Dies liegt an dem dicht gedrängten Kalender der Veranstalter, die möglichst viele Messen hintereinander in den Hallen stattfinden lassen wollen. Man muss also in kürzester Zeit möglichst meist anspruchsvolle Projekte umsetzen. Dazu ist eine max. Vorfertigung notwendig, d.h. auch, dass max. große Bauteile vor Ort montiert werden müssen. Vor diesem Hintergrund ist ein geringes Gewicht und eine leichte Addierbarkeit von erheblichem Vorteil. Das Material ist änderungsfreundlich, d.h., es können Korrekturen und Veränderungen noch vor Ort und ohne einschränkende Bedingungen umgesetzt werden. Auch das entspricht in hohem Maße einer für den Messebau notwendige Eigenschaft. Die vorbereiteten Planungen können nicht alle Details vor Ort berücksichtigen. Manch eine Situation muss „ange-

passt“ werden. Aufwand der Planung und Ergebnis müssen in einem vernünftigen Verhältnis bleiben (Abb. 11, 12).

Der Baustoff hat, wie gesagt, eine ausreichende Festigkeit und gleichzeitig eine gute Handhabbarkeit. So lassen sich filigrane Konstruktionen erstellen, welche dennoch eine für die Verwendung ausreichende Stabilität erhalten. Die Lamellenkonstruktionen sind aus strukturierten Holzbaustoffen, quasi wie ein Flugzeugflügel erstellt und mit dem so erzielten geringen Gewicht von den Hallendecken abgehängt. So entsteht ein stützenfreier, aber dennoch räumlich gefasster Messestand (Abb.13, 14).

4 Holz in seinen visuellen und haptischen Qualitäten

Holz hat nicht nur optimale Eigenschaften. Bei temporären Projekten, vorzugsweise in Messehallen, werden jedoch ausschließlich die positiven Eigenschaften des Holzes abgerufen. Oder anders herum, es ist nicht der Witterung, der Jahreszeiten und der wechselnden Temperaturen ausgesetzt. Dies kommt den Oberflächen, vor allem aber den Führungspunkten zu gute. Die Benutzung der Flächen und Oberflächen ist definiert, funktional und zeitlich. So kann Holz seine positiven Eigenschaften ausspielen: eine freundliche, atmosphärische Oberfläche, gelegentlich scheinbar weich mit guten haptischen Eigenschaften, ein warmer und freundlicher Grundton prägt das Bild im Sinne von Wärme und Gemütlichkeit aber auch Wertigkeit und Qualität (Abb.15 - 18).

Holz in seinen unterschiedlichen Zuständen

Abb. 1,2: Baumstämme, Messe Tokyo 1997:
Vielzählige Baumstämme schaffen ein besonderes und verblüffendes Bild und ziehen die Aufmerksamkeit und die Besucher in der unruhigen und großen Messehalle auf sich: Sie dienen zur räumlichen Gliederung, zur Wegeführung, zur Markierung, zur Raumbegrenzung und zur Identitätsbildung. Angeordnet sind sie auf einer großzügigen, geneigten Fläche.

Abb. 3, 4: Spanplatte, IAA Nutzfahrzeuge Hannover 1998:
Leicht verarbeitbare und großflächig verlegbare Spanplatten, bilden die Oberflächen für diesen Messeauftritt. Bis vor die Messehalle hinaus signalisieren und zonieren signethafte Bäume im Außenbereich aus Vollholz und im Innenbereich aus Wellpappe.

Abb. 5: Spanplatte, AAA Berlin 1996:
Eine Arena aus Spanplatten bildete den neutralen Hintergrund für tausende bunter Stühle. Die Besucher hatten die Möglichkeit als Tausch für einen alten, ausgedienten Stuhl, eine Eintrittskarte zu erhalten. Die Stühle wurden vor dem Brandenburger Tor gesammelt und aufgestellt. In der Messe wurden Sie als Teil des Messestandes integriert.

Abb. 6,7: Wellpappe, Autowelt Paris 1994:
Hunderte Kubikmeter Wellpappe bilden die Standfläche für einen außergewöhnlichen Messeauftritt. Das Material ist über die überraschende Wirkung hinaus auch ungewöhnlich tragfähig. Bis ins Detail brachte der Umgang mit dem besonderen Baustoff interessante Ergebnisse und überraschende Wirkungen.

Holz als recycelbarer, nachwachsender Baustoff

Abb. 8: Aufbau: Unterkonstruktion, IAA Festhalle Frankfurt:
Auch unter der Oberfläche wird Holz umfangreich und kunstvoll verarbeitet. Die Holzzuschnitte sind meist durch Erfahrungswerte normiert und können deshalb bei weiteren Messen ohne Probleme eingesetzt werden. Auch besondere Formen sind mit Holz kein Problem.

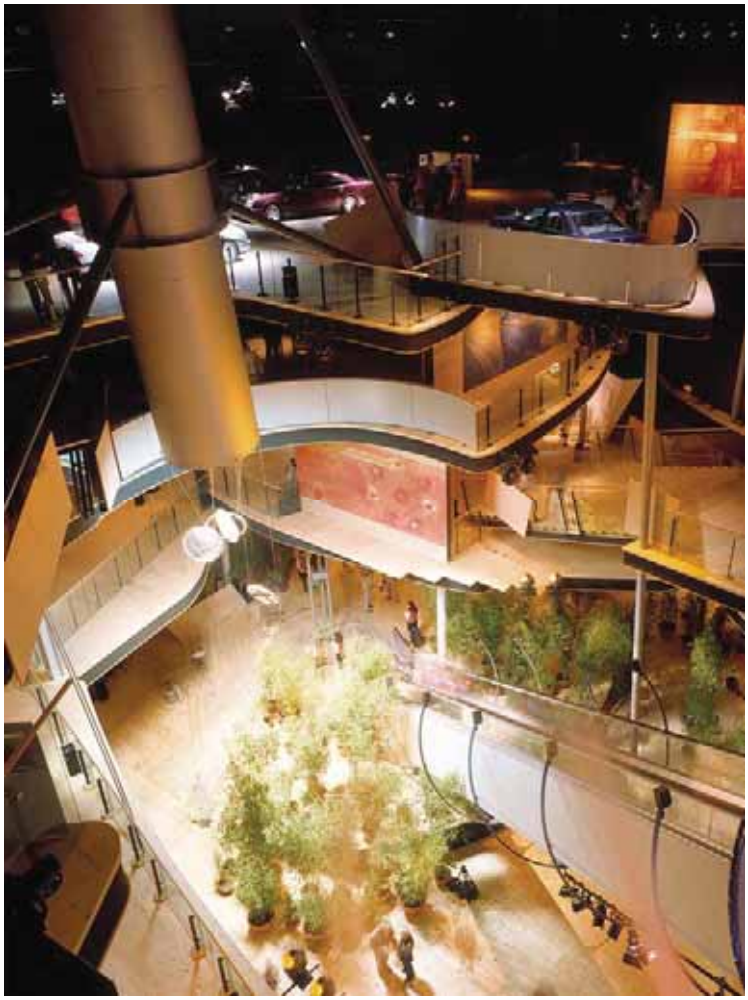


Abb. 9,10 (r. S.): Aufbaubild und fertige Messe, IAA Festhalle Frankfurt 1995:
Die hölzernen Flächen der unterschiedlichen Ebenen dominieren das gesamte Erscheinungsbild. Es entsteht der Eindruck einer großen temporären Werkstatt als homogenes Erscheinungsbild und Hintergrund im Kotrast zu einer glänzenden und detailgenauen Automobilwelt. Die Unterkonstruktion aus Stahl, die die mehrstöckige Struktur trägt gerät in den Hintergrund. Als Attraktionen werden eine Lichtröhre und eine Rolltreppe inszeniert.

Holz als idealer Baustoff für den temporären Einsatz

Abb. 11, 12: Formen und Zuschnitte, Autosalon Genf 2005:
Der Besucher bewegt sich durch eine Biomasseskulptur hindurch: Parallele Scheiben aus rohem Holzwerkstoff über die gesamte Standfläche verteilt bilden die Biomasse ab. Auf den begehbaren Bereichen sind die Streifen lediglich Bodenintarsien. In der Standmitte werden die Scheiben zum skulpturalen Element. Kommunikationspunkte und die Theke können über diese Struktur gebildet werden. Über dem gesamten Bereichen ist die so entstehende Figur symbolhaft weithin sichtbar als weißes Lichtbild auch in der Hallendecke abgebildet.

Abb. 13,14: Lamelle, Autowelt Paris 2004:
Eine schwebende horizontale Lamellenstruktur (sechs Lamellen, 90 cm tief, 10 cm dick, 40 cm Abstand) erzeugen eine halbtransparente Umfassung: die Blicke von Innen nach Außen werden ebenso gefiltert, wie die Blicke von Außen nach Innen. Je näher man dem Lamellenvorhang kommt, je blickdichter wird er, dennoch ist der Stand ringsum laufend geöffnet und einladend. Im Zusammenspiel mit den dreieckförmigen metallischen Volumen, die Büro-, Lager- und Restaurantfunktionen aufnehmen, entsteht ein räumlich schlüssiges und aufgeräumtes zeichenhaftes Bild nach außen.

Holz in seinen visuellen und haptischen Qualitäten

Abb. 15, 16: Bambusstämme, Auto China 2006:
Die Inszenierung mit Bambusstämmen unterschiedlicher Größe schafft Atmosphäre und die individuelle Aussage, sozusagen den lokalen Bezug zum Ort. In die Rückwand eingefügt sind schaufensterartige, mit warmem Holz ausgeschlagene Vitrinen, in denen die Themen bzw. Exponate wirkungsvoll platziert werden. Die Ausstellungsfläche bleibt frei und die Infrastruktur mit Restaurant, Büro, VIP-Bereich, etc. befindet sich hinter der Rückwand und ist für die Öffentlichkeit nur kontrolliert zugänglich.

Abb. 17, 18: Unterschiedliche Räume, IAA Festhalle Frankfurt 2003:
Hinter einer medial bespielten Lamellenstruktur erkunden die Besucher im Weg durch die Ausstellung unterschiedliche Themenräume der Markenwelt. Jede Baureihe wird in einer von der Positionierung hergeleiteten Raumatmosphäre präsentiert. Der Besucher erlebt jede Baureihe in einem anderen Licht und das Portfolio insgesamt in seiner im Wettbewerb einmaligen Vielfalt. Holz als wertige Oberfläche spiegelt hier Qualität wieder und bildet einen besonderen Hintergrund.

14.1 Besondere Gebäudekonzepte
Hochhäuser aus Holz

Hermann Blumer

1 Einleitung

Ein Hochhaus mit 40 Geschossen und damit etwa 120 m hoch in Holz zu bauen, führt bei vielen Menschen intuitiv zu einem ungläubigen Kopfschütteln. Sie können sich das nicht vorstellen und glauben nicht, dass der Baustoff Holz dazu die Festigkeit hat. Außerdem taucht immer wieder die Frage auf, ob diese Bauten dem Feuer ausreichend Widerstand leisten können. Dessen ungeachtet wachsen Mammutbäume im Westen von Amerika bis in Höhen von 120 m. Diese Riesen erreichen zudem ein Alter von 3000 Jahren. Doch wie schaffen es diese Bäume, Stürmen, Waldbränden, Erdbeben, Trockenzeiten und anderem mehr zu trotzen? Wie schaffen es diese Riesen zudem, ihre Nadeln in der Baumspitze mit Nährstoffen aus dem Erdreich zu versorgen? Die Natur vollbringt solche Wunder– die Menschen zögern. Die Schriftstellerin Tanja Grassecker brachte es auf den Punkt: „Manchmal sieht man vor Zweifel und Kleinmut die Chancen nicht, die einem entgehen, wenn man das Wagnis nicht imstande ist einzugehen."

2 Grenzen der Rechtsprechung

Was bedeutet „Hochhaus aus Holz" ganz genau? Wie hoch lässt sich solch ein Gebäude errichten, wie viele Geschosse soll es aufweisen und wie steht es mit der Standfestigkeit sowie der Brand- und Erdbebensicherheit?

In der Schweiz und in Deutschland beginnt die Hochhausgrenze ab 22 m Höhe. Gemeint sind Bauten, die nach der Baugesetzgebung als Hochhaus gelten oder deren oberstes Geschoss mehr als 22 m über dem der Feuerwehr dienenden angrenzenden Terrain liegt bzw. mehr als 25 m Traufhöhe aufweisen. Diese Festlegungen stammen von der Vereinigung Kantonaler Feuerversicherer.

Die allgemeinen Anforderungen für die Schweiz lauten:

- Brennbare Baustoffe sind in Hochhäusern nur beschränkt zulässig (z.B. Wand- und Deckenverkleidungen in Einzelräumen, Bodenbeläge in Räumen und Korridoren, Rohrleitungen und -isolationen in feuerwiderstandsfähige Schächten).
- Tragwerke von Hochhäusern sind mit einem Feuerwiderstand von R 90 (nbb) zu erstellen.
- In Hochhäusern sind die erforderlichen Treppenanlagen als Sicherheitstreppenhäuser mit einem Feuerwiderstand von REI 90 (nbb) zu erstellen.

Der Zusatz „nbb" bedeutet nicht brennbar. Damit scheidet Holz eigentlich klar aus.

Abb. 1: Mammutbäume wachsen bis zu 120 m hoch. Warum sollten nicht auch Hochhäuser aus Holz diese Höhen erklimmen können?

3 Sonderschau „Dock Tower“ wirft Fragen auf

Bereits vor fünf Jahren diskutierte das internationale Publikum das Thema auf der Swissbau. Hier zog die Sonderschau „Dock Tower“ die Besucher in ihren Bann. Mit den visionären Hochhäusern aus Holz, Kunststoff und Massivbau zeigten die Veranstalter, wie innovatives Bauen der Zukunft aussehen könnte. Zu sehen gab es auch einen 40-geschossigen Holz-Wolkenkratzer, ein Projekt der ETH Zürich sowie der Schweizer Holzbauindustrie.

Im Vorfeld zu dieser Ausstellung meldete sich Prof. Dr. Mario Fontana, Professor für Baustatik und Konstruktion – Stahl-, Holz und Verbundbau – an der ETH Zürich zu Wort: Er schrieb: „Der Bau eines 120 m hohen Hochhauses aus Holz erscheint zunächst als eine etwas absurde Idee der Initiatoren der Swissbau-Sonderschau. Holzhäuser dürfen nach den heute gültigen Brandschutzvorschriften mit maximal zwei Geschossen gebaut werden, in Gebieten mit traditioneller Holzbauweise bis viergeschossig und im Kanton Aargau auch etwas höher. Mit der Revision der VKF-Brandschutzvorschriften sollen dann ab etwa 2003 auch in den übrigen Kantonen Gebäude mittlerer Höhe für Wohn-, Dienstleistungsgebäude und Schulen in Holzbauweise möglich sein. Und nun ein 120 m hohes Hochhaus! Mit welchen Konzepten und Strategien kann man ein solches Gebäude sicher und trotzdem wirtschaftlich bauen? Am vielversprechendsten erscheint die Option eines Tragwerkes in Mischbauweise. Die Kernbereiche aus Beton und Stahl, die Wohnbereiche aus Holz, Holzwerkstoffen und Verbundbauteilen. Dieser Ansatz entspricht auch der Strategie des Instituts für Baustatik und Konstruktion der ETH Zürich, welches sich dem materialübergreifenden Entwerfen und Konstruieren von Tragwerken verpflichtet hat, mit dem Ziel, ökologisch, ressourcensparend, dauerhaft und wirtschaftlich zu bauen. Holz ist zudem ein einheimischer, nachwachsender Baustoff, der in unseren Wäldern im Überfluss vorhanden ist und besser genutzt werden sollte. Mehrgeschossiges Bauen mit Holz ist für Hochhäuser noch eine Vision, für mittlere Höhen aber bereits ein Trend, der förderungswürdig ist.“

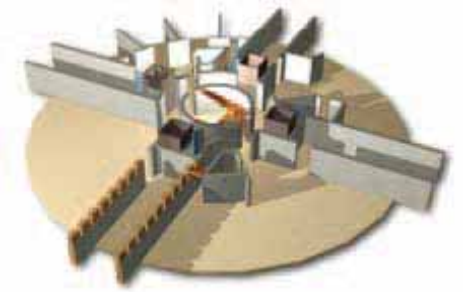


Abb. 2: Grundriss im Dock Tower mit vier Brandabschnitten pro Geschoss und dem inneren massiven Treppenhauskern

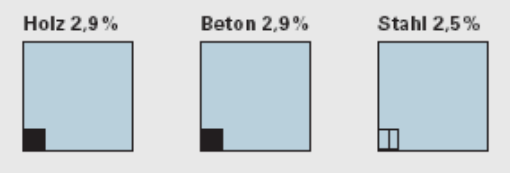


Abb. 3: Vergleich des Aufstandsflächenanteils im Erdgeschoss bei einem 120 m hohen Haus für verschiedene Baustoffen

4 Faszination Hochhausbau

Seit 2004 erlauben die Schweizer Baugesetze die Errichtung von 6-geschossigen Bauwerken aus Holz.

Abb. 4: „Dock Tower“: Das Projekt sorgte 2002 auf der Swissbau für viel Aufsehen. Es gab Entwürfe aus Kunststoff, massiven Baustoffen und aus Holz zu sehen (rechts)

Wo aber liegt das Potenzial des Werkstoffes Holz wirklich? Die Meinung des Schweizer Architekten Heinrich Degelo anlässlich einer ETH- Tagung aus dem Jahr 2002 gibt Hoffnung: „Hochhäuser faszinieren viele Menschen, sind Wahrzeichen einer Stadt und zeugen von der Leistungsfähigkeit der Unternehmen und der Innovation der Kreateure. Wenn es gelingt, ein Hochhaus in Holz zu ökonomisch vergleichbaren Bedingungen zu erstellen, übertragen sich diese positiven Eigenschaften auf den Werkstoff Holz. Es kann außerdem ohne ideologische Reden aufgezeigt werden, was Holz leisten kann. Die Brennbarkeit, die das Material aus vielen Bereichen verdrängt hat, kann heute mit technischen Maßnahmen wettgemacht werden. Zu Unrecht haftet der „Makel“ dem Holz immer noch an, auch wenn heute in Europa Wohnbauten bis 6- oder gar 10-geschossig in Holz gebaut werden.“

5 Holzbauten zeigen Größe

In der ganzen Welt gibt es genügend Beispiele für neue und historische Holzbauten, die in ihren Abmessungen ihresgleichen suchen:

- Sehr lange waren die höchsten Bauwerke aus Holz, wie auch der Turm der Peterskirche in Riga aus dem Jahre 1491 mit 136 m Höhe.
- Die Pagode im Tempel Kaiyuan bezeichneten die Chinesen als „Pagode Nr. 1“. Sie wurde im Jahr 1054 während der Song- Dynastie errichtet. Sie ist 83,7 m hoch und damit die höchste aus Holz gebaute Pagode.
- Der höchste je gebaute Holzturm stand im baden-württembergischen Mühlacker. 190 m hoch, diente er von seiner Fertigstellung 1934 bis zu seiner Zerstörung am 6. April 1945 als Sendeturm für die Mittelwellenfrequenzen.
- Der Jahrtausendturm in Magdeburg mit 60 m gilt als höchstes Holzgebäude der Welt mit einer Aussichtsplattform auf 43 m Höhe.

6 Baustoffe im Vergleich

Das Vordringen des Holzbaus in schwindelerregende Höhen entfesselt die Kreativität der Ingenieure. Sie ersinnen technische Lösungen mit der Ambition, den Architekten Freiräume zu erschaffen, ihre Visionen der materialgerechten Ausdrucksform realisieren zu können.

Der Werkstoff Holz besitzt den Vorteil, dass mit ihm wegweisende Leichtkonstruktionen entstehen können. Dazu gesellen sich Vorzüge der kurzen Bauzeit, die Überlegenheit des Trockenbaus, günstige Ökobilanzen bzw. Nachhaltigkeit werden erzielt und die Häuser lassen sich einfacher zurückbauen. Gefordert sind Stand und Brandsicherheit, Langlebigkeit, Energieeffizienz und hoher Lebenskomfort.

In Ingenieurkreisen ist bekannt, dass Holz im Verhältnis zum geringen Eigengewicht eine hohe Festigkeit aufweist. Für die Grundfläche einer Säule benötigt eine Holzkonstruktion keine größere Aufstandsfläche als eine Massivkonstruktion in Beton, in einer Stahlkonstruktion ergeben die Umrisse der unten ankommenden Stahlprofile eine nur wenig geringere Fläche (Abb. 3). Auch bei der Beanspruchung durch Erdbeben hat Holz mit seiner geringen Schwingungsmasse, den duktilen Verbindungsmittel und der großen Zähigkeit gute Karten.

7 Projektstudie Dock Tower

Der sogenannte „Dock Tower“ in Holz nahm noch nicht für sich in Anspruch, das Vollendete zu zeigen, sondern er war eine Metapher für die Vorstellung des „Wohnens mit dem effizienten Umgang begrenzter Landressourcen“. Man hegte noch nicht den Ehrgeiz der vollkommenen Architektur. Der Dock Tower in Holz sollte nicht in den Himmel wachsen oder protzen, etwa höher sein als die größten Bäume unserer Erde. Mit diesem Projekt wurde 2001 an der ETH eine Vision entwickelt, welche dazu beitrug, im mehrgeschossi-

gen Holzbau Systemlösungen anzudenken und Vorurteilen zu begegnen.

Das Brandschutzkonzept stand im Mittelpunkt aller Überlegungen, denn ein Hochhaus darf auch nach Stunden eines Flammenmeers noch nicht einstürzen.

In einem Hochhaus sehen die Ingenieure in der Regel neben den baulichen Vorkehrungen auch technische Maßnahmen vor, um ein hohes Brandsicherheitsniveau zu erreichen. Für die Sicherheit der Bewohner und der Feuerwehr ist der Einbau von redundanten (Anm. d. Red.: zusätzlichen) Systemen, welche beim Ausfall einer Maßnahme nicht zu einer Katastrophe führen, unabdingbar. Insbesondere sollte den Benutzern mehr als nur ein sicherer, rauchfreier Fluchtweg zur Verfügung stehen.

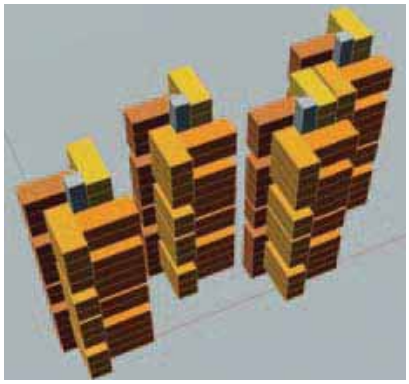


Abb. 5: Hochhaus als Hybrid: Ein Skelett aus Beton oder Stahl und den Ausfachungen mit vorfabrizierten Holzmodulen könnte das Konzept Wirklichkeit werden lassen

8 Brandschutz im Detail

Das Brandschutzkonzept des Dock Towers setzte auf eine primäre Brandabschnittsbildung durch den Betonkern und die auskragenden Betonplatten nach jeweils drei Geschossen. Jedes Geschoss wird zudem durch die vier äußeren Treppenhäuser, Lift und Steigzonen in vier Abschnitte geteilt.

Die dreigeschossigen Wohneinheiten sind geschossweise durch Holz-Beton-Verbunddecken und durch die Zimmerwände in sekundäre Brandabschnitte unterteilt. Die Lüftungen sind pro Wohnung mit Brandschutzklappen getrennt. Jede Wohnung verfügt über sichere direkte Zugänge zu mindestens zwei Sicherheitstreppenhäusern. Zusätzlich schützt jeden Turm eine Löschanlage. Um den Brandübergriff im Fassadenbereich zu verhindern, sind nach jedem dritten Geschoss auskragende Betondecken angeordnet und die Hinterlüftung ist geschossweise unterbrochen.

Mit den vorgesehenen Maßnahmen erreicht das Hochhaus aus Holz ein Brandsicherheitsniveau, das über dem Standard liegt. Der Schlüssel beim mehrgeschossigen Bauen liegt also im Brandschutz: Mit der Entwicklung einer adäquaten Löschtechnik könnte sich Ingenieure, Architekten und Handwerker den Weg zu mehr Holz am Bau erschließen.

Die Ausführungen der JOMOS Brandschutz GmbH, Sissach CH, deuten an, wie die Brandschutzmaßnahmen beim Dock Tower in der Praxis ausgeführt werden könnten. Bei einem hohen Haus aus Holz müssen sich die Planer auf folgende drei Punkte konzentrieren:

- Verhinderung der Hitzeentwicklung
- sichere Fluchtwege
- Redundanzen (zusätzliche Sicherheitssysteme)

Ein Brand muss bereits in der Entstehungsphase, also innerhalb weniger Minuten, gelöscht oder eingedämmt werden. Die Flucht und Rettungswege müssen möglichst rauchfrei und eindeutig gekennzeichnet und beleuchtet sein.

Abb. 6: Aufbruch in luftige Höhen. Mit ihrem ersten Sechsgeschosser in Holz setzten die Schweizer im vergangenen Jahr Maßstäbe

9 Wege zum Holzhochhaus

Im November 2002 veranstaltete die ETH Zürich eine Tagung, bei der namhafte Architekten ihre Vorstellungen über das Bauen von Hochhäusern in Holz präsentieren konnten. Die Projekte konnten unterschiedlicher nicht sein.

Die Entwürfe zeigten sehr kreative Ansätze für das Bauen mit Holz im Hochhausbereich. Neben den Strukturstudien für Holzbauten der MDRVD-Architekten mit unterschiedlichen Holzarten zur Abtragung der Kräfte beeindruckte auch der Entwurf von Heinrich Degelo. Dieser hatte ein Hochhaus mit 200 m Höhe entworfen. Die Studie basiert auf kompletter Energieautarkie. Im Innern sind wie bei einem Termitenbau Lüftungskamine zur Kühlung vorgesehen.

Nach Ansicht des Autors liegt der erste Schritt zum Hochhaus in Holz in der hybriden Bauweise. Das Gebäude besteht dabei aus zweierlei Baustoffen, um erweiterte Funktionalitäten zu schaffen.

Im Bausektor sind hybride Konstruktionen alltäglich. Das Fenster ist eine Kombination aus opakem Rahmen und transparentem Glas. Die unterschiedlichsten Systemleistungen im Bereich Standfestigkeit, Brandsicherheit, Behaglichkeit und Ökologie verlangen geradezu nach Baustoffallianzen. Der „hybride“ Denkansatz kann dabei helfen, mit dem Holz im Hochhausbau Fuß zu fassen. So würden sich massive Stahl- oder Betonskelette für den Bau von Treppenhäusern und Schächten eignen. Die eigentlichen Wohnbereiche könnten komplett aus Holz erstellt werden.

aus Mikado 7/2007, S. 16-19

14.2 Bauen im Bestand
Bauen in der Stadt

Anja Niemeier, Ludger Dederich

Bauland ist teuer. Nicht nur in Ballungszentren ist der Wohnraum knapp. Das macht das Bauen kostenträchtig und hindert Bauwillige an der Realisierung ihrer Vorhaben. Die beinahe schon klassische Vorgehensweise, Dachgeschosse auszubauen, ist nur noch bedingt umsetzbar.

Abb. 1: Gelungener Dachgeschossausbau in Sankt Augustin [Foto: Holzabsatzfonds]

1 Trend der Studie

Die Nachverdichtung von bestehenden Rest-, Brach- und Dachflächen sowie die Umnutzung von ehemals industriell-gewerblich oder militärisch genutzten Flächen bieten ausreichend Optionen für erweiterte oder neue Nutzungskonzepte.

Konzepte, die darauf abzielen, die Stadtränder und Speckgürtel von Großstädten weiter auszufransen, haben ausgedient: Den damit verbundenen Flächenverbrauch und die bezogen auf die generierte Gebäudenutzfläche unverhältnismäßigen Aufwendungen zur Gewährleistung der Ver- und Entsorgungsinfrastruktur können wir uns nicht mehr leisten: Im Vergleich zu einer Wohneinheit mit ca. 120 m² ist der Grundstücksbedarf für ein freistehendes Einfamilienhaus durchschnittlich dreimal so groß.

Zudem fordert derartiges Siedeln ein hohes Maß an Mobilität, die immer teurer wird. Hinzu kommt, dass die in der jüngeren Vergangenheit ausgewiesenen Neubaugebiete sich nur langsam – wenn überhaupt – füllen lassen [1].

Im Hinblick auf zukunftsfähige Konzepte stellen Baulücken, die in den Ballungszentren zahlreich vertreten sind, eine Herausforderung der besonderen Art dar: ein- oder zweigeschossige Gebäude, die als Provisorien auf den Grundstücken kriegsbedingter Baulücken errichtet wurden. Und doch sind diese Bauten in den Innenstadtzonen nicht auf den ersten Blick wahrnehmbar, da die ablenkenden, die Perspektive des Passanten unten haltenden visuellen Eindrücke zu vielfältig sind, als dass der Blick über das Erdgeschoss hinaus weiter nach oben schweifen würde.

Häufig sind diese Bauten durch die in den Jahren nach 1945 unzureichende Bauqualität geprägt. Sie lassen schwergewichtige Ergänzungen zur z.B. höhenmäßigen Anpassung an die Nachbarbebauung nicht zu. Bei einer eventuellen Schließung solcher Lücken kommen nur leichte Konstruktionen in Betracht.

Abb. 2: Lücke geschlossen: Wohn- und Geschäftshaus in Berlin [Foto: Holzabsatzfonds]

2 Trendzonen statt Schmuddelkinder

Fast könnte man meinen, dass der vorrangige Mehrnutzen aus Maßnahmen der Nachverdichtung ausschließlich ein optischer ist: Bei vertikaler Nachverdichtung auf den Bestandsgebäuden bleiben die Flächen zwischen den Bauten, die in der Regel Grünzonen sind, unverbaut. Werden in „gewachsenen" Siedlungsgebieten rückwärtige Flächen erschlossen, so bleibt das oft als angenehm wahrgenommene Quartiersbild erhalten. Das Füllen von Baulücken sorgt für geschlossene Straßenzüge und wertet das Erscheinungsbild auf. Faktisch sind die Auswirkungen eines intakten oder vollständigen „Quartierbildes" nicht zu unterschätzen: Aus Schmuddelkindern werden Trendzonen wie im Düsseldorfer Medienhafen oder am Prenzlauer Berg in Berlin.

Abb. 3: Oft gesehene innerstädtische Situation: Mehr Lücke als Bebauung

3 Aufstockung macht attraktiv

Die den Städtebau der 1950er bis 1970er Jahre prägenden flach gedeckten Gebäude bieten sich zur Aufstockung an. Ungeachtet der städtebaulichen Qualität tragen die Maßnahmen dazu bei, Gebäude jener Zeit – ob es sich nun um Wohnungsbauten oder gewerblich genutzte Immobilien handelt – wieder dem Immobilienmarkt zuzuführen.

Abb. 4: „Klassische" Aufstockung der Erlanger Siemenssiedlung [Foto: Holzabsatzfonds]

4 Das Zeitlose der Baugeschichte

Gefordert ist die Besinnung auf Wissen und Konzepte der Vorfahren, die gezwungen waren, unmittelbar den regionalen Besonderheiten Rechnung zu tragen. Die waren und sind topographisch oder klimatisch bedingt oder der Verfügbarkeit bestimmter Rohstoffe geschuldet. Sicherlich, der globale Handel von Waren und Dienstleistungen ist nicht mehr aufzulösen. Doch sind die Voraussetzungen für das alltägliche Tun an keinem Ort der Welt mit denen an einem zweiten identisch. Also muss gelten, aus zeitgemäßen Konzeptionen heraus im Umgang mit überliefertem Wissen, spezifische mikrokosmische Lösungen zu finden.

5 Nachhaltige Glaubwürdigkeit

Nicht das scheinbare Idyll der mittelalterlichen Stadt darf Ziel sein, sondern eine klar definierte Herangehensweise, die glaubwürdig nachhaltiges Bauen spiegelt: Schonender Umgang mit endli-

chen Ressourcen und verstärkte Nutzung erneuerbarer Ressourcen.

Je mehr die Globalisierung und das Vernetzsein Einzug in das tägliche Leben nehmen, umso mehr orientiert sich der Mensch an Lösungen auf Basis der Traditionen vor Ort. Nichts anderes waren in ihrer Zeit die Fachwerkhäuser Mitteleuropas: Sie wurden entwickelt als zeitgemäße Antwort auf die Frage „Wie sollen wir zukünftig bauen?“ Aus einer nicht weniger unbewusst-konsequent morphologischen Herangehensweise hat sich die Nutzungsform des mittelalterlichen Handelshauses entwickelt: Im Erdgeschoss wechselte Ware ihren Besitzer, im Geschoss darüber wurde verwaltet und unter dem Dachgeschoss wohnte der Kaufmann mit seiner Familie [2].

Abb. 5: Hanseatisches Handelshaus mit traditioneller Nutzungsstaffelung: Ladenlokal im Erdgeschoss, darüber Büroflächen, im Obergeschoss Wohnfläche

6 Wohnsiedlung auf dem Dach

Nicht zuletzt lassen sich in diesem Sinne Großbauten monofunktionaler Ausrichtung nutzen, die in den Jahren nach 1945 errichtet wurden und das Bild der Innenstädte prägen. Konzeptionell beispielhaft sei hier auf das Projekt „Klara Zenit“ hingewiesen: Während einer Umstrukturierung eines Viertels in der City von Stockholm wurde ein ehemaliges Postbank-Gebäude, das einen ganzen Block einnimmt, unter Beibehaltung seiner Kubatur aufgewertet. Im Zuge des Umbaus wurde die in historischen Stadthäusern übliche vertikale Funktionsstruktur in zeitgemäßer Interpretation wieder hergestellt: Im Erdgeschoss befinden sich Ladenlokale für den Einzelhandel, darüber sind Büroflächen für Dienstleistungen eingerichtet und oben auf den Bestand planten die Architekten eine Wohnsiedlung in Holzbauweise mit einem Netz von Gassen, mit halbprivaten Höfen und Straßenbeleuchtung – eine eigenständige Quartierstruktur auf der zweiten Ebene in hochverdichteter Innenstadtlage.

Abb. 6: Klara Zenit in Stockholm: Wohnen auf zweiter Ebene in der City
[Foto: Skogs-Industrierna]

7 Maßstab Mensch

Die Anforderung an Akteure und Entscheidungsträger von heute und morgen hat Alexander Mitscherlich bereits Mitte der 1960er Jahre formuliert: „Nichts anderes als ein in Städten geschultes Bewusstsein hat die technische Welt hervorgebracht – und diese technische Welt verlangt nun ihrerseits hohes Bewusstsein als Integrationsleistung." [3]

Die physikalischen Zusammenhänge sind unverändert gültig und werden es bleiben. Dampfdichte Baustoffe hingegen sind Produkte der jüngeren Vergangenheit. Sie bedingen unangenehme Nebenerscheinungen und den Einsatz hochkomplexer technischer Installationen, um fundamentale Lebensbedingungen, also thermische Behaglichkeit und hygienische Innenraumluft, gewährleisten zu können. Fachwerkhäusern des Mittelalters waren solche Anlagen fremd: Die Bauteile gewährleisteten auf der Basis einer Gemengelage von Diffusion und Konvektion die Bedingungen immerhin ansatzweise. Heutzutage wird in der Regel auf Konvektion allein gesetzt – und das maschinengestützt.

Vor allem stellt sich die entsprechende Architektur in all ihrer Individualität nicht marktschreierisch dar, sondern zeigt sich alltagstauglich. Der Maßstab der umgesetzten Struktur ist entscheidend. Und Maßstab kann nur der Mensch an sich sein! [4]

Wenn zukunftsfähiges Bauen nachhaltig sein soll, dann sind die Menschheit und die Bauleute gefordert, über den Schatten des uneingeschränkten Fortschrittsglaubens zu springen. Es gilt da anzuknüpfen, wo die Generation der Großeltern unserer Großeltern gestanden hat. Unerlässlich ist die Reflexion darüber, was sich seitdem zugetragen hat und als eindeutige Fehlentwicklung identifiziert werden kann. Für die anstehenden Herausforderungen hat der Holzbau Lösungen anzubieten und auch schon umgesetzt, die konzeptionell wie technisch zukunftsfähig sind. Der Holzbau ist die einzige Konstante, die es bereits vor der industriellen Revolution gegeben hat, und der auch das postindustrielle Bauen und Leben prägen wird.

Quellen

[1] Neppl, M., Die Zukunft der Stadt, Tagungsband 13. IHF 2007, Biel
[2] Oliver, P., Dwellings – The Vernacular House World Wide, London, New York 2003
[3] Mitscherlich, A., Die Unwirtlichkeit unserer Städte, Frankfurt 1965
[4] Matzig, G., Die Dinosaurier sind unter uns, in: Süddeutsche Zeitung, 6. Nov. 2008, München

aus: mikado 5 / 2009, S. 24 ff

14.2 Bauen im Bestand
Dachaufstockungen

Joachim Seinecke

1 Von der schlichten „Fordsiedlung“ der 50er Jahre zur innovativen „Solarsiedlung“ des 21sten Jahrhunderts

Die „Fordsiedlung der LEG“ ist eine von vielen Siedlungen aus den 50er Jahren, schnell gebaut, und das oft in Schlichtbauweise, Sie schufen in den frühen 50er Jahren in kurzer Zeit den notwendigen Wohnraum für viele Menschen. Ein Haustyp, wie er in vielen deutschen Städten zu finden ist.

Diese Siedlung, mit 11 Wohnblöcken, steht in Köln-Niehl, in der Nähe der Ford-Werke. 14.210 m² Wohnfläche verteilen sich auf 310 Wohnungen mit überwiegend sehr kleinen Grundrissen, ein Wohnkomfort, der unseren heutigen Ansprüchen nicht mehr genügt. Bedingt durch die Schlichtbauweise und die fehlende Wärmedämmung, besteht ein sehr hohe Heizwärmebedarf von 246 kWh/(m²a).

Hieran wird bildhaft deutlich, warum 40 % des Energieverbrauchs zur Beheizung der Gebäude benötigt wird. Ebenso deutlich wird auch, dass die Energieeinspar- und CO_2-Minderungsziele im Wesentlichen im Bestand erreicht werden können.

So schlicht die Wohnbauten sind, so hoch die Nebenkosten aufgrund des hohen Heizwärmebedarfs auch ausfallen, die Infrastruktur (Verkehr, Schulen, Einkaufsmöglichkeiten) ist hervorragend, das Umfeld begrünt mit einem hohen Freiflächenanteil. Dies motivierte die Eigentümerin, die LEG, sowohl die Bestandsbauten zu modernisieren und energetisch zu sanieren, neue Grundrissaufteilungen zu schaffen und gleichzeitig die Bestandsfläche aufzustocken.

Die Neuaufteilung der Wohnungen schuf einen neuen, vielfältigen Wohnungsmix (264 WE, 14.712 m² Wohnfläche). 81 Wohnungen mit 6.354 m² Wohnfläche kommen im Bereich der Aufstockung hinzu, so dass insgesamt den Mietern ein vielfältiges Wohnungsangebot zur Verfügung steht.

Abb. 1: Teilansicht Königsberger Strasse

Die Energieeinsparziele werden definiert über das Programm „50 Solarsiedlungen NRW“ und die KfW-Programme „Ökologisch Bauen, Energiesparhaus 40“ für den Bereich der Aufstockung. Für den Bestand greift das Programm „CO_2-Gebäudesanierungsprogramm, Kategorie A, Neubau- Niveau minus 30 %“.

Gerade das Solarsiedlungsprogramm verbindet die Themen Energieeffizienz und den Einsatz erneuerbarer Energien ideal. Das Energieangebot der Sonne gilt es passiv und aktiv zu nutzen. Um den solaren Deckungsgrad (nutzbarer solarer Zugewinn im Verhältnis zum Jahresheizwärmebedarf möglichst hoch zu gestalten, gibt es zwei Möglichkeiten:

Ausrichtung und Optimierung der Gebäude und Fenster und deutliche Reduzierung des Heizwärmebedarfs. Ersteres war im Bestand nur begrenzt möglich, folglich wurde um so mehr durch Wärmedämmung und den Einbau von Lüftungsanlagen der Heizwärmebedarf reduziert.

Abb. 2: Isometrie von Süden

Für die aktive Nutzung musste planerisch ein anderer Weg gegangen werden. Bei den rein Nord-Süd ausgerichteten Gebäuden waren 1.000 m² Solarthermie-Anlage nicht wirksam auf den Dachflächen unterzubringen. Die Lösung: die Kopfbauten erhielten ein südorientiertes Pultdach zur Aufnahme der Solarthermie-Anlage.

Um den 3-Liter-Haus Standard (Berechnung nach dem Passivhausleitfaden) zu erreichen, erhielt die Aufstockung eine Gebäudehülle aus Holztafelbauelementen in Passivhausbauweise. Ausgenommen davon sind die Fenster. Alle Bauteilübergänge im Bereich der Aufstockung sind wärmebrückenfrei.

Mit der Holztafelbauweise ist es recht unkompliziert, wärmebrückenfrei zu bauen. Im Bestand ist diese Aufgabe nicht so einfach zu lösen. Alle Bauteilübergänge wurden erfasst und berechnet, um den Wärmebrückeneffekt deutlich zu reduzieren. Ziel ist es, nicht nur den Wärmeabfluss zu reduzieren - die Einhaltung des Schimmelpilzkriteriums zur Sicherstellung des hygienischen Komforts hat ebenso einen sehr hohen Stellenwert.

Um die Wärmebrückenvermeidung auch praktisch umzusetzen, wurden zahlreiche Leitdetails mit klaren Vorgaben für das Handwerk entwickelt. Letzteres ist im Bereich der Luftdichtheit der Gebäudehülle besonders wichtig. Im Bestand wurden die Häuser vor den Sanierungsmaßnahmen überprüft, um die altbauspezifischen Schwachstellen zu erkennen.

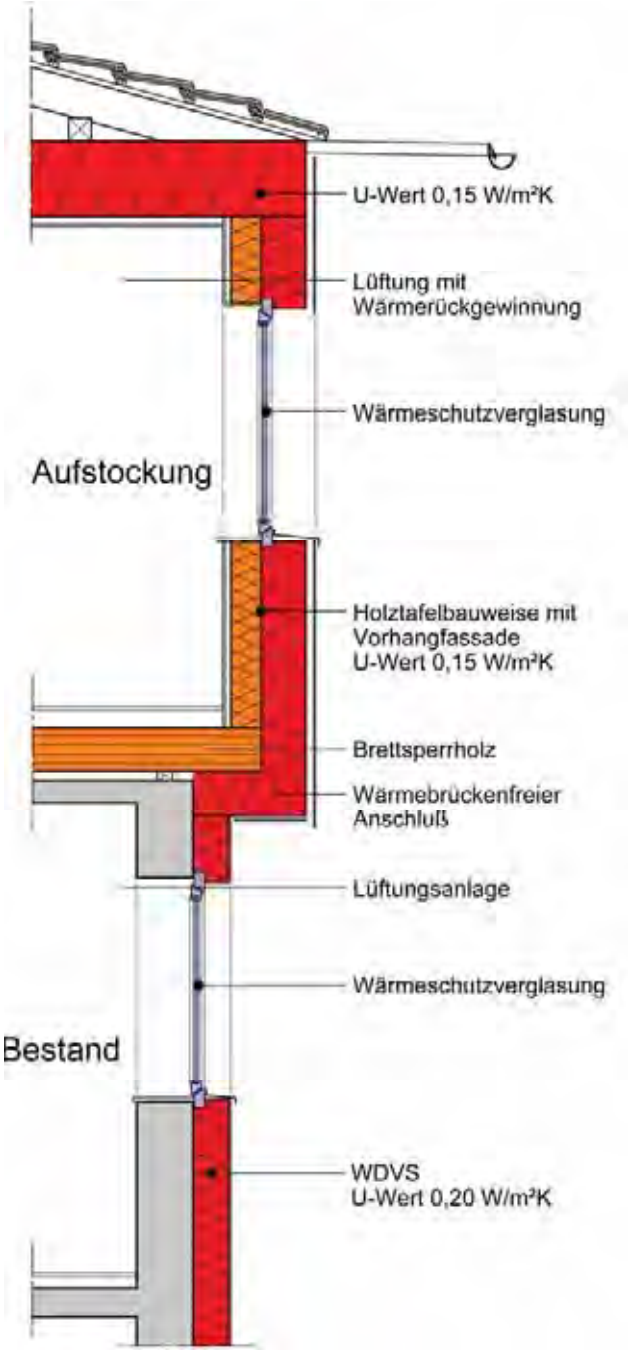


Abb. 3: Fassadenschnitt

Die Umsetzung bedarf der guten handwerklichen Handhabe - insbesondere im Bereich der Luftdichtheit und Wärmebrückenvermeidung. In einer wöchentlichen Qualitätskontrolle durch das Büro ARCHPLAN (Staatl. anerkannten Sachverständigen für Schall- und Wärmeschutz) werden die Mängel zeitnah erfasst und an die Bauleitung weitergeleitet.

Die planerische Optimierung der Gebäude, hohe Wärmedämmung, Wärmebrückenfreiheit/ Vermeidung und die Luftdichtheit der Gebäudehülle reduzieren deutlich den Heizwärmebedarf und sichern den passiven solaren Wärmeeintrag. Dies ist die Basis, um erneuerbare Energie, aktive Solarenergienutzung, sinnvoll umzusetzen.

Ziele/Vorgaben Solarsiedlung NRW
- Solarer Deckungsgrad: > 0,25
- erzielt: > 0,27
- Wärmedämmung: HT´ ≤ 0,4 (für Aufstockung und Bestand)
- erzielt 0,38
- Emission: ≤ 40 CO_2/m^2
- erzielt: > 40 CO_2/m^2a
- Heizwärmebedarf: ≤35 kWh/m^2a
- erzielt: ≤ 26,5 kWh/m^2a
- Aktives Solarsystem: mind. 60 % Deckung für Solarthermische Anlagengröße: 1000 m^2
- Basis: PHPP, Passivhausleitfaden

Ziele nach KfW- Programm
- Aufstockung: „ökologisch Bauen, Energiesparhaus 40“
- Qp < 40 $KWh/(m^2a)$ (Jahres- Primärenergiebedarf)
- erreicht Qp i.M 34,2 $kWh/(m^2a)$
- HT´ -45%
- erreicht HT´ -65,6 %
- Bestand: „CO_2-Gebäudesanierungsprogramm“ Kategorie A, Neubau- Niveau minus 30 %
- zul. Qp i.M.= 80,67 kWh/m^2a
- erreicht Qp i.M. 47,3 kWh/m^2a -58%
- zul. HT´ i.M.= 70,5
- erreicht HT´ i.M. 46,6 -66%

2 Konstruktion

2.1 Voruntersuchung

Die vorhandenen Planunterlagen aus den 50er Jahren sind nicht aussagekräftig genug um die Bausubstanz schlüssig zu bewerten, es sind deshalb sorgfältige Untersuchung der wesentlichen Bauteilkomponenten in der Konzeptphase nötig. Diese reichen von der Überprüfung des Baugrundes in unmittelbarer Nähe der Innen- und Außenfundamente durch den Bodengutachter bis zu Querschnittuntersuchungen der konstruktiven Bauteile.

Diese Voruntersuchungen sind auch für die weiteren Baukomponenten notwendig, zumal in diesem Fall in mehreren Punkten Abweichungen von der, in den Planunterlagen vorgegebenen Ausführungsart festgestellt werden mussten.

2.2 Die Untersuchung ergab folgendes Bild

Die Kelleraußenwände waren in Stampfbetonbauweise erstellt worden und aufgrund des Baugrundes waren die Fundamente noch ausreichend dimensioniert, dass eine Aufstockung in der leichten Holztafelbauweise möglich wurde. Die oberirdischen Außenwände bestanden ausnahmslos aus Bimsstein-Mauerwerk, allerdings waren abweichend von den Planunterlagen deutlich weniger Ringbalken eingebaut bzw. nicht vollständig erstellt worden. Die Geschossdecken wurden als Holzbalkendecken ausgeführt, in den Bereichen der Küchen und Bäder mit Betonträgern und Bimsdielen erstellt. Die letzte Geschossdecke (Holzbalken) war als nicht tragfähig anzusehen und für die geplante Aufstockung nicht geeignet.

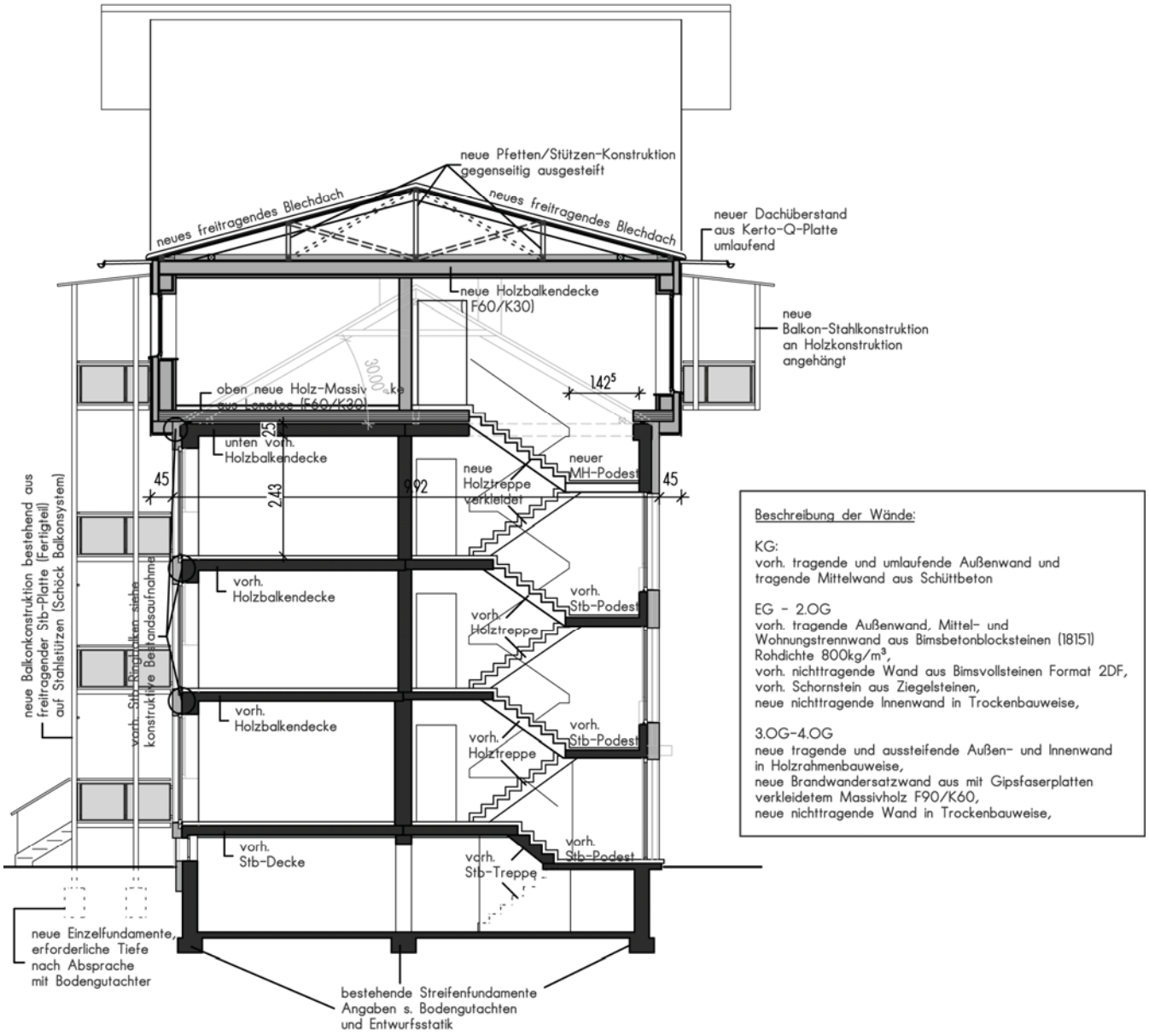


Abb. 4: Statisch, konstruktives Konzept

Ausführung

Die Erkenntnis, dass die letzte Geschossdecke keine Lasten aufnehmen kann, führte zu der Lösung diese Decke komplett durch eine neue Tragkonstruktion zu überbrücken. Die gewählte Brettsperrholzdecke, mit Auflagerpunkten an den Außenwänden und den Mittelwänden kragt über die Außenwände um 0,45 m umlaufend aus, einerseits zum Ausgleich eventueller Maßtoleranzen bei den bis zu 80 m langen Blöcken, andererseits um den Detailpunkt Übergang des Wärme-

dämmverbundsystems des Bestandes zur Aufstockung fehlertolerant zu gestallten. Als ein weiterer positiver Nebeneffekt ergaben sich durch die Auskragung insgesamt ca. 1000 m² mehr Wohnfläche in der Aufstockung gegenüber den Normalgeschossen.

Die Ausrichtung der Brettsperrholzdecke durch Richtschwellen auf den Ringbalken an den Außen- und der Mittelwand sorgt für eine zügige Montage, was im Hinblick auf die darunterliegenden, zum Teil bewohnten Wohnungen einen enormen Vorteil im Hinblick auf die Bauwassersicherung ergab. Als Fixpunkte für den Aufbau der Aufstockung sind die vier Innenecken der Treppenhäuser und die Position der Sanitärstränge vorab durch einen Vermesser erfasst und in die Ausführungs- und Werkplanung übernommen worden. Die statisch notwendige Verankerung der Aufstockung erfolgt in die Ringbalken.

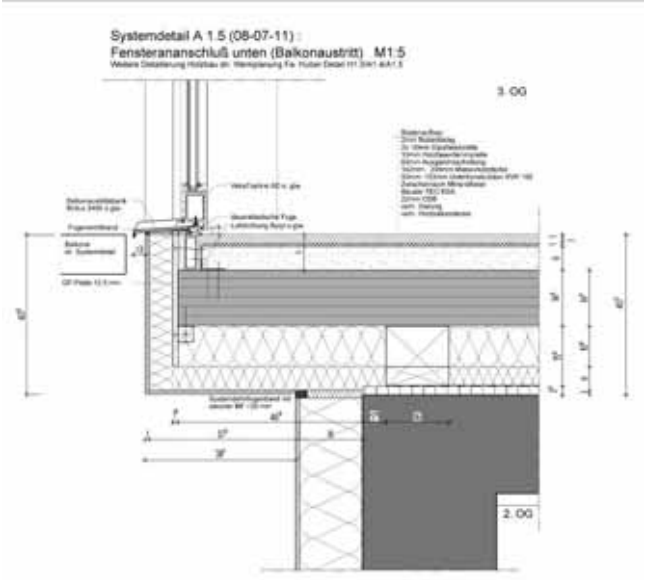


Abb. 5

Durch die neue, durchgehende tragfähige Ebene ergibt sich die Möglichkeit, in der Aufstockung größere Grundrisse zu realisieren, als in den Normalgeschossen des Bestandes vorhanden sind, z.T. sind diese Grundrisse auch Haus übergreifend.

Sämtliche tragenden Wände der Aufstockung sind als vorgefertigten Holztafelelementen mit montierten Fenstern und eingebauter Dämmung gefertigt und montiert, alle nicht tragenden Wände werden örtlich in Trockenbauweise erstellt.

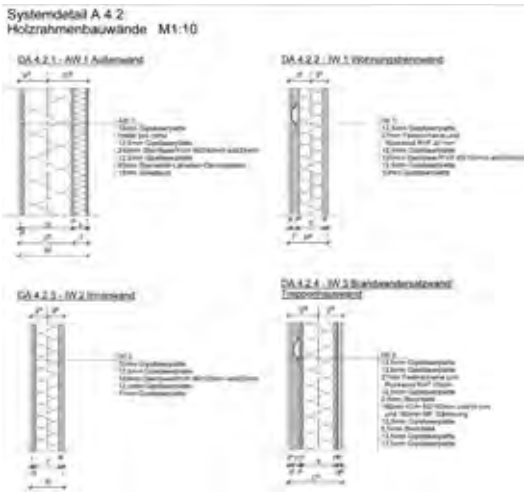


Abb. 6

Die Begrenzung der gedämmten Hülle ist die Decke über den Wohnräumen, ebenfalls als vorgefertigte „liegende“ Elemente mit Dämmung konstruiert. Im Bereich der Maisonette wird die Zwischendecke durch eine Brettsperrholzplatte gebildet, das Pultdach wiederum ist aus gedämmt Elementen errichtet. Die Dachkonstruktion des Satteldaches besteht aus längs laufenden Bindern, die die selbsttragenden Trapez-Dachelemente unterstützen.

Potentiale für die Verwendung von Holztafelbau:

- Holztafel- oder Holzbauelemente sind leicht, ideal für Bauten mit geringen statischen Reserven
- Weitgehende Vorfertigung beschleunigt die Montage und den gesamten Bauprozess

- Insbesondere wichtig in Innenstädten und weiter genutzten Bauten während der Bauzeit
- Gute Voraussetzungen für energiesparende Bauweisen, hohe Dämmwerte der Bauteile bei geringem Flächenverbrauch

3 Brandschutzkonzept

Durch Aufstockung ist das Gebäude kein „Gebäude geringer Höhe“ mehr und damit nach Landesbauordnung NRW in Holz nicht machbar, deshalb wurde das Büro Dehne beauftragt ein Brandschutzkonzept für die gesamte Gebäudesubstanz zu erstellen. Dieses Konzept sieht vor, dass durch einen erweiterten baulichen Brandschutz, auch in den Normalgeschossen, das Gesamtgebäude ertüchtigt wird. Dies trifft vor allem auf die Geschossdecken (Holzbalkendecken) zu. Die im Bestand vorhandenen Holzbalkendecken weisen in Anlehnung an DIN 4102-4 die Qualität F30-B auf. Durch die Ertüchtigung mit Gipsfaserplatten an der Unterseite wird die Qualität auf F60-BA/K30 nach DIN 13501-2 erhöht. Das gilt auch für die Holztreppenläufe der Treppenhäuser, die nachträglich vollständig F60/K30 gekapselt werden müssen.

In Abstimmung mit den Genehmigungsbehörden und der Feuerwehr Köln wurde auf der Grundlage des Konzeptes eine Zustimmung im Einzelfall durch die oberste Bauaufsichtsbehörde die Genehmigung erteilt.

Sämtliche konstruktiven Bauteile der Aufstockung sind in F60-AB/K30 ausgeführt. Für die Treppenhauswände und die Brandersatzwände wurde eine Qualität von F90-BA/K60 nachgewiesen.

Bauordnungsrechtlich ergibt sich folgende Situation:

Orientierend:

Musterbauordnung (MBO) Fassung November 2002
Einführung der Gebäudeklassen G1-G5,
Holzbauweise bis zur GK4 (5 Geschosse)
Einführung von hoch feuerhemmenden Bauteilen in F60

Orientierend:

Muster-Richtlinie für Brandschutztechnischen Anforderungen an hoch feuerhemmenden Bauteilen in Holzbauweise (M-HFHHolzR) Fassung Juli 2004
Beherrschung des „Brandrisikos“ durch BA-Bauweise
Hochfeuerhemmende Bauteile (F60-BA)
Bauteiloberfläche nichtbrennbar
Kapselung der brennbaren Tragkonstruktion

Grundlage:

Landesbauordnung:
Einführung der MBO und der M-HFHHolzR nur in einigen Bundesländern

Empfehlung:

Jeweils individuelles Brandschutzkonzept
Abstimmung des Brandschutzkonzeptes mit den beteiligten Behörden, der Feuerwehr und den Herstellern möglichst in einem frühen Planungsstadium und unter Leitung des Brandschutzsachverständigen.

4 Wohnumfeld

Ein wesentlicher Bestandteil des zukunftsfähigen Wohnens ist ein schönes, aber auch individuell gestaltbares Wohnumfeld. Mit verschiedenen Bausteinen werden wir diesem Ziel Rechnung tragen.

Abb. 7: Archivaufnahme Ford-Siedlung

Abb. 8: Mietergärten – „grüne Zimmer“ am Balkon

Die Erdgeschossbalkone erhalten Treppenzugänge in eine Gartenparzelle zur freien Verfügung der Mieter. Hecken bilden die robusten, räumlich stabilen Konstanten der Gärten, die der individuellen Nutzung und Ausstattung durch die Mieter gestalterisch Freiraum lassen und in die Gesamtsiedlung einbinden.

Bei Bedarf besteht die Möglichkeit für einige Obergeschossmieter ebenfalls einen privaten Gartenraum einzurichten, ohne dass auf allgemeinzugängliche Freiflächen verzichtet wird.

5 Hausterrassen – für die Hausgemeinschaft
Zu den Kellereingängen werden schmale Gartenwege geführt. Hier entstehen kleine Hausterrassen, die den Bewohnern für eine gemeinsame Nutzung zur Verfügung stehen.

Wegeverbindungen werden barrierefrei und mit ausreichender Beleuchtung gestaltet.

Spiel- und Kommunikationsbereiche werden neu belebt und heutigen Bedürfnissen entsprechend ausgestattet.

6 Eingangsplatz – Platz zum Schwatz
Die Hauseingänge werden zu kleinen barrierefreien Eingangsplätzen erweitert. Sie bieten die Möglichkeit, vorübergehend Fahrräder, Kinderwagen oder Gehhilfen trocken und geschützt abzustellen. Auch die Vorgärten bieten reichliche Möglichkeiten, je nach Gebäudeausrichtung die Abendsonne für den nachbarlichen Treff zu nutzen.

Entlang der Hausfronten werden niedrige Heckensockel gepflanzt.

7 Regenwasser
Das Dachflächenniederschlagswasser wird in Rigolen auf dem Gelände versickert. Es kann aber auch für die Gartenbewässerung aufgefangen werden. Ein weiterer kleiner Beitrag zur Wohnkostenminderung.

8 Gestaltung
Das markanteste Merkmal ist die städtebauliche Anordnung der Gebäuderiegel mit einer klaren Nord-Süd-Orientierung der Wohnblocks. Die dazwischen liegenden großzügigen Freiflächen sind zwischenzeitlich üppig mit Baumbestand ausgestattet. Die Anordnung in Verbindung mit dem Grün ergibt den Charakter der Siedlung.

Abb. 9

Abb. 10

Durch Sanierung und Aufstockung soll die Chance genutzt werden, dieser Siedlung bei Beibehaltung der städtebaulichen Struktur ein modernes Gesicht zu geben. Während die bestehende Substanz durch Wärmedämmverbundsystem und zum Teil neue Fenstereinteilung in ihrer Form trotzdem aber erhalten bleibt, ergibt das Obergeschoss – auch farblich abgesetzt – dem Gebäuderiegel eine neue Gesamtform. Die neuen Balkone unterstützen die neuen Proportionen zusätzlich.

Die Aufstockung erhält an den südlichen Enden der Wohnblocks eine turmartige Erhöhung mit einem großen, nach Süden geneigten Pultdach. Neben der Notwendigkeit, hier Sonnenkollektoren zu installieren, soll diese Form städtebaulich die Blocks deutlich orientieren. So ergibt sich an der Haupterschließungsstraße, der Königsberger Straße, eine Abfolge von Kopfbauten, die der geschwungenen Straßenform folgen und so hier ganz neue Blickpunkte und Einfassung des Flächenraumes mit sich bringen.

Die neuen Bauteile werden farblich deutlich gegenüber dem Bestand abgesetzt, wodurch die Aufsattelung und deren Kopfbauten noch einmal zusätzlich betont werden. Die Balkone neben zum Teil die Farbgebung auf, die sich zusätzlich dann noch in den neuen Eingangsbauwerken widerspiegelt. Es wird allerdings mit nur drei Farbtönen – mit unterschiedlichen Nuancierungen – gespielt.

Abb. 11

Abschließend sollen die Freiflächen unter Ausnutzung des großzügigen Zwischenraumes neu aufgeteilt und durch Mietergärten gegliedert werden. Allerdings werden hierbei die vertrauten Randeinfassungen durch Hecken erhalten bleiben.

14.2 Bauen im Bestand
Sanierung auf Passivhausstandard

Dieter Herz, Florian Lang, Simon Schmerker

Familie Kaiser wollte eigentlich ein Passivhaus bauen und hatte sich mit dem Thema im Neubau schon intensiv auseinandergesetzt. Als sie das großzügige, allerdings bebaute Grundstück mit optimaler Lage kaufen konnten, beschlossen sie, dieses Haus zu sanieren.

Abb.1: Bestandsgebäude

Die Denkansätze, die sie mit der intensiven Auseinandersetzung zum Thema Passivhaus gewonnen hatten, übernahmen sie mit in die Sanierung. Dazu gehörten: Hohe Wärmedämmung aus ökologischen Baustoffen, Fenster mit 3-fach Verglasung, wärmebrückenfreie und luftdichte Ausführung sowie zu guter letzt eine Komfortlüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung. Hierzu wurde ein Passivhaus-Kompaktgerät verwendet, das als Abluftwärmepumpe auch zur Beheizung des Gebäudes beiträgt. Die darüber hinaus noch nötige Restenergie wird vom Kaminofen, der sowieso gewünscht war, geliefert.

Das bestehende Gebäude wurde gestalterisch den modernen Bedürfnissen der Bewohner angepasst. Die Südseite, die mit großen Glasflächen geöffnet wurde, macht die Wohnräume hell und freundlich.

Abb. 2: Gebäude nach der Dena Modellsanierung EnEV -50 %

Gesamtkonzept Energieeffizienz für das Haus der Zukunft

Sanierung auf Passivhausstandard bedeutet genauer Sanierung mit Passivhauskomponenten. Die Ansätze des bewährten und wirtschaftlichen Standards im Neubau werden auf den Altbau übertragen. Der Heizwärmebedarf von 15 kWh/m²a, der das Passivhaus mit definiert, wird dabei nicht immer ganz erreicht. Es geht im Bestand vielmehr um eine Verbrauchsreduktion um Faktor 10, unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten. Also beispielsweise eine Reduktion vom durchschnittlichen Standard in Deutschland mit 250 kWh/m²a auf 25 kWh/m²a.

Der Ansatz dabei ist:

1. Energie sparen um Faktor 10
2. Energie effizient und regenerativ erzeugen
3. Energie effizient verteilen und nutzen
4. Energieeffizienz nutzbar machen: Qualität sichern

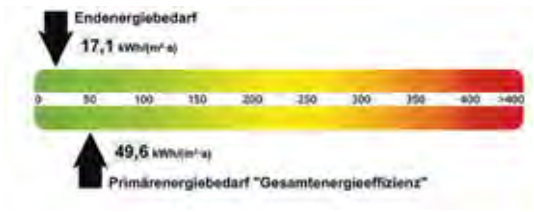


Abb. 3: Tachometerdarstellung Energieausweis

1 Energie Sparen um Faktor 10

1.1 Hochgedämmte Bauteile

Hochgedämmte Bauteile sorgen für hohen Wärmeschutz und höchste Behaglichkeit durch warme Oberflächen. Warme Oberflächen wirken sich dabei positiv auf die gefühlte Temperatur aus. Ein Wohlfühlklima im Haus der Zukunft ist also mit geringeren Lufttemperaturen möglich wie im Bestand.

Bauteile beim Bauvorhaben Kaiser:
Außenwand: Holzbausystem:

- 20 cm Ständerwerk mit Zellulosedämmung
- Beplankung mit 6 cm Holzweichfaserplatte
- U-Wert: 0,14 W/(m²K)

Abb.4: Außenwand (oben) und Dach (unten) im Bauzustand

Dach: Aufsparrendämmung im Holzbausystem:

- 24 cm Aufdachsparren mit Zellulosedämmung
- Beplankung mit 4 cm Holzweichfaserplatte
- U-Wert: 0,16 W/(m²K)

Kellerdecke:

- 8 cm Dämmung auf Basis Polystyrol, Alukaschiert WLG 025, unterhalb der Kellerdecke
- Trockenestrich Gesamtstärke 8 cm mit Lattung und Mineralfaser WLG 035
- U-Wert: 0,13 W/(m²K)

Energiesparfenster:
Energiesparfenster sorgen für hohe Oberflächentemperaturen und optimalen Wärmeschutz durch:

- Verbesserte Rahmen
- Dreifachverglasung
- Verbesserter Glasrandverbund: Warme Kante
- $U_{W,\ berechnet}$ 0,78 W/(m²K)
- Optimierte Einbausituation (Bsp. Leibung)

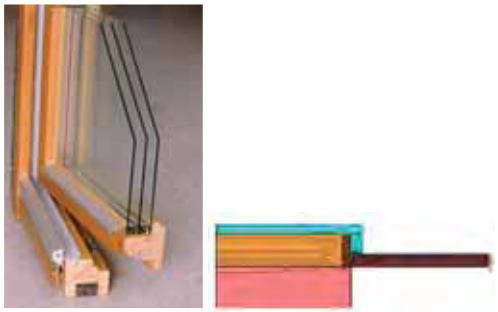


Abb. 5: links: Energiesparfenster, Quelle: Optiwin; rechts: Wärmebrückenberechnung Leibungsdetail

1.2 Wärmebrückenreduktion

Je besser Bauteile gedämmt und hocheffiziente Bauelemente eingesetzt werden, desto höher wird der Einfluss der Wärmebrückeneffekte am Gesamtenergiebedarf. Es muss folglich bei effizienten Gebäuden ein großes Augenmerk auf die Verbesserung der Details gelegt werden.

Negativbeispiel für ein Sockeldetail: Über den Sockelanschluss geht mehr Energie verloren wie über die Wandfläche des darüber liegenden Geschosses

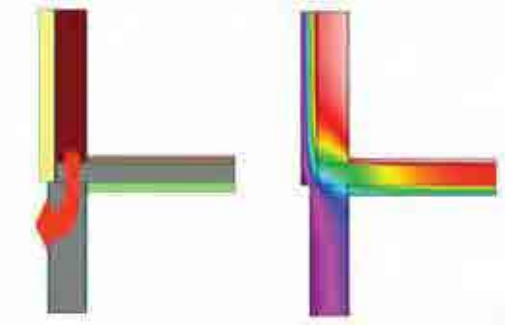


Abb. 6: Wärmebrücke Sockeldetail

Randbedingungen der Berechnung:

- Sockelanschluss mit Versatz, keine Perimeterdämmung (ψ = 0,59 W/(mK))
- WDVS mit 16 cm WLG 035 (U-Wert = 0,198 W/(m²K))
- Wandfläche: 2,75 m x 0,198 W/(m²K) = 0,54 W/(mK) < 0,59 W/(mK)

Konsequenz: Optimierung der Details

Positiver Effekt: Steigerung der Wohnhygiene

Erhöhte Wärmeabflüsse im Bereich von Wärmebrücken führen zu niedrigen Temperaturen an Innenoberflächen. Tauwasserausfall und Schimmelpilzbildung können die Folge sein. Um dem Vorzubeugen ist nach DIN 4108-2 eine raumseitige Oberflächentemperatur von ≥ 12,6 °C einzuhalten. Die Nachweise nach DIN 4108 werden jedoch nur für Flächen und Kanten geführt. Im Schadensfall: Schimmel in der Ecke, zählt jedoch die Ecktemperatur.

Wie folgende Darstellung aufzeigt können die Differenzen von der Kante zur Ecke über 4 Kelvin betragen. Kritische Bereiche sollten daher einen erhöhten Wärmeschutz aufweisen.

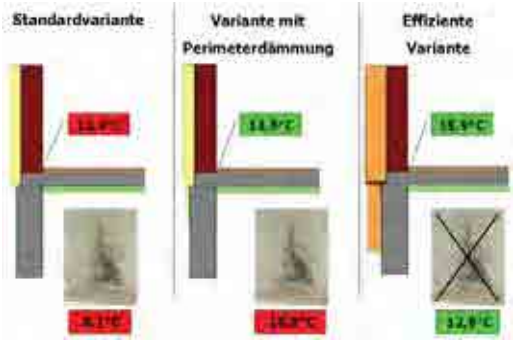


Abb. 7: rechts: Schimmelfrei auch in der Ecke bei der effizienten Variante (Ecktemperatur berechnet nach DIN EN ISO 10211-2 Anhang B)

1.3 Luftdichtheit

Die Herstellung einer luftdichten Hülle geht seit der 1. Wärmeschutzverordnung, durch die Bilanzierung von Gewinnen und Verlusten gemäß DIN EN 832, in die Berechnung des Heizwärmebedarfes von Gebäuden ein. Seit 1998 ist luftdichtes Bauen allgemein anerkannter Stand der Technik, durch die zur Verfügung gestellten Produkte und entsprechende Schulungen der Planer und Handwerker. Luftdichtes Bauen ist eine große Chance zur Reduzierung von Energiekosten und zur Vermeidung von Bauschäden. Hier werden jedoch immer noch Chancen verschenkt und Pflichten seitens des Baurechts und des Stands der Technik nicht erfüllt.

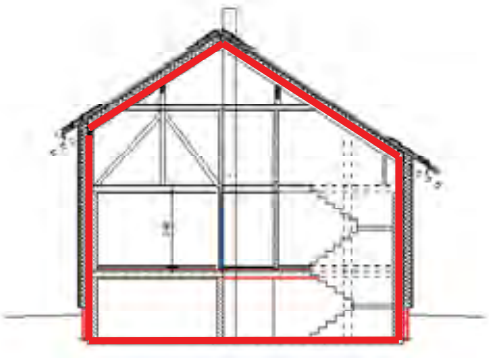


Abb. 8: Prinzip Luftdichtheit

Vorteile der luftdichten Hülle:

- höhere Bauqualität und "Mehrwert"
- Energieverbrauch erheblich senken
- Behaglichkeit erhöhen, Zugluft vermeiden
- Bauschäden durch Feuchte-Eintrag verhindern
- Effizienz der Lüftungsanlage gewährleisten
- Schallschutz verbessern
- Brandübertrag / Rauchgaseintrag vermeiden
- Geringerer Schadstoffeintrag

1.4 Mechanische Lüftung mit Wärmerückgewinnung

Mit der Reduzierung der Wärmeverluste durch Dämmung, die Vermeidung von Wärmebrückeneffekten und der luftdichten Gebäudehülle steigt der Anteil der Wärmeverluste durch unkontrolliertes Fensterlüften überproportional an. Fensterlüftung stellt zudem für die Bewohner einen Zwang zur regelmäßigen Beschäftigung mit dem Thema Lüftung dar und verlangt häufige Querlüftung des Wohnbereichs. Im Alltag wird dies oft nicht konsequent durchgeführt mit negativen Auswirkungen auf Raumluftqualität und mögliche Kondensatschäden an Bauteilen, durch hohe Luftfeuchtigkeit. Eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung bringt nicht nur Effizienz in die Energieeinsparung, sondern auch für jede Form der geistigen und körperlichen Arbeit durch einen konstant niedrigen CO_2 Gehalt der Innenluft. Dies sorgt auch für einen erholsamen Schlaf. Pollen und Schadstoffe wie Rußpartikel bleiben außen vor. Die Frischluft ist „warm'', dadurch entsteht hoher Komfort.

Gegen mechanische Lüftungsanlagen gibt es unzählige Vorurteile: Verkeimung in Leitungen, Zugluft, erhöhter Schallpegel, zu trockene Luft und nicht zuletzt mit geschlossenen Fenstern leben zu müssen. Diese Vorurteile können alle widerlegt werden, Grundlage ist „lediglich'' eine gute Fachplanung unter Einsatz von effizienten Geräten in ebensolchen Gebäuden, sowie der qualifizierten Ausführung.

Planer müssen letztlich in Gebäuden nach DIN 1946 einen Mindestluftwechsel ohne Fensterlüftung garantieren, was ohne mechanische Lüftung nur mit Sonderlösungen möglich ist.

Abb. 9: links: Führung der Lüftungsleitungen im Altbau, abgehängte Decke im hohen Flur; rechts: Kompaktgerät wie bei Gesamtsanierung Kaiser

2 Energie effizient erzeugen

Eine gut geplante Gebäudehülle, luftdicht und wärmebrückenfrei, bildet die Basis, um effizient erzeugte Energie auch so zu nutzen.

Die Sonne ist dabei der Lieferant dieser Energie, durch direkte Einstrahlung, gebunden in Erdwärme oder in Biomasse. Geräte mit hohen Wirkungsgraden in Verbindung mit niedrigen Stromverbräuchen fügen sich in das effiziente Gebäudekonzept mit ein.

Abb. 10: Sonnenenergie, Zitat: Güssing

3 Energie effizient verteilen und nutzen

Im Gebäudebereich stehen uns dabei vor allem Niedertemperatur-Heizkreise, durch die geringen Verteilungsverluste und Lüftungssysteme mit Wärmerückgewinnung, durch die Nutzung der Abwärme zur Verfügung. Die Integration dieser Systeme in hochgedämmten Gebäuden bedarf speziellem Know-how, um den Anspruch an Effizienz und damit an Energieeinsparung zu genügen. Ein sparsames Gebäude macht die Technik jedoch auch einfach und kostengünstig.

Abb. 11: Wandflächenheizung in der Sanierung

4 Energieeffizienz nutzbar machen: Qualität sichern

Steht das Sanierungsziel fest ist die Erreichung des Ziels in der Planungs- und Ausführungsphase sicher zu stellen. Die geplanten Energieeinsparungen müssen sich nach der Sanierung auch in der Nutzung einstellen, dafür bedarf es eines Qualitätskonzepts. Für die Ausführung der Gebäudehülle müssen Wärmeflüsse allen Beteiligten bewusst sein. Kritische Punkte wie Wärmebrücken sind entsprechend zu detaillieren, die Luftdichtheit ist zu planen. Das Planungsteam muss integral zusammenarbeiten, Kommunikation ist der alles entscheidende Punkt. Starke ausführende Partner realisieren das Gebäudekonzept.

Bei Wissensdefiziten können Schulungen des Planungs- oder Ausführungsteams die Qualität steigern. Die Sanierung ist konsequent zu begleiten, gegebenenfalls können Baumessungen schon in Rohbauphase Schwachstellen aufdecken. Zuletzt sind vor der Endabnahme die Zielvorgaben mittels Baumessungen zu prüfen.

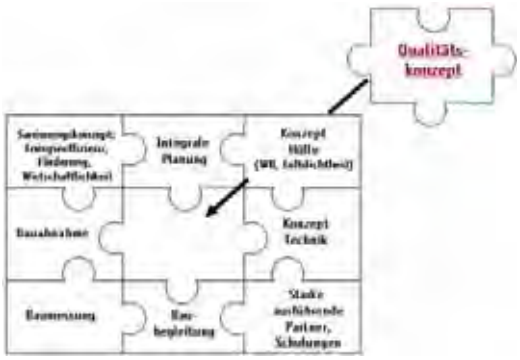


Abb. 12: Qualitätskonzept

5 Wirtschaftlichkeit der Faktor 10 Sanierung

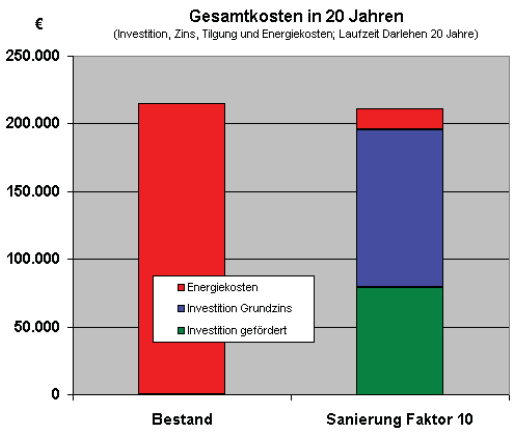


Abb. 13: Wirtschaftlichkeit Bauvorhaben Kaiser

Randbedingungen:

- Förderung: 2 x 50.000 € = 100.000 €,
- Zins 1,41 % eff. (Tilgungszuschuss 20 %),
- Zinsbindung 10 Jahre, danach 6 %,
- Laufzeit 20 Jahre
- Grundzins: Weitere Investition: 50.000 €
- Zins 4,00 %eff., Laufzeit 20 Jahre, Zinsbindung 10 Jahre, danach 6 %

Energiekosten:

- Bestand: Heizölpreis 6 Cent/kWh,
- Preissteigerung 12 %/a
- Sanierung: Wärmepumpe eff. 4 Cent/kWh, Preissteigerung 10 %

Die Sanierung amortisiert sich im Finanzierungszeitraum und das bei konservativen Ansätzen der Preissteigerung und ohne Betrachtung der Wertsteigerung des Gebäudes oder notwenige Sowiesomaßnahmen! Durch optimale Ausnutzung der Förderprogramme, beispielsweise der KfW, kann zudem erreicht werden, dass durch die tilgungsfreien Anlaufjahre die monatliche Belastung nur unerheblich höher ist als die Energiekosten im Bestand. Damit rechnet sich die Sanierung vom ersten Tag und das bei enormen Komfort und Wertgewinn!

6 Ausblick: Sanierung zum Passivhaus mit vorgefertigten Holzbausystemen

Vorgefertigte Holzbausysteme können ihre Vorteile vor allem bei der Sanierung im bewohnten Zustand oder bei öffentlichen Gebäuden, wie Schulen, durch die kurzen Bauzeiten ausspielen.

Abb. 14: Sanierung zum Passivhaus im bewohnten Zustand mit vorgefertigten Holzbausystemen, Klimahauspreisträger 2008, Bildquelle: Ambros GmbH

7 Ökologie und Ökonomie von Holzbausystemen

In der Ökobilanz und regionalen Wertschöpfung bieten Holzbausysteme mit ökologischen Dämmstoffen enorme Potenziale. Diese sollen im folgenden am Beispiel von Fassadensystemen erläutert werden.

8 Holzbausysteme an der Fassade

Holzbausysteme finden bisher in der Sanierung meist Anwendung im Dachbereich. Hier überwiegen die Vorteile des sommerlichen Hitzeschutzes und des Schallschutzes von Holzfaserplatten gegenüber Systemen aus Polystyrol. Diese Vorteile sind zwar auch im Bereich der Fassade gegeben, der Einsatz von Holzbausystemen scheitert hier jedoch meist am Preis.

8.1 Beispiele von Holzbausystemen in der Fassade

Abb. 15: Kreuzlattung mit Hanfdämmung, Beplankung mit Holzweichfaserplatten

Abb. 16: Einfaches Ständerwerk mit Mineralwolle, Beplankung mit Holzweichfaserplatten

Abb. 17: Ständerwerk mit KVH oder Stegträgern, Gefachdämmung Zellulose, Beplankung mit Holzweichfaserplatten

8.2 Vorteile des Holzbausystems bei der Montage

Vorteile sind durch das Holzbausystem unter anderem bei Unebenheiten in der Fassade gegeben. Beim Ständerwerk lassen sich diese leichter ausgleichen als durch Ausbesserungsmaßnahmen zum Kleben des WDVS. Weitere Vorteile ergeben sich durch Befestigungsmöglichkeiten bei vorgehängten Fassaden.

Bei Komplettsanierungen bei denen die Fenster in die Dämmebene gesetzt werden ergibt sich zudem der Vorteil, dass für die Fenster kein zusätzlicher Blindstock gesetzt werden muss (Abb. 5). Werden diese Vorteile in den Kostenvergleich miteinbezogen bleibt jedoch trotzdem eine nicht unerhebliche Differenz.

8.3 Kosten

Betrachtet wird im Folgenden das System aus Abb. 17: Einfaches Ständerwerk, Gefachdämmung aus Zellulose und Beplankung mit Holzweichfaser. Der Wandaufbau soll die Kriterien an das Maßnahmenpaket des CO_2-Sanierungsprogramms erfüllen. Es ergeben sich folgende Werte für die Fassade mit Putz und Anstrich rein netto:

System 1: WDVS Polystyrol 18 cm WLG 040, mit Dübelung (U = 0,22 W/(m²K): 93 €/m²
System 2: Holzbausystem 16 + 4 cm
WLG 040 + 042 (U = 0,21 W/(m²K): 125 €/m²

Bei 270 m² Außenwandfläche am Beispielgebäude belaufen sich die Mehrkosten netto auf 8.640 €. Bei dieser Größenordnung ist es verständlich warum sich Holzbausysteme in der Fassade in der Breite noch nicht etabliert haben. Zum 31.12.2007 lief zudem das Marktanreizprogramm für Naturfaserdämmstoffe aus. Dieses Programm galt für neuere Produkte, um sich am Markt zu etablieren. Für einzelne Dämmstoffe gab es Investitionszuschüsse durch das Bundesverbraucherschutzministerium in Höhe von 25 bis 35 €/m². Dadurch waren Holzbausysteme noch attraktiver. Ein Nachfolgeprogramm wurde nicht aufgelegt. Die Potentiale von Holzbausystemen in Bezug auf Energieeinsparung und Ressourcenschutz sind jedoch enorm und sollten nach Meinung der Autoren wieder Berücksichtigung in der Förderung finden.

Einzelne Städte haben die Potenziale bereits erkannt und geben Empfehlungen zur Baustoffwahl ab. So wurde beispielsweise von der Stadt München (Bauzentrum München) eine Broschüre aufgelegt: Ökologische Wärmedämmstoffe im Vergleich. Die Darstellungen und Rückschlüsse auf der folgenden Seite wurden auf Basis der vom Bauzentrum München recherchierten Kennwerte zur Ökobilanz erstellt.

8.4 Ökobilanzierung des Holzbausystems

Abb. 18: Vergleich Primärenergieaufwand bei Holzbau- (links) und Wärmedämmverbundsystemen (rechts)

8.4.1 Primärenergieaufwand

Die Abb. 18 zeigt den Primärenergieaufwand der zwei Systeme im Vergleich. Das Ergebnis erzeugt noch keinen Aha-Effekt, man ist eher überrascht, dass die Holzweichfaserplatte (Basis Nassverfahren) einen so hohen Primärenergieaufwand hat. Nun ist dazu zum einen zu sagen, dass Holzweichfaserplatten im Trockenverfahren hergestellt wesentlich weniger Energieaufwand benötigen, wer sich also den Hersteller nach diesem Kriterium aussucht, kann hier noch weiteres Einsparpotenzial ausschöpfen. Zum anderen scheint dem Autor jedoch der Primärenergieaufwand auch nicht die richtige Kennzahl zu sein, um die Systeme miteinander zu vergleichen. Dies sah auch das Bauzentrum München so und hat in ihrer Broschüre das Erderwärmungspotenzial (Global Warming Potenzial = GWP) der Baustoffe mit aufgenommen.

8.4.2 Erderwärmungspotenzial

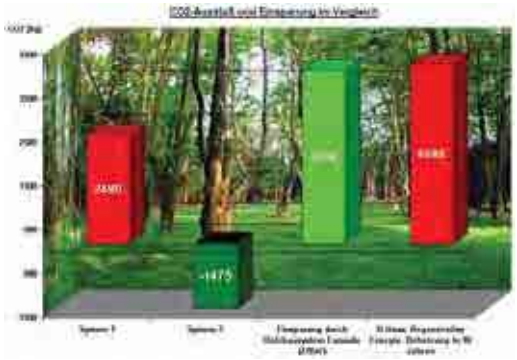


Abb. 19: CO_2 Ausstoß und Einsparung bei Holzbausysteme im Vergleich

Das Erderwärmungspotenzial ist eine Grundlage des CO_2 Emissionshandels und wird in kg/CO_2 angegeben. Ökologische Dämmstoffe haben durch ihre Speicherung von CO_2 meist negative Werte. Durch die Tabellenwerte des Bauzentrums lassen sich wiederum die Systeme vergleichen. Es ergeben sich dabei erhebliche Einsparpotenziale. Durch die Verwendung eines Holzbausystems anstatt eines WDVS auf Basis Polystyrol können am Beispielgebäude knapp 4 to CO_2 eingespart werden. Dies entspricht dem CO_2 -Ausstoß durch die Beheizung des Beispielgebäudes in 10 Jahren.

4.4.3 Schlussfolgerung zur Ökobilanzierung des Holzbausystems

In Zukunft werden CO_2-Emissionen in allen Lebensbereichen Berücksichtigung finden, Holzbausysteme haben dadurch enormes Potenzial. Konsequenterweise sollte wieder eine Förderung für ökologische Dämmstoffe eingeführt werden. Bis zur besseren Konkurrenzfähigkeit was die Herstellungskosten angeht, im Vergleich zum WDVS auf Basis Polystyrol, könnte die Förderung die Marktfähigkeit steigern. Schließlich wird auch der Einsatz erneuerbarer Energien enorm bezuschusst, was denselben Zweck der CO_2-Reduktion verfolgt. Holzbausysteme können zusätzlich die regionale Wertschöpfung steigern und durch kurze Wege die Gesamtbilanz von CO_2-Emissionen und Primärenergieaufwand weiter steigern.

14.2 Bauen im Bestand
Gebäudeupdate

Richard Adriaans

1 Einleitung

Die Bedeutung der bestehenden Gebäudesubstanz für eine nachhaltige Entwicklung ist unbestritten. Bis ins Jahr 2050 wird in Deutschland über 90 % des Gebäudeenergiebedarfs durch Gebäude verursacht, die vor dem Jahr 2000 erstellt wurden.

Wenn man für etwa 39 Mio. Wohnungen in 17 Mio. Gebäuden die 20-20-20 Regel der EU bzw. des Deutschen Kabinetts-Beschlusses bis 2020

- 20 % weniger Energie brauchen
- 20 % weniger CO_2-Ausstoß verursachen
- eine 20 % höhere Energie-Effizienz aufweisen,

auch im Bereich der Heizenergie für Gebäude erzielen will, gibt es verschiedene Szenarien:

- man könnte bis 2020 ca. 700.000 Wohnungen schlicht abreißen und den Rest wie bisher weiter beheizen – nicht insgesamt, sondern jährlich…
- man könnte bis 2020 ca. 1,1 Mio. Wohnungen mit dem Faktor 10 (Heizwärmebedarf ca. 2 l/m²) sanieren – nicht insgesamt, sondern jährlich…

Die höchste Wirtschaftlichkeit wird mit steigendem Energiepreis mit der Wärmedämmung der äußeren Gebäudehülle, vor allem der Wände erreicht.

Aus technischen Gründen ist aber neben dem Dach und den Fenstern vor allem auch die Haustechnik zu erneuern.

Dies ist in allen Gebäuden, deren Heizenergieverbrauch um Faktor 10 gesenkt werden soll schon deshalb notwendig, weil die Heizungsanlage für den neuen sehr niedrigen Bedarf erheblich überdimensioniert ist, die Heizkörper damit über weite Strecken kalt bleiben und es deshalb unwiegerlich zu Reklamationen der Bewohner kommt.

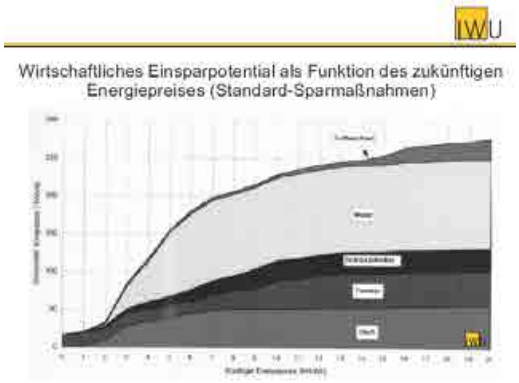


Abb. 1

Wenn bisher in solchem Umfang Sanierungen vorgenommen wurden, wurde die betroffene Immobilie fast bis in den Zustand des Rohbaus zurückgesetzt.

Da ist es nicht verwunderlich, dass selbst die Deutsche Bank in einer Studie feststellt, dass die deutsche Bauwirtschaft und verwandte Branchen angesichts des Klimawandels zu den doppelten Gewinnern gehören.

Die Frage ist sicher nicht, dass es sinnvoll wäre, einige zigtausend oder sogar hunderttausend Wohnungen abzureißen, die so schlecht sind, dass sie nicht wirtschaftlich seriös saniert werden können… .

Aber 700.000 Wohnungen im Jahr abzureißen, wird ebenso sicher von niemandem wirklich erwogen.

Ein Abriss muss schließlich genau wie Neubau und Sanierung in einen städtebaulichen Kontext passen und ist vor allem unter Gesichtpunkten des Rechts am Eigentum zu sehen und nicht zuletzt auch aus Sicht der Bewohner, für die natürlich adäquaten Ersatz-Wohnraum vorhanden sein muss.

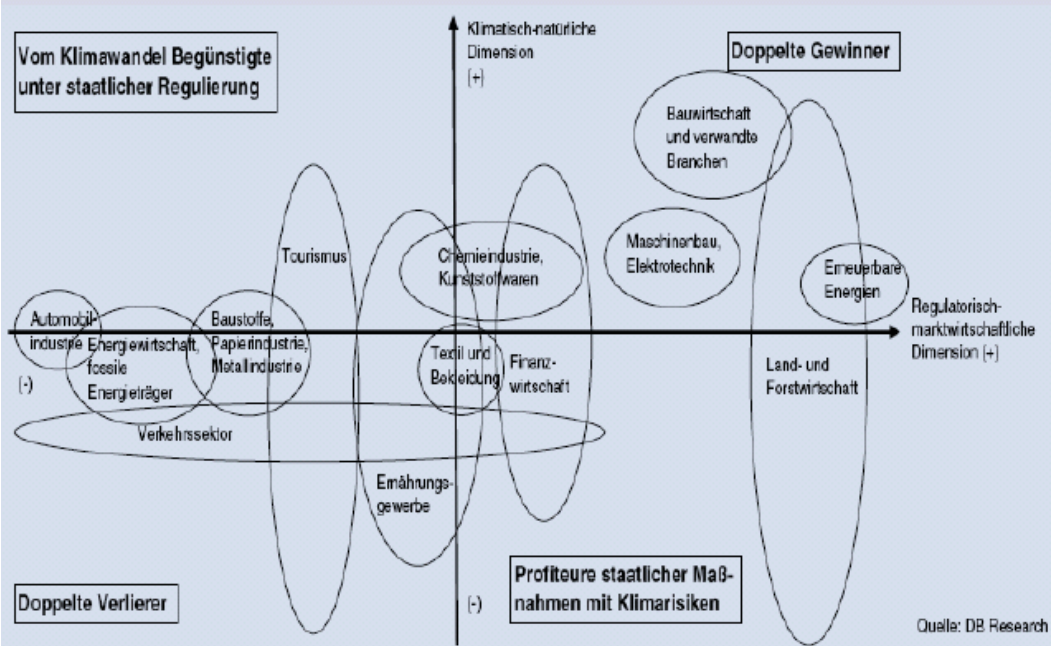


Abb. 2: Gewinner- und Verliererbranchen des Klimawandels (Quelle: DB Research 6/07)

2 Aufgabenstellung

Die Aufgabenstellung ist also, 1,1 Mio. Wohnungen im Jahr zu sanieren.

Angesichts der bisherigen Leistungsfähigkeit von

- Malern, die Wärmedämmverbund-Systeme anbringen,
- Heizungsbauern die neue Heizungs- und Lüftungsanlagen einbauen,
- und / oder Zimmerern und Dachdeckern, die die neuen Dächer erstellen müssen,

muss allerdings die Frage erlaubt sein, ob das überhaupt mit den derzeit erprobten Systemen geleistet werden kann.

Insbesondere, wenn dabei die folgenden Fragen noch nicht geklärt sind:

- Wie hat sich das WDVS mit 30 cm Dämmstoffdicke eigentlich bewährt, das gebraucht wird, um den Energiestandard des Altbaus auf Passivhausstandard zu trimmen?
- Wie sollen die Wohnungseigentümer es schaffen, jährlich 2,2 Mio. Menschen zu transluzieren?
- Wie sollen die Dachdecker und Zimmerer und die Heizungsbauer und Sanitärleute an einem solchen Objekt koordiniert und „gebauleitet" werden?

Angesichts dieser Fragen hätte ein System,

- in dem eine weitgehende Koordinierung (durch die Ausführung durch Generalunter-(über)nehmer) gegeben wäre
- in dem eine Transluzierung der Bewohner ggf. überflüssig wäre, weil erhebliche Teile der Ausführung (insbesondere der TGA) nicht innen sondern außen vollzogen würde
- in dem auch Dämmstärken von 40 cm kein Problem wären
- in dem auch die Fenster, Fensterbänke und ggf. Rollläden gleich integriert wären

sicher gute Chancen auf Realisierung.

3 Realisierung

Ein oben beschriebenes System gibt es – mindestens theoretisch.

Man denke sich das Bauen von neuen Holzhäusern, das ja nichts anderes ist, als die Realisierung einer vorgefertigten, dick wärmegedämmten Außenwand und eines entsprechend vorgefertigten Daches um eine virtuelle Hülle, die der Planer mit seinen Zeichnungen vorgegeben hat…

…übertragen auf die Realisierung einer vorgefertigten, dick wärmegedämmten Außenwand und eines entsprechend vorgefertigten Daches um eine reale, bereits existierende Hülle eines bestehenden Hauses herum.

Die Vorfertigungstechniken sind quasi identisch, die Montage ebenso.

- Wenn dann in den vorgefertigten Elementen auch die Fenster gleich drin sind, lässt sich folgendes Szenario denken:
- Die Wohnungsmieter im zu sanierenden Objekt erleben eines Morgens, wie sich zwei 25 mm dicke Bohrer im Abstand von 50 mm durch die Außenwand bohren - Vorlauf und Rücklauf für die neuen Heizkörper.
- Anschließend erscheint unter signifikanter Geräuschentwicklung daneben eine Bohrkrone, die ein Loch mit 110 mm Durchmesser hinterlässt – für die zukünftige Lüftungsleitung
- nachdem nach der Durchführung der Leitungen dann ein Fassadenelement eingeschwebt und montiert ist, in dem das neue Fenster bereits montiert ist,
- kommt ein Monteur an die Wohnungstür, klingelt und bitte höflich darum, das bisherige Fenster ausbauen und mitnehmen zu dürfen.
- Danach erscheinen zwei Heizungsmonteure, die den alten Heizkörper abbauen und mitnehmen, nachdem sie einen neuen montiert haben,
- Zum Schluss kommt noch der Lüftungsbauer und setzt ein entsprechendes Zuluftelement im Wohnzimmer und ein Abluftelement im Bad

Dieses Szenario ist natürlich nicht nur fiktiv, es ist auch übertrieben.

Aber im Grundsatz schildert es eine Art von Sanierung, die mit gewissen Abstrichen in der Realität durchaus vorstellbar wäre…
…und so erhebliche Vorteile hätte, dass man diese auf Dauer nutzen wird.

Dabei ist die Abkehr von der typischen Realisierung:
- Wärmedämmung außen
- Haustechnik innen

nur möglich durch die spezifische Art der Holzfertigbauelemente, die so große Hohlräume bieten, dass in ihnen die technische Gebäudeausrüstung verlegt werden kann.

Dadurch potenzieren sich geradezu die Vorteile dieser Art der Sanierung:
- weitgehende Vorfertigung nach CAD-unterstützter Arbeitsvorbereitung nach elektronischer Gebäudeaufnahme durch 3D Scanner
- dadurch höchstmögliche Qualität der Elemente
- sehr schnelle, effektive und trockene Montage
- Bewohner können in den Wohnungen verbleiben, weil die Verlegung der neuen TGA weitgehend von außen geschehen kann

Die bisher weitgehend mit der Erstellung von EFH beschäftigten handwerklich orientierten Holzfertigbaubetriebe haben, soweit sie auch bisher schon schlüsselfertig gearbeitet haben, eine Alternative zu den deutlich im Absatz reduzierten Einfamilienhäusern und sind quasi prädestiniert, in ihrer Region ansässige Wohnungsgesellschaften zu bedienen.

Soweit sie in der Region über eine entsprechende Reputation verfügen und auch die anderen Handwerker mit koordinieren können, verfügen sie über ein quasi unschlagbares Angebot, das auch industrielle Fertigbauanbieter kaum toppen können.

Diese Art der Sanierung ist ein typisches Arbeitsfeld für ein gut koordiniertes Team aus

- Architekt
- Tragwerksplaner
- TGA- Planer
- Holzfertigbauer
- HSK-Unternehmer

unterstützt die multidisziplinäre Zusammenarbeit insbesondere von KMU und Freiberuflern und schafft Wertschöpfung in der Region.

4 Offene Fragen

a. Zu klären ist insbesondere die Frage, wie die durch die vorhandene Immobilien vorgegebenen Toleranzen – vor allem Abweichungen von der Ebenheit von Flächen – erfasst und in die Arbeitsvorbereitung umgesetzt werden. Denn in einem neu zu erstellenden Objekt in Holztafelbauweise gibt es zunächst ja keine Toleranzen, die berücksichtigt werden. In einem bestehenden Projekt, das in Nassbauweise errichtet wurde, sind erfahrungsgemäß Abweichungen von der Ebenheit der Fläche von ± 2-3 cm nicht ungewöhnlich. Hier wird eine elektronische Datenerfassung mit 3D Scannern erforderlich sein, um die erforderlichen Gebäudedaten für die Arbeitsvorbereitung zur Verfügung zu stellen.
b. Diese Art der Sanierung setzt natürlich ein Minimum an Stückzahlen voraus, die in Abhängigkeit von der vorhandenen Fassadenaufteilung erreicht werden müssen um wirtschaftlich arbeiten zu können. EFH werden deshalb nicht oder nur dann in Frage kommen, wenn durch Reihenhaus- Bebauungen entsprechende Redundanzen vorliegen. Die maximale Gebäudehöhe, die mit diesem System in Holzbauweise ausgestattet werden kann wird davon abhängen, in wieweit in den Geschoßstößen entsprechende Brandschotts eingebaut werden. Hier sind grundsätzlich Gebäude bis zur Hochhausgrenze (23 m) denkbar.
c. Für Holzbauer neu ist zwar die Aufgabenstellung, solch große, vorgefertigte geschosshohe Teile mit Längen von ggf. mehr als 12 m an der vorhandenen Fassade zu befestigen. Diese Aufgabenstellung ist allerdings für Spezialfirmen, die z.B. Abfangungen für Fassaden aus Verblendmauerwerk machen nicht grundsätzlich neu. Insbesondere die Lasten, die durch die vorgefertigten Holzelemente verursacht werden, sind vergleichweise einfach zu handeln.
d. Eine völlige Neuorientierung bedeutet es dagegen, die Haustechnik in der Fassade, außen auf dem Gebäude unterzubringen. Aufgrund der großen Dämmstärken sind Wärmeverluste zwar unerheblich, eventuelle Wärmebrücken, ggf. bauphysikalische Fragestellungen (Schwitzwasser-Vermeidung) relativ einfach zu lösen. Problematisch werden Verbindungen zwischen den Fertigteilen, insbesondere dann, wenn sie geschossweise gestoßen sind. Hier wird es ggf. sinnvoll sein, mehrere Geschosse mit lotrecht aufgeteilten Elementen zu überbrücken. Ebenso anspruchvoll ist die Übergabe aus den lotrechten Steigesträngen in die Geschosse hinein, um sie dort weiter zu führen. Hier wird die Schnittstelle zwischen vorfertigendem Holzbaubetrieb und Haustechnik-Unternehmen peinlich genau entwickelt werden müssen.

5 Vermarktung und Umsetzung

a. Um solche wie die vorgenannten Systeme marktreif zu machen, müssen daran interessierte Unternehmen und Freiberufler sich zu Arbeitsgemeinschaften zusammenschließen,

die ihre Leistungen den i.d.R. institutionellen Auftraggebern anbieten. Diese Unternehmen müssen als Bauteam funktionieren, eine sonst übliche Fluktuation der Auftragnehmer ist bei solchen Geschäftsmodellen nicht denkbar.

b. Für die Gewinnung von Kunden für solcherart Sanierungen ist es von größter Wichtigkeit, neben der zweifellos vorhandenen technischen Kompetenz die man haben und präsentieren können muss, Entscheidungshilfen für die potentiellen Auftraggeber und die von diesen ggf. hinzugezogenen Finanzierer bereit zu stellen. Damit muss die Wirtschaftlichkeit solcher Maßnahmen begründet werden können, weil die Kosten für die Holzfertigteile mit geschätzten 175 – 195 € signifikant höher sind als die Kosten für WDV- Systeme, die mit ca. 30 cm Dämmstoffdicke bei nur 110 € liegen dürften, unabhängig davon, ob man ein Gerüst für die Montage benötigt oder nicht. Diese Entscheidungshilfen müssen exakte Rendite-Berechnungen zulassen, die nicht nur die steigenden Energie-Kosten selbst, sondern vor allem die bessere Vermietbarkeit berücksichtigen, die in Zeiten heftig steigender Energiekosten der Vermieter erreichen kann, der die gesamten für´ s Wohnen zu zahlenden Kosten gering halten kann.

c. Diese Rendite-Überlegungen gehen soweit, dass bei entsprechend niedrigen objektspezifischen Heiz- und Warmwasserkosten diese im Sinne einer Warmmiete in Ansatz gebracht werden können. (Sobald der Aufwand für die Heizkostenabrechnung höher ist als die eigentlichen Heizkosten selbst, können auch nach dem derzeitigen Mietrecht Warmmieten vereinbart werden!)

d. Am interessantesten dürfte ein Modell sein, in denen das Auftragnehmer-Konsortium eine Finanzierung gleich mitbringt. In Zeiten, in denen geschlossene Fonds das Geld von Anlegern bündeln und zweckgebunden für Sanierungen der vorgestellten Art zur Verfügung stellt.

6 Konklusion

Dass Holz an der Fassade wieder eine Renaissance erleben kann, und zwar nicht als primärer Konstruktions-Werkstoff, quasi als Wandbildner sondern nur für den Schutz vorhandener Gebäude, die aus Gründen der Dauerhaftigkeit ursprünglich mineralisch ausgeführt wurden, aber im Sinne der Energie-Effektivität größte Schwächen aufweisen, ist letztlich kein Wunder.

Das sieht man an Dachstühlen, wo Holz als Baustoff über Jahrtausende die größte Bedeutung hat, die eigentlich nie anders konstruiert waren, weil Holz hier unschlagbare Vorteile mitbringt.

Diese unschlagbaren Vorteile aus konstruktiver Sicht, die sich in der Wandsanierung mit vorgefertigten Bauteilen aus Holz abbilden werden in diesem Fall noch ergänzt um die größtmöglichen ökologischen + ökonomischen Vorteile:

- eine Sanierung mit großflächigen Holzfertigteilen, in denen Holzfenster eingebaut sind, und die als Dämmung eine Zellulose-Einblasdämmung aus recycelter Tageszeitung aufnimmt, lässt sich im Sinne einer ökologischen Betrachtung nicht günstiger herstellen.
- wenn im Laufe der kommenden Jahre die Lebenszykluskosten sich an den wirklichen, umwelt-relevanten Kosten orientieren werden, werden solche Fassaden auch ökonomisch kaum zu schlagen sein.

14.2 Bauen im Bestand
Erhaltung und Ertüchtigung von Holztragwerken

Wolfgang Rug

Die Bautechnik des Holzbaues hat in ihrer langen Entwicklungsgeschichte eine Vielfalt von Konstruktionen und Tragwerken hervorgebracht [1], die in vielen Fällen prägender Bestandteil der Baukultur Deutschlands sind. Man denke in diesem Zusammenhang nur an die ca. zwei Millionen Fachwerkbauten, aber auch an historische Dachkonstruktionen, die nach über 800 Jahren immer noch ihre Tragfunktion erfüllen oder die historischen Blockbauten, die als Wohn- oder Wirtschaftsgebäude ganze Regionen Deutschlands prägen. Über die lange Zeit der Nutzung wurden die Holztragwerke auch immer neuen Bedingungen und Ansprüchen angepasst, wofür das in Abb. 1 und 2 gezeigte Gebäude beispielgebend stehen soll.

Abb. 1: Rathaus Esslingen - herausragendes Beispiel für den alemannischen Fachwerkbau, 1430 erstmals erwähnt

Abb. 2: Nördliche Fassade, 1589 im Stil der Renaissance umgestaltet und um ein Stockwerk erweitert

Außerdem legen zahlreiche Holzbauten bzw. Holztragwerke aus der Zeit zwischen 1780 und 1945 Zeugnis ab, von der handwerklichen Qualität und von den innovativen Holzbautechniken, mit denen die Holzbauer früherer Zeiten zur Verbesserung der Lebensverhältnisse beitragen wollten (z.B. in [2]). Sichtbare Zeugnisse dieser Entwicklung sind zum Beispiel die historischen Zeugnisse des Holzhaus-, des Hallen- oder des Dachbaues (z.B. in [2] bis [6]).

Die Erhaltung historischer Konstruktionen erfordert eine Auseinandersetzung mit der Geschichte des Bauens, seiner konstruktiven Entwicklung, seiner kulturgeschichtlichen und sozialen Bedeutung. Will man historische Holztragwerke substanzschonend erhalten, bedarf es eines Bewusstseins zum kulturgeschichtlichen Wert und zur Bedeutung der Holzbauweise für die Entwicklung der Baukultur in Deutschland. Ein Bewusstsein,

welches zunächst der künftige Bauherr haben muss. Er entscheidet letztendlich über den Erhalt der historischen Konstruktion, die er weiter nutzen will. Was weiß aber der heranwachsende deutsche Bürger über die Geschichte des Holzbaues? Nichts! Deshalb ist es wichtig diese Lücke zu schließen und schon die Kinderbücher der kleinsten Kinder mit entsprechenden Informationen auszustatten. Wie baute man früher Häuser, warum verwendete man bis zur Mitte des 18. Jahrhunderts bevorzugt Holz und Lehm zum Hausbau und wer errichtete diese Häuser, wie entstand eine Burg, ein Bürgerhaus oder eine ganze Stadt, lässt sich in den Kinderbüchern aller Altersklassen kindgerecht erklären. Wie setzt sich ein Fachwerkhaus oder eine Dachkonstruktion zusammen, wie wurde aus den Holzstäben zusammen mit den zimmermannsmäßigen Verbindungen eine standsichere Konstruktion, auch das könnte man durch entsprechende Bausätze spielend erlernen. Puppenhäuser oder Spielhäuser für den Garten sollten nicht aus Kunststoffen sein, sondern aus Fachwerk- oder Blockbau bestehen. Maschinen waren im Mittelalter häufig aus Holz konstruiert. Warum also eine Windmühle, eine Sägemühle, ein Hammerwerk nicht selbstständig mit maßstäblich dimensionierten Holzstäben bauen. Welches Kind weiß heute noch etwas über die Bedeutung des Waldes, des Holzes, seiner Arten für die bautechnische Verwendung aber auch für die Herstellung von Gebrauchsgegenständen, oder sogar für die Herstellung hochwertiger moderner Möbel? Wer den zukünftigen Holzabsatz verbessern will, muss in der Bildung der zukünftigen Verbraucher ansetzen und das durchgängig vom Kleinkind bis zur Schul- und Hochschulbildung organisieren. Die Bedeutung des Waldes als Wirtschaftsfaktor kann in jedem Geschichtsunterricht auch unter dem Aspekt der jeweiligen regionalen Entwicklung (z.B. Baden-Württemberg) ein spannender Lehrstoff sein. Ein in diesem Sinne gebildeter Mensch wird, wenn er als Erwachsener später einmal ein altes Fachwerkhaus oder ein Blockhaus erwirbt, ganz anders mit der vorhandene Substanz umgehen! Weil er sich mit seinem Gebäude anders als frühere Generationen identifiziert wird er sich kompetente Baufachleute für den Erhalt seines Gebäudes suchen. Nur ist hier die Frage, ob er sie denn findet?

Die Erhaltung und Ertüchtigung von Holztragwerken ist eine sehr anspruchsvolle fachliche Aufgabe, denn sie umfasst neben einer sorgfältigen Prüfung der Erhaltungswürdigkeit, Kenntnisse zu den historischen Holzbautechniken, zum Werkstoff und zu den Methoden einer substanzgerechten und – schonenden Erhaltung bzw. Ertüchtigung ([1], [10] bis [14]). Nach Einschätzung des Autors wird die Ausbildung unserer Architekten und Bauingenieure diesen Ansprüchen in keiner Weise gerecht. Hier muss in jedem Fall die Ausbildung und vor allem auch das Studien- und Lehrmaterial verbessert werden. Das heißt aber auch, dass innerhalb der gegenwärtigen Holzbaulehre der Altbau bzw. die historischen Tragwerke und Verbindungen einen größeren Anteil einnehmen müssen.

Wenn schon die Holzbauausbildung in den letzten Jahrzehnten wesentlich verringert wurde, so sollte unbedingt die Möglichkeit der gezielten Zusatzqualifizierungen verbessert werden. Die Zimmerer machten es vor mit Ihrer Ausbildung zum Restaurator im Zimmererhandwerk! Ähnliches muss es für Architekten und Bauingenieure geben.

Da das Bauvolumen im Bereich der Erhaltung, Instandsetzung und Modernisierung der bestehenden Bausubstanz inzwischen höher als das Neubauvolumen liegt ist der Architekt und Bauingenieur in der Praxis zunehmend mit Erhaltung und Ertüchtigung von Holztragwerken beschäftigt. Werden durch Umnutzung eines Gebäudes oder durch die Beseitigung von Bauschäden Eingriffe

in die historische Holzbausubstanz notwendig, so sind die in diesem Zusammenhang stehenden statischen Untersuchungen nach den bauaufsichtlichen Regeln durchzuführen. Gerade bei historischen Holzkonstruktionen ergeben sich bei der Anwendung der bauaufsichtlichen Regeln Sicherheitslücken [8], [9]. Die neue Berechnungsnorm DIN 1052: 2008 gilt ausdrücklich auch für Bauten im Bestand. Auf die Spezifik der Beurteilung der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit von Holzkonstruktionen in Bauten im Bestand wird in DIN 1052:2008 allerdings noch nicht explizit eingegangen. Ergänzende Erläuterungen für Bauten im Bestand findet der Leser aber in den Erläuterungen zur Norm - in [7]. Dies ist ohne Zweifel ein Fortschritt und findet sich in keiner vergleichbaren anderen Bemessungsnorm. Aber der gegenwärtige Stand muss weiter verbessert und noch bestehende Sicherheitslücken müssen geschlossen werden! Der Autor sieht Forschungsbedarf auf dem Gebiet der Verifizierung der Teilsicherheitsbeiwerte für die Ermittlung der Eigenlasten, den Regeln für den Nachweis der Schwingungen bei historischen Holzbalkendecken, der realitätsnahen Berücksichtigung von nachgiebigen Verbindungen bei der Berechnung und Bemessung von historischen Tragwerken, der zuverlässigen Feststellung von Materialeigenschaften im verbauten Zustand, der Entwicklung bestandsschonender Brandschutzmaßnahmen, der Beurteilung der Tragfähigkeit historischer Ingenieurholzbau- Verbindungen und der Entwicklung effektiver Methoden zur Ertüchtigung von Holztragwerken.

Den Holzbau als Kulturerbe zu bewahren wirft die Frage auf, warum werden nicht im 2. Weltkrieg zerstörte oder nach dem Krieg abgerissene kulturgeschichtlich wertvolle Fachwerkbauten wieder errichtet. Mit dem Knochenhaueramtshaus in Hildesheim oder der Alten Waage in Braunschweig wurde so das Stadtbild dieser Städte wesentlich verbessert! Wie können derartige Unikate durch Anwendung moderner Abbundtechniken preiswert hergestellt und modernsten Ansprüchen angepasst werden? Denkbar ist aber auch die Anwendung historischer Holzbauweisen im normalen Hausbau. Oder gar die grundsätzliche Weiterentwicklung der historischen Bauweisen zur Anwendung im mehrgeschossigen Wohnbau. Wie würde eine moderne Holzfachwerkbauweise aussehen, wie hoch könnte man mit einer völlig modernisierten Blockbauweise bauen? Stahl-Glas-Architektur haben wir entsprechend dem aktuellen Architekturtrend zuhauf. Glas-Holz-Architektur bisher nur sehr selten!

Baukultur ist Erbe und Fortschritt. Für den Fortschritt und die innovativen Überlegungen der Zukunft kann man viel aus dem Erbe lernen. Voraussetzung ist, die historischen Holztragwerke werden für die Nachwelt erhalten und, sofern erforderlich, nachhaltig ertüchtigt.

Quellen

[1] K. Lißner, W. Rug, Holzbausanierung, Grundlagen und Praxis der sicheren Ausführung, Springer Verlag, Berlin; 2000

[2] W. Rug, 100 Jahre Holzbau und Holzbauforschung, In: Bund Deutscher Zimmermeister: 100 Jahre Bund Deutscher Zimmermeister Bruder Verlag, Karlsruhe 2003

[3] W. Rug, Innovationen im Holzbau- Die Hetzerbauweise, Teil 1, Bautechnik (1994), S. 213- 219, Teil 2, Bautechnik (1995) S. 231-241

[4] Rug, W.: 100 Jahre Hetzerpatent- Eine Entwicklungsgeschichte der Brettschichtbauweise, In: Bautechnik (2006) H8, S. 533- 540

[5] W. Rug, 100 Jahre Hetzerpatent, In: Bautechnik (2006) S. 533- 540

[6] Rug, W., Held, H.: Lebensdauer von Holzhäusern – Eine Untersuchung zur Lebensdauer von im Zeitraum zw. 1870 und 1945 errichteten Holzhäusern, Ingenieurbüro Dr. Rug & Partner, Studie im Auftrag des BDZ, des Bundesverbands Deutscher Fertigbau, des Deutschen Fertigbauverband, der Verbände des Bayerischen Zimmerer- und Holzbaugewerbes und der Qualitätsgemeinschaft Holzbau, Wittenberge 2001

[7] Lißner, K.; Rug, W.: Ergänzende Erläuterungen für Bauten im Bestand In: H. J. Blaß, J. Ehlbeck u. a., Erläuterungen zu DIN 1052:2004-8, Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken, 2. Auflage DGfH, München; 2005

[8] Lißner, K.; Rug, W.: Die Nachweisführung zur Stand- und Tragsicherheit sowie Gebrauchstauglichkeit von Holzkonstruktionen in historischen Gebäuden, In: Europäischer Sanierungskalender 2008, Beuth- Verlag , Berlin 2007

[9] K. Lißner, W. Rug, Ergänzung bzw. Präzisierung der für die Nachweisführung zur Stand- und Tragsicherheit sowie der Gebrauchstauglichkeit von Holzkonstruktionen in der Altbausubstanz maßgebenden Abschnitten der DIN 1052:2004.08, Forschungsbericht T3068, Frauenhofer IRB- Verlag, Stuttgart 2005

[10] Lißner, K.; Winter ,S.; Schmidt, D.; Holz, F.; Hessinger, J.; Hauser, G.; Otto, F.; Held, H.; Rug, Wolfgang, W.: Modernisierung von Altbauten, In: Informationsdienstholz Holz, Holzbauhandbuch, Reihe 1, Teil 14, Folge 1, DGfH und Holzabsatzfond, München 2001

[11] Rug, W.; Stützer, Ch.; Schulze, K.: Erneuerung von Fachwerkbauten, In: Informationsdienst Holz, Holzbauhandbuch Reihe 5, Teil 6, Folge 1, DGfH und Holzabsatzfond, München 2004

[12] K. Becker, C. Tichelmann, Ablaufschema für Sanierungsbauten - erarbeitet vom AA13 „Erhaltung alter Bausubstanz“ der DGfH München 1997

[13] R. Görlacher, M. Kromer, Tragfähigkeit von Versatzanschlüssen in historischen Holzkonstruktionen. Holzbau- Statik- Aktuell, Ausgabe Juli 1992/2, Arge Holz Düsseldorf

[14] R. Görlacher, Historische Holztragwerke, Untersuchen, Berechnen, Instandsetzen, Sonderforschungsbereich 315, Universität Karlsruhe 1999

[15] B. Heimeshoff, W. Schelling, E. Reyer, Zimmermannsmäßige Holzverbindungen, EGH Bericht München 1988

[16] Winter, K./Rug, W. Innovationen im Holzbau - Die Zollingerbauweise, In: Bautechnik, Berlin 69 (1992) 4, S. 190-197

14.2 Bauen im Bestand
Bestand geometrisch erfassen

Klaudius Henke

1 Allgemeines

Das Bauen im Bestand ist einer der wichtigsten Märkte der Bauwirtschaft. Ein Markt, der bis heute von der Verwendung kleinformatiger Bauelemente und handwerklicher Bearbeitung vor Ort geprägt ist. Fertigbau kommt nur in Ausnahmefällen zur Anwendung. Für das Bauen mit vorgefertigten Elementen aus Holz und Holzwerkstoffen stellt der Baubestand somit ein gewaltiges Potenzial dar.

Der Einsatz von Vorfertigung im Bestand setzt die Verfügbarkeit verlässlicher Bestandsdaten voraus. Dies gilt insbesondere für die Geometriedaten. Bestandspläne aus der Genehmigungs- oder Ausführungsphase sind in der Regel weder aktuell noch genau genug und oft überhaupt nicht vorhanden. Deshalb wird bei den meisten Baumaßnahmen im Bestand eine neu zu erstellende Erfassung der Gebäudegeometrie unerlässlich sein.

2 Die etablierten Messverfahren

Im Bauwesen gibt es vier Messverfahren, die als etabliert bezeichnet werden können: das Handaufmaß, die Tachymetrie, die Photogrammetrie und das 3D Laserscanning. Die vier Messverfahren werden im Folgenden, in der Reihenfolge ihres geschichtlichen Auftretens, kurz einzeln beschrieben und anschließend verglichen.

2.1 Handaufmaß

Das traditionelle Handaufmaß ist nach wie vor als eigenständige oder ergänzende Methode der Bauaufnahme von großer Bedeutung. Neben den teils seit Jahrhunderten verwendeten Messwerkzeugen wie Meterstab und Bandmaß, Lot und Wasserwaage, Niveliergerät und Theodolit kommen heute auch Laserentfernungsmesser zum Einsatz. Bei letzteren können die Messwerte z.B. kabellos mittels Bluetooth an einen PC übertragen und dort in Programme wie z.B. Excel oder AutoCad eingelesen werden.

Die Anschaffungskosten der Messgeräte für ein Handaufmaß sind gering und das Verfahren ist leicht zu erlernen. Es bietet eine nicht zu überbietende Transparenz und damit Sicherheit vor Messfehlern. Einfache Objekte mit ebenen Flächen und rechten Winkeln sind gut von Hand zu vermessen. Aber auch komplexe Geometrien können mittels Handaufmaß erfasst werden, z.B. verformte Altbauten in der Baudenkmalpflege, hier sogar oft durch maßstäblichen zeichnerischen Auftrag direkt vor Ort. Der große zeitliche Aufwand wird dabei durch den Zugewinn an Information gerechtfertigt, der sich aus der unmittelbaren Arbeit am Objekt ergibt.

Umfassende Darstellungen der Techniken des Handaufmaßes geben [1] und [10].

2.2 Photogrammetrie

Bereits Mitte des 19. Jahrhunderts und damit nur wenige Jahre nach Erfindung der Fotografie (Aber knapp ein Jahrhundert vor Erfindung des Computers!) wurden die ersten Methoden entwickelt, um aus fotografischen Bildern Lage und Form von Objekten messen zu können. Damit ist die Photogrammetrie die älteste der im Folgenden besprochenen optischen 3D Messtechniken.

Heute werden für photogrammetrische Aufgaben in der Regel digitale Kameras in Kombination mit spezieller Bildauswertesoftware eingesetzt.

Als Aufnahmegerät kommen je nach Anwendungsgebiet und Verfügbarkeit unterschiedliche Geräte - vom Fotohandy über digitale Kompakt- und Spiegelreflexkameras bis hin zu speziellen Messkameras („Messkammer“) oder 360 °-Panoramakameras - zum Einsatz. Werden hohe Anforderungen an die Genauigkeit gestellt, so muss

die Kamera kalibriert werden: Das heißt, es werden Größen, wie die Lage des Projektionszentrums und die Abweichung vom mathematischen Modell der Perspektive bestimmt, wie sie (z.B. durch die Verzeichnungen des Objektivs) bei jeder Kamera mehr oder weniger gegeben sind. Die Kalibrierung gilt jeweils bei einer einzigen Kamera mit einem einzigen Objektiv nur für eine Brennweite und eine Fokussierung. Fokussierung und bei Zoomobjektiven auch die Brennweite werden deshalb bei kalibrierten Kameras fixiert.

Charakteristisch für die Photogrammetrie ist, dass nicht am Objekt selbst, sondern im Bild gemessen wird. Tiefenmaße sind folglich nur schwer zu nehmen. Die Erfassungszeit am Objekt ist extrem kurz. Das Verfahren ist sehr robust gegenüber klimatischen Einflüssen. Bewegungen des Aufnahmegerätes während der Erfassung sind (anders als bei Tachymetrie und terrestrischem Laserscanning) unproblematisch; das ermöglicht die Arbeit von Hub- und Fluggeräten aus. Die Anschaffungskosten für Gerät und Lizenzen sind gering, die Betriebskosten verschwindend klein. Voraussetzung für photogrammetrische Aufnahmen sind selbstverständlich ausreichend gute Lichtverhältnisse. Die sozusagen als Nebenprodukt mitgelieferten Bild- und Farbinformationen sind oft von großem Wert für Auswertung und Interpretation.

Ausführliche Gesamtdarstellungen zum Thema Photogrammetrie haben Kraus [7] und Luhmann [8] zusammengestellt.

In Hinblick auf die Anwendungen im Bauwesen kann die Photogrammetrie in zwei Gruppen eingeteilt werden: Einbild-Photogrammetrie und Mehrbild-Photogrammetrie. Während bei der Einbild-Photogrammetrie ausschließlich in einer Ebene des Objekts (etwa in einer Fassade) gemessen werden kann, können bei der Mehrbild-Photogrammetrie die Lage von Objektpunkten im Raum ermittelt werden. Auch die photogrammetrische Software lässt sich in solche für Einbild- und solche für Mehrbild-Photogrammetrie unterteilen.

2.2.1 Einbild- Photogrammetrie

Im perspektivischen Bild, wie es durch Fotografie entsteht, können wegen der für diese Projektionsart typischen Fluchtung, Strecken in der Regel nicht unmittelbar gemessen werden. Eine Ausnahme stellen solche Perspektiven dar, bei denen eine Ebene des Objektes parallel zur Bildebene verläuft: Strecken in dieser Ebene des Objektes werden maßstäblich abgebildet. Der Maßstab kann ermittelt werden, wenn ein Streckenmaß bekannt ist.

In der Praxis wird es, schon allein wegen räumlicher Zwänge, selten möglich sein, die Bildebene des Fotoapparates exakt auf das Objekt auszurichten. Es werden immer mehr oder weniger perspektivisch fluchtende Abbildungen entstehen. Dennoch können, unter Ausnutzung der geometrischen Gesetzmäßigkeiten der Perspektive, Objektmaße aus Messungen im Bild errechnet werden: Einzelbildauswertung in der Einbild-Photogrammetrie. Um Fluchtung und Maßstab errechnen zu können, müssen eine geringe Anzahl von Maßen z.B. per Handaufmaß oder Tachymetrie am Objekt selbst genommen werden. Dies können etwa ein vertikales und ein horizontales Maß oder die Koordinaten dreier Punkte in der zu vermessenden Objektebene sein. Eine Alternative besteht darin, Maßstäbe mit zu fotografieren. Alle übrigen Strecken können in der Folge aus dem Bild errechnet werden.

Eine komfortable Variante der Einzelbildauswertung stellt die Einzelbildentzerrung dar. Hier wird das Bild so umgewandelt (= entzerrt), dass eine Ebene des Objektes (typisches Beispiel: eine Fassadenebene) unverzerrt erscheint. Strecken können anschließend unmittelbar im entzerrten Bild gemessen werden.

Abb. 1: Einbild- Photogrammetrie: entzerrtes Einzelbild, oben und Messungen in entzerrten und gestitchten Bildern, unten [12]

Bei großen Objekten oder beengten Verhältnissen müssen gegebenenfalls mehrere Bilder zu einem großen Bild zusammengesetzt werden („Stitching"). Nichtsdestoweniger handelt es sich dabei um Einbild- Photogrammetrie, da nach wie vor in einer Ebene gemessen wird.

Software für die Einbild- Photogrammetrie wird für Preise zwischen ca. 100,- € und 2.000,- € angeboten und ist leicht zu erlernen. Oft sind die Programme auf spezielle Anwendungen zugeschnitten (Angebotserstellung für Malereibetriebe, Energiepass) und in entsprechende Softwarepakete eingebunden. Günstige Lösungen beschränken sich auf wenige Grundfunktionalitäten. Programme am anderen Ende der Kostenspanne zeichnen sich durch Funktionalitäten wie Import von Kalibrierungsdaten, Stitchingfähigkeit oder Exportschnittstellen (Excel, CAD) aus.

2.2.2 Mehrbild- Photogrammetrie

Durch gleichzeitige Auswertung mehrerer Bilder kann die räumliche Geometrie von Objekten aus fotografischen Bildern hergeleitet werden. Voraussetzung ist auch hier, dass einzelne geeignete Maße z.B. per Hand am Objekt selbst genommen wurden. Die Auswertung geschieht heute in der Regel mit spezieller Software am Computer. Das Ergebnis sind zunächst die Raumkoordinaten von Einzelpunkten. Mit Hilfe der Software lassen sich aus Eckpunkten Kanten und aus Kanten wiederum Flächen des Objektes modellieren. Die Flächen des Modells können mit den Bildinformationen aus den Fotos texturiert werden. Schließlich kann das Modell als Datei in einem geeigneten Format exportiert und in ein CAD-Programm eingelesen werden. Einige Softwarelösungen für die Mehrbild-Photogrammetrie sind von vornherein als Applikation zur Ausführung in der Umgebung eines CAD Systems wie AutoCAD oder MicroStation programmiert.

Die Preisspanne bei den Softwarepaketen für die Mehrbildauswertung reicht von ca. 1.000,- € bis ca. 10.000,- €. Außerdem entstehen Kosten für die Einarbeitung von ca. eins bis drei Tagen bzw. Schulung. Der Funktionsumfang ist bei den angebotenen Programmen weitgehend gleich. Ausnahmen stellen Spezialfunktionen dar, wie etwa die kombinierte Auswertung von Fotos und Punktwolken z.B. aus 3D Laserscanning. Außerdem gibt es bei einigen Systemen Beschränkungen bei der Anzahl von Bildern, die miteinander verrechnet werden können. Erhebliche Unterschiede sind bei Benutzeroberfläche und Bedienkomfort festzustellen.

Abb. 2: Mehrbild- Photogrammetrie: Kanten- und Flächenmodell, oben und texturiertes Flächenmodell, unten [2]

2.3 Tachymetrie

Die Tachymetrie wurde vor etwa 40 Jahren entwickelt. Das Tachymeter ist die Kombination aus einem geodätischen Winkelmessgerät (Theodolit) mit einem Laserentfernungsmesser. Der sichtbare Laserstrahl wird auf einen markanten Objektpunkt (wie z.B. Eckpunkte von Fassadenflächen oder Fensteröffnungen) gerichtet. Über die Laufzeit des Laserlichtes wird die Entfernung zwischen Tachymeter und Objektpunkt errechnet. Aus Distanz und Ausrichtung des Laserstrahls lässt sich die räumliche Lage des Objektpunktes in Bezug auf das Tachymeter ermitteln. Auf diese Weise wird das Objekt Punkt für Punkt abgetastet. Die Ausgabe der Punktkoordinaten erfolgt direkt in digitaler Form. Die auch als Totalstationen bezeichneten modernen Tachymeter besitzen Rechnereinheiten, um die erfassten Punkte zu speichern, Strecken und Flächenberechnungen durchzuführen oder Polarkoordinaten in kartesische Koordinaten umzuwandeln. In einem am Gerät angeschlossenen Notebook kann das Ergebnis mit Hilfe spezieller Software unmittelbar in ein Kantenmodell umgesetzt werden.

Die Tachymetrie ist ein erprobtes und robustes vermessungstechnisches Verfahren. Die Gerätekosten liegen bei 5.000,- € bis 25.000,- €. Eine Schulung am Gerät ist für die Bedienung erforderlich. Mit der Tachymetrie können einfache Bauwerksgeometrien wirtschaftlich erfasst werden. Da bereits bei der Erfassung die wesentlichen Punkte des Objektes gemessen werden, ist die Nachbearbeitungszeit im Büro sehr gering. Die Tachymetrie eignet sich auch zur Ergänzung von Photogrammetrie und 3D Laserscanning z.B. zum Einmessen von Passmarken für die Verknüpfung einzelner Aufnahmen.

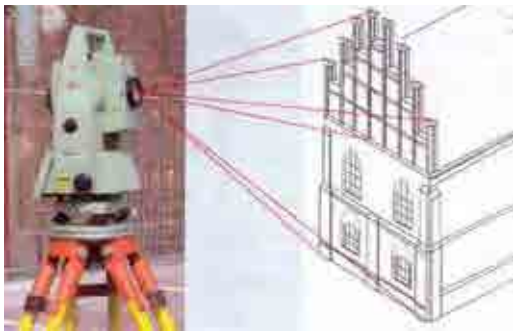


Abb. 3: Prinzip der Tachymetrie [3]

Einsatzmöglichkeiten der Tachymetrie bei der Bauwerksvermessung und kritische Messsituationen werden in [4] erörtert.

2.4 3D Laserscanning

Das 3D Laserscanning kommt seit etwa 10 Jahren bei der Erfassung von Bausubstanz zum Einsatz. Es basiert auf dem gleichen polaren Messprinzip wie die Tachymetrie. Anders als letztere arbeitet

es aber nicht mit einzelnen ausgewählten Objektpunkten; stattdessen wird die gesamte Oberfläche des Objektes mit einer großen Zahl von Messpunkten überzogen, indem der Laserstrahl automatisch schrittweise geschwenkt bzw. geneigt wird. Das Ergebnis sind die Raumkoordinaten dieser Messpunkte, meist ergänzt durch einen Wert für die Intensität des jeweils reflektierten Laserlichtes. Mittels spezieller Software können die Punkte als so genannte Punktwolke am Bildschirm dargestellt werden.

Bezüglich der Entfernungsmessung konkurrieren bei den modernen Geräten zwei Verfahren miteinander: Phasenvergleichsverfahren und Laufzeitverfahren. Ersteres ist schneller, hat aber eine auf unter 100 m begrenzte Reichweite, letzteres ist weniger schnell, kommt jedoch auf Reichweiten von bis zu 2000 m. Die Anschaffungskosten für einen 3D Laserscanner incl. der für den Betrieb notwendigen Software liegen zwischen 50.000,- € und 150.000,- €. Vermessungstechnische Vorkenntnisse bzw. Schulung sind dringend erforderlich. Hierdurch und für eventuell notwendige Auswertungssoftware entstehen zusätzliche Kosten.

Mit einem einzelnen Scan können selbstverständlich nur die Objektpunkte erfasst werden, welche vom jeweiligen Standpunkt des Scanners aus durch den Laserstrahl erreicht werden können. Selbst bei einfacher Geometrie des Objekts wird es daher immer zu einer gewissen Verschattung von Objektpunkten kommen. Es ist deshalb in der Praxis meist nötig, ein Objekt von mehreren Standorten aus aufzunehmen. Die so erzeugten Punktwolken werden über Passmarken, Passkugeln oder auch natürliche Flächen aufeinander ausgerichtet und zu einer Gesamtpunktwolke zusammengesetzt (Registrierung). Auf diese Weise können Punktwolken mit mehreren Millionen Punkten und mehreren GB Datenumfang entstehen.

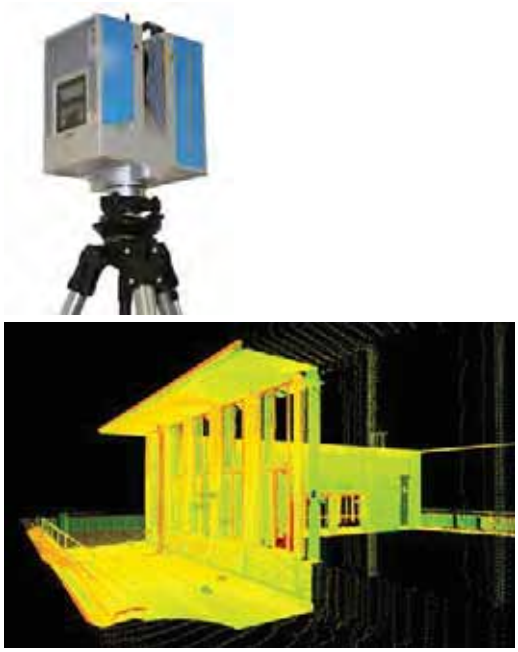


Abb. 4: 3D Laserscanner, oben [11] und Punktwolke einer Fassade mit farbiger Darstellung der Intensitäten, unten [12]

Die Erfassung eines baulichen Objektes mit 3D-Laserscanning nimmt je nach Schwierigkeitsgrad wenige Stunden bis einige Tage in Anspruch. Anschließend muss die Punktwolke entsprechend der beabsichtigten Verwendung ausgewertet werden (Modellierung). In den meisten Fällen wird dies die Überführung der Daten in Rissdarstellungen oder in CAD-gängige Kanten-, Flächen- oder Volumenmodelle sein. Für diese Aufgaben gibt es eine Reihe von Softwareprodukten, mit deren Hilfe es möglich ist, geometrische Primitive wie Ebenen und Zylinder weitgehend automatisch modellieren zu lassen. Freiformflächen werden mittels Dreiecksvermaschung oder durch mathematische Funktionen dargestellt. Trotz dieser technischen Möglichkeiten wird für die Auswertung im Verhältnis zur Erfassung ein Vielfaches an Zeit benötigt.

Messprinzip und Bauarten von 3D Laserscannern sind ausführlich in [5] beschrieben.

2.5 Vergleich der Messverfahren

Wie oben dargestellt, weisen die Verfahren zur geometrischen Bestandserfassung stark unterschiedliche Charakteristika auf. Dies macht es erforderlich, vor Beginn eines Vermessungsprojektes genau zu untersuchen, welche Techniken für die jeweilige Aufgabe geeignet sind. Die prinzipiellen Stärken und Schwächen der beschriebenen Messverfahren sind in untenstehender Tabelle zusammengefasst.

Die Schwächen der einzelnen Messverfahren lassen sich weitgehend kompensieren, wenn mehrere Verfahren miteinander kombiniert werden. So ist die Photogrammetrie in der Regel immer auf von Hand oder tachymetrisch genommene Einmessungen angewiesen. Das Laserscanning gewinnt durch Zusatzinformationen aus Fotos. Ergänzungsmessungen von Hand an schwer zugänglichen Stellen des Objektes sind wirtschaftlicher, als das kategorische Einscannen eines jeden Details. Die Verknüpfung von Einzelaufnahmen sowohl beim Laserscanning als auch bei der Photogrammetrie kann mithilfe tachymetrisch eingemessener Passpunkte besonders genau und effektiv gestaltet werden.

3 Weiterentwicklungen und Alternativen

Neben den vier im Bauwesen etablierten Verfahren gibt es eine große Zahl von Messtechniken, die teilweise erst seit kurzem auf dem Markt sind. Einige Verfahren stammen aus vollkommen anderen technischen Bereichen. Zugkräftige Motoren für die Entwicklung der Messtechnik sind vor allem Produktentwicklung und Qualitätskontrolle in der industriellen Fertigung. Aber auch in Anlagenbau und Fabrikplanung, in Medizintechnik und Robotik, in Landvermessung und Archäologie, in der Forensik und bei der Unfallrekonstruktion kommen moderne 3D Messverfahren zum Einsatz. Es ist nicht auszuschließen, dass sie für Spezialanwendungen oder in einer weiterentwickelten Form auch im Bauwesen sinnvoll eingesetzt werden können. Im Folgenden einige Beispiele:

Mehrbild-Photogrammetrie mit kodierten Marken: Am Objekt werden vor der fotografischen Erfassung deutlich erkennbare Marken angebracht. Diese Marken sind mit einer graphischen Kodierung versehen, welche die Auswertesoftware eigenständig erkennt. Die Zuordnung identischer Punkte in verschiedenen Bildern kann da-

Tab. 1: Vergleich der Verfahren zur geometrischen Erfassung von Bestandsgebäuden

Verfahren (Zielgeometrie)	**charakteristische Vorteile**	**charakteristische Nachteile**	**typische Anwendungsbeispiele**
Handaufmaß (Strecken)	geringe Investitionskosten leichte Erlernbarkeit einfache Objekte leicht zu erfassen unmittelbare Arbeit am Objekt	großer Aufwand bei großen oder komplexen Objeken	kleine und einfache Objekte rechtwinklige Objekte verformungsgetreues Aufmaß in der Denkmalpflege Ergänzungs- und Kontrollmaße
Photogrammetrie (Punkte/Strecken)	geringe Investitionskosten kurze Erfassungszeit unempfindlich gegen Klimaeinflüsse Bewegungen des Aufnahmegerätes unproblematisch zusätzliche Bildinformationen	begrenzte Genauigkeit besonders bei Messungen in die Tiefe i.d.R. nicht eigenständig	ebene Objekte Objekte mit markanten Punkten Fassadenaufmaß Visualisierungen
Tachymetrie (Punkte)	einfache Objekte leicht zu erfassen hohe Genauigkeit geringer Nachbearbeitungsaufwand	nur diskrete Einzelpunkte erfassbar Vorkenntnisse bzw. Schulung erforderlich	Objekte mit markanten Punkten und geraden Kanten Aufmaß von Innenräumen und Fassaden Einmessen von Passpunkten
3D-Laserscanning (Flächen)	komplexe, unregelmäßige Geometrien können in kurzer Zeit erfasst werden	hohe Investitionskosten Vorkenntnisse bzw. Schulung erforderlich große Datenmenge hoher Nachbearbeitungsaufwand	komplexe, unregelmäßige Objekte jeder Größenordnung Bestandserfassung in der Anlagen- und Fabrikplanung Qualitätskontrolle bei der Fertigung

durch automatisiert werden. Mit einer ausreichend großen Zahl von Marken lassen sich auch Objekte mit gekrümmten Oberflächen erfassen.

Streifenprojektion: Bei diesem Verfahren werden wechselnde Lichtmuster auf das Objekt projiziert und mit mindestens einer hochauflösenden Digitalkamera mit hoher Bildrate aufgenommen. Aus diesen Bildern kann die Geometrie von Objekten in der Größenordnung von bis zu 2 x 2 m mit wenigen Zehntelmillimetern Genauigkeit erfasst werden. Die Streifenprojektion ist allerdings durch geringe Toleranzen gegenüber den Lichtverhältnissen in der Messumgebung gekennzeichnet.

Fotoscan: Diese Neuentwicklung verspricht die Realisierung von 3D Scans mit photogrammetrischen Methoden ohne die Zuhilfenahme kodierter Marken oder strukturierter Beleuchtung. Kern des Verfahrens ist ein Algorithmus, welcher in verschiedenen Fotos des gleichen Objektes in einem regelmäßigen Raster nach ähnlichen Elementen sucht. Können in zwei Bildern übereinstimmende Punkte identifiziert werden, so lassen sich die Koordinaten des Punktes errechnen. Das Ergebnis ist eine Punktwolke, wie sie auch Streifenprojektion und 3D Laserscanning hervorbringen. Voraussetzung für den Einsatz des Verfahrens ist eine deutlich sichtbare Textur der Objektoberfläche.

3D Kamera: Bei diesen Geräten handelt es sich um Kameras mit einem digitalen Flächensensor, die zusätzlich mit einer speziellen Beleuchtungseinheit ausgestattet sind. Beim Auslösen der Aufnahme wird vom Gerät Licht, meist unsichtbares Infrarotlicht, ausgesandt, welches von der Szene reflektiert wird. Über die Laufzeit des Lichts wird für jedes Pixel des Sensors die Entfernung zum abgebildeten Objektpunkt ermittelt. Ergebnis ist ein 3D Digitalfoto, welches z.B. als Falschfarbenbild (Entfernungswerte farbcodiert) dargestellt werden kann. Auflösung und Reichweite von 3D Kameras sind momentan noch gering.

Intelligente Totalstation, Foto- und Videotachymetrie: In den letzten Jahren wurden mehrere Weiterentwicklungen der Tachymetrie betrieben und zum Teil zur Marktreife gebracht. So genannte intelligente Totalstationen, sind in der Lage, das Objekt zusätzlich zu den diskret gemessenen Punkten mit einem Raster von Messpunkten zu überziehen. Auf diesem Weg können z.B. Unebenheiten in der Objektoberfläche erkannt werden. Bei der Foto- und Videotachymetrie werden tachymetrisch gemessene Punkte um visuelle Informationen ergänzt.

Farbige 3D Scans: Die Geometriedaten aus 3D Laserscanning können durch Farbinformationen aus Fotografien angereichert werden. Das Ergebnis ist eine in Objektfarben eingefärbte Punktwolke. Zu diesem Zweck wird meist eine Digitalkamera fest auf dem Scanner montiert. Aber auch separat aufgenommene Fotos können mit einer Punktwolke desselben Objektes verknüpft werden.

Triangulationsscanner: Neben den oben beschriebenen Phasenvergleichs- und Laufzeitscannern gibt es eine Gruppe von 3D Laserscannern, welche die Distanz mittels Triangulation ermitteln. Die Laserquelle und ein optischer Empfänger sind in einem fixen Abstand am Gerät befestigt. Der Laserstrahl wird in einem kontrollierten Winkel zu dieser Basis ausgesandt und vom Objekt reflektiert. Der Winkel des am Empfänger eintreffenden Lichts zur Basis wird gemessen. Mit diesen Werten können die freien Seiten des Dreiecks Sender / Objektpunkt / Empfänger berechnet werden. Die heute auf dem Markt erhältlichen Geräte dieser Bauart erreichen hohe Genauigkeiten bei stark begrenzter Reichweite (bis max. 2,5 m). Sie sind vergleichsweise leicht, klein und kostengünstig.

Handgeführte 3D Scanner: Ebenfalls nach dem Triangulationsprinzip arbeiten die so genannten Lichtschnittsensoren, wobei hier statt eines einzelnen Laserpunktes eine Laserlinie projiziert wird. Das Messobjekt ist somit das Profil, welches diese Projektion auf der Oberfläche des Objektes erzeugt. Wird der Sensor entlang der Objektoberfläche bewegt, wird eine Folge von Profilen erzeugt, welche in ihrer Summe die Geometrie der Oberfläche abbilden. Um die einzelnen Profile einander räumlich zuordnen zu können, ist es notwendig, Lage und Ausrichtung des Sensors zu jedem Zeitpunkt der Aufnahme exakt zu kennen. Für diese Aufgabe sind verschiedene Technologien im Einsatz, unter anderem auch solche, die es erlauben, den Sensor frei von Hand zu führen.

Wertvolle Informationsquellen zu den aktuellen Entwicklungen bei den Messverfahren sind die Beiträge zu den jährlich stattfindenden Tagungen wie z.B. das DVW Seminar „Terrestrisches Laserscanning“ in Fulda (DVW 2008) und die Oldenburger 3D Tage (Luhmann / Müller 2008).

4 Entwicklungstendenzen und Forschungsaktivitäten

Am Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion der Technischen Universität München wird zurzeit im Rahmen zweier Forschungsvorhaben die Eignung von Photogrammetrie und 3D Laserscanning als Aufmaßverfahren für das Bauen im Bestand mit vorgefertigten Elementen untersucht: Das europäische WoodWisdom-Net Projekt TES-EnergyFacade beschäftigt sich mit der Entwicklung eines Systems von vorgefertigten Holzrahmenbau-Elementen für die energetische Sanierung von Bestandsgebäuden. Für das Projekt VIP im Bestand, welches von der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung gefördert wird, werden verschiedene Messtechniken systematisch an ausgewählten Testobjekten eingesetzt und verglichen. Es zeigt sich, dass die verfügbaren Messverfahren durchaus geeignet sind, Geometriedaten auf Werkplanungsniveau zu liefern. Defizite wurden vor allem bei der Handhabbarkeit, dem Zeitaufwand für Auswertung und den Kosten für Gerät und Software konstatiert.

In den Entwicklungsabteilungen der Messgerätehersteller und Softwareanbieter wird ebenso wie an den Hochschulen an einer Fülle von Verbesserungen auf dem Gebiet der Messverfahren gearbeitet. Neben der Entwicklung völlig neuer Verfahren und der Leistungssteigerung (Reichweite, Geschwindigkeit, Genauigkeit), Prüfung und Kalibrierung der bereits verfügbaren Geräte, zielen die Anstrengungen in besonderem Maße auf die Entwicklung von Algorithmen zur schnelleren und effektiveren Auswertung der Daten. Forschungs- und Entwicklungsbedarf besteht zusätzlich zum Beispiel auf folgenden Gebieten:

Die Zusammenstellung handlicher und kostengünstiger Aufmaßsysteme für einzelne, häufig wiederkehrende bauliche Aufgaben.

Die Adaption und Modifikation von Entwicklungen aus anderen Branchen (z.B. Streifenprojektion oder 3D Kameras) für Anwendungen im Bauwesen.

Die Verbesserung der digitalen Prozesskette vom Aufmaß über Planung und maschinelle Fertigung bis hin zu Montage und Wartung.

Die Erzeugung digitaler integrierter Gebäudemodelle für Bestandsbauten durch die Anreicherung von Geometriedaten mit Sachdaten, möglicherweise auch unter Nutzung von Technologien zur automatischen Erkennung von Objekteigenschaften.

Die Anpassung der Werkzeuge und Arbeitsweisen bei Planung und Produktion zur effektiveren

Nutzung der Messergebnisse aus scannenden Verfahren (nicht modellierte Punktwolken).

Die Weiterentwicklung von Verfahren zur Ortung verborgener Konstruktionselemente, etwa durch Kombination von Photogrammetrie und Thermografie.

Der Fortschritt auf dem Gebiet der Messtechnik wird die Handlungsspielräume für den Holzbau auch in Zukunft immer wieder erweitern. Auf das Bauen im Bestand trifft dies in besonderem Maße zu; aber auch bei der Neubauproduktion und in der Forstwirtschaft gewinnt eine effektive Geometrieerfassung ständig an Bedeutung. Von daher gilt es, bereits verfügbaren Techniken gründlich zu evaluieren und neue Entwicklungen nicht nur zu beobachten, sondern wo möglich aktiv mit zu gestalten.

Quellen

[1] Cramer, J. (1984): Handbuch der Bauaufnahme: Aufmaß und Befund. Stuttgart: Deutsche Verlags-Anstalt, 1984

[2] Eos Systems Inc. (2009): PhotoModeler. http://www.photomodeler.com/applications/architecture_and_preservation/examples.htm (Abruf vom 17.2.2009)

[3] FPK-Ingenieurgesellschaft mbH (2009): Dokumentation mit Archimedes 3D-Funktionsumfang. http://www.archimedes3d.de/docs/start.php?enter=Haupteingang (Abruf vom 22.1.2009)

[4] Juretzko, M. (2005): Reflektorlose Video-Tachymetrie – ein integrales Verfahren zur Erfassung geometrischer und visueller Informationen. Dissertation, Ruhr-Universität Bochum, Deutsche Geodätische Kommmission (DGK) Reihe C 588, München, 2005

[5] Kern, F. (2003): Automatisierte Modellierung von Bauwerksgeometrien aus 3D-Laserscannerdaten. Dissertation, Technische Universität Braunschweig, Geodätische Schriftenreihe der Technischen Universität Braunschweig Heft Nr. 19, 2003

[6] Deutscher Verein für Vermessugswesen e.V. - DVW (2008) : Terrestrisches Laserscanning (TLS 2008) – Beiträge zum 79. DVW-Seminar am 6. und 7. November 2008 in Fulda. Schriftenreihe des DVW, Band 54. Augsburg: Wißmer, 2008

[7] Kraus, K. (2004): Photogrammetrie, Band 1, Geometrische Informationen aus Photographien und Laserscanneraufnahmen. Berlin: Walter de Gruyter, 2004

[8] Luhmann, Th. (2003): Nahbereichsphotogrammetrie, Grundlagen, Methoden und Anwendungen. Heidelberg: Wichmann, 2003

[9] Luhmann, Th.; Müller, Ch. (Hrsg.) (2008): Photogrammetrie, Laserscanning, Optische 3D-Messtechnik – Beiträge der Oldenburger 3D-Tage 2008. Heidelberg: Wichmann, 2008

[10] Wangerin, G. (1992): Bauaufnahme: Grundlagen, Methoden, Darstellung. Wiesbaden: Vieweg, 1992

[11] Zoller+Fröhlich (2008): Die neue Art zu scannen. http://www.zf-laser.com/d_imager5006.html (Abruf vom 25.11.2008)

[12] TU München, Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion

14.2 Bauen im Bestand
Baubegleitendes 3D-Laserscannen

Patrick Lenhard, Hans Quasnitza

Mittels Laserscanner ist die detailgetreue Objektaufnahme möglich. So sind die Bestandsaufnahme von Gebäuden bzw. Baudenkmälern allgemein ein hilfreiches Mittel in der Dokumentation. In diesem Projekt wurde ein in Originalgröße gefertigtes Negativmodell eines Veranstaltungsraumes aufgenommen. Die Daten dienen als Planungsgrundlage sowohl des tragenden Systems aus Brettschichtholz- Stäben als auch der benötigten segmentierten Schalungen.

1 Allgemein

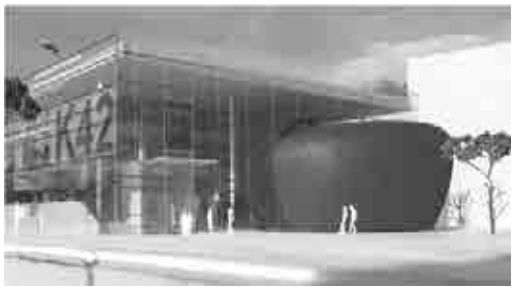


Abb. 1: Modell K42-Friedrichshafen [2]

Abb. 2: Iglu – außen [1]

Abb. 3: Iglu – innen [1]

In Friedrichshafen wird von dem in Baltringen ansässigen Firma Schmid, als Teil des neuen Medienhauses K42, ein Veranstaltungssaal in Form eines Kieselsteines errichtet. Das ehemalige Sparkassengebäude wird seit März 2005 zum Medienhaus K42 umgebaut, in welchem auf 3300 m^2 Fläche, unter anderem ein Kaufhaus, Büros, Restaurants und Penthouse-Wohnungen Platz finden. Zusätzlich wird neben dem eckigen Gebäude ein Veranstaltungssaal in Form eines Bodenseekiesels errichtet. Problematisch in der Konstruktion und für die Bauphase gestaltet sich hierbei die vorgegebene organische Struktur. Zu diesem Zweck wurde auf dem Betriebsgelände der Firma Schmid in Baltringen ein Prototyp 1:1 aus Styropor errichtet (Abb. 4 u. 5). Dieses Iglu dient dem komplexen, dreidimensional gekrümmten Gebäude als Schalung.

Abb. 4: Bauphase (Negativ-Modell) [2]

Abb. 5: Außenansicht des fertig gestellten Iglu-Baltringen [2]

Abb. 6: Glasfaserbeton-Segment [2]

Nach Aufnahme des Objektes durch einen 3D-Laserscanner wurde das Iglu in über hundert Segmente zersägt und diente als Vorlage für die Produktion der einzelnen Fassadenplatten aus Glasfaserbeton (Abb. 6). Dieses „Mosaik“ wird dann in Friedrichshafen wie ein „3D-Puzzle“ auf einer Stützkonstruktion von Brettschichtholz-Rippen aufgesetzt.

2 Material und Methoden

Zum Einsatz kam ein LEICA HDS 3000:

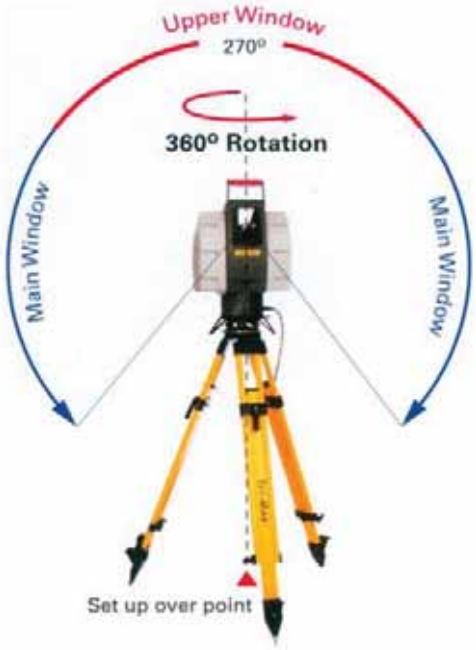


Abb. 7: Laserscanner LEICA HDS 3000 [2]

Die Innenhaut wurde wie in Abb. 8 dargestellt über vier Scannerstandorte (1-4) in einer mittleren Auflösung von 5 cm in 15 m Entfernung aufgenommen und jeweils mit einem 360° x 270°-Scan ermittelt. - Die Zielmarken (Abb. 9) wurden parallel mittels Tachymeter eingemessen. Diese ermittelten Daten bildeten ein übergeordnetes lokales Koordinatensystem (AP 2000, 2001, 2002, 2003), in welches später die einzelnen Punktwolken (pointclouds), die sich aus den einzelnen Scans an den jeweiligen Scannerstandorten ergeben haben, überführt wurden. Durch die Überlagerung der vier Punktwolken wurde eine mittlere Punktrasterweite von unter 2 cm erreicht.

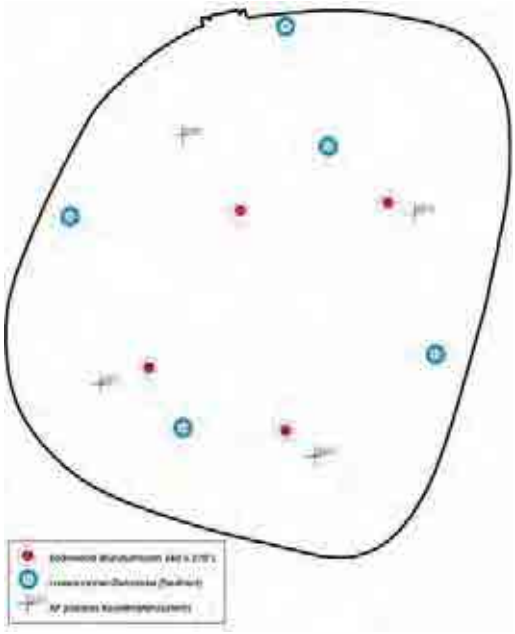


Abb. 8: Aufnahmestandorte (Scanworld 1-4) mit jeweiligem Sichtfeld [Horizontalschnitt in der Null-Ebene des IGLU-Baltringen] [2]

Abb. 9: Scanworld 1; Tie-Point 11 u. 12 [2]

Tab. 1: Systemspezifikationen LEICA HDS 3000

Reichweite	100 m
Messrate	1.800 pts/sec.
Aussschnitt	270° x 360°
Laserklasse	3R
Strahlöffnung	<6mm bei 50m
Schrittweite - horizontal - vertikal	 max. 20.000 pts/row max. 5.000 pts/row
Genauigkeit - Entfernung - Winkel (Hz) - Winkel (V)	 4mm / 50m 60 microrad 60 microrad
Gewicht	16 kg (ohne Batterie)

3 Arbeitsablauf

Die gemessenen Daten wurden miteinander in ein übergeordnetes Koordinatensystem überführt und verknüpft. Durch das Laserscannen wurde eine zeit- und kostenaufwendige Demontage und Wiederaufbau des Gerüstes vermieden. Dieses wurde innerhalb der zusammengeführten Punkwolke mit der Software Cyclone herausgerechnet.

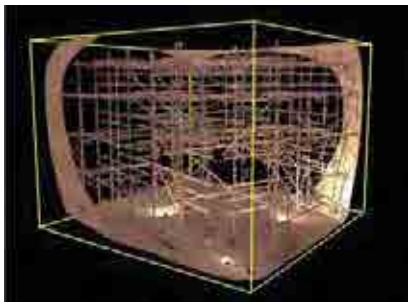


Abb. 10: Punktwolke des Iglu-Baltringen inkl. Montagegerüst. [2]

Abb. 11: Innenansicht. Das Montagegerüst wurde herausgerechnet. Zu sehen ist noch der durch Verdeckung bedingte Schattenwurf. [2]

Basierend auf den Horizontalschnitt in Nullhöhe (z=0) wurden Schnittlinien vorgegeben:

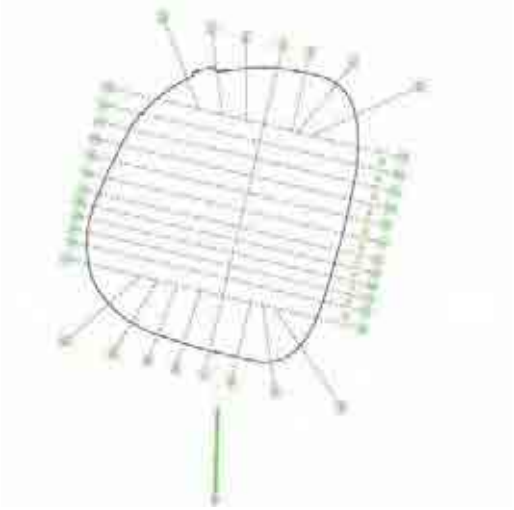


Abb. 12: Schnittlinien der Vertikalprofile über die Außenhaut [2]

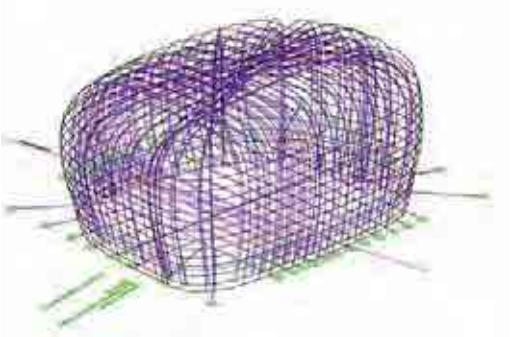


Abb. 13: Summe-Profilschnitte über die gescannte Außenhülle und die modellierte Innenhülle [2]

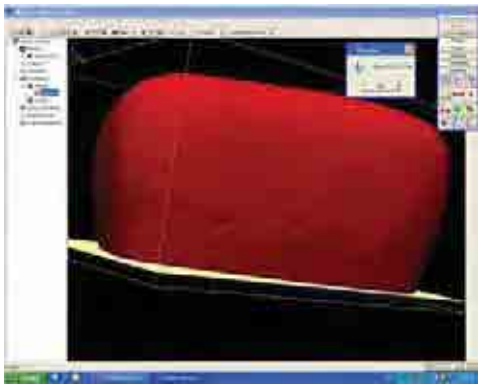


Abb. 14: Flächenberechnung über die Außenhaut [2]

Mit Hilfe des in Polyworks erzeugten 3D-Modells kann sehr leicht, wenn gewünscht auch über einzelne Abschnitte, eine Flächenberechnung oder Volumenberechnung durchgeführt werden. In diesem Fall wurde oberhalb von der dem Auftraggeber gewünschten Referenzflächen-Höhe die Fläche der Außenhülle des Objektes berechnet. Über diese Angabe konnten vorab die Materialbestellungen und deren Kosten genau kalkuliert werden.

Um die tragende BS-Holz-Konstruktion für dieses Bauwerk zu erstellen, ist die Modellierung einer von der Außenhülle von jedem Punkt nach Innen um 50 cm versetze Innenhülle notwendig gewesen. Dieses Innenhaut-Modell wurde ebenso über Polyworks entwickelt und Profilschnitte in unterschiedlichen Ausrichtungen erstellt.

Abb. 15: Rohbau – Tragstruktur aus Brettschichtholz [1]

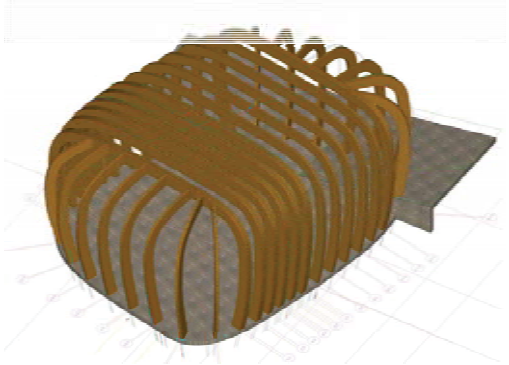


Abb. 16: Konstruierte Tragkonstruktion aus Brettschichtholz – entwickelt aus den erstellten Profilschnitten, der Außen- und Innenhülle [2]

4 Ablaufplan / Gegenüberstellung

	Herkömmlich	3D-Scanner / EDV
Aufmaß	Nur entlang festgelegter Profillinie; erheblicher Arbeits- und Zeitaufwand	6 Stunden für gesamtes Objekt Profilschnitt ist im Nachhinein frei wählbar
GERÜST	Ab- und Wiederaufbau Gerüst	Herausrechnen des Gerüstes
Zeitaufwand	5 Tage	5 Stunden
Personen	3	1
Kosten	4000 €	300 €
Kostenersparnis 3700 €		
Außenhaut-Modellierung	Nur über zuvor festgelegt Profilschnittaufnahme möglich; Genauigkeit abhängig von der Profilweite	Wirklichkeitsgetreues 3D-Modell
Profilschnitterstellung	Im Feld bereits durchgeführt	Frei wählbar
Flächenberechnung	Stark vereinfacht	Sehr präzise
Abbau des IGLU-Ballringen		
Innenhaut-Modellierung	Nicht durchführbar – bzw. stark idealisiert	Genau abgesetzte Vermaschung
Profilschnitte über Außen- und Innenhaut	Nicht durchführbar – bzw. stark idealisiert	Tatsächliches gewünschtes Profil
	Idealisierte Planungsgrundlage; einzelne Arbeitsschritte sind nur Vor-Ort ausführbar bzw. Überlegungen im Nachhinein nicht mehr oder kaum durchführbar	„Tatsächliche" Planungsgrundlage; während des gesamten Projektes können an dem Modell auch nachträgliche Überlegungen entwickelt werden
	- Geringe Planungssicherheit +/- nur gewünschte Punktdaten liegen vor + geringer Modellierungs-Aufwand - stark idealisiert - lange Standzeiten	+ Gute Planungssicherheit +/- hohe Datendichte - großer Modellierungs-aufwand + Wirklichkeitsgetreu + beschleunigter Bauverlauf

Quelle

[1] Prof. Kurt Schwaner
[2] Hochschule Biberach - Vermessungslabor

14.3 Besondere Einsatzgebiete
Sperrholz – Ein Werkstoff im Gerüstbau

Joachim Edeler

1 Sperrholz -Ein Werkstoff im Gerüstbau

Arbeits- und Schutzgerüste, die vorwiegend für den Fassadengerüstbau verwendet werden, beinhalten Gerüstbelagelemente, die aus einem Stahl- oder Aluminiumrahmen sowie einer Baufuniersperrholzplatte als begehbarer Belagfläche bestehen. Die Gerüstbauteile mit der unterschiedlichen Bezeichnung wie z.B. Kombiboden, Rahmentafel, Alurahmen mit Sperrholzbelag, Robustboden zeichnen sich insbesondere durch ihr geringes Eigengewicht aus. Darüber hinaus besitzen sie ebene geschlossene Oberflächen, auf welcher die Benutzer gut kniend oder sitzend arbeiten können.

2 Hohe Anforderungen an den Werkstoff

Sperrholz, welches im Gerüstbau als Belagelement verwendet werden soll, muss höchsten Anforderungen genügen. Die Deckfurniere müssen mindestens 0,8 mm dick sein und dürfen keine Fehlstellen wie lose Äste, Risse oder Spalten aufweisen. Die einzelnen Furnierschichten dürfen als Zwischenlagen nicht dicker als 2 mm sein. Für die Verleimung sind nur hochwertige alkalisch härtende Phenolharze, Phenol- Resorcinharze oder Resorcinharze zu verwenden. Die Herstellung des Sperrholzes muss durch eine staatlich anerkannte Prüfstelle im Herstellerwerk laufend überwacht werden.

Die genauen Anforderungen an Baufurniersperrholz für Gerüstbeläge sind in DIN 68705-3 [12]festgelegt.

Die Oberfläche der Sperrholzplatte erhält zusätzlich eine Phenolharzfilmbeschichtung mit einer Siebdruckprägung. Diese soll das Eindringen von Feuchtigkeit in das Sperrholz verhindern und gleichzeitig einen Schutz gegen Ausgleiten bieten.

Um die Tragfähigkeit des Holzes über lange Jahre zu erhalten, muss gewährleistet sein, dass eingedrungene Feuchtigkeit ungehindert wieder austrocknen kann. Ist dieses nicht gewährleistet, so wird das Holz im Laufe der Jahre durch Moderfäule (holzzerstörende Pilze) zerstört. Diese holzzerstörenden Pilze benötigen vor allem Feuchte, Wärme und geringe Luftbewegung zum Wachstum. Das Pilzwachstum erfolgt etwa zwischen +°3 C und +°39 C. Die Pilze vermögen aber auch Kälte durch die sogenannte Kälte- bzw. Trockenstarre längere Zeit zu überstehen.

Sperrholzplatten werden im Gerüstbau in Kombination mit einem Aluminium- oder Stahltragrahmen eingesetzt. Hierbei wird bei den älteren Konstruktionen die Sperrholzplatte auf ein Alu- oder Stahlrechteckprofil aufgelegt und durch ein die Sperrholzplattenkante umschließendes U-Profil gehalten.

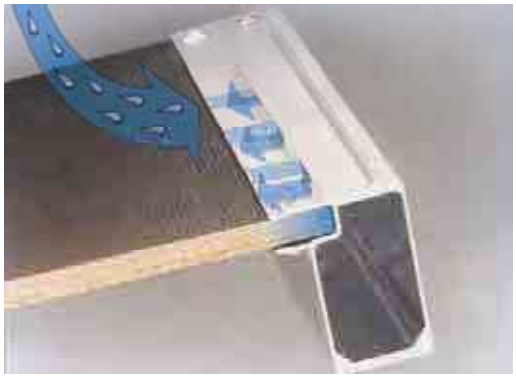


Abb. 1: Detail eines Gerüstbelages üblicher Bauart, Feuchtigkeit dringt in den Randbereich ein

3 Probleme in der Praxis

Aufgrund der geschilderten Bauart und bedingt durch die Einfassung des Sperrholzes mit dem U-Profil dringt jedoch durch die Kapillarwirkung Feuchtigkeit zwischen U-Profil und Sperrholzplatte ein. Sind die Schnittkanten der Sperrholz-

[12] DIN 68705-3 Sperrholz; Bau-Furniersperrholz ohne Ersatz April 2006 zurückgezogen

platte nicht ausreichend und dauerhaft gegen Feuchtigkeitseinwirkung geschützt, kann diese Feuchtigkeit in die dünnen Furnierschichten eindringen (Abb. 1). Ein Austrocknen der eingedrungenen Feuchtigkeit ist nicht mehr möglich. Die Moderfäule zerstört im Laufe der Jahre den Auflagerbereich des Sperrholzes. Die Folge: Die Tragfähigkeit des Belagelementes ist stark beeinträchtigt.

Abb. 2: Sperrholz-Belagelement im Auflagerbereich durch Fäulnis zerstört

Jedoch nicht nur der Sperrholzplattenrand, sondern auch die Oberfläche der Sperrholzplatte ist gefährdet. Wenn durch den rauen Baustellenbetrieb die Phenolharzfilmbeschichtung beschädigt wird, dringt auch hier die Feuchtigkeit in die Sperrholzplatte ein und die Moderfäule zerstört örtlich einzelne Furnierschichten der Sperrholzplatte.

Doch Vorsicht, auch ein Holzschutzmittel ist kein Allheilmittel und kann nicht dauerhaft gegen Pilzbefall schützen. Nur eine gut durchdachte Konstruktion in Verbindung mit einem Holzschutzmittel kann dauerhaft gegen Moderfäule schützen. Die Konstruktion muss auch gewährleisten, dass die in die Sperrholzstirnseite eingedrungene Feuchtigkeit auch wieder natürlich austrocknen kann.

Um diese Schäden zu verhindern, muss bei der Herstellung der Sperrholzplatte dem Leim ein Holzschutzmittel gegen Pilzbefall beigefügt werden. Die hergestellten Sperrholzplatten müssen vom Hersteller mit dem Aufdruck BFU 100 G gekennzeichnet sein.

Abb. 3: Zerstörte Oberfläche der Sperrholzplatte

Ein Beispiel für eine solche Konstruktion zeigt Abb. 4. Durch den freien Rand zwischen der Sperrholzplatte und dem Aluminiumrahmen soll gewährleistet werden, dass Feuchtigkeit, welche über den Rand in die Sperrholzplatte eindringt, auch wieder austrocknen kann.

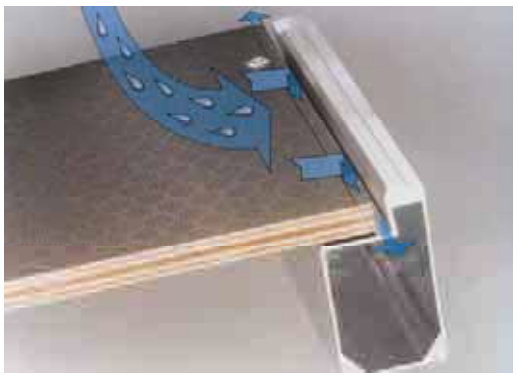


Abb. 4: Konstruktiver Holzschutz bei einem Aluminium-Sperrholz-Belagelement, Feuchtigkeit kann abfließen und austrocknen

Doch auch hier hat die Praxis gezeigt, dass sich durch den rauen Baustellenbetrieb der freie Rand mit Mörtel und Schmutz zusetzt, somit der Randbereich feucht bleibt und damit die Grundlage für die Modefäule bildet. Die Moderfäule im Randbereich bedingt, dass der Auflagerbereich der Sperrholzplatte zerstört wird und somit die Tragfähigkeit des gesamten Belagelementes nicht mehr gegeben ist. In der Praxis ist dieser Verlust der Tragfähigkeit mit dem Durchbrechen der Sperrholzplatte und somit mit einem möglichen Absturz des Benutzers verbunden.

Als Resümee ist somit zu ziehen, dass die Sperrholzplatte mit Phenolharzfilmbeschichtung und einer Siebdruckprägung in der Oberfläche sich für den Baustellenbetrieb als geeignet herausgestellt hat. Für die Problemzone im Auflagebereich ist jedoch von der Praxis bisher keine zufriedenstellende Lösung gefunden worden.

Um jedoch weiterhin die ergonomisch positiven Eigenschaften des Gerüstbelages aus Sperrholz in Verbindung mit der Aluminium-Rahmenkonstruktion zu nutzen, sind die Hersteller von diesen Belagelementen dazu übergegangen, unterhalb des Sperrholzbelages zusätzlich Längs- oder Querriegel aus Aluminium einzubauen. Beim Bruch der Sperrholzplatte im Auflagerbereich wird somit der Absturz des Benutzers verhindert. Der beschädigte Sperrholzbelag kann dann ausgetauscht werden.

4 Konsequenzen für den Gerüsthersteller oder Gerüstbauer

Auf dem Markt findet man Belagelemente unterschiedlichster Konstruktion. Der Gerüstbauer ist somit verpflichtet, die Gerüstbelagelemente, die mit einer Belagfläche aus Bau- Funiersperrholz hergestellt sind in regelmäßigen Abständen zu prüfen. Dabei sind folgende Kriterien zu berücksichtigen:

1. Belagelemente mit beschädigten Oberflächen, wie in Abb. 3, dürfen nicht mehr eingebaut werden.
2. Belagelemente, bei denen der Auflagerbereich der Sperrholzplatte durch holzzerstörende Pilze in seiner Tragfähigkeit geschwächt ist, dürfen nicht mehr eingebaut werden. Die Beschädigung lässt sich vor allem an den Stirnseiten der Belagelemente erkennen. Durch Fäulnis befallene Sperrholzplatten sind im kritischen Bereich aufgeweicht, so dass man leicht mit dem Fingernagel oder Taschenmesser in die Sperrholzstirnseiten einstechen kann (Abb.5). In einigen Fällen zeigt sich die Fäulnis auch durch weiße Schlieren an der Plattenunterseite.
3. Belagelemente, bei denen die Sperrholzplatte sichtbar durchgebogen oder sogar durchgebrochen ist oder sich große Teile der Furnierdeckschicht gelöst haben, dürfen selbstverständlich nicht mehr eingebaut werden (Abb. 6).

Abb. 5: Auflagerbereich einer Sperrholzplatte ist durch Fäulnis zerstört

Abb. 6: Durchgebrochene Sperrholzplatte

Belagelemente, bei denen das Sperrholz unbrauchbar geworden ist, müssen jedoch noch nicht auf den Müll. Die Belagskonstruktionen sind so hergestellt, dass die Sperrholzplatten ausgebaut und durch neue ersetzt werden können. Wichtig beim Auswechseln ist jedoch, dass nur eine Originalplatte des jeweiligen Gerüstherstellers eingebaut wird. Bei den Gerüstherstellern können Ersatzplatten mit den dazugehörigen Befestigungsteilen nachgekauft werden. Einige Hersteller bieten auch einen kompletten Reparaturservice an, bei dem das gesamte Belagelement geprüft und die Sperrholzplatte ausgewechselt wird. Der Verwender von diesen Belagelementen ist jedoch gut beraten, dass Auswechseln der Sperrholzbelagfläche durch den Gerüsthersteller durchführen zu lassen, da er sonst die Produkthaftung für das komplette Gerüstbelagelement übernimmt.

14.4 Gebäudetechnik
Zukünftige Gebäude

Wilhelm Stahl, Volker Weiß

In der solaren Energiewirtschaft vor der industriellen Revolution wurde mit Materialien gebaut, die weitestgehend direkt am Bauplatz zur Verfügung standen. Aus ökonomischen Überlegungen heraus wurde der Transport von Baumaterial so gut als möglich vermieden. Mit steigendem baulichem Anspruch wurden Baumaterialien auf Grund ihrer technischen Vorteile über größere Distanzen transportiert. Ein wesentliches Regulativ in diesem System waren hohe Kosten für Nahrung und Lebensunterhalt von Mensch und Tier.

Das heutige fossile Zeitalter ist Teil der solaren Energiewirtschaft der Erde: die Erde im Vakuum des Weltalls allein durch die Strahlung der Sonne mit Energie versorgt und im energetischen Gleichgewicht durch ihre Wärmeabstrahlung ins Weltall.

Mit der Ausbeutung der fossilen Energieträger Kohle, Öl und Gas stand Energie vermeintlich unbegrenzt und kostengünstig zur Verfügung. Die industrielle Revolution, die Explosion der Weltbevölkerung und die Globalisierung sind Folgen dieser Entwicklung.

Die exponentiell ansteigende Verbrennung der fossilen Energieträger in einem erdgeschichtlich extrem kurzen Zeitraum stört das energetische Gleichgewicht der Erde durch die Veränderung der chemischen Zusammensetzung der Erdatmosphäre. Der resultierende Klimawandel wird weltwirtschaftlich größere Folgen zeigen als die derzeitige Weltfinanzkrise.

Regenerative Energieträger sind CO_2-neutral (= klimaneutral), weil der Zeitraum zwischen CO_2-Entnahme aus und CO_2-Abgabe in die Atmosphäre nur 1 – bis 100 Jahre beträgt.

Die Endlichkeit der fossilen Energievorräte wird parallel zum Klimawandel sichtbar und bewusst. Verknappung und steigende Nachfrage bewirken steigende Energiepreise.

Entsprechend wird weltweit an den solaren Alternativen zur gespeicherten fossilen Solarenergie gearbeitet – Deutschland als Vorreiter vorausschauend und löblich.

Abb. 1: Primärenergieverbrauch pro Bruttoinlandsprodukt [Quelle: Stat. Bundesamt]

Der Wegfall der kostenlosen fossilen Energiespeicherung führt zwingend zu zukünftig steigenden Energiepreisen. Glücklicherweise ist das Dogma eines nur mit steigendem Energieverbrauch, steigenden Bruttosozialproduktes in westlichen Industrienationen zwischenzeitlich widerlegt.

Umweltschädigender Energieverbrauch wird teurer, weil der noch kostenlose Umweltverbrauch nach dem Verursacherprinzip zwingend über kurz oder lang auf den Energiepreis aufgeschlagen werden wird. Der Emissionshandel ist ein diesbezüglicher Anfang. Der Fehler unserer heutigen Energiepreise ist das Fehlen einer gesamtwirtschaftlichen Kostenberechnung. Die Gewinne der Energieversorger sind die von der Allgemeinheit bezahlten Schäden an der Umwelt.

Abb. 2

Falsche Energiepreise sind falsche Konsumentensignale: Jogurt aus Hamburg ist in Freiburg billiger als Jogurt aus Freiburg, Kleidungsstücke aus Asien sind günstig wegen niedriger Löhne und vernachlässigbarer Transportkosten, der Preisunterschied zwischen heimischen Bioprodukten und Nahrungsmitteln aus konventioneller Produktion würde sinken, wenn energieintensiver Kunstdünger teurer wird. Holz als Baustoff wird interessanter, weil Ziegelsteine oder Stahlbeton entsprechend der Umweltbelastung und Herstellungsenergie teurer werden.

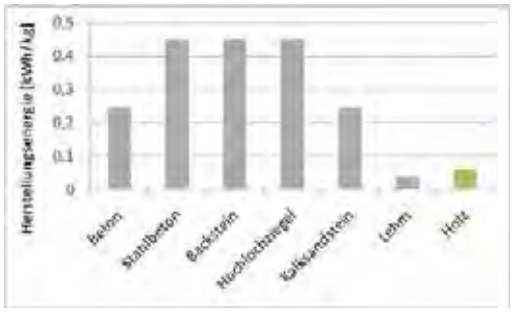


Abb. 3: Herstellungsenergie (Primärenergie) ausgewählter Baustoffe. Quelle: GEMIS und eigene Untersuchungen

Der gesamte Energieverbrauch im Lebenszyklus eines Gebäudes setzt sich aus Herstellungsenergie, Betriebsenergie und der Energie zum Rückbau eines Gebäudes zusammen. Heute steht mit den eigentlich irreführenden Begriffen „Nullenergiehaus, CO_2-neutrales Gebäude, zero emission building, …“ die Betriebsenergie noch im Vordergrund der Diskussion um die energetische Optimierung. Eine ganzheitliche Betrachtungsweise muss sich an der Gesamtbilanz orientieren, die mit der Lebenszyklusanalyse ein über die energetischen Aspekte hinausgehendes Synonym gefunden hat.

Die Untersuchungen zur Herstellungsenergie von Materialien haben trotz langjähriger Bearbeitung noch immer einen gewissen experimentellen Charakter, im Wesentlichen deshalb, weil die Diskussion über die Systemgrenzen nicht abgeschlossen scheint und eine Vielzahl veränderlicher Variablen großen Einfluss haben. Die Herstellungsenergie für Aluminium mit Bauxit aus Eleusis in Griechenland und Wasserkraftelektrizität in Kanada unterscheidet sich von der Aluminiumherstellung in Russland deutlich und der jeweilige Anteil inkl. Recycling hat Einfluss auf den Wert der Herstellungsenergie für Aluminium in Deutschland. Und die Herstellungsenergie ist auch nur ein Teilaspekt des „ökologischen Rucksacks“, der Ressourcenverbrauch und Umweltbelastung mit beinhalten muss [1].

Naturnahe Materialien und Baustoffe haben sowohl energetische wie ökologische Vorteile. Die Diskussion um den quantitativen Wert ist für den Inhalt dieses Aufsatzes nicht entscheidend.

Betrachten wir ein neu zu errichtendes Einfamilienhaus mit einer Wohnfläche von angenommen 150 m². In einem kompakten (Oberflächen / Volumen-Verhältnis 0,75 1/m)und zur Sonne ausgerichteten architektonischen Entwurf sind die gestalterischen Möglichkeiten zur energetischen Optimierung bedacht. Der energetische Standard des Gebäudes soll die Anforderungen der Energieeinsparverordnung erfüllen. Das Haus kann z.B. massiv mit Ziegel oder aus Holz gebaut

werden. Energietechnisch kann eine Erdgasbrennwerttherme oder eine Holzpelletheizung die Wärmeversorgung sicher stellen. Politisch gewollt und Image fördernd kann eine Sonnenkollektoranlage zur Brauchwassererwärmung und eine Photovoltaik-Anlage zur solaren Elektrizitätserzeugung installiert werden. Die Herstellungsenergien haben wir mit der heute verfügbaren Literatur überschlägig berechnet.

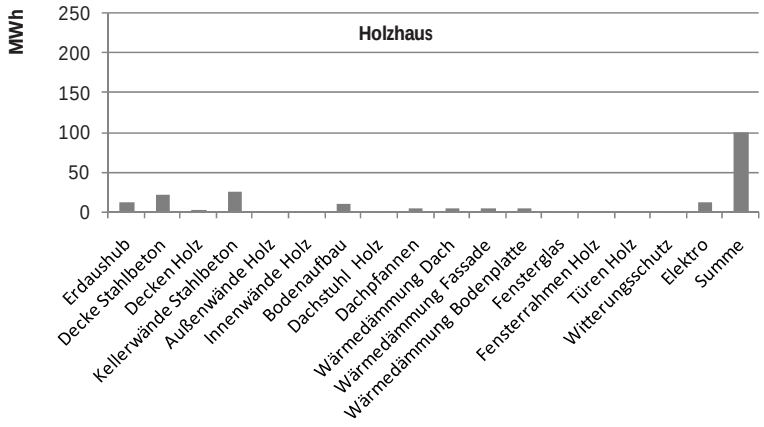


Abb. 4

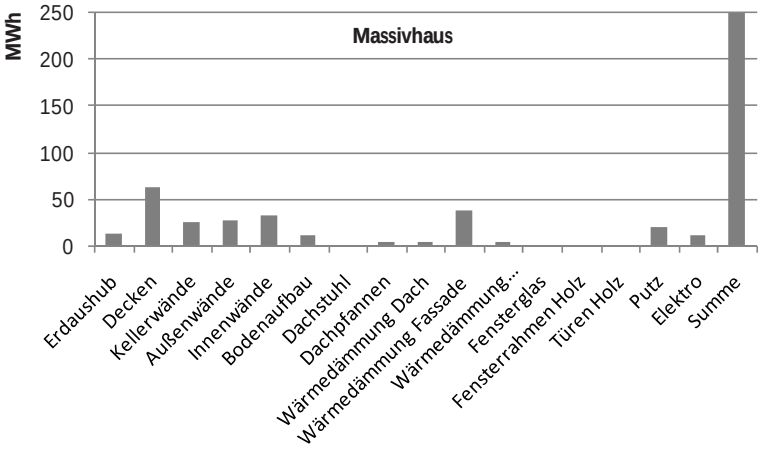


Abb. 5

	Herstellungs-energie [MWh]
Massivhaus	252
Holzhaus	100
Erdgasbrennwerttherme 15 kW	10
Holzpelletheizung 15 kW	25
Photovoltaik-Anlage 30 m²	36
Sonnenkollektor-Anlage 8 m²	6
Massivhaus + Erdgasbrennwerttherme	262
Holzhaus + Holzpelletheizung + Photovoltaik-Anlage + Sonnenkollektor-Anlage	167

Abb. 4- 6: Überschlägig berechnete Herstellungsenergie (Primärenergie) für ein Einfamilienwohnhaus mit einer Wohnfläche von 150 m² in Massiv- und Holzbauweise mit unterschiedlicher technischer Gebäudeausrüstung. [GEMIS und eigene Untersuchungen]

Bauweise und Energiesysteme sind beliebig kombinierbar. Wir betrachten die zwei Varianten „fossile Energie und massive Bauweise“ und „regenerative Energie und Holzbauweise“. Die geringere Herstellungsenergie des Holzhauses überkompensiert die zusätzliche Herstellungsenergie für die Solarsysteme. Die Sonnenkollektor-Anlage ist nach dem zu erwartenden sommerlichen Warmwasserbedarf dimensioniert, die Fläche der Photovoltaik-Anlage orientiert sich an der zur Verfügung stehenden südorientierten Dachfläche.

Es sei darauf hingewiesen, dass besonders bei massiv gebauten Häusern aus energetisch ökologischer Sicht die Sanierung immer die bessere Variante als der Abriss und Neubau darstellt.

Die erforderliche Betriebsenergie für die Gebäude haben wir mit Standardwerten über einen Betrachtungszeitraum von 50 Jahren. Für Rückbau / Recycling nehmen wir ohne Anspruch auf Richtigkeit die Hälfte der fossilen Herstellungsenergie an, wohl wissend, dass dies in 50 Jahren überwiegend Solarenergie sein wird.

Das fossile Massivhaus belastet die Umwelt in 50 Jahren mit einem Primärenergieverbrauch von 1.560 MWh, das solare (regenerative) Holzhaus entlastet die Umwelt im gleichen Zeitraum mit -115 MWh, entsprechend einer CO_2-Emission von 340 Tonnen oder eine CO_2-Entlastung von -25 Tonnen.

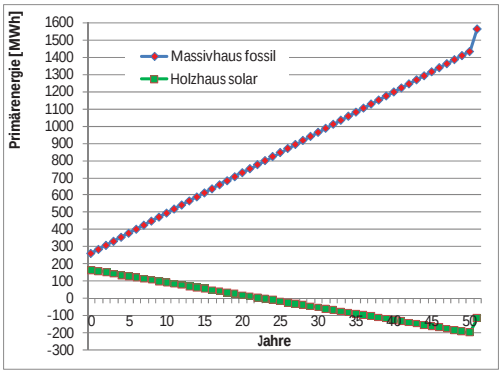


Abb. 7: Primärenergieverbrauch über einen Betrachtungszeitraum von 50 Jahren für ein Massivhaus mit fossiler und eine Holzhaus mit solarer Energieversorgung. Herstellungsenergie im Jahr Null und Energie für den Rückbau im 50. Jahr.

Es ergibt sich ein deutlich unterschiedliches Bild, das die Vorteile der energetischen und regenerativen Gebäudeoptimierung besser nicht zum Ausdruck bringen kann.

Natürlich könnte auch das massiv gebaute Haus mit dem solaren Energiesystem realisiert werden. Dann bliebe allein der Unterschied in der Herstellungsenergie über den Betrachtungszeitraum bestehen.

Es könnten auch unterschiedliche Wärmedämmstandards angenommen werden. Zum Beispiel würde sich der höhere Herstellungsenergieaufwand für eine Ausführung eines Massivhauses als Passivhaus durch den reduzierten Betriebsenergiebedarf energetisch schon nach wenigen Jahren amortisieren.

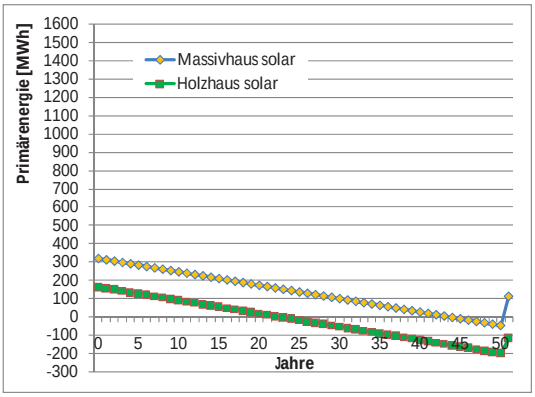
Der hier in seinen Grundzügen beschriebene Weg des energetischen Teils einer Lebenszyklusanalyse eines Gebäudes zeigt die Vorteile der Reduktion der Herstellungsenergie, der Energieeffizienz und der regenerativen Energienutzung.

Tab. 1

Herstellungs-, Betriebs- und Rückbauenergie			EE kWh/(m²a)	PEV	PE kWh/(m²a)	m²	MWh/a	Jahre a	MWh	CO2 t
Massivhaus fossil	Errichtung								250	
	Erdgasbrennwertheizung								10	
	Zwischensumme								**260**	
Verbrauch	Strommix	Elektrizität	15	2,7	40,5	150	6	50	300	
	Erdgas	Wärme	105	1,1	115,5	150	17	50	866	
	Zwischensumme						23		**1170**	
	Rückbau/Recycling								**130**	
	Summe								**1560**	**340**
Holzhaus solar	Errichtung								100	
	Holzpelletheizung								25	
	Sonnenkollektor-Anlage								6	
	Photovoltaik-Anlage								36	
	Zwischensumme								**170**	
Verbrauch	Strommix	Elektrizität	15	2,7	40,5	150	6	50	300	
	Pellets	Wärme	105	0,2	21	150	3	50	160	
Erzeugung	Sonnenkollektor						-4	50	-220	
	Photovoltaik						-12	50	-610	
	Zwischensumme						-7		**-370**	
	Rückbau/Recycling								**85**	
	Summe								**-115**	**-25**

Überschlägige Berechnung der Primärenergiebilanz eines Einfamileinhauses über einen Betrachtungszeitraum von 50 Jahre (EE = Endenergie, PEV = Primärenergiefaktor, PE Primärenergie)

Die Wirtschaftlichkeit von Energieeffizienzmaßnahmen hängt ursächlich mit der Höhe des allgemeinen Energiepreisniveaus zusammen, ein hohes Niveau fördert wie erwähnt weiterreichende Maßnahmen. Die Investition in eine Energiesparlampe würde sich bei einem Elektrizitätspreis von 10 Ct./kWh kaum lohnen, bei 20 Ct./kWh sehr wohl.



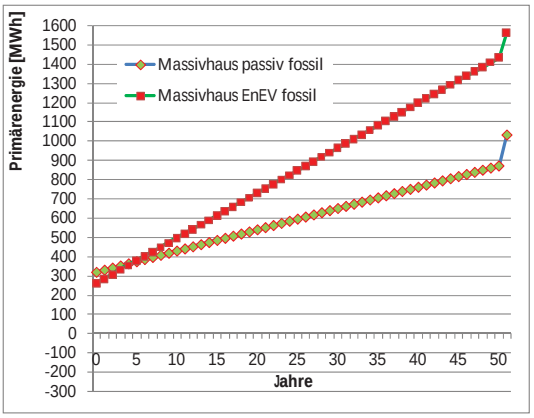


Abb. 8, 9: Primärenergieverbrauch über einen Betrachtungszeitraum von 50 Jahren für unterschiedliche Gebäudestandards. Herstellungsenergie im Jahr Null und Energie für den Rückbau im 50. Jahr.

Energiepreisunterschiede sind die treibenden Kräfte für Entscheidungen für Energieversorgungssysteme. Hier begeben wir uns zu einem schwierigeren Thema. Eine Versachlichung liefert sicher die Beobachtung des Marktes, aber um die Preisbildung zu verstehen, müssen Weltwirtschaft und Politik verstanden werden. Fest steht, dass Energiepreise noch nie der freien Marktwirtschaft unterlagen, sondern immer politisch korrigiert wurden. Atomstrom ist billig, weil die Endlagerung und Versicherung der Kraftwerke der Staat bezahlt. Photovoltaik-Anlagen sind durch zinsverbilligte Kredite und Einspeisevergütung wirtschaftlich attraktiv.

Bei den nachwachsenden Rohstoffen deutet sich eine Preisbildung jenseits globaler und politischer Einflüsse an. Wesentlicher Grund dafür könnte die Dezentralität des Marktes unter der Führung mittelständischer Unternehmen sein. Natürlich wird der Preis nachwachsender Rohstoffe mit dem Preis fossiler Energieträger ansteigen, aber sicherlich mit deutlich geringeren Schwankungen.

Bei vielen unserer durchgeführten dynamischen Wirtschaftlichkeitsvergleiche unterschiedlicher Energieversorgungsvarianten zeigen sich immer projektspezifische Unterschiede. Aber ein allgemeiner Trend geht hin zu dem nachwachsenden Rohstoff Holz, mit dem trotz höherer anlagentechnischer Investitionskosten gesamtwirtschaftlich kostengünstiger Energie bereitgestellt werde kann.

Abb. 10: Preisentwicklung für Holzpellets, Heizöl und Erdgas. [Quelle: C.A.R.M.E.N]

Abb. 11: Solar-Fabrik Freiburg. Vollständig solare Energieversorgung mit Rapsöl- BHKW, Photovoltaik-Anlagen und passiver Sonnenenergienutzung.

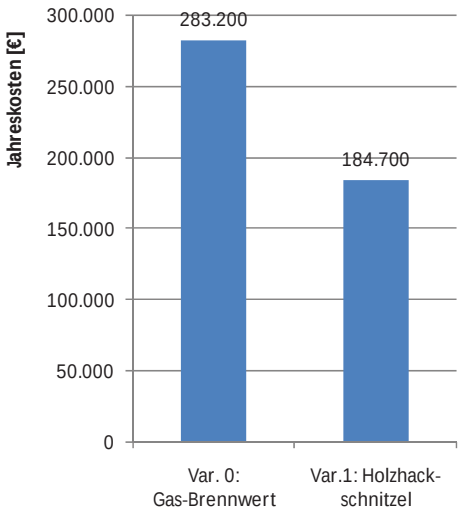


Abb. 12: Jahreskosten Wärme berechnet incl. Investitions-, Wartungs-, Instandhaltungs-, Energie- und Reinvestitionskosten über einen Betrachtungszeitraum von 20 Jahre

Tab. 2: Dynamische Wirtschaftlichkeitsberechnung für zwei Wärmeversorgungsvarianten für eine Gewerbeimmobilie mit einem Wärmebedarf von 2.500 MWh. Die Jahreskosten sind berechnet incl. Investitions-, Wartungs-, Instandhaltungs-, Energie- und Reinvestitionskosten über einen Betrachtungszeitraum von 20 Jahre. Gleiche Energiepreissteigerung für fossile und regenerative Energie.

Tab. 2

Wärmeversorgungsvarianten für eine Gewerbeimmobilie **Wärmeverbrauch 2500 MWh/a**			
Wirtschaftlichkeitsparameter			
Betrachtungszeitraum	Jahre	**20**	
Zinsatz		**4,50%**	Mittelwertfaktor
Mittlere Teuerungsrate Energie Erdgas/Heizöl		**6,00%**	1,79
Mittlere Teuerungsrate Energie Holz		**6,00%**	1,79
Mittlere Teuerungsrate Wartung		**2,00%**	1,20
Mehrwertsteuer		**19,00%**	
Mehrwertsteuer Holz		**7,00%**	
Annuitätenfaktor [1/Jahre]		**0,08**	
Varianten		**Var. 0: Gas-Brennwert**	**Var.1: Holzhack-schnitzel**
Holzhackschnitzelkessel Leistung th	kW		700
Gas-Brennwertkessel Leistung th	kW	700	
Betriebsstunden	h/a	3571	3571
Invession	**€ netto**	**50.000**	**380.000**
Berechnung der Jahreskosten nach der Annuitätenmethode			
Kapitalkosten	€ netto / a	3.844	29.213
Wartungskosten im 1. Jahr	€ netto / a	1.050	11.020
mittlere Wartungskosten	€ netto / a	1.264	13.114
Elektrizitätspreis	Ct.netto/kWh	11,9	11,9
Erdgaspreis(ohne Bereitstellung)	Ct.netto/kWh	6,0	
Holzhackschnitzelpreis	Ct.netto/kWh		3,0
Energiekosten im 1. Jahr	€ netto / a	155.232	79.475
mittlere Energiekosten	€ netto / a	278.137	142.400
Mittlere Jahreskosten	**€ netto / a**	**283.200**	**184.700**
mittlere Jahreskosten	Ct.netto/kWh	11,3	7,4
Annahme CO2-Steuer (bei den Jahreskosten nicht berücksichtigt)	50 €/t	31.388	8.822
CO2-äquivalente Emissionen	**t/a**	**630**	**180**
SO2-äquivalente Emissionen	kg/a	404	1.714
Staub	kg/a	25	245
Anfahrten Holzhackschnitzel	Anzahl/a		75

Abb. 13: Holzhackschnitzelheizung 700 kW_{th} und Holzpellet-Stirlingmotor 10 kW_{th} / 3 kW_{el}.

Dieser gesamtwirtschaftliche Vorteil ist ursächlich mit der enormen ingenieurtechnischen Entwicklungsleistung der vergangenen Jahrzehnte verknüpft. Der heutige technologische Stand der Verbrennung nachwachsender Rohstoffe hinsichtlich Zuverlässigkeit, Wirkungsgrad und Schadstoffemissionen wäre vor 20 Jahren so nicht vorstellbar gewesen.

Abb. 14: Reihenhäuser der Solarsiedlung Freiburg. Architekt Rolf Disch

Geringe Herstellungsenergie und kleiner ökologischer Rucksack sind sichere Indizien für lokal verfügbare Materialien mit guter Recyclingfähigkeit. Solche ökologisch vorteilhaften Materialien haben darüber hinaus noch raumlufttechnische Qualitäten. Holz beispielsweise bindet Geruchsstoffe, puffert Raumluftfeuchte und emittiert keine Schadstoffe. Ähnliches gilt für andere Materialien, z.B. Lehm, mineralische Putze und Farben, Linoleum, Naturstein, usw..

Abb. 15: Solare Grundwasserpegelmessstation.

Wenn wir berücksichtigen, dass wir den Großteil unseres Lebens in Innenräumen verbringen, dann sollten wir den gesundheitlichen Aspekten eine größere Aufmerksamkeit schenken.

Abb. 16: Mehrfamilienwohnhaus elementar. Vollständig solare Energieversorgung mit Holzpelletheizung und fassadenintegrierten Photovoltaik- und Sonnenkollektoranlagen. Architektur ARGE Sonnenmoser, Riedel, Schlierf, Tübingen

Eine größere Beachtung der Herstellungsenergie von Baustoffen führt also zu Vorteilen in wichtigen nicht energetischen Bereichen.

Zukünftige Gebäude sind architektonisch optimiert, energieeffizient, energetisch regenerativ versorgt und mit gesundheitsverträglichen Materialien gebaut oder saniert. Mit Lebenszyklusanalysen wird versucht diese ganzheitliche Sicht der Dinge zu qualifizieren und zu quantifizieren. Die Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB) entwickelt dafür ein Zertifizierungssystem.

Unsere zusammenfassende Definition „Zukünftiger Gebäude“ sieht wie folgt aus:

Abb. 17: Huf Sonnenhaus. Holzfachwerkhaus mit vollständig solarer Energieversorgung mit einer Holzpelletheizung, einem Sonnenkollektor und einer Photovoltaik-Anlage. Quelle: Huf Haus GmbH & Co. KG, Stahl + Weiß

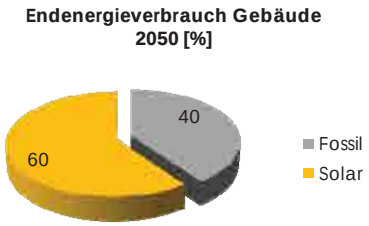


Abb. 18: Endenergieverbrauch der Gebäude in Deutschland im Jahr 2050. Quelle Umweltbundesamt

Tab. 3

Zukünftige Gebäude	
Städtebau	integriert, verdichtet, Grünflächenausgleich, ÖPNV, Fahrrad
Architektur	kompakt, passivsolar optimiert
Baumaterialien	natürlich, gesund, recyclebar, geringe Herstellungsenergie, dauerhaft
Heizwärme	gedämmte Gebäudehülle, Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung, minimierter Heizwärmebedarf
Sommerlicher Wärmeschutz	Sonnenschutz, natürliche Klimatisierung
Elektrizität	natürliche Belichtung, effiziente Verbraucher, minimierter Elektizitätsbedarf
Wasser	Regenwasserrückhaltung, Trinkwassereinsparung
Komfort	schadstoffminimiert, thermisch, akustisch, lichttechnisch optimiert
Wirtschaftlichkeit	höhere Investitionskosten + niedrigere Betriebskosten = kostengünstiger
Umwelt	entlastend
Image	politisch gewollt, Gütesiegel (DGNB, RAL), zukunftssicher
Herstellungsenergie	< 0,4 MWh/m³ BRI
Heizwärmeverbrauch incl. Warmwasser	25 – 35 kWh/(m²NGF a)
Kühlenergieverbrauch	regenerativ
gebäudespezifischer Elektrizitätsverbrauch	< 10 kWh/(m²NGF a)
nutzerspezifischer Elektrizitätsverbrauch	< 15 kWh/(m²NGF a) (Wohnnutzung)
Primärenergieverbrauch	< 0 kWh/(m²NGF a) (solare Energieversorgung)

Quellen

[1] Friedrich Schmidt-Bleek (Hrsg.): Der ökologische Rucksack. 2004, ISBN 3777612898

[2] Krusche/ Althaus/ Gabriel Ökologisches Bauen Bundesumweltamt Bauverlag GmbH Wiesbaden und Berlin 1982. Erstes ausführliches gutes Buch zu den Grundlagen und Ideen des ökologischen Bauens.

[3] Sieferle, R. Der unterirdische Wald C.H. Beck 1982. Gutes Buch zu den grundlegenden Ideen solarer Energiesysteme!

[4] Goetzberger, A., Voss, K., Stahl, W., Das Energieautarke Solarhaus, C.F. Müller Verlag, Heidelberg

[5] BINE – BürgerInformation Neue Energietechniken. Kurze prägnante gute Informationen zu allen Bereichen von Energieeffizienz bis zum energieoptimierten Bauen.

[6] Daniels, K., Technologie des ökologischen Bauens, Birkhäuser Verlag

[7] Voss, K. Herausgeber, Bürogebäude mit Zukunft r, TÜV Verlag

[8] Voss, K., Heinze, M., Ziel Nullenergie, DBZ 1 2009

14.4 Gebäudetechnik

Photovoltaik und Holz – Eine Verbindung mit Zukunft

Jörg Wollenweber, Thomas Wach

Im Sinne der Klimaschutzbemühungen gilt es gerade im Bausektor nachhaltiger und energiebewusster zu konstruieren. Holz ist als erprobter und ökologischer Baustoff vor diesem Hintergrund mehr und mehr gefragte konstruktive aber auch gestalterische Option für die Anwendung in Neubauten. Als nachwachsender und CO_2-neutraler Baustoff gilt Holz als ökologisch nachhaltig.

Ein wichtiger Bestandteil der energetischen Nachhaltigkeit von Gebäuden ist die aktive Nutzung der Sonnenenergie. Nach vielen Pionierjahren bei der Installation von Photovoltaik Systemen wird nun in der praktischen Anwendung immer mehr nach sogenannten gebäudeintegrativen Systemen gefragt, also Systemlösungen, die Photovoltaik ästhetisch anspruchsvoll in die Gebäudehülle integrieren, Synergien bilden und gestaltend wirken.

Es ist also durchaus sinnvoll die Kombinationsmöglichkeiten von beiden Komponenten, also Holz und Solartechnik zu erarbeiten.

1 Grundlagen der Einsatzmöglichkeiten von Photovoltaik und Holz

Die Verbindung von Photovoltaik und Holz basiert genauer betrachtet immer aus der Verbindung von Holz und dem Trägermaterial, genannt Substrat, auf das die Zellen aufgebracht werden.

Die große Nachfrage nach Photovoltaik Systemen hat in den letzten Jahren eine Vielzahl von verschiedenen Produkten erhältlich gemacht, die unterschiedliche Vor- und Nachteile haben und deren Eigenschaften eine vielfältige Verbindung mit Holz ermöglichen könnten. Erste Versuche in der Bauanwendung wurden bereits realisiert.

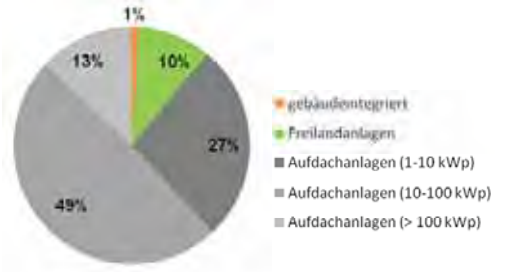


Abb. 1: Anteil gebäudeintegrierter Photovoltaik (Grafik: Bundesverband Solarwirtschaft)

Abb. 2: Wafer aus einer monokristallinen PV Zelle (Foto: Tabea Huth, TU Darmstadt)

Es ist erforderlich zunächst die gängigsten Varianten von Photovoltaik Zellen zu betrachten, da sich aus deren spezifischen Eigenarten unter-schiedliche Möglichkeiten für die Kombination mit dem Baustoff Holz ergeben. Photovoltaik wird zur Erzeugung von elektrischer Energie aus der Sonnenstrahlung eingesetzt. Hauptbestandteil der herkömmlichen Photovoltaikzelle ist derzeit Silizium. Es wird nach spezieller Dotierung als Halbleitermaterial eingesetzt. Unter Dotierung versteht man die Ausstattung des Grundmaterials mit Fremdatomen, die den Elektronenfluss ermöglichen.

Grundsätzlich unterscheidet man drei Arten von Photovoltaik Zellen. Monokristalline, polykristalline und amorphe (also nicht-kristalline) Zellen. Die kristallinen Zellen werden in den bekannten quadratischen Platten, sog. Wafern, in den üblichen Modulen für die Dachinstallation verwendet.

Monokristalline Zellen bestehen aus nur einem Kristall. (Abb. 2) Die Struktur ist besonders rein und gleichmäßig, weshalb der Wirkungsgrad der monokristallinen Photovoltaik der höchste ist, der bei einfachen Siliziumzellen bisher erreicht wird. Die „Züchtung“ von monokristallinen Zellen erfordert aber erheblichen Aufwand und viel Energie. Daher sind die Zellen teurer als beispielsweise polykristalline (oder auch multikristalline) Zellen, deren Wafer aus gegossenen Blöcken geschnitten werden.

Polykristalline Zellen erkennt man durch die eisblumenartige Strukturierung (Abb. 3). Sie haben bisher das beste Preis-Leistungsverhältnis aller Zellenarten. Kristalline Zellen erreichen ihren höchsten Wirkungsgrad bei direkter Sonnen-einstrahlung, optimalerweise einem Einstrahlwinkel von 90 ° (Abb. 4). Bei diffusem oder schwachem Licht verlieren sie schnell an Leistungsfähigkeit.

Amorphe Zellen werden durch Aufbringen des Halbleitermaterials in dünnen Schichten auf Dampfbasis erzeugt. Wegen ihrer nicht- kristallinen Eigenschaften können die Zellen etwa hundertmal dünner ausgeführt werden als kristalline Zellen. Hieraus resultiert auch die Bezeichnung Dünnschicht- ellen. Bei der Dünnschicht Technologie entfallen die üblichen Materialreste und Sägeverschnitte, wie sie bei der Waferherstellung anfallen. So können durch den geringeren Materialaufwand erheblich Kosten gespart werden. Das Aufdampfen des Halbleitermaterials ist bisher auf Flächen bis zu 5qm am Stück möglich. Der Wirkungsgrad von amorphen Zellen ist derzeit niedriger, als der von kristallinen Zellen, jedoch können amorphe Zellen bei diffusem Licht und indirekter Sonneneinstrahlung mehr Energie erzeugen als kristalline (Tab. 1). In der Jahresbilanz erreichen einige amorphe Zellarten bereits die Leistung von kristallinen Zellen. Die Dünnschicht-Technologie verspricht derzeit auch erhebliche technische Zukunftspotentiale.

Abb. 3: Wafer aus einer polykristallinen PV Zelle (Foto: Georg Slickers)

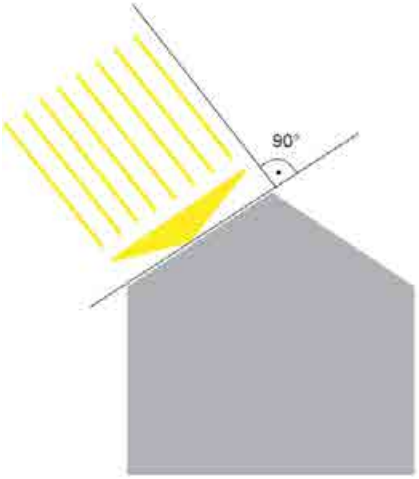


Abb. 4: Die Dachneigung hat Einfluss auf den Nutzungsgrad von PV (Grafik: FG ee, TU Darmstadt)

Tab. 1: Wirkungsgrad verschiedener Solarzellen (Quelle: www.solarintegration.de/index.php?id=359)

Solarzellenmaterialien	Zellwirkungsgrad ηz in % Labor	Zellwirkungsgrad ηz in % Produktion	Modulwirkungsgrad ηM in % Serienproduktion
Monokristallines Silizium	24,7	18	14
Polykristallines Silizium	19,8	15	13
Bandgezogenes Silizium	19,7	14	13
Kristallines Dünnschicht Silizium	19,2	9,5	7,9
Amorphes Silizium*	13	10,5	7,5
Mikromorphes Silizium*	12	10,7	9,1
Hybride HIT-Solarzelle	20,1	17,3	15,2
CIS, CIGS	18,8	14	10
Cadmium-Tellurid	16,4	10	9
III-V Halbleiter	35,8**	27,4	27
Farbstoffzelle	12	7	5***

Maximale Wirkungsgrade in der Photovoltaik

* in stabilisiertem Zustand
** gemessen bei konzentrierter Einstrahlung
*** Kleinproduktion

Abb. 5: Glas-Glas Sandwich mit verschiedenen monokristallinen PV Zellen
[Foto: Tabea Huth, TU Darmstadt]

Abb. 6: Sandwich aus Plexiglasplatten mit monokristallinen PV Zellen
[Foto: Tabea Huth, TU Darmstadt]

Für die Verbindung von Photovoltaik mit Holz ist aber insbesondere das Substrat, also das Trägermaterial auf dem der sehr empfindliche Halbleiter aufgebracht ist, wichtig. Während amorphe Zellen aufgrund ihrer Herstellungsart bereits auf ein Trägermaterial aufgedampft worden sind, müssen die Wafer aus kristallinen Zellen zunächst eingebettet werden. Dazu werden sie auf ein Substrat aufgebracht. Oftmals handelt es sich bei dem Substrat um stabile und verwindungssteife, zudem schlag- und witterungsbeständige Materialien, wie Glas oder Kunststoff.

Die klassischen Photovoltaik Module für die Dachinstallationen werden in der Fabrik als fertiges System aus Kunststoff- oder Glasplatten und Rahmen produziert. Die PV Zellen werden hierbei in den bekannten Waferformen von etwa 100 – 150 mm auf einer Trägerplatte aufgebracht und schließlich zum Schutz vor äußeren Einwirkungen mit einer licht- und vor allem strahlungsdurchlässigen Kunststoffplatte überdeckt. Der PV Träger ist in diesem Fall also ein bereits fertiges System das zu einem entsprechenden Montagesystem passt, welches meistens in Form von Aluminiumprofilen auf beispielsweise der Dachfläche angebracht wird.

Eine weitere, sehr wichtige und immer beliebter werdende Trägerform ist das Verkleben der PV Zellen zwischen zwei Glasscheiben. Dies ermöglicht den vertikalen und in Sonderfällen auch horizontalen Einsatz von Photovoltaik an der Fassade. Die Einsatzmöglichkeiten dieses Glas-PV-Glas Sandwiches (oder auch Glas-Glas Moduls) sind sehr vielseitig und deshalb wichtig für gebäudeintegrative Lösungen und auch für den Verbund von PV und Holz. Zusätzlich lassen sich PV Zellen perforieren, was ein Spiel mit Sonnen – und Sichtschutz ermöglicht. Dabei gilt grundsätzlich, dass schon 10 % Perforationsanteil einen guten optischen Transparenzgrad erzielen.

Die Deckschicht muss gleichermaßen strahlungsdurchlässig und witterungsbeständig sein. Die Bodenschicht dient oft als Grundlage für die Montagekonstruktion, hat also hauptsächlich strukturelle Eigenschaften. Wichtigste Eigenschaft beider Trägerschichten ist jedoch ihr gleichartiges Bewegungsverhalten bei temperaturbedingten Ausdehnung u.ä. Insgesamt dürfen beide Schichten nicht mehr Bewegung zulassen als die dünne PV Zelle verkraften kann. Da Glas und Photovoltaik auf ähnlicher Basis aufgebaut sind, und deshalb ähnliche physikalische Grundeigenschaften aufweisen bietet sich Glas als Trägermaterial für Photovoltaik- Zellen an. Holz, das als lebendiger Baustoff teilweise erheblichen Unregelmäßigkeiten und gewissen Formveränderungen unterworfen ist eignet sich nicht als Träger. Die Verbindung aus Holz und Photovoltaik benötigt also einen Adapter.

2 Indirekter Verbund von PV und Holz über einen Adapter

Die Neigung von Holz zur Verwindung macht den Einsatz von Adaptern als Bewegungspuffer erforderlich und bildet damit eine einfache und effiziente Verbindungsmöglichkeit von Photovoltaik und Holz.

Als Adapter lässt sich eine vermittelnde Unterkonstruktion verstehen, die die Photovoltaik bzw. das Substrat mit dem Holz verbindet. Grundsätzlich ist dabei jede Art von Unterkonstruktion denkbar. So wird auch die Installation von Standard Dachpaneelen auf Holz ausführbar. Bei dieser Anwendung entscheidet sich aber erst im Einzelfall ob von einer gelungenen Gebäudeintegration gesprochen werden kann.

Abb. 7: PV Unterkonstruktion verbindet PV und Holz [Foto: www.airbase-team.de/img/PV_Panel1.jpg]

Je nach Einzelfall kann schließlich auch nicht mehr von einer gemeinsamen Konstruktion gesprochen, da die heutigen Standardlösungen für PV und ihre Unterkonstruktion eigentlich als eigenständige Systeme zu verstehen sind, die auf nahezu jedem Untergrund installiert werden können. Die Verbindung von PV und Holz ist in diesem Fall also rein additiv und wenig komplex. (Abb. 7). Vor dem Hintergrund der Gebäudeintegration unterscheidet man grundsätzlich zwischen solchen „hinzugefügten" Systemen und solchen die individuell integriert werden.

Abb. 8: Nachführbare PV Lamellen am Darmstädter Solarhaus
[Foto: Leon Schmidt, TU Darmstadt]

Abb. 9: Transparente PV als Überdachung der Holzveranda [Foto: Leon Schmidt, TU Darmstadt]

Eine solche individuell integrierte Lösung zeigt Abb. 8 als technisch komplexere Adapterlösung. Die Fassade des Darmstädter Solarhauses zeigt eine besondere Verbindung von Photovoltaik und Holz. Für diesen Prototyp wurden amorphe Siliziumzellen mit Glassubstrat verwendet. Als Adapter wurde die Zelle schließlich in eine Edelstahlwanne eingebettet. Um das Glas vor zu starken Bewegungen zu schützen wurde bei der Einbettung eine 2 mm starke Fuge zwischen Glas und Stahl belassen die mit flexiblem Spezial-Silikon aufgefüllt wurde. An der Edelstahlwanne selbst wurden rückseitig gewindebolzen angebracht, die schließlich die Verbindung mit der nur 11 mm starken Eichenlamelle herstellte.

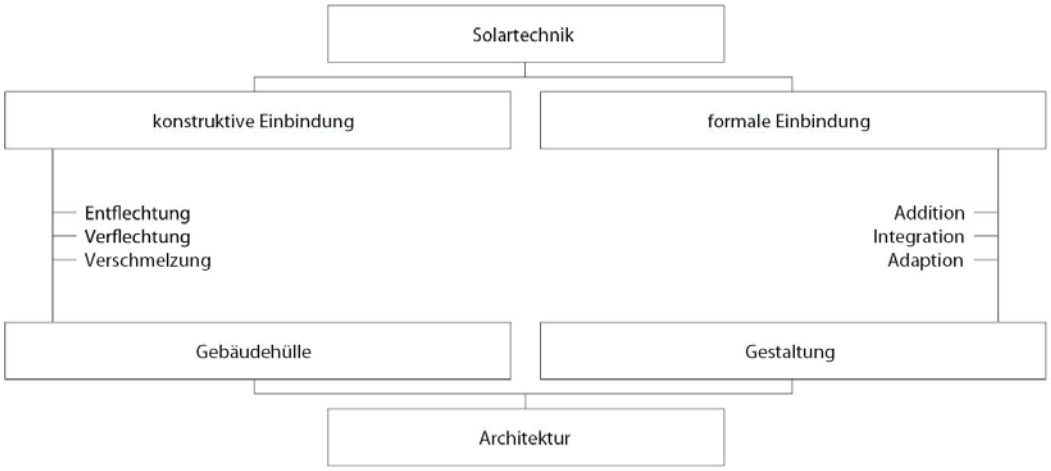


Abb. 10: Diagramm zur Integration von Solartechnik (Grafik: Energie Atlas, Manfred Hegger)

Die Punktlagerung vermeidet jeglichen Nachteil einer flächigen Verbindung und ermöglicht gleichzeitig die Hinterlüftung der Photovoltaik. Zusätzlich konnten dabei auch die nötigen Kanäle für flexible Lagerung und Kabelführung direkt im Holz der Lamelle untergebracht werden. Der Adapter ermöglicht in diesem Fall also durchaus eine Lösung auch für anspruchsvolle Verbindungsanforderungen. Gemeinsam mit der Eiche als Träger ergibt sich von außen wie von innen ein ästhetisch befriedigendes und dennoch gestaltgebendes Gesamtbild. Da sämtliche Technik im Holz versteckt werden konnte ergibt sich eine Fassade mit einer einfachen, low-tech Ausstrahlung, die gleichzeitig mit der Verbindung von den klassischen Attributen eines Holzfensterladens mit der Solartechnik eine zukunftsträchtige Synergie schafft.

Im größeren Maßstab zeigt Abb. 9 ebenfalls eine Adapterlösung. Der Adapter ist hierbei eine Edelstahlpunkthalterung. Sie ermöglicht in diesem Fall die horizontale Montage von Glas-Glas Sandwich Modulen als Verandaüberdachung. Die Montage ist jedoch grundsätzlich in allen Lagen also auch und vor allem vertikal, als Fassadenlösung möglich. Das ist deswegen wichtig, weil dadurch die Integration der Photovoltaik in den Gebäudekomplex entsteht. Holzkonstruktionen eignen sich gegenüber anderen sichtbaren Konstruktionsarten besonders für die Montage von Glas-Glas Modulen, weil Planungs und Fertigungsaufwand für ästhetisch gleichwertige Unterkonstruktionen bei z.B. Sichtmauerwerk oder Sichtbeton erheblich höher sind.

3 Direktverbund von PV und deren Trägermaterial mit Holz

Unter Direktverbund sei das Kleben oder das Verklemmen des Photovoltaik Substrats mit Holz verstanden. Die besten Möglichkeiten hierzu bildet trotz aller Unterschiede das Substrat Glas. Nicht zuletzt, weil die Kombination von Glas und Holz zumindest grundsätzlich schon seit mehr als hundert Jahre im Fensterbau erprobt ist. Mit neuen Errungenschaften aus der Solarindustrie lassen sich genauso wie Glas und Holz nun auch PV und Holz verbinden.

Das Glas-Glas Modul kann beispielsweise auch in Fenstern eingesetzt werden. (Abb. 11) Der Einsatz von amorphen Zellen macht dabei auch die fehlende Hinterlüftung (etwa bei einer Zweifach-Verglasung) unwichtig. Auf diese Weise lassen sich ganze Fassaden aktivieren und damit einen hohen Grad der Gebäudeintegration erreichen.

Die Verbindung von Photovoltaik und Holz kann also potentiell in jedem Fenster dauerhaft und sicher durchgeführt werden. Aufgrund von Vorbehalten wird diese Verbindung allerdings heute meistens mit Metall-Kunststofffenstern durchgeführt. Ein weiterer zukunftsträchtiger Direktverbund ist das Verkleben von Holz und Glas. Insbesondere im Bereich des Structural Glazings, also der Möglichkeit Glas Konstruktiv in Skelettbauten einzusetzen, hat die Forschung in den letzten Jahren viele Erfolge erbracht. Glas kann also entlang seiner Kanten z.B. mit einem Holzrahmen verklebt werden und dient dann als diagonale Aussteifung.

Abb. 11: Sandwich aus amorphen Zellen in einer zweifach-Verglasung
[Foto: Tabea Huth, TU Darmstadt]

Die Druckaufnahme über die gesamte Kante verhindert bei der Klebung eine zu starke Kantenpressung. Dabei ist der Kleber von erheblicher Bedeutung. Er muss nicht zuletzt die unterschiedlichen Bewegungsgewohnheiten von Holz und Glas egalisieren können und dabei in gewissem Maße der Witterung und teilweise erheblichen statischen Zug- und Druckkräften standhalten.

Der Fortschritt auf diesem Gebiet eröffnet auch der Kombination von Photovoltaik und Holz neue Möglichkeiten. Zunächst besteht grundsätzlich die Möglichkeit statisch wirksames Glas auch mit Photovoltaik zu aktivieren und somit der an sich schon neuartigen Konstruktion ein weiteres wichtiges Attribut hinzuzufügen. Die Möglichkeit Holz und Glas flächig zu verkleben bietet aber noch mehr Einsatzbereiche. Das Glas kann in gewissen Abmaßen auch flächig auf Holz oder in vorher eingefräste Nuten eingeklebt werden. Hierdurch lassen sich bei geringstem Material und Arbeitsaufwand integrative Lösungen schaffen.

4 Einsatz amorpher Photovoltaik

Amorphe PV bietet aufgrund seiner Eigenschaften vielseitige Einsatzmöglichkeiten, insbesondere in der Kombination mit Holz. Unter den voran gegangenen Beispielen sind einige, die nur mit amorphen Dünnschichtzellen funktionieren. Sie heizen sich in der Sonne geringer auf und erhalten auch bei hoher Temperatur ihre Leistung. Daher müssen sie nicht hinterlüftet werden, was die Einsatzvariabiltät von Photovoltaik insgesamt erheblich erhöht.

Außerdem ermöglicht die extrem dünne Auftragsschicht auch flexible, also verformbare Zellen. Dabei wird die Zelle in ein Folienlaminat eingebracht, das insbesondere neue Kombinationen mit Holz erlaubt. Weil aber auch amorphe Photovoltaik nicht rissfest und damit nicht zugbelastbar ist kommt ein direkter flächiger Verbund mit Holz bisher noch nicht in Frage.

Amorphe Photovoltaik ist wegen der flexiblen Einsatzmöglichkeiten Objekt vieler Forschungsunternehmungen. Dabei geht es insbesondere um das einfache und direkte Aufbringen von Photovoltaik auf unterschiedlichste Oberflächen oder z.B. zum Aufdrucken im Siebdruckverfahren. Auch die Aufdampftechnologie verspricht noch erhebliches Potential.

Abb. 12: Amorphe PV in einem gering verformbaren Folien-Blech Laminat
[Foto: Tabea Huth, TU Darmstadt]

Abb. 13: Transparente (perforierte) amorphe PV in einem verformbaren Folien-Laminat
[Foto: Tabea Huth, TU Darmstadt]

5 Ausblick

Obwohl die Verbindungsmöglichkeiten von Photovoltaik und Holz prinzipiell vielseitig und teilweise auch schon erfolgreich erprobt sind, gibt es in der Industrie und bei Planern einige Vorbehalte vor dieser Kombination. Trotz aller Vielseitigkeit erscheint einigen Planern Verbindungssysteme mit Holz als zu wenig flexibel, was sich in höherem Planungsaufwand niederschlägt. Deswegen wird auch bei industriellen Lösungen sehr oft der traditionelle Baustoff Holz durch Metall oder Kunststoff ersetzt. In den Jahren der Gebäudetechnisierung ist ein Teil des Vertrauens in das Holz verloren gegangen. Zu Unrecht, denn schon die Verbindung von Holz und Glas in Fenstern und die bisher realisierten Beispiele zeigen die grundsätzliche Fähigkeit dieser Kombination. Hinzu kommen Behaglichkeit und anspruchsvolle Ästhetik des Holzes, die bei den meisten neuzeitlichen Metall- oder Kunststofflösungen verloren gegangen sind. Es darf nicht nur im Interesse von Holzbauern, sondern muss insbesondere in dem von Gestaltern und Bauherren liegen, Holz in jeglicher Art von Konstruktion als Möglichkeit mit einzubeziehen. Grundsätzlich werden die Fähigkeiten von Holz in Verbindung mit technischen und elektrischen Elementen unterschätzt und zu selten gewagt. Die Forschung ermöglicht

Abb. 14: integrative Kombination von Photovoltaik und Holz [Foto: Leon Schmidt, TU Darmstadt]

in diesem Zusammenhang immer mehr Systemlösungen, die durch ihre Kombination besonders ökologisch, besonders nachhaltig und letztendlich ästhetisch sehr zufriedenstellend sein werden. Besonders die alt hergebrachte Verbindung aus Holz und Glas, die durch neue Techniken perfektioniert wird hat das absolute Potential eine Verbindung für die Zukunft zu sein.

14.4 Gebäudetechnik

Zeitgemäße Gebäudeautomation – Aktueller Stand und Potenziale

Martin Becker

1 Gebäudeautomation und Architektur

Was hat Gebäudeautomation und Gebäudemanagement mit Architektur bzw. dem Entwurf von Gebäuden und Fassaden zu tun? Auf den ersten Blick nicht viel, bei genauerem Hinsehen jedoch sehr viel. Vor dem Hintergrund der zunehmenden Forderung nach Ressourcen schonendem und nachhaltigem Bauen, das ökonomischen, ökologischen und sozialen Aspekten gleichermaßen Rechnung trägt, ist eine auf den Investor bzw. Bauherrn passende und mit ihm abgestimmte Kompromisslösung notwendig. Moderne energetische Gebäudeplanung heißt hierbei, einen Kompromiss zwischen Kosten, Energieeffizienz sowie Komfort- und Behaglichkeitsaspekten für die Nutzer des Gebäudes zu finden. Dazu sind allerdings nicht nur die in der Planung ermittelten energetischen Bedarfswerte wichtig, sondern es muss schon in der Planung berücksichtigt werden, wie in der langen Betriebszeit eines Gebäudes die laufenden Energiekosten überwacht und minimiert werden können. Bezogen auf die gesamten Lebenszykluskosten tragen die laufenden Betriebkosten (Energiekosten, Wartungskosten...), typischerweise zu 80% an den gesamten Lebenszykluskosten bei, jedoch die einmal getätigten Planungs- und Baukosten lediglich zu 20%. Somit spielt eine zeitgemäße und angepasste Gebäudeautomation und ein darauf aufsetzendes Energie- und Gebäudemanagement die entscheidende Rolle für die Wirtschaftlichkeit und Energieeffizienz eines Gebäudes!

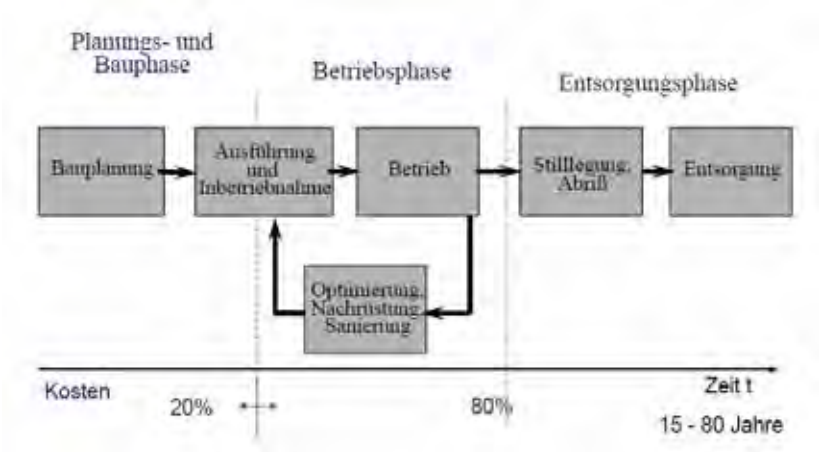


Abb. 1: Lebenszykluskosten in der Gebäudetechnik – Optimierungspotenzial durch Raum- und Gebäudeautomation

Nicht selten übersteigen die späteren Energieverbräuche die zuvor in der Planung ermittelten Bedarfswerte um den Faktor 2-3. Was ist die Ursache hierfür? Neben dem schwierig zu berücksichtigen Nutzereinfluss sind z.B. regelungstechnisch nicht optimal eingestellte bzw. betriebene Anlagen (z.B. falsche Vorgabe von Sollwerten, nicht angepasste Zeit- und Betriebsparameter), sowie nicht auf die Nutzung bzw. Belegung angepasste Anlagen die Ursache (z.B. die Beleuchtung oder Lüftung bleibt eingeschaltet obwohl keine Person im Raum ist). Dies transparent zu machen ist auch Aufgabe der Gebäudeautomation bzw. des Energie- und Gebäudemanagements.

Zeitgemäße Gebäudeautomation ist die Basis für ein „aktives" Energiemanagement, das zeitnah alle Energieflüsse im Gebäude transparent macht und es erlaubt, dass der Betreiber frühzeitig erhöhte Energieverbräuche feststellen kann und hieraus zielgerichtet effiziente Optimierungsmaßnahmen wie z.B. nutzer- und nutzungsangepasste Regelungsstrategien für bedarfsgeführte Heizung, Lüftung und Beleuchtung eingeleitet werden. Heute ist es leider häufig noch so, dass das Ergebnis erhöhter Energieverbräuche erst bei der kommenden Jahresabrechnung festgestellt wird und die Ursache hierfür dann nur noch schwer zurückverfolgt werden kann, um hieraus gezielte Verbesserungsmaßnahmen zu ergreifen. Dies wiegt umso schwerer, wenn man berücksichtigt, dass durch verbesserte Regelungsstrategien in Verbindung mit optimierter Anlagentechnik in der Praxis Energieeinsparungen von bis zu 60% erzielt werden können. Dies bedeutet bei den

weiter zu erwartenden deutlichen Energiepreissteigerungen ein enormes Kosteneinsparpotenzial im laufenden Gebäudebetrieb.

Abb. 2: Regelkreis des aktiven Energiemanagements

Der Energieverbrauch eines Gebäudes bzw. seiner Anlage ist somit keine fixe Größe, sondern stark vom Nutzerverhalten und eines optimierten Anlagen- und Gebäudebetriebs abhängig. Zeitgemäße Automatisierungstechnik ist das notwendige Werkzeug für ein aktives Energie- und Gebäudemanagement, um alle erforderlichen Daten zu erfassen und auszuwerten, um hieraus wiederum die Transparenz aller Energieflüsse im Gebäude über entsprechende Energiekenngrößen (z.B. Energiesignatur eines Gebäudes) zu erhalten. Dies gibt weiterhin Aufschluss über positive sowie negative Einflüsse des Nutzerverhaltens, um daraus wiederum zielgerichtet wirtschaftliche Optimierungsmaßnahmen zu ergreifen.

2 Stellenwert der Gebäudeautomation für einen energieeffizienten Betrieb von Gebäuden

Welche Rolle kann die Automatisierungstechnik für einen energieeffizienten Betrieb von Gebäuden und deren Anlagentechnik übernehmen? Richtiger Einsatz von Gebäudeautomation heißt in der heutigen Zeit neben den primären Aufgaben des Messens, Steuerns, Regelns und Überwachens von gebäudetechnischen Anlagen wie z.B. Heizungs- oder Klimaanlage oder Beleuchtungsanlage die vielfältigen Optimierungspotenziale für das Zusammenspiel aller Gewerke und für ein übergeordnetes Energie- und Gebäudemanagement zu nutzen.

Potenzial besteht zum Einen bei der Optimierung von Einzelsystemen bezogen auf die jeweiligen Gewerke der technischen Gebäudeausrüstung wie Heizung, Lüftung, Klima, Beleuchtung usw. Beispiele hierfür sind:

- Optimierte Einstellung von Reglerparametern und gleitende Sollwerte
- Programme zum Anpassen von optimierten Ein-/Ausschaltzeitpunkten für die Nachtabsenkung bzw. den Stützbetrieb bei der Heizung
- Angepasste Fahrweise der Anlagen im Teillastbetrieb
- Anwesenheits- und belegungsabhängige Automationsstrategien für Heizung, Klima, Lüftung und Beleuchtung im Raum
- Ausschalten der Beleuchtung bei Nichtanwesenheit von Personen (z.B. über Präsensmelder)
- Sonnentandsnachgeführte Jalousie- und Verschattung von Jalousien mit Unterscheidung von Nutzungszeiten und Jahreszeit (z.B. Nutzung der Solareinstrahlung im Winter über die Fenster bei Abwesenheit durch Hochfahren der Jalousie, im Sommer durch Herunterfahren der Jalousie zur Vermeidung unnötiger Wärmeeinträge)
- Bedarfsgeführte Fensterlüftung über die Fassade mit Nutzung zur freien Nachtkühlung

Alle diese Funktionen im Raum, die auch als Raumautomationsfunktionen bezeichnet werden, helfen eine auf den Nutzer bzw. die Nutzung zugeschnittene energieeffiziente Betriebsführung zu erreichen, aber gleichzeitig auch dem Nutzer ein angenehmes und komfortables Raumklima anzubieten.

Neben der nutzungsbezogenen Optimierung von Einzelsystemen besteht ein hohes Optimierungspotenzial im Bereich der übergreifenden Systemautomation und -optimierung im Sinne des abgestimmten Zusammenspiels der gesamten Anlagentechnik. Beispiele hierfür sind:

- Strategien für die Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung (KWKK) von Anlagen, indem z.B. die Abwärme von Kälteanlagen für die Beheizung von Räumen oder Warmwasser genutzt werden kann (Wärmerückgewinnung) anstatt diese wertvolle Energie ungenutzt über Kühltürme an die Umgebung abzuleiten.
- Strategien für die Integration dezentraler und verteilter Energiewandler unter verstärktem Einsatz regenerativer Energiesysteme (z.B. Photovoltaik, BHKW, Wärmepumpe, Brennstoffzelle, Biomasse, Solare Klimatisierung, …) in ein abgestimmtes Energieversorgungssystem
- Übergreifende Automationskonzepte für die geothermische Nutzung mit umschaltbaren Wärmepumpen für einen Kühl-/Heizbetrieb in Verbindung mit thermischer Bauteilaktivierung im Raum unter Berücksichtigung aktueller Lastprofile und Wetterdaten bzw. -prognosen
- Abgestimmtes Zusammenspiel der Raumklimatik wie Kühlen, Heizen, Lüften, Beleuchten usw. (Raumautomation) für eine optimierte, bedarfsgeführte Betriebsführung der Energieerzeugung (z.B. Heizkessel, Klimaanlage)

Moderne Gebäudeautomationslösungen sind durch ganzheitliche, gewerkeübergreifende Ansätze gekennzeichnet. Ziel hierbei ist, alle interessierenden Daten der verschiedenen gebäudetechnischen Anlagen für ein übergeordnetes Energie- und Gebäudemanagement zusammenzuführen. Automatisierungstechnik ohne Informations- und Kommunikationstechnik und Einsatz mikrocontrollerbasierter frei konfigurierbarer bzw. programmierbarer Automationsgeräte ist heute nicht mehr denkbar. Offene Bussysteme und Kommunikationsstandards wie z.B. der Europäische Installationsbus (EIB/KNX), Local Operating Network (LON) oder Building Automation and Control Network (BACnet), die je nach Anforderung unterschiedlichste Übertragungstechnologien (RS 485, Infrarot, Funk, Powerline, Ethernet TCP/IP …) nutzen, gehören heutzutage fast selbstverständlich als Standardinfrastruktur ins Gebäude. Zunehmend werden diese Systeme für übergeordnete Managementaufgaben in das üblicherweise vorhandene EDV-Netz basierend auf einem Ethernet TCP/IP-Netzwerk eingebunden. D.h. Gebäudeautomations-, Bürokommunikations- und Telekommunikationsnetzwerke wachsen immer mehr zu einem integrierten Kommunikationssystem zusammen. Dies ermöglicht wiederum die Datenkommunikation über die aus der Bürokommunikation bekannten Dienste wie SMS, E-Mail usw., die z.B. für die Meldung von Störungen und Alarmen genutzt werden können. Damit lassen sich aber auch wichtige Prozess- und Anlagendaten wie z.B. Temperatur- und Druckverläufe für die Anlagendiagnose oder Energieverbrauchswerte zeitnah von jedem Ort der Welt an jeden anderen Ort der Welt transportieren. Die Visualisierung von Anlagen und deren aktuelle Prozessdaten auf dynamischen Anlagenbildern ist hierbei eine hervorragende Basis, um den Betrieb einer Anlage überwachen und energetisch bewerten zu können. Neben Überwachungs- und Optimierungsfunktionen lassen sich zugleich nichtoperative Aufgaben wie z.B. Wartungsmanagement oder Material- und Personaleinsatzplanung realisieren und in die übergeordneten Geschäftsprozesse und das Facility Management integrieren.

3 Wo liegen die Hindernisse? Wie lässt sich die heutige Situation verbessern?

Betrachtet man die heutige Situation kritisch, so muss man feststellen, dass wir in vielen Anwendungen noch meilenweit von einer effektiven Nutzung von Gebäudeautomation und Gebäudemanagement mit den heute bereits verfügbaren technischen Möglichkeiten entfernt sind. Wo liegen die Ursachen hierfür? Einige Ursachen sind im Folgenden stichwortartig aufgelistet:

- Geringes Wissen und Verständnis für den Stellenwert und die Möglichkeiten zeitgemäßer Raum- und Gebäudeautomation sowie von Gebäudemanagement bei Architekten und Bauherrn.
- Die Gebäudeautomations-Branche hat es (bisher) nicht geschafft das Thema Gebäudeautomation und Kommunikationstechnik für Architekten und Bauherrn zu „übersetzen".
- Eine gewerkeübergreifende Gebäudeautomations-Architektur wird u.a. bedingt durch den „klassischen" Planungsprozess in Einzelgewerken („Mein Gewerk") gar nicht oder zu spät im Planungsprozess entworfen.
- Keine transparente Lebenszyklusbetrachtung (80/20 % Regel, d.h. 20 % Planungs- und Investitionskosten, 80 %Betriebskosten), die evtl. höhere Investitionskosten für Gebäudeautomation über die Reduzierung der späteren geringeren Betriebskosten wirtschaftlich rechtfertigt.
- Gebäudeautomation wird im laufenden Gebäudebetrieb zuwenig als kontinuierliches Optimierungswerkzeug gesehen und genutzt, da häufig hierfür geschultes Personal fehlt. Dadurch wird ein enormes Energieeinsparpotenzial durch nicht- bzw. gering-investive Maßnahmen nicht oder kaum ausgeschöpft.
- Energie- und Gebäudemanagement ist i.d.R. nicht als kontinuierliche Aufgabe und Prozess in einem Unternehmen verankert und wird damit vielfach stiefmütterlich behandelt. Die Erfahrung zeigt, dass erfolgreiches Energiemanagement von der Unternehmensleitung als kontinuierlicher Optimierungsprozess verfolgt und unterstützt werden muss.

Eine Verbesserung der heutigen Situation, die für alle Beteiligten Gruppen (Bauherr/Investor, Architekt, Planer, Betreiber, Nutzer, …) zweifelsfrei begrüßenswert und wünschenswert ist, muss bereits in der Planungsphase von Gebäuden ansetzen und fordert sicherlich auch eine Bereitschaft im Umdenken klassischer Planungsschritte gemäß dem Motto: „Unser Kopf ist rund, damit das Denken seine Richtung ändern kann".

So muss bereits in einer frühen Entwurfsplanung eine auf den Gebäudetyp und die Gebäude- bzw. Raumnutzung zugeschnittene Gebäudeinformations-Architektur (GIA) entworfen werden. Je später dieser Entwurf bzw. diese Konzeption erfolgt, desto teurer bzw. unwirtschaftlicher werden Gebäudeautomationslösungen. Nachträgliche, durchaus sinnvolle und notwendige Investitionen für einen optimierten Gebäudebetrieb (z.B. Einbau zusätzlicher Energiezähler für Strom oder Wärme, zusätzliche Sensoren für die Überwachung / Optimierung oder bedarfs- /nutzungsgeführte Regelungsstrategien, übergeordnete Gebäudeleittechnik) sind dann in der Regel nicht oder schlecht wirtschaftlich umsetzbar. Wird dies jedoch in Form eines konsistenten, in sich abgestimmten Gebäudeautomationskonzeptes bereits in der frühen Gebäudeplanung berücksichtigt und in den späteren Planungsphasen schrittweise konkretisiert, sind - bezogen auf die gesamten Baukosten - vergleichsweise geringen Mehrinvestitionen erforderlich. Praktische Beispiele zeigen, dass dies sogar bei einer Gewerke Übergreifenden Gesamtplanung (Integrationsplanung) ohne Mehrkosten berücksichtigt werden kann.

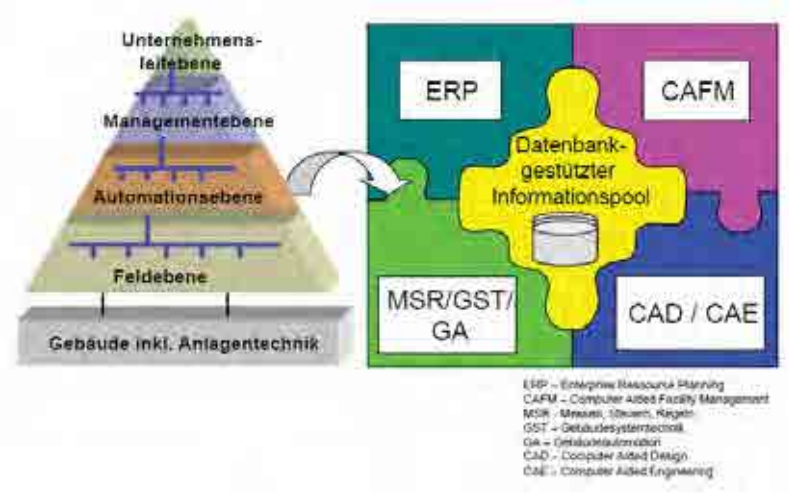


Abb. 3: Gebäudeinformations-Architektur (GIA)

Parallel zum Architekturentwurf für das Gebäude sprechen wir hier von dem Entwurf der umzusetzenden Gebäudeinformations-Architektur (GIA). Um einen solchen Entwurf durchführen zu können, bedarf es schon in der frühen Planungsphase einer Systembetrachtung des funktionalen Zusammenwirkens und Wechselwirkens der verschiedenen Teilsysteme und Nutzungsaspekte zu einem sinnvollen Ganzen für die spätere Betriebsphase. Dazu empfiehlt es sich, bereits in einer frühen Planungs- und Entwurfsphase einen Integrationsplaner oder technischen Designplaner mit Blick auf das Ganze und mit Blick auf die Lebenszykluskosten eines Gebäudes einzubinden. Der Fachmann für Gebäudeautomation bringt diese Sichtweise und Systembetrachtung mit, da es schon immer seine Aufgabe war, die verschiedenen Gewerke über eine passende technische Lösung zu einem Gazen für einen optimierten Gebäudebetrieb zusammenzuführen.

4 Ausblick: Optimierte Betriebsführungskonzepte, Informationsmanagement und integrierte Systemkomponenten

Wie bereits zuvor erwähnt, ist es für einen energieeffizienten Betrieb von Anlagen und/oder Gebäuden entscheidend, dass alle hierfür erforderlichen Daten erfasst, an eine geeignete Stelle übertragen, über entsprechende Anlagenbilder visualisiert und für eventuell spätere Auswertungen archiviert werden. Viel wichtiger als die Daten selbst, sind die Informationen bzw. das Wissen, das mir diesen Daten generiert werden kann. Dies fordert ein konsequentes Informationsmanagement. Hierbei geht es darum, die erfassten Daten so weiterzuverarbeiten und auszuwerten, dass Sie für den jeweiligen „Daten-Nutzer“ in einer aufbereiteten Form zur Verfügung stehen. Den Energiemanager interessieren z.B. nicht die Rohdaten in Form von Zählerständen einzelner Verbraucher, sonder er möchte z.B. in einer möglichst aussagekräftigen Auswertung die ausgewerteten und z.B. witterungsbereinigten Wärmeverbräuche erhalten, möglichst bereits im Sinne eines Benchmarkings verglichen mit Gebäuden gleicher Größe und ähnlicher Nutzung. Wichtig für eine energetische Bewertung sind verdichtete Informationen wie z.B. der Wirkungsgrad einer Wärmerückgewinnung oder die Leistungszahl einer Kältemaschine. Die Gebäudeautomation liefert hierfür die Basisdaten in ein datenbankgestütztes Informationsmanagementsystem, die dann als höherwertige Informationen für Energiemanagement-Programme oder Facility Management Programme (Computer Aided Facility Management, CAFM) zur Verfügung stehen.

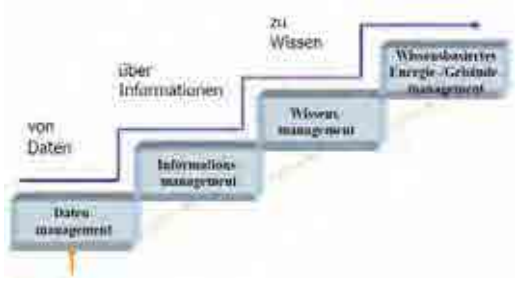


Abb. 4: Vom Daten- über das Informationsmanagement zum wissensbasierten Energie- und Gebäudemanagement

Für eine optimierte Betriebsführung wird hierbei zunehmend die Simulation als wichtiges Hilfsmittel nicht nur in der Planungsphase, sondern auch als Werkzeug für eine dynamische simulationsgestützte Betriebsführung im Zusammenspiel mit der Gebäudeautomation und dem Energie- und Gebäudemanagement genutzt. Hier ist allerdings noch erheblicher Forschungsbedarf vorhanden, z.B. in Bezug auf lernfähige und wissensbasierte Strategien zum Auswerten und Bewerten von Betriebsführungsstrategien in Verbindung mit dem dazu erforderlichen zusätzlichen Informationsbedarf.

5 Integrierte Gebäudesysteme – Mechatronische Fassadensysteme

Ein weiterer Trend ist die Entwicklung hin zu steckerfertigen, integrierten gebäudetechnischen Systemen mit aufeinander abgestimmten Teilkomponenten und integrierter Mess-, Steuer-Regeltechnik (MSR-Technik). Ein Beispiel hierfür sind raumlufttechnische Komplettgeräte oder steckerfertige Wärmepumpen mit integrierter Hydraulikbaugruppe und MSR-Technik. Dieser Trend wird sich zukünftig auch auf die Gebäudehülle und Fassadentechnik ausdehnen. Erste integrierte Fassadensysteme sind am Markt verfügbar, bei denen in der Fassade dezentrale Lüftungsgeräte, Sonnenschutzsysteme, Beleuchtungssysteme, ja sogar die Energieerzeugung über Fotovoltaik-Module integriert sind und die kontrollierte natürliche Lüftungsstrategien über motorisch betriebene Fensterelemente ermöglichen, wobei diese Einzelsysteme über eine in die Fassade ebenfalls integrierte MSR-Technik (Fassadenautomation) optimal aufeinander abgestimmt sind. Der Fassadencontroller ist wiederum über standardisierte Bussysteme in die Raum- und Gebäudeautomation angebunden, so dass eine auf die Nutzung und Energieeffizienz abgestimmte Betriebsführung ermöglicht wird. Das Fenster bzw. die Fassade wandelt sich somit zunehmend von einem passiven Bauelement zu einem aktiven gebäudetechnischen Bauelement. Man kann in diesem Zusammenhang auch von einem mechatronischen Fassadensystem sprechen, das mechanische, elektromechanische/elektronische und informationstechnische Komponenten zu einem neuen, höherwertigen Gesamtsystem verknüpft.

Prototyp-Aufbau, Hochschule Biberach,
Institut für Gebäude- und Energiesysteme

Foto: Hydro Building Systems GmbH

Abb. 5: TEmotion als Beispiel für ein integriertes mechatronisches Fassadensystem

14.4 Gebäudetechnik
Wärmepumpen

Alexander Floß

1 Wärmepumpen

Verfolgt man die öffentliche Diskussion zum Thema Energieeinsparung im Gebäude, bekommt man immer wieder den Eindruck, dass ein Großteil unserer Energieprobleme gelöst wäre, würde man die moderne Wärmepumpentechnologie nur endlich in viel größerem Umfang einsetzen.

Tatsächlich kann durch den (vermehrten) Einsatz von Wärmepumpen ein erhebliches Energieeinsparpotential im Bereich der Gebäudebeheizung und damit auch ein Beitrag zur Reduzierung des CO_2-Ausstoßes realisiert werden. Allerdings reagieren Wärmepumpensysteme in Bezug auf ihre Effizienz sehr sensibel auf die Temperaturrandbedingungen. Dies erfordert eine äußert sorgsame Planung, Installation und Überwachung von Wärmepumpensystemen, wenn diese wirklich effizient und ökologisch heizen sollen.

Großes Augenmerk wird im Folgenden auf die Vorstellung und Erläuterung der verschiedenen Energetischen Kennzahlen von Wärmepumpen und Wärmepumpensystemen gelegt, die in der Praxis recht uneinheitlich und oft nicht exakt verwendet werden. Hierdurch kommt es immer wieder zu folgenschweren Fehlern bei der energetischen Beurteilung von Wärmepumpensystemen.

2 Entwicklung der Wärmepumpen

Das Bestreben, Lebensmittel länger lagern zu können, ließ John Leslie im Jahr 1810 die Absorptions-Kältemaschine und Jakob Perkins 1834 die Kompressions-Kältemaschine entwickeln. In der Kältetechnik wird ein Raum gekühlt, indem ihm Wärme entzogen wird. Diese wird auf ein höheres Temperaturniveau gebracht und schließlich an die Umgebung abgegeben.

Entzieht man hingegen einem zumindest unendlich erscheinenden Reservoir (z.B. Geothermie) Wärme, hebt diese auf ein höheres Temperaturniveau und nutzt die Wärme beispielsweise zum Beheizen von Gebäuden, spricht man von einer Wärmepumpen-Anwendung (Abb. 2). William Thomson setzte die Wärmepumpenanwendung 1852 erstmals in die Tat um. Anfang des 20. Jahrhunderts wurden dann zahlreiche Maschinen zur Wärmeerzeugung entwickelt und patentiert.

Nach dem Zweiten Weltkrieg wurden vornehmlich in den USA und Japan Wärmepumpen in Lüftungsanlagen eingebaut. Sie boten den Vorteil, im Winter heizen und im Sommer kühlen zu können. In Europa, wo dieser Vorteil aufgrund anderer klimatischer Bedingungen und anderer Baustile zunächst nicht von Wichtigkeit war, begann die Wärmepumpe Ende der 1970er Jahre nach den Ölkrisen ihren Einzug in die Heizungssysteme.

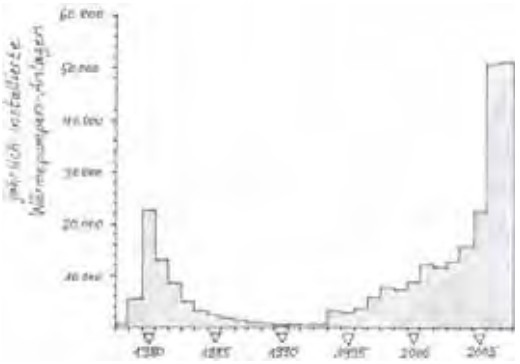


Abb. 1: Entwicklung des deutschen Absatzmarktes für Wärmepumpen (Datenquelle: BWK Energie-Fachmagazin 04-2008)

Der starke Einbruch der Absatzzahlen von in Deutschland installierten Wärmepumpen in den 1980er Jahren ist weniger auf sinkende Energiepreise als auf Effizienzprobleme der Wärmepumpenanlagen aufgrund unsachgemäßer Ausführung und Abstimmung der Gesamtsysteme zu-

rückzuführen. Seit Anfang der 1990er Jahre wird der Wärmepumpenmarkt durch günstige Stromtarife der Energieversorger und heizenergietechnisch verbesserte Gebäude beflügelt. Aber auch der ständig steigende Glasanteil in den Gebäudefassaden und der damit verbundene Kühlbedarf im Sommer wird als Werbeargument für Wärmepumpen herangezogen, da mit Wärmepumpen im Sommer auch gekühlt werden kann.

Die extremen Wachstumszahlen seit 2005 lassen Wärmepumpensysteme zum Selbstläufer werden, worunter die Sorgfalt bei Planung, Ausführung und Betrieb von Wärmepumpen und damit deren Energieeffizienz sehr leidet.

3 Grundlegende thermodynamische Zusammenhänge und Funktionsweise von Wärmepumpen

Wärmeenergie fließt immer nur vom warmen zum kalten Temperaturniveau. Die in der äußeren Erdkruste gespeicherte Wärme (oberflächennahe Geothermie) befindet sich in der Regel auf einem Temperaturniveau von ca. 10 °C. Unser heutiges Behaglichkeitsempfinden von Raumtemperaturen liegt aber eher im Bereich von 20 °C. Dies bedeutet, dass die in der Umwelt gespeicherte thermische Energie nicht von alleine in unsere Gebäude fließen kann.

Das Prinzip eines Fahrrads ist dem der Wärmepumpe in Ansätzen vergleichbar. Der Energieaufwand, der notwendig ist, um einen Höhenunterschied mit dem Fahrrad zu bezwingen, ist in erster Linie von zwei Dingen abhängig: a) der Masse (Gewicht) von Fahrer und Fahrrad und b) der zu überwindenden Höhendifferenz. Hier liegt die Parallelität zur Wärmepumpe.

Ein Wärmepumpensystem besitzt zwei äußere Wärmetauscher. Ein Wärmetauscher wird auf ein Temperaturniveau unterhalb der Umgebungstemperatur abgekühlt, so dass die Umgebungswärme in die Wärmepumpe fließen kann. Mithilfe der Antriebsenergie ($P_{Antr.}$) hebt die Wärmepumpe diese Umweltwärme jetzt auf ein Temperaturniveau oberhalb der Nutzung, so dass die Wärme vom warmen Wärmetauscher abfließen kann. Man kann eine Wärmepumpe somit als „Maschine zur Anhebung des Temperaturniveaus“ bezeichnen. Der Energieaufwand, der für diesen Temperaturhub notwendig ist, hängt wiederum maßgeblich von zwei Dingen ab: a) der Menge der anzuhebenden Wärme (entspricht der Masse von Fahrer samt Rad) und b) der Temperaturdifferenz, um die die Wärme angehoben werden muss. Dies entspricht der Höhendifferenz, die der Fahrer zu überwinden hat. Und hier wird das Grundproblem einer jeden Wärmepumpenanwendung deutlich. Der Aufwand, der getätigt werden muss, um ein solches System zu betreiben, ist ganz maßgeblich abhängig vom Temperaturhub, den die Wärmepumpe überwinden muss. Dieser sollte möglichst gering sein. D.h. man benötigt eine Wärmequelle mit einem möglichst hohen Temperaturniveau und eine Wärmesenke mit einem möglichst geringen Temperaturniveau. Das Temperaturniveau der Nutzung ist bei der Gebäudebeheizung in der Regel recht einheitlich bei 20 °C, die Höhe der Heizungs-Vorlauftemperatur schwankt aber je nach Raumheizeinrichtung und Auslegung zwischen 30° und 90°C.

Die Funktionsweise der Wärmepumpe kann am Beispiel der Fahrradluftpumpe erklärt werden. Verdichtet man Luft oder ein anderes Gas bzw. Kältemittel, erwärmt sich dieses. Das merkt man beim Aufpumpen des Fahrrades - der Luftpumpenkopf wird warm. Die Umkehrung lautet: wird die Luft bzw. das Gas / Kältemittel entspannt, kühlt es sich ab. Unter Vernachlässigung von Reibung und anderen Irreversibilitäten kann ein Gas durch Verdichtung erwärmt und durch die anschließende Entspannung wieder auf sein Ausgangstemperaturniveau zurückgekühlt werden.

Wird aber, wie in Abb. 2 dargestellt, die Wärme des verdichteten Gases über einen Wärmetauscher (Kondensator) an ein Heizungssystem abgegeben, kühlt sich das Gas schon vor der Entspannung ab. Die anschließende Entspannung führt nun dazu, dass sich das Gas unter das Temperaturniveau der Wärmequelle abkühlen kann. Somit kann es in einem zweiten Wärmetauscher (Verdampfer) Umweltwärme aufnehmen, bevor es diese, durch den Verdichter angetrieben, wieder auf ein höheres Temperaturniveau bringt. Dieser Kreislauf wird in der Thermodynamik als linksläufiger Kältekreislauf bezeichnet. Auch wenn bei einigen Anwendungen Luft im Kreislauf zirkuliert, wird in den meisten Fällen ein Kältemittel verwendet, das einen Phasenwechsel von flüssig nach dampfförmig (Verdampfung) und umgekehrt (Kondensation) vollzieht.

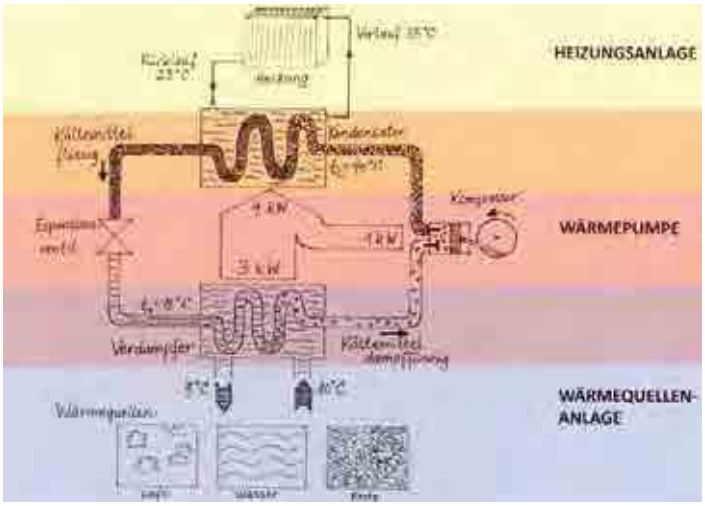


Abb. 2: Linksläufiger Kältekreislauf einer Wärmepumpe

Auch hier kann man sich gut vor Augen halten: je höher das Temperaturniveau angehoben werden muss, umso stärker muss das Gas / Kältemittel verdichtet werden, wodurch ein höherer Aufwand am Verdichter entsteht. Hierbei ist es zunächst unerheblich, ob es sich um einen mechanischen Verdichter (meist über einen Elektromotor angetrieben) oder um einen thermischen Verdichter (Antrieb durch Wärme) handelt. In der Gebäudetechnik dominieren heute strombetriebene Kompressions-Wärmepumpen. Dies bedeutet nicht, dass thermisch angetriebene Wärmepumpen schlechter sind.

Thermisch angetriebene Wärmepumpen bestehen aus einem linksläufigen Kältekreislauf, der mit einem rechtsläufigen Wärme-Kraft-Kreislauf gekoppelt ist. Hieraus resultiert, dass das Temperaturniveau der Heizungsvorlauftemperatur doppelt gewichtet und das Temperaturniveau des thermischen Wärmepumpenantriebes zusätzlich in die Effizienzbewertung eingehen muss. Der Einsatz dieser thermisch angetriebenen Wärmepumpen ist daher noch sorgfältiger zu planen und durchzuführen.

4 Effizienz von Wärmepumpen - Energetische Kennzahlen

In der Technik wird der Wirkungsgrad ganz allgemein als Verhältnis zwischen Nutzen und Aufwand definiert. Abb. 3 zeigt die Leistungsbilanz an der Wärmepumpe. Demnach ist der Nutzen der Wärmepumpe die abgegebene Heizleistung $\dot{Q}_{Heiz}$

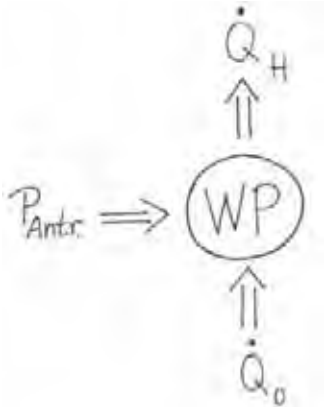


Abb. 3: Leistungsbilanz an der Wärmepumpe

Der Aufwand, den man in das System hineinsteckt, ist aus technischer Sicht die Summe aus Antriebsleistung $P_{Antr.}$ und Wärmeleistung aus der

Umwelt $\dot{Q}_0$. Da die Umweltwärme in aller Regel kostenlos zur Verfügung steht, wird sie bei der Definition der Effizienz von Wärmepumpen nicht mit berücksichtigt. Diese gewissermaßen monetäre Definition hat zur Folge, dass die Effizienz größer 100 % ist. Um hier nicht den Anschein zu wecken, ein Perpetuum Mobile zu beschreiben, wird die Effizienz von Wärmepumpen als

$$\text{Effektive Leistungszahl} = \varepsilon_{WP,eff} = \frac{\text{Heizleistung}}{\text{Antriebsleistung}}$$

definiert.

Der Physiker Niclas Carnot hat schon um 1825 herausgefunden, dass der maximal mögliche Wirkungsgrad von Kreisprozessen durch die obere und untere Temperatur des Prozesses begrenzt wird. Für den mechanisch angetriebenen Kaltdampf-Wärmepumpenprozess ergibt sich diese ideale- oder Carnot Leistungszahl zu

$$\varepsilon_{WP,ideal} = \varepsilon_{WP,Carnot} = \frac{T_C}{T_C - T_0}$$

Hier steht T_C für die Kondensations- und T_0 für die Verdampfungstemperatur (jeweils in Kelvin). Die effektive oder auch reale Leistungszahl ist immer kleiner als die ideale Leistungszahl. Man erhält sie durch Multiplikation der idealen Leistungszahl mit dem Gütegrad.

$$\varepsilon_{WP,eff} = \varepsilon_{WP,ideal} \cdot \eta_{Güte}$$

Während die ideale Leistungszahl lediglich die Temperaturrandbedingungen des Wärmepumpeneinsatzes berücksichtigt, ist der Gütegrad ein Maß für die Qualität der Wärmepumpe und liegt in der Praxis im Bereich etwa zwischen 0,4 und 0,6.

Abb. 4 zeigt die effektive Leistungszahl einer Wärmepumpe (Gütegrad $\eta_{Güte}$ = 0,5) in Abhängigkeit von der Kondensationstemperatur (t_C in °C) bei einer festen Verdampfungstemperatur von t_0 = 0 °C (273,15 K). Hier wird ersichtlich, in welch hohem Maß die effektive Leistungszahl von der oberen Kondensationstemperatur und der unteren Verdampfungstemperatur abhängig ist. Überschlägig kann festgehalten werden, dass ein Anheben der Kondensationstemperatur um 1 °C die Leistungszahl um 2,5 % und ein Absenken der Verdampfungstemperatur die Leistungszahl um 3 % absinken lässt.

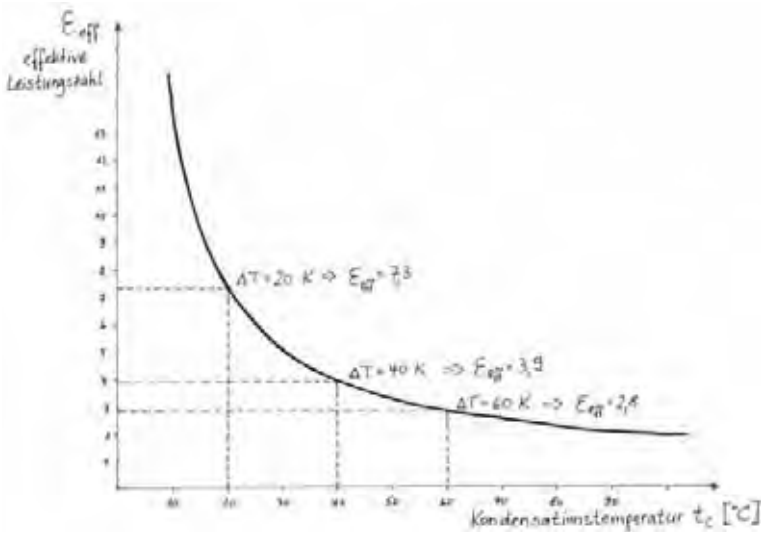


Abb. 4: Effektive Leistungszahl einer Wärmepumpe in Abhängigkeit von der Kondensationstemperatur ($\eta_{Güte}$=0,5; Verdampfungstemperatur t_0=0°C)

Die effektive Leistungszahl beschreibt aber lediglich die Effizienz der Wärmepumpe (ohne Hilfsantriebe) an ausgewählten Betriebspunkten und besitzt damit eingeschränkte Aussagekraft.

Für die Effizienzbeschreibung von Wärmepumpensystemen wird der COP (Coefficient of Performance) verwendet. Er wird nach DIN EN 15450 bzw. 14511-1 definiert als das Verhältnis der Heizleistung zur Leistungsaufnahme des Systems. Dabei umfasst die Leistungsaufnahme die elektrische Leistung des Verdichters zuzüglich der erforderlichen Leistungen für z.B.

Abtauheizung, Regelungsgeräte, Ventilatoren, Pumpen usw.. Es ist zu beachten, dass sich der COP ebenso wie die effektive Leistungszahl immer auf einen festen Betriebspunkt bezieht. In der Literatur wie in der Normung wird gleichbedeutend zum COP oft die Leistungszahl ε verwendet. Dies führt oft zu Verwirrungen und Verwechslungen, da sich die Leistungszahl ε (entspricht COP) auf das Wärmepumpensystem, die effektive Leistungszahl der Wärmepumpe $\varepsilon_{WP,eff}$ aber nur auf die Wärmepumpe bezieht.

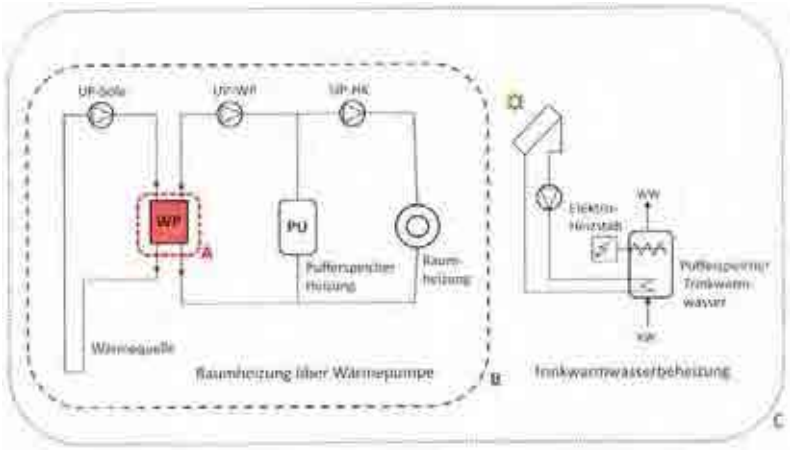


Abb. 5: Verschiedene Bilanzgrenzen für die Definition der Jahresarbeitszahl

Im Gegensatz zu den bisher angesprochenen Kenngrößen, bei denen es sich um Leistungskenngrößen handelt, ist die Jahresarbeitszahl (JAZ oder β; engl. Seasonal Performance Factor SPF) eine Energiekenngröße. Sie ist definiert als der Quotient von abgegebener Heizenergie zu aufgenommener Antriebsenergie und spiegelt damit nicht die Effizienz an einem bestimmten Betriebspunkt, sondern die Effizienz bei verschiedenen Randbedingungen über einen Zeitraum von üblicherweise einer Heizperiode wieder.

$$JAZ = \frac{\text{Heizenergie}}{\text{Antriebsenergie}}$$

Wie Abb. 5 darlegt, gibt es aber auch hier unterschiedliche Bilanzgrenzen, die alle ihre Richtigkeit und Berechtigung haben.

Während über die Bilanzgrenze „A“ die Qualität der Wärmepumpe selbst beschrieben werden kann, lässt sich mit Hilfe der Bilanzgrenze „B“ das gesamte Wärmepumpensystem bewerten. Die Bilanzgrenze „C“ dient letztendlich zur Bewertung des gesamten thermischen Energiesystems des Gebäudes. Es ist also immer wichtig, die zugrundeliegende Bilanzgrenze zu kennen, bzw. gegebenenfalls in Erfahrung zu bringen, um nicht „Äpfel mit Birnen zu vergleichen“.

Darüber hinaus ist es wichtig zu wissen, ob es sich bei den angegebenen Kennwerten um prognostizierte bzw. berechnete Werte oder gemessene Kennwerte handelt.

Die Verwendung all dieser Kenngrößen wird noch heute in Literatur und Praxis uneinheitlich verwendet. Eine genaue Klärung wird daher im Einzelfall dringend empfohlen. Hierzu ist es unabdingbar, die Systeme und ihre Systemgrenzen zu verstehen und zu kennen.

5 Wärmequellen und Raumheizeinrichtungen für Wärmepumpenheizungssysteme

Ein Wärmepumpenheizungssystem besteht, wie in Abb. 2 dargestellt, aus der Wärmequellenanlage, der Wärmepumpe und der Wärmesenke (Heizungsanlage).

Die Temperaturdifferenz zwischen Wärmequelle und Wärmesenke soll zur Nutzungszeit möglichst gering sein, um die Wärmepumpe mit hoher Effizienz betreiben zu können. Tab. 1 zeigt einen Überblick über die derzeit geläufigsten Wärmequellenanlagen.

Tab. 1: Überblick über Wärmequellen für Wärmepumpensysteme

	Luft	Erdsonde	Erdkollektor	Grundwasser	Solarabsorber
Örtliche Verfügbarkeit	überall	überall	überall	Nicht überall	überall
Genehmigungs-pflichtig	nein	meist	nein	immer	nein
Durchschnittliche Wintertemperatur	-20°C bis +15°C	0°C bis +10°C	-5°C bis +5°C	+5°C bis +10°C	-20°C bis +30°C

Grundwasser und Erdwärme verfügen im Winter, wenn der Heizwärmebedarf der Gebäude groß ist, über ein relativ hohes und konstantes Temperaturniveau - eine günstige Voraussetzung für einen effizienten Wärmepumpenbetrieb. Luft und Solarsysteme besitzen immer dann, wenn der Wärmebedarf hoch ist, ein niedriges Temperaturniveau. Darüber hinaus haben diese Wärmequellen ein sehr stark schwankendes Temperaturniveau. Regelungstechnisch ist es nicht einfach, die Wärmepumpe diesen schwankenden Randbedingungen optimal anzupassen, um eine maximale Effizienz zu erreichen. In diesem Bereich steckt noch ein erhebliches Optimierungspotential von Wärmepumpensystemen, mit dem die Jahresarbeitszahl leicht um 20 bis 30 % angehoben werden kann.

Das Temperaturniveau der Wärmenutzungsanlage für die Beheizung von Gebäuden wird durch die Raumheizeinrichtungen und gegebenenfalls die Brauchwassererwärmung festgelegt. Als Raumheizeinrichtungen stehen Luftheizregister, Heizkörper und Flächenheizungen wie Fußboden-, Wand- und Deckenheizungen zur Verfügung. Üblicherweise sind Flächenheizungen so dimensioniert, dass sie mit niedrigeren Temperaturen betrieben werden können. Dies ist aber nicht immer der Fall! Unterdimensionierungen in einzelnen Räumen (Badezimmer), ungünstige Fußbodenbeläge oder thermische Abschattung durch Möbel und Vorhänge führen dazu, dass auch Flächenheizungen oft mit 50 °C und mehr betrieben werden müssen. Speziell in Niedrigenergiehäusern kann dieses Temperaturniveau bei einer großzügigen Dimensionierung der Heizkörper leicht unterschritten werden. Eine weitere Möglichkeit, die Vorlauftemperatur um bis zu 10 °C abzusenken, ist das Abschalten der Nachtabsenkung, die im Bereich der Niedrigenergiehäuser ohnehin fragwürdig ist. Es soll nochmals in Erinnerung gerufen werden – das Absenken der Vorlauftemperatur der Nutzungsanlage (Heizungsanlage) um nur ein Grad Celsius steigert die Effizienz des Gesamtsystems um 2,5 %. Wichtig ist hierbei die tatsächliche Umsetzung in Ausführung und Betrieb der Wärmepumpenanlage. Eine schön gerechnete Planung mit lauter Abstrichen in der Ausführung wird schnell zur großen Enttäuschung.

Die meisten Wärmepumpen sind heute technisch in der Lage, Brauchwarmwasser auf eine Temperatur von 60 °C aufzuheizen. Diese Fähigkeit darf aber nicht darüber hinwegtäuschen, dass dieser Vorgang viel Antriebsenergie erfordert und daher mit einer relativ geringen Effizienz erfolgt. Deshalb ist überlegenswert, ob eine geringere Brauchwassertemperatur von z.B. 45 °C nicht auch ausreichend ist. Das Aufheizen des Brauchwassers auf 60 °C ist aus hygienischer Sicht nicht zwingend gefordert, sondern stellt nur eine Möglichkeit dar, den Hygieneanforderungen gerecht zu werden. Ist ein Aufheizen des Brauchwarmwassers auf 60 °C gewollt, muss darauf geachtet werden, dass die Wärmepumpe nur zu diesem Zweck auf dem hohen Temperaturniveau arbeitet und zur Raumheizung sofort wieder auf das niedrigere Temperaturniveau zurückfährt. Das in der Heizungstechnik übliche „Heruntermischen“ auf

das gewünschte Temperaturniveau macht die Effizienz eines jeden Wärmepumpensystems kaputt!

Insofern muss bei Wärmenutzungsanlagen mit mehreren parallel betriebenen Heizkreisen auch beachtet werden, dass der Heizkreis mit dem höchsten Temperaturniveau – und sei er von der Heizleistung auch noch so klein – die Effizienz des Wärmepumpensystems bestimmt.

6 Wie viel Regenerative Energie nutzt die Wärmepumpe wirklich?

Hinter dieser Frage steckt die weit verbreitete Diskussion um die tatsächliche Primärenergie- und CO_2-Einsparung durch den Einsatz von Wärmepumpen.

Die hier diskutierten mechanisch angetriebenen Kompressionswärmepumpen nutzen meist die Endenergie Strom, um Umweltenergie auf ein nutzbares Temperaturniveau zu bringen und damit einen größeren Anteil Nutzenergie zur Verfügung zu stellen. Die Jahresarbeitszahl (JAZ) – das Verhältnis der bereitgestellten Nutzenergie zur Beheizung des Gebäudes dividiert durch die notwendige Endenergie für den Antrieb – stellt das Maß für die Energie-Effizienz solcher Systeme dar. Mit Kompressions-Wärmepumpensystemen können je nach Wärmequelle folgende Bestwerte im Bereich der Gebäudebeheizung erreicht werden:

- Wasser/Wasserwärmepumpen
  JAZ von bis zu 6,
- Erdreich/Wasserwärmepumpen
  JAZ von bis zu 4,5
- Luft/ Wasserwärmepumpen
  JAZ von bis zu 4.

Die in der breiten Praxis erzielten tatsächlichen Jahresarbeitszahlen liegen meist deutlich darunter und erreichen mitunter nicht einmal die Hälfte der oben angegebenen Bestwerte. Wird nun berücksichtigt, dass im deutschen Kraftwerkmix zur Bereitstellung einer Kilowattstunde Strom (Endenergie) ca. drei Kilowattstunden Primärenergie (Primärenergiefaktor 3) eingesetzt werden müssen, ergibt sich für die Wärmepumpe folgende primärenergetische Bilanz:

$$\text{primärenergetischer Nutzungsgrad} = \frac{\text{Nutzen}}{\text{Aufwand}} =$$

$$\frac{\text{Nutzenergie}}{\text{Primärenergieaufwand}} = \frac{\text{Nutzenergie}}{\frac{\text{Nutzenergie}}{\text{JAZ}} \cdot PE_{Faktor}} = \frac{\text{JAZ}}{PE_{Faktor}}$$

Für eine im oberen Durchschnitt arbeitende Erdreich/Wasser–Wärmepumpe mit einer JAZ von drei ergibt sich somit für den in Deutschland derzeit gültigen Primärenergiefaktor von drei, ein primärenergetischer Nutzungsgrad von 100 %. Wird berücksichtigt, dass im bundesdeutschen Energiemix derzeit ca. 10 % regenerative Energien bei der Stromerzeugung eingesetzt werden, erniedrigt sich der Primärenergiefaktor auf 2,7 – das ergibt einen primärenergetischen Nutzungsgrad für die Wärmepumpe von 111 %. Zum Vergleich: der primärenergetische Nutzungsgrad eines Gasbrennwertkessels liegt in der Größenordnung von 90 %. Demnach muss das Wärmepumpensystem eine JAZ von mindestens 2,45 erreichen, um primärenergetisch der Brennwerttechnologie überlegen zu sein. Der Durchschnitt der gegenwärtig ausgeführten Wärmepumpensysteme ist damit der Brennwerttechnologie kaum überlegen. Während die Brennwerttechnik im praktischen Einsatz aber nur noch ein Einsparpotential von ca. 10 % aufweist, liegt das potentielle Einsparpotential von Wärmepumpensystemen deutlich höher. Zum einen kann die primärenergetische Effizienz durch die Verbesserung der JAZ verdoppelt werden. Zum anderen führen der vermehrte Einsatz von regenerativen Energien und die Nutzung der Kraft-Wärmekopplung zu einer Reduzierung des Primärenergiefaktors. Gegenwärtig wird für die Bundesrepublik für das Jahr 2030 von einem Primärenergiefaktor von ca.

zwei ausgegangen. Beides zusammengenommen, die Verbesserung der Jahresarbeitszahl des Wärmepumpensystems und die Verringerung des Primärenergiefaktors, kann zu einem primärenergetischen Nutzungsgrad von Kompressionswärmepumpen in der Gebäudebeheizung von 200 bis 250 % führen.

7 Zusammenfassung

Wärmepumpensysteme zur Beheizung von Gebäuden bieten ein erhebliches Energieeinsparpotential, das gegenwärtig noch in keinster Weise ausgeschöpft ist. Sicherlich können auch die Hersteller von Wärmepumpen hier noch einen Beitrag leisten. Viel wichtiger aber ist es, bei der Planung, der Ausführung und im Betrieb von Wärmepumpenanlagen den Fokus nicht nur auf eine ausreichende Wärmebereitstellung sondern auch auf eine hohe Energieeffizienz (JAZ) zu richten. Wenn Wärmepumpensysteme mit Aufmerksamkeit und Sachverstand effizienzorientiert ausgelegt und betrieben werden, ist eine Effizienzsteigerung um den Faktor zwei gegenüber dem derzeitigen Durchschnitt möglich.

Um den Erfolg bzw. Misserfolg stets vor Augen zu haben, ist es überfällig, alle Wärmepumpensysteme mit einer Stromverbrauchs- und Nutz-Wärmemengenerfassung auszustatten, um so die Energieeffizienz (JAZ) jederzeit ermitteln zu können.

15 Konstruktion, Bemessung
Inhaltsverzeichnis

15.1 Tragsysteme
- Faltwerke S. 1315
- Türme aus Holz für Windkraftanlagen S. 1323
- Holztragwerke für Membranbauten S. 1333

15.2 Bemessung
- Zuverlässige Prognostizierbarkeit von Holzkonstruktionen? S. 1339
- Modellierung – Kerninhalt des EC5-Neu? S. 1347
- Erdbebenbemessung im Holzbau S. 1355
- Mit Schrauben bewehrtes Holz S. 1365
- Größeneffekte bei biegebeanspruchtem Fichtenschnittholz S. 1373
- Probabilistische Methoden zur Anschlussbemessung S. 1379
- Zum Tragverhalten nachgiebig verbundener Biegeträger aus Holz S. 1385

15.3 Aussteifung
- Aussteifung mit Holzfaserdämmplatten S. 1393

15 Konstruktion, Bemessung
Einleitung

Materialentscheidungen werden von Ingenieuren nach technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten getroffen. Sie kommen in ihrer akademischen Ausbildung mit einer reichen Palette an Bau- und Werkstoffen in Berührung, die sich in Zukunft noch weiter zu ihren Gunsten vergrößern wird. Im Gegensatz zum Handwerk ist der Ingenieur nicht auf ein bestimmtes Material festgelegt, jedoch scheidet der Einsatz von Holz in vielen Bereichen der Technik von vornherein aus, so dass seine Verwendung eigentlich nur noch im Bauwesen ernsthaft in Erwägung gezogen wird.

Eine Entscheidung für das Baumaterial Holz bedarf trotz ökologischer Vorzüge der Stärkung über technische und wirtschaftliche Argumente. Naturwissenschaft und Technik sollten daher die Voraussetzungen für eine effiziente Nutzung und stärkere Inanspruchnahme dieser Ressource schaffen. Es ist schwer einzusehen, dass ein Stoff, der auf einem Drittel der Fläche unseres Landes mit Hilfe von Sonnenenergie nachwächst, preislich von Materialien unterboten werden kann, zu deren Herstellung erhebliche Mengen fossiler Energie und Kapital bereitgestellt werden müssen. [Quelle: Peer Haller, TU Dresden]

Faltwerke

Faltwerke aus Holzwerkstoffen sind sehr effiziente Tragstrukturen von hoher architektonischer Qualität. Seitdem großformatige Holzwerkstoffe am Markt zur Verfügung stehen, die sich mehraxial beanspruchen lassen, wurde die Forschung von Falttragwerken aus Holz intensiv betrieben. Darüber berichtet der Beitrag „Faltwerke“ (Katharina Leitner). Mit Hilfe von CNC-Fräsmaschinen lassen sich komplexe Faltmuster auf Holzwerkstoffe übertragen. Zur Verbindung der einzelnen Flächen wurde die Textile Fuge entwickelt, die eine Faltung der Bauteile, eine zusammenhängende Anlieferung und vereinfachte Montage auf der Baustelle zulässt. Verschiedene Konstruktionen, so etwa gefaltete Hallen, unterspannte Träger, gefaltete Kuppeln oder doppelt gekrümmte Wabenstrukturen, wurden am Modell in Belastungstests erfolgreich erprobt.

Bislang hat die Forschung von Faltwerken allerdings nur wenig Niederschlag in der Arbeit von Architekten gefunden. Faltwerke sind seit den 1950er Jahren bekannt, waren aber einige Zeit aus der Mode gekommen, so dass junge Architekten erst wieder an die Möglichkeiten heranzuführen sind. Die Anwendung der Textilen Fuge erfordert zudem vom Holzbauunternehmer und vom Textilhersteller „Mut zu Neuem“. Und es fehlt an Geld: Die sehr teueren Wege bis zur Zulassung oder Zulassung im Einzelfall erweisen sich als hinderlich für die Entwicklung.

TimberTower

Eine außergewöhnliche Erschließung neuer Anwendungen im Holzbau stellt das Bemühen dar, Holz als geeigneten Werkstoff für die Konstruktion von Windkraftanlagen der Multimegawattklasse zu etablieren und letztlich damit zu beweisen, dass Holz durchaus den allgegenwärtigen Stahl im Maschinenbau partiell ersetzen kann. Darüber berichtet der Beitrag „Windkraftanlagen aus Holz“ (Matthias Eisfeld, Gregor Prass). Bei einer realistisch eingeschätzten Wachstumsrate von 20 % p.a. und einer durchschnittlichen Leistung von 2,5 MW pro Anlage werden weltweit in den kommenden fünf Jahren ca. 45.000 Anlagen aufgestellt. Der Turm ist der größte und schwerste Teil einer Windkraftanlage, er macht 30 bis 40 % des Preises der gesamten Anlage aus und ist für einen großen Teil der Transport- und Montagekosten verantwortlich.

Um den Preis einer Windkraftanlage zu senken und gleichzeitig die Logistik zu vereinfachen, hat die TimberTower GmbH einen Holzturm für Windkraftanlagen entwickelt. Der TimberTower besteht aus Brettsperrholzplatten, die auf der Baustelle zusammengefügt werden. Zur Aufnah-

me der Gondel mit dem Rotor erhält der Turm einen Stahladapter, der auf das obere Turmsegment aufgesetzt wird. Die Holzoberfläche wird durch eine auf die Außenfläche des Turms aufgeklebte Bautextilie geschützt. Nach Einschätzung der Entwickler wird der TimberTower seine Chance bekommen, da die Summe seiner Materialeigenschaften den gängigen Baustoffen – hier vor allem Stahl – überlegen ist.

Erdbebenbemessung

Holzbauten eignen sich hervorragend, um Erdbebeneinwirkungen zu widerstehen. Neben dem geringen Gewicht dieser Bauten sind dafür vor allem die Duktilität und die höhere Federsteifigkeit verantwortlich. Die geringere Masse von Holzhäusern erzeugt im Fall eines Erdbebens weniger Trägheitskräfte. Bei Erdbeben stellen neben vertikalen Beschleunigungen und Rissbildungen an der Erdoberfläche horizontale Beschleunigungen die größte Gefahr für Gebäude dar. Holz hat röhrenförmige Zellen, die Hohlräume erzeugen und die elasto-mechanischen Eigenschaften optimieren.

Der Beitrag „Erdbebenbemessung im Holzbau“ (Helmut Zeitter) widmet sich diesem Thema. Im April 2005 ist die neue DIN 4149 Bauten in deutschen Erdbebengebieten im Weißdruck erschienen und inzwischen in allen betroffenen Bundesländern bauaufsichtlich ohne Übergangsfrist eingeführt. Der Umfang der Norm ist zwar erheblich gestiegen, beantwortet jedoch auch weitgehend die bisher offenen Fragen. Wichtigster Unterschied sind die auf probabilistischer Basis erstellten neuen Erdbebenzonenkarten. Wie bisher sind Nordrhein-Westfalen und Baden-Württemberg am stärksten betroffen.

Bewehrtes Holz

Der Beitrag „Mit Schrauben bewehrtes Holz“ (Martin Trautz) veranschaulicht ein Konstruktionsprinzip zum Einsatz von selbstbohrenden Vollgewindeschrauben und Gewindestangen großer Baulänge als Bewehrungselemente zur Verstärkung und Versteifung sowie zur Fügung von Bauteilen aus Holz.

Das Bewehren von Holztragelementen mit Vollgewindeschrauben ermöglicht die Verbesserung der Festigkeiten und Steifigkeit kompletter Querschnittsbereiche sowie eine Homogenisierung von fehlstellenreichen Hölzern. Dadurch eröffnet sich die Chance, verstärkt niedrige Sortierqualitäten einzusetzen und durch Bewehrung aufzuwerten. Holzarten, die sich bisher wegen ihrer geringen Festigkeitswerte nicht im Bauwesen verwenden ließen, lassen sich durch eine entsprechende Bewehrung nutzen. Dadurch ergibt sich eine effektivere Ausschöpfung der Holzpotenziale unserer einheimischen Wälder.

Nachgiebig verbundene Biegeträger

Zwischen dem lose übereinander gelagerten und dem starr verleimten mehrteiligen Biegeträger herrscht im Tragverhalten ein extremer Unterschied. Sind die Einzelquerschnitte vernagelt oder durch andere mechanische Verbindungsmittel schubweich verbunden, nennt man bei entsprechender Beanspruchung das Gesamtsystem einen nachgiebig verbundenen Biegeträger. Die im Holzbau übliche Bemessung für diese Biegeträger unter statischer Beanspruchung unterstellt linear elastisches Verbindungsmittelverhalten. Der Beitrag „Zum Tragverhalten nachgiebig verbundener Biegeträger aus Holz“ (Leif Arne Peterson) stellt dem gegenüber die Ergebnisse praktischer Untersuchungen an zweiteiligen Kantholzbiegeträgern mit mechanischen Verbindungsmitteln unterschiedlicher Verformungscharakteristika vor. Hierdurch können die Unterschiede zum realen, plastischen Tragverhalten aufgezeigt werden.

In Anbetracht der aus den Materialschwankungen im Holzbau resultierenden Sicherheiten ist unter der Maxime: „So einfach wie möglich, so

genau wie nötig“ das existierende normative γ-Verfahren für die allermeisten Bemessungsaufgaben zu favorisieren. Dieses Verfahren ist ein äußerst leistungsfähiges Werkzeug zur Berücksichtigung nichtlinearen Verbindungsmittelverhaltens. Mit einem überschaubaren Mehraufwand lassen sich nachgiebig verbundene Biegeträger hiermit zukünftig wirtschaftlicher bemessen.

Probabilistische Methoden

Seit Einführung der elektronischen Berechnungsmethoden und der damit verbundenen Schnittgrössenermittlung für beliebige Systeme und Lastkombinationen stellt die Nachweisführung für einzelne Teile von Tragwerken im Bauwesen keine Herausforderung mehr dar. Sobald das Spannungsbild im Querschnitt aber nicht mehr homogen ist, stellen sich Schwierigkeiten ein. Bei fast allen Anschlüssen entstehen komplexe Spannungsverläufe, die eine Bemessung durch einen einfachen Spannungsnachweis unmöglich machen.

Der Beitrag „Probabilistische Methoden zur Anschlussbemessung“ (Till Valée, Thomas Tannert) zeigt am Beispiel eines geklebten Laschenanschlusses Wege auf, wie der Spannungsnachweis mit probabilistischen Methoden erweitert werden kann, um auch für solche Anschlüsse einen ingenieurmäßigen Bemessungsansatz zu formulieren.

Auch relativ komplexe mechanische Systeme im Holzbau lassen sich konsistent rechnerisch nachweisen, ohne dass hierzu empirische Faktoren hinzugezogen werden müssen. Prinzipiell kann diese Vorgehensweise auch auf andere Systeme angewendet werden, insbesondere dort, wo hohe Spannungsspitzen auftreten. Durch die hier dargelegte probabilistische Methode zur Anschlussbemessung wird es möglich, eine Optimierung am Anschluss numerisch durchzuführen. Ohne den probabilistischen Ansatz wird ein solches Vorgehen dadurch erschwert, dass eine Vielzahl empirisch bestimmter Parameter die mechanischen Zusammenhänge zwischen Geometrie, Spannungen und Tragfähigkeit verschleiern.

Modellierung im EC5 neu

Neuauflagen bzw. behördlich verordnete Generationswechsel im Bereich von Bemessungsnormen geben regelmäßig Anlass zu Diskussionen über Vorteile oder Defizite der alten bzw. geplanten neuen Normenkonzepte. Die Praxis einer ergänzenden Kommentierung mit „Normenstatus“ im Nachlauf ist zwar praktisch, hätte man aber bei umsichtiger und vorausschauender Konzeption der Basisdokumente leicht vermeiden und dem Endbenutzer das parallele Lesen von zwei getrennten Dokumenten ersparen können. Einziger Ausweg aus dieser Misere ist der Rückzug auf gesichertes Terrain durch eine in sich schlüssige, zu Ende gedachte Modellbildung zur zuverlässigen Prognostizierung des Tragverhaltens und der Gebrauchstauglichkeit einer Holzkonstruktion. Zu diesem Schluss kommt der Beitrag „Modellierung – Kerninhalt des EC5 neu?“ (Georg Hochreiner).

In der Modellbildungsstrategie von Ingenieuren geht es stets darum, eine gegebene Realität durch Abstraktion in den Griff zu bekommen, wobei eine eigene qualitative Vorstellung vom mechanischen Tragverhalten bereits gegeben sein muss. Das Modell liefert lediglich quantitative Aussagen zu Materialbeanspruchung oder Verformungsverhalten. In den mit (P) gekennzeichneten Absätzen der EN 1995-1-1 sind die Grundregeln festgelegt, die auf Nachweisführungen anzuwenden sind. Die davon betroffene Modellbildung erstreckt sich nicht nur auf mechanische Vorgänge, sondern sieht auch eine Integration von begleitenden Umständen wie die Qualitätsanforderung für die Ausführung vor.

Die Komplexität moderner Architektur und der enorme Zeitdruck, unter dem heute statische Nachweisführungen zu erbringen sind, stellen

hinsichtlich Prozesssicherheit und Zuverlässigkeit der Ergebnisse große Ansprüche an die zugehörige Arbeitsmethode. Modellbildung kommt dabei eine wesentliche Bedeutung zu, ist sie doch das Werkzeug zur erfolgreichen Bewältigung dieser Herausforderung.

Die Erfahrung zeigt, dass Baustoffe erst dann den Durchbruch am Markt geschafft haben, sobald ein leistungsfähiges Werkstoffgesetz für Simulationszwecke und Prognosen zur Verfügung gestanden ist. Deshalb ließ sich im Rahmen der Industrieinitiative „Roadmap 2010" bereits vor zwei Jahren die Erarbeitung eines allgemein gültigen Werkstoffgesetzes für den komplexen Baustoff Holz in Gang bringen. Das Projekt läuft unter dem Namen MechWood an der TU Wien am IMWS unter Einbindung europäischer Forschungspartner. Das Projekt ist für drei Jahre anberaumt, nach denen die ersten Ergebnisse bereits für Simulationsrechnungen im Rahmen der Neufassung des EC5 anzuwenden sein werden.

Materialmodelle für Holz

Zahlreiche im modernen konstruktiven Holzbau eingesetzte Werkstoffe (Brettschichtholz, Schichtholz, Brettstapel) ermöglichen flächige Bauteile und frei gefügte Querschnitte (T-, I-Hohlkasten, blockverleimte Querschnitte). Für diese zweidimensionalen Tragelemente sind zur Berechnung der Spannungen und Deformationen nicht immer analytische Verfahren vorhanden, sondern es müssen numerische Verfahren eingesetzt werden. Dies gilt auch für den Bereich von Verbindungsmitteln und immer komplexer werdenden Anschlüssen, bei denen mehrdimensionale Beanspruchungszustände und Spannungsspitzen auftreten.

Um Aussagen über das Tragverhalten von solchen Bauteilen treffen zu können, müssen Materialmodelle formuliert werden, die das reale physikalische Verhalten von Werkstoffen auch über die Grenzen der Elastizitätstheorie hinaus beschreiben. Der Beitrag „Materialmodelle für Holz" (Thomas Tannert, Till Valée) beschreibt derartige Verfahren. Grundlage für die Anwendung numerischer Verfahren sind Materialmodelle, die das Trag-, Verformungs-, Bruch- und Nachbruchverhalten von mehrachsig beanspruchten Bauteilen zuverlässig beschreiben.

Mit neu entwickelten Mehrflächenplastizitätsmodellen stehen leistungsfähige Werkzeuge für die numerische Simulation von Holz zur Verfügung. Sie wurden unter anderem erfolgreich bei Holz-Beton-Verbundsystemen und Schalenkonstruktionen eingesetzt, Problemstellungen bei denen mit herkömmlichen Materialbetrachtungen für Holz nur wenig realistische Ergebnisse zu erwarten sind.

Größenfaktor für Schnittholz

Der Beitrag „Größeneffekte bei biegebeanspruchtem Fichtenschnittholz" (Julia Denzler) beschreibt die Untersuchung dieser Effekte unter Beachtung europäischer Prüfvorschriften. Dabei wird unterstellt, dass sich der empirisch feststellbare wirksame Größeneffekt bei biegebeanspruchtem Fichtenschnittholz aus zwei Teileffekten, nämlich einem „direkt" und einem „indirekt" wirkenden Anteil zusammensetzt. Bei Prüfanordnung nach EN 408 und EN 384 beeinflusst die Querschnittsbreite die Biegefestigkeit nur indirekt über die Holzeigenschaften, die Querschnittshöhe beeinflusst die Biegefestigkeit sowohl direkt als auch indirekt. Sowohl die Breite als auch die Höhe bewirken über ihre indirekten Anteile eine Biegefestigkeitszunahme mit zunehmender Querschnittsabmessung, die je nach Holzqualität unterschiedlich groß ist. Dabei spielt die Holzeigenschaft „Ästigkeit" eine wesentliche Rolle. Die direkten Höheneffekte sind unabhängig von der Schnittholzqualität und folgen der Weibull-Theorie.

Da die indirekten Größeneffekte von der Schnittholzqualität abhängig sind, wird der wirksame Größeneffekt sowohl durch die Prüfbedingungen als auch durch die Sortierung beeinflusst. Auf der Basis der nach europäischen Prüfvorschriften hergeleiteten charakteristischen Biegefestigkeitswerte erscheint unter Berücksichtigung der festgestellten indirekten Größeneffekte die Einführung eines Größenfaktors für Schnittholz nicht erforderlich.

15.1 Tragsysteme
Faltwerke

Katharina Leitner

1 Einleitung

Faltwerke als Konstruktionsprinzip des Eisenbetonbaues wurden von Craemer [1] das erste Mal beschrieben. Es sind sehr effiziente und architektonisch ansprechende Tragstrukturen, die aus Holzwerkstoffen vor allem in den 60er und 70er Jahren konstruiert wurden. Heute stehen uns neue Werkstoffe und CAD Methoden zur Verfügung, mit denen Faltwerke in höherer Komplexität als damals gestaltet werden können. Außerdem wurde eine neue Kantenverbindung, die Textile Fuge entwickelt. Diese inspiriert innovative Faltwerke.

Das erste dokumentierte Faltwerk aus Sperrholz lässt sich 1957 nachweisen. (Mining and Techical College Coalville, GB [3], S.406 ff.)

Es ist ein einfaches Faltwerk, dessen Faltmuster aus parallelen Graten und Kehlen besteht.

1958 wurde auf der Weltausstellung in Brüssel bereits der englische Pavillion (Chrystalline Hall) als Faltwerk konstruiert [2]. Dieses Faltwerk basiert auf einem Faltmuster, dessen Grate und Kehlen sich in einem Punkt schneiden.

In der Zeit zwischen 1958 und 1963 sind allein vier weitere Faltwerke aus parallelen Graten und Kehlen und sechs Projekte mit Faltmustern entstanden, deren Grate und Kehlen sich in einem Punkt schneiden.

Es ist also davon auszugehen, dass bereits vor 1957 erste Faltwerke aus Holzwerkstoffen entstanden sind, diese jedoch nicht dokumentiert wurden.

Das in dieser Zeit komplexeste Faltwerk, mit einem Faltmuster aus gegenläufigen Falten, abgeleitet aus parallelen Geraden, ist das Dach des Annette Kahn Wohnheims (1962/63) [4].

Diese Entwicklung wird bis in die 1970er Jahre mit größeren Spannweiten, aber ohne wesentliche Weiterentwicklung der Formen weitergeführt.

In der Kürze dieses Artikels ist es leider nicht möglich, alle Projekte gesondert vorzustellen. Daher sei auf die Dissertation Tragkonstruktionen aus plattenförmigen Holzwerkstoffen mit der Textilen Fuge ([15], S.123 ff.) verwiesen, in der alle diese Beispiele ausführlich dokumentiert und zusammengestellt wurden.

Abb. 1: Coalville [17, S.406]

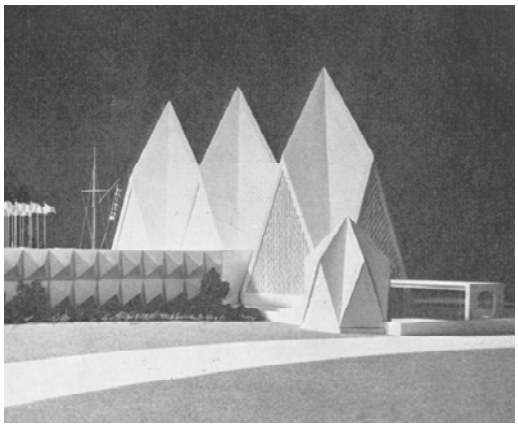


Abb. 2: Chrystalline Hall [2]

Abb. 3a: Annette Kahn Wohnheim
[Archiv Hermann Hilzinger]

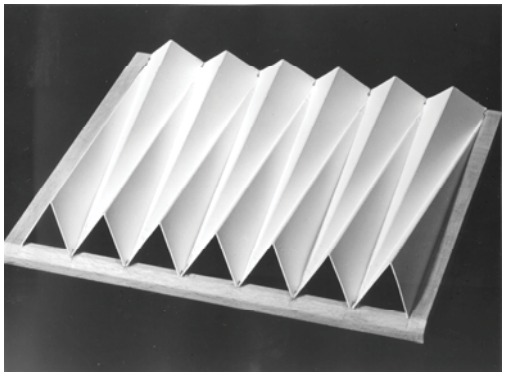
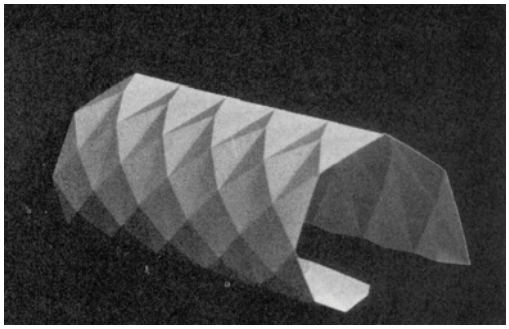


Abb. 3b: Annette Kahn Wohnheim
[Archiv Hermann Hilzinger]

Eingebettet ist die Entwicklung der Faltwerke in eine Entwicklung von Strukturformen in der Architektur. Mit Siegel [3] wurde begonnen, Tragsysteme und Architektur als Einheit zu erforschen und zu entwickeln. In dieser Zeit wurden durch Papierfalten von Architekten neue Faltwerkformen erforscht. Gleichzeitig erforschten die Tragwerkplaner in diesem Zug das Tragverhalten von Faltwerken.

Das IASS Symposium 1970 in Wien Symposium on Folded Plates und Prismatic Structures zeigt mit seinen zwei Sitzungen den damaligen Stand der Forschung [7].

Hierbei zeigen alle Abbildungen, welche Faszination von der Form der gefalteten Tragstrukturen ausgeht. Es zeigen sich in diesem Symposium aber auch die Grenzen der Berechnungsmöglichkeiten und der geometrischen Bestimmbarkeit der Form. Dies führte dazu, dass zwar die Ideen für Faltwerkformen schon weiterentwickelt waren, aber die faszinierenden komplexen Formen nicht konstruiert werden konnten.



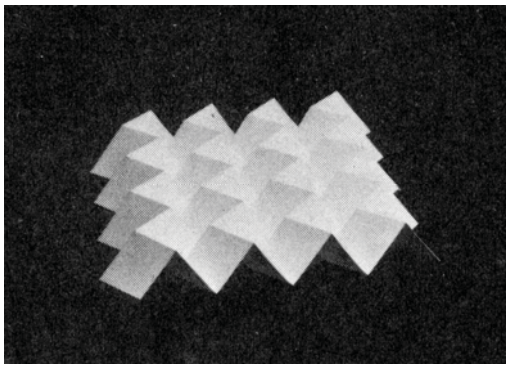


Abb. 4a, b: K.Miura Vorschläge für „Pseudo–Cylindrical Concave Polyhedral Shells [8].

Das Faltmuster in Abbildung 4a besteht aus drei sich kreuzenden parallelen Geradenscharen.

Das Faltmuster in Abbildung 4b besteht aus parallelen Geraden mit Gegenfaltungen im gleichen Abstand.

Im Zeitraum zwischen 1975 und 1990 wurden nur sehr vereinzelt Faltwerke gebaut. Eine Ausnahme bildet die Schweiz, wo immer wieder Faltwerke aus Balken und Bretterlagen konstruiert worden sind. Hier wurde diese Konstruktionsart kontinuierlich bis an die Grenze der Spannweite von 22 x 28 m ([15], S.150) vorangetrieben.

Ein weiterer Grund für die in diesem Zeitraum niedrige Anzahl gebauter Faltwerke aus Holz oder Holzwerkstoffen ist der Aufwand, die Flächen aus kleinen Plattenformaten mit Holzrahmen unterstützt herzustellen. Brettschichtholz (BSH), das in größeren Formaten hergestellt werden kann, ist keine vollwertige Alternative zu Konstruktionen mit Sperrholz, da es quer zur Faser keine Biegebeanspruchung aufnehmen kann. Faltwerke aus BSH benötigen meistens eine Sekundärkonstruktion, die eine Lasteinleitung in die Kante sicherstellt.

Die drei Hauptgründe gegen die Herstellung von Faltwerken aus Holzwerkstoffen sind seit den 1990er Jahren beseitigt:

1. Seit 1990 stehen großformatige Holzwerkstoffe zur Verfügung (z.B.: KERTO Q 1.80 m x 24 m [12]), die mehraxial beansprucht werden können, so dass große Flächen nicht aus Einzelflächen zusammengesetzt werden müssen.
2. Seit den 1980er Jahren lassen sich komplexe geometrische formen CAD-unterstützt darstellen und bemessen.
3. Mit Hilfe der CNC Fräsmaschinen können auch komplexe Faltmuster auf die Holzwerkstoffe übertragen werden.

Es sind vereinzelt neue Faltwerke entstanden:

Das bisher größte Projekt ist die Lagerhalle Franz Binder (Abb.5) mit 44 m Spannweite. Es handelt sich um addierte Faltwerke. Die Faltmuster bestehen aus n-Ecken, die analog zu einem räumlichen Sprengwerk Lasten ableiten.

Am EPFL Lausanne [16] wurden Faltwerke entwickelt, denen der Vorschlag von Miura aus Abbildung 6 zugrunde liegt. Im Faltmuster besteht es aus parallelen Geraden mit Gegenfaltungen.

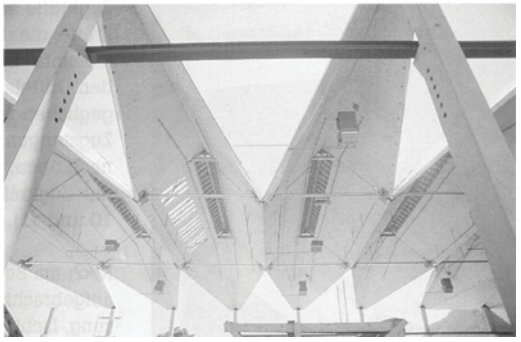


Abb. 5: Lagerhalle Franz Binder, merz kley partner, A-Dornbirn

Abb. 6: Faltwerk Prototyp aus Sperrholz [16]

2 Entwicklung der Faltwerke aus Holzwerkstoffen mit der Textilen Fuge – einer beweglichen Verbindung

Alle bisher vorgestellten Faltwerke wurden mit einer starren Kantenverbindung entwickelt, auch noch nachdem die Textile Fuge bereits bekannt war [15]. Die Textile Fuge ermöglicht einen echten Faltprozess und das Anliefern der Holzwerkstoffplatten zusammenhängend auf der Baustelle, was die Montage sehr vereinfacht.

2.1 Gefaltete Halle

Zunächst wurde in Anlehnung an Miura [8] (Abb.4 a) die Gefaltete Halle konstruiert und als Modell realisiert.

Das Faltmuster besteht aus 3 parallelen Geradenscharen, die sich kreuzen. Die Geraden ändern Ihren Fräswinkel nicht, sie sind entweder Kehlen oder Grate, dies ist günstig für die zusammenhängende Bearbeitung einer ganzen Platte. Außerdem können die parallelen Linien als Begrenzung eine KERTO LVL Platte gedacht werden.

Am Arbeitsmodell aus Pappe konnte die grundsätzliche Wirkungsweise des Faltmusters verstanden werden. Es wurde ein Faltmuster der Frequenz 3 mit 3 Dreiecken in Längsrichtung der gefalteten Platte gewählt, da dieses das einzig mögliche Muster ist, aus dem ein gefalteter Bogen statisch bestimmt stehen kann. Wobei die Übertragung des Faltmusters auf einen Streifen berücksichtigt werden muss: Das linke Muster ergibt einen instabilen Bogen, das rechte einen stabilen Bogen (Abb. 7 c, d).

Die Gefaltete Halle wurde als Sperrholzmodell 2 x 6 mm Buche mit einem Leinentextil gebaut.

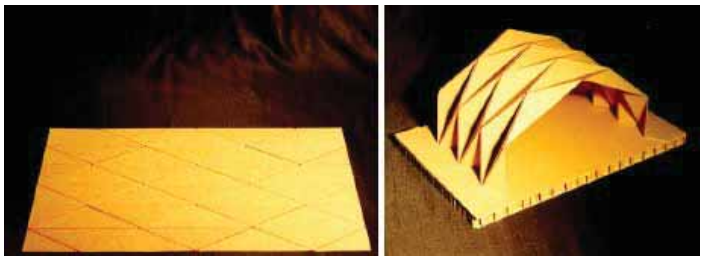


Abb. 7a, b

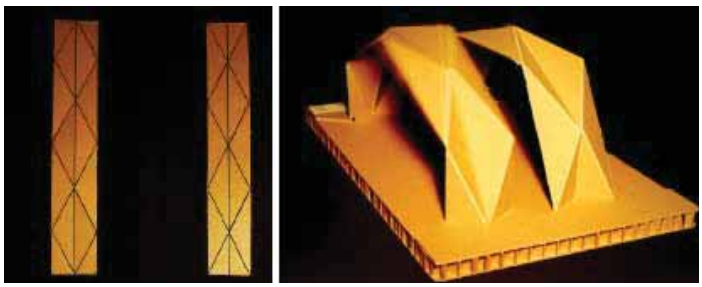


Abb. 7c, d

Der Belastungstest mit 2 kN/m² zeigte eine Verformung von 3 mm ~ l/600. Die Gefaltete Halle kann sehr schnell montiert werden, und die Textile Fuge gewährleistet eine architektonische Qualität, bei der die Kanten klar ablesbar sind, da keine weiteren Verbindungsmittel benötigt werden.

Abb. 8 a, b, c: Fräsmuster für die Gefaltete Halle, der Faltprozess, das fertige Modell

Um die Gefaltete Halle aus KERTO Q zu realisieren, wird das Faltmuster an die Plattengrößen angepasst. Bei einer Plattenbreite von 1,80 bzw. 2,50 m ergeben sich Spannweiten von 7,20 oder 10 m. Wird die Platte mit dem Montagestoß zur Textilen Fuge gestoßen, sind Spannweiten von 14,40 und 20 m möglich.

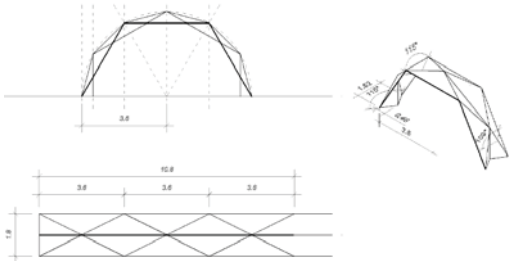


Abb. 9: Faltmuster der Gefaltete Halle auf eine KERTO Q Platte übertragen

Die folgenden Tragstrukturen wurden mit der Textilen Fuge neu entwickelt:

2.2 Unterspannter Träger

In älteren Projekten wurde von Prof. Führer unterspannte KERTO Q Platten als Tragsystem benutzt. Ziel war es, einen Faltmechanismus zu entwickeln, so dass die Unterstützung aus der Platte gefaltet werden kann, und der Träger dann unterspannt wird. Abbildung 10 zeigt das entwickelte Faltmuster.

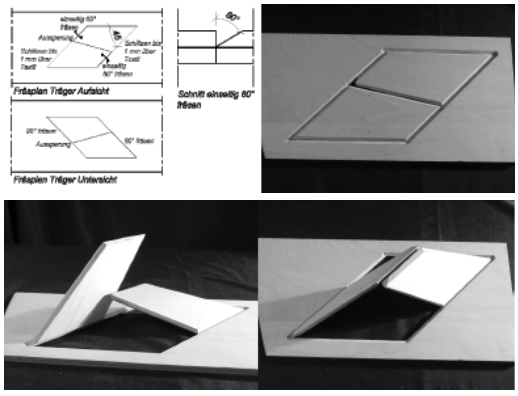


Abb.10: Faltmuster und Faltprozess des Unterspannter Träger

Das gebaute Modell aus 2 x 6 mm Buchensperrholz mit technischer Baumwolle hat eine Spannweite von 2,20 m, eine statische Höhe von 24 cm und 3 Unterstützungen. Nach dem Fräsen der Platten werden die Unterstützungsplatten einfach ausgefaltet, das Unterspannseil wird fixiert und vorgespannt. Der Belastungstest zeigte eine Durchbiegung von 1,1 cm< l/200 bei 2 kN/m².

Soll der Unterspannte Träger aus KERTO Q realisiert werden, kann das Modell im Maßstab 1:3 übertragen werden. Die Spannweite von 6,60 m ist dann nicht besonders groß. Durch die Wahl von 5 Unterstützungen oder der Ausbildung als Durchlaufträger kann auch die ganze Länge der KERTO Q Platte genützt werden.

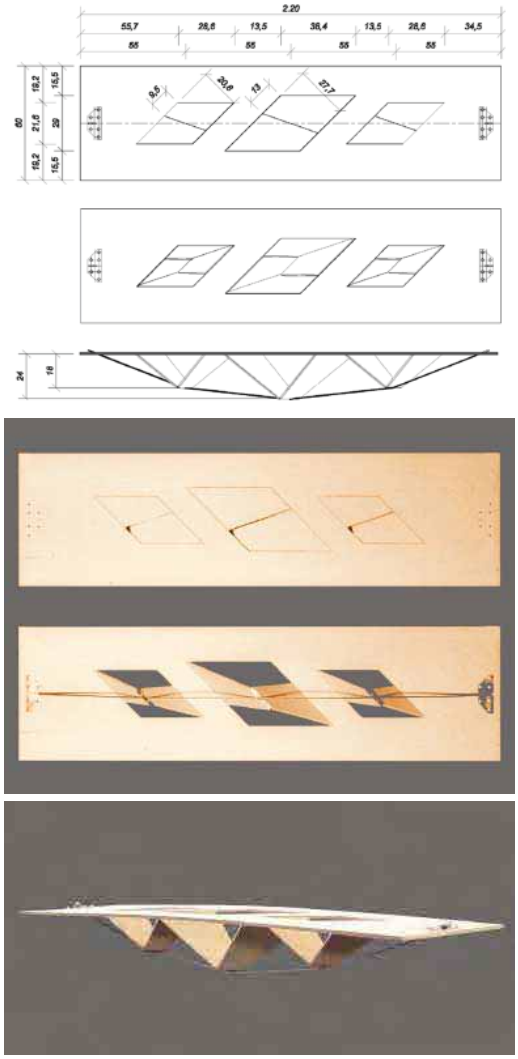


Abb. 11: Plan für das Modell, Fräsmuster und Faltprozess des Untergespannten Trägers

2.3 Gefaltete Kuppel

Die übliche Konstruktionsweise einer Kuppel besteht aus der Teilung der Schale in einzelne Dreiecke, die dann auf der Baustelle wieder mit Trägern in den Kanten zusammengesetzt werden. Für die gefaltete Kuppel wurde eine andere Konstruktionsart gewählt: Die Halbkugel wird auch durch Dreiecke angenähert.

Es werden jedoch keine 244 unterschiedlichen Dreiecke zusammengesetzt, sondern die Teilung wird als Faltmuster auf 24 identische Streifen übertragen. Die Kuppelspitze besteht aus 12 gleichen Dreiecken. Auf der Baustelle werden also nur 36 Teile angeliefert, die dann zur Gefalteten Kuppel mit dem Montagestoß der Textilen Fuge gefügt werden.

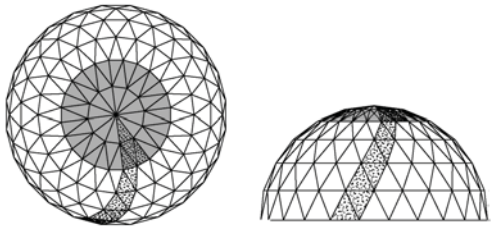


Abb. 12: Aufsicht und Seitenansicht der Gefalteten Kuppel - ein Streifen ist markiert

Abbildung 13 zeigt das Faltmuster mit den vorbereiteten Montagestößen. Für den Montagestoß wird eine Lasche an der einen Seite und gegenüberliegend eine Aussparung vorgesehen.

Dieses Modell wurde auch aus 2 x 6 mm Buchensperrholz mit einem technischen Baumwolltextil konstruiert. Der Durchmesser der Kuppel beträgt 2,50 m.

Zunächst wurde mit einer 0,5 kN Einzellast das Durchschlagen getestet, bevor ungefähr 10 kN auf die oberen drei Ringe aufgebracht wurden. Dies entspricht ca. 2 kN/m², wobei die Belastung der oberen 3 Ringe ungünstiger wirkt, als eine gleichmäßige Verteilung der Last.

Die Durchbiegung betrug 5mm das entspricht l/500. Der Modellmaßstab 1:8,8 wurde an die Maße der Buchensperrholzplatten angepasst. Eine Kuppel aus KERTO Q sollte mit 22 m Durchmesser konstruiert werden können.

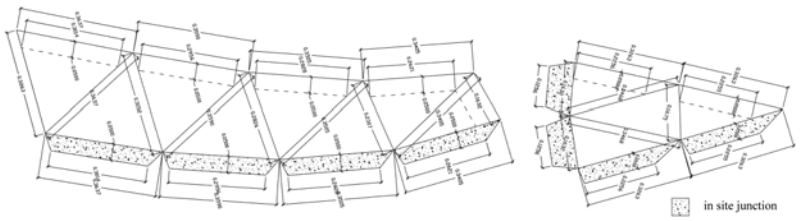


Abb. 13: Faltmuster und Fräsmuster von der Kuppelaußenseite

Abb.14: Viertelsegmente der Gefaltete Kuppel und fertiges Modell

2.4 Doppelt gekrümmte Wabenstruktur

Die doppelt gekrümmte Wabenstruktur ist eine erstaunliche Struktur. Sie ist durch experimentales Papierfalten entstanden. Hierbei wurde gezeigt, dass Streifen aus Trapezen, von denen jedes vierte miteinander verbunden wird eine doppelt gekrümmte Wabenstruktur ergeben.

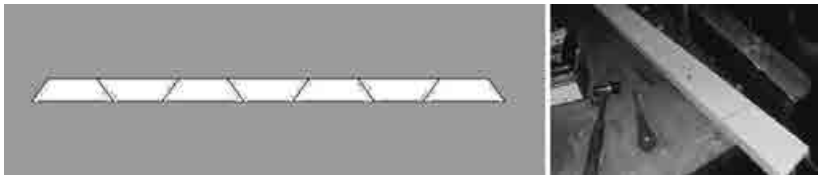


Abb.15: Einfaches Faltmuster und gefräste Streifen

Wird das kleine Paket in Abbildung 16 entfaltet, entsteht die faszinierende doppelt gekrümmte Wabenstruktur.

Abb. 16 a, b, c: Doppelt gekrümmte Wabenstruktur

Zunächst wurde die Geometrie der Struktur untersucht. Das Aufmass zeigte eine völlig unregelmäßige Struktur. Es ist eine Struktur mit großen Verformungen, wie analog zu einem Seiltragwerk. Zunächst ist diese Struktur also vor allem faszinierend, aber nicht geometrisch erfassbar und nicht berechenbar.

Da sie einem Hyperboloid ähnelt, wurde in einem 2. Schritt das Faltmuster aus einem Hyperboloiden konstruiert. Es ist fast ein Streifen und sollte noch weiter modifiziert werden, dass das Faltmuster wirklich auf einen Streifen übertragbar ist.

Abb. 17: Faltmuster und Hyperboloid

3 Zusammenfassung

Alle in diesem Artikel gezeigten Beispiele dokumentieren, dass Faltwerke aus Holzwerkstoffen sehr effiziente Tragstrukturen sind, die eine hohe architektonische Qualität aufweisen, wenn es gelingt, die Strukturen möglichst mit klaren Kanten einzusetzen.

Derzeit ist es computerunterstützt möglich, neue komplexe Formen geometrisch zu bestimmen, zu berechnen, zu konstruieren und herzustellen. Dabei wird eine Komplexität erreicht, die früher nicht möglich war. Die Fügung an der Kante muss jedoch geklärt werden.

An dieser Stelle sollte die Forschung von Architekten aufgenommen werden, wie die Faltwerke in die derzeitige Architektursprache integriert werden können.

Mittels der neuen Verbindung der Textilen Fuge, die einen echten Faltprozess zulässt, kann der Bauablauf für Faltwerke wesentlich vereinfacht werden. Außerdem inspiriert diese Verbindung zu neuartigen Faltwerken wie z.B.: der Doppelt gekrümmten Wabenstruktur.

Über mögliche Gründe für den seltenen Einsatz von Faltwerken aus Holzwerkstoffen kann nur spekuliert werden. Einerseits geht für einen Entwurf der Impuls oft von der Architektur aus. Die Beschäftigung mit Faltwerken war aber einige Zeit aus der Mode gekommen, so dass junge Architekten erst die Möglichkeiten kennen lernen müssen.

Die Anwendung der Textilen Fuge erfordert vom Holzbauer und vom Textilhersteller „Mut zu Neuem“. Hier muss man auch auf die Hinderung durch die wirklich teuren Wege bis zur Zulassung oder Zulassung im Einzelfall hinweisen, die die Anwendung erschwert.

Quellen

[1] Craemer: „Scheiben und Faltwerke als ein neues Konstruktionsprinzip des Eisenbetonbaues“, in: Beton und Eisen1929 Heft 13/14

[2] Heft ID HOLZ 1958
In: Wood, October 1960, S.406ff.

[3] Siegel, C,: „Strukturformen der modernen Architektur“. Calwey, München, 1960

[4] E.W. Schüler: Statische Berechnung zu Studentenwohnheim in Tübingen.
Von H. Hilzinger dankenswerterweise zur Verfügung gestellt, 1962.

[5] Büttner, O, Hampe, E.: „Bauwerk Tragwerk Tragstruktur“. Verlag Gerd Hatjie, Stuttgart

[6] Engel, H.: „Tragsysteme“. DVA Stuttgart 1967

[7] Krapfenbauer, R. (Herausg.): IASS Symposium on Folded Plates and Prismatic Structures. Im Eigenverlag des Herausgebers, Wien 1970.

[8] Miura, K.: “Proposition of Pseudo-Cylindrical Concave Polyhedral Shells”.

[9] Holz-Faltwerke als Dachkonstruktion. In: bauen mit holz 6/1998, S.17
Bruderverlag, Karlsruhe 1998.

[10] Führer, W.: „Mit Neuem Neues denken - Neue Ideen für den Holzbau“, in: bauen mit Holz 2/99, Bruderverlag, Karlsruhe

[11] Führer, W., Leitner, K.: „Innovative Faltwerke aus Holzwerkstoffen“ in: Beratende Ingenieure, Mai 2000 Springer-VDI-Verlag, Berlin 2000

[12] „KERTO Handbuch 2000“. Finnforest GmbH, Köln

[13] Leitner, K., Führer, W.: „Faltwerk-Konstruktionen aus einem neuartigen Holzwerkstoff“. detail 2001, p. 1532-34.

[14] Leitner, K.: „Faltwerke mit ‚Textiler Fuge’“. bauen mit holz 5/2003, Bruderverlag Karlsruhe, [15] Leitner, K.: “ Tragkonstruktionen aus plattenförmigen Holzwerkstoffen mit der Textilen Fuge“ Dissertation RWTH Aachen Fakultät für Architektur, 2004

[16] Buri, H., Weinand, Y.: Die Technik des Origami im Holzbau – Faltwerke aus BSP-Elementen.
http://infoscience.epfl.ch/record/118201/files/

[17] Boatman, Colin: Folded Slab Plywood Roof.

15.1 Tragsysteme
Türme aus Holz für Windkraftanlagen

Gregor Prass, Holger Giebel

1 Einleitung

Lange Zeit war Holz der vorherrschende Werkstoff beim Bau von Windkraftanlagen. Erst in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts wurde Holz mehr und mehr durch Stahl ersetzt. Heute spielt Holz bei der Produktion von Windkraftanlagen so gut wie keine Rolle mehr. Hauptgrund für diese Entwicklung war der Umstand, dass es sich bei Windkraftanlagen um Maschinen handelt und diese wiederum von Maschinenbauingenieuren entwickelt und gebaut werden. Diese Berufsgruppe besitzt leider keinerlei Kenntnis über Holz, außer das es brennt, fault und Belastungen nicht standhält.

In jüngster Zeit vollzieht sich in der Windkraft eine Trendwende. Dabei gibt es zwei Gründe, weshalb Holz für die Windkraft interessant ist. Auf der einen Seite hat der Stahlpreis immer wieder neue Höchststände erreicht, auf der anderen Seite findet eine Entwicklung hin zu immer größeren und vor allen Dingen höheren Windkraftanlagen statt. Dies führt dazu, dass Anlagen mit Türmen über 100 Meter Gesamtlänge oft nicht mehr wirtschaftlich für den Anlagenbauer sind. So wird zurzeit fieberhaft nach Alternativen zum bekannten Stahlturm gesucht. In der Erprobung sind Betontürme, Gittermasten aus Stahl oder so genannte Hybridtürme (Beton und Stahl in Kombination). Keines dieser Konzepte konnte bisher nachhaltig überzeugen.

Ein Werkstoff wurde bisher übersehen: Holz. Holz bietet viele Vorteile, insbesondere, wenn es um dynamische Lasten geht. Weiterhin ist Holz ein kostengünstiges und logistisch einfach zu verwendendes Material, welches fast überall auf der Welt vorzufinden ist. So hat sich die TimberTower GmbH zum Ziel gesetzt, zu beweisen, dass Holz ein geeigneter Werkstoff ist, um Windkraftanlagen der Multimegawattklasse zu tragen und damit zu zeigen, dass Holz in der Lage ist, Stahl im Maschinenbau zu ersetzen.

Abb. 1: Der TimberTower in seinem zukünftigen Offshore Einsatz

2 Entwicklung der Windkraft

Lange Zeit wurde Windkraft vor allem für das Pumpen von Wasser oder das Mahlen von Getreide genutzt.

In der zweiten Hälfte des 19 Jahrhunderts begann die Elektrifizierung. Bereits in den 1920er Jahren war ein großer Teil der deutschen Dörfer bereits an das Verbundnetz angeschlossen. Zur Verbesserung der Versorgung wurden Versuche unternommen, vorhandene Windmühlen mit einem Dynamo umzurüsten. Einen ersten Aufwind nahm die Entwicklung der Windkraft durch die Treibstoffverteuerung und -verknappung im Ersten Weltkrieg. In der ganzen Welt entstanden in der Folge viele Versuchs- und Forschungsanlagen. Bedeutende Anlagen gab es ausser in Dänemark und Deutschland insbesondere in der Sowjetunion und den USA.

Als Begründer der modernen Windkraftnutzung gilt Albert Betz (* 1885; † 1968), Physiker und damaliger Leiter der Aerodynamischen Versuchsanstalt Göttingen, der 1920 die wissenschaftlichen Grundlagen zur Nutzung der Windkraft legte. Diese Grundlagen werden nach Betz als das „Betz´sche Gesetz“ bezeichnet. Unter anderem

zeigt sich hieraus, dass das physikalische Maximum der Ausnutzung der kinetischen Energie bei 59,3 % liegt. Die von ihm gefundenen Gesetzmäßigkeiten sind heute die Grundlage der Formgestaltung von Flügeln der Windkraftanlagen.

1941 wurde in den USA eine 1,25-MW-Anlage errichtet, ein Leeläufer mit zwei Flügeln. Als Leerläufer werden Anlagen bezeichnet, deren Rotor in Windrichtung hinter dem Turm angeordnet ist.

1951 hat der deutsch-österreichische Windkraft-Pionier Ulrich W. Hütter eine 10-kW-Anlage errichtet. Ca. 200 Anlagen wurden insbesondere nach Afrika und Asien exportiert. Diese Anlage wurde mit dem Ziel der Serienfertigung entwickelt.

1975 baute der dänische Zimmermann Riisager eine 22 kW-Anlage, die in Dänemark die Massenproduktion auslöste und Dänemark bis zum Ende des 20. Jahrhunderts zum Weltmarktführer machte.

Die Vielzahl der Rotorenformen und Anordnungen verschwand zu Beginn der 1980er Jahre und es setzte sich aufgrund der großen Nachfrage insbesondere aus den USA das dänische Konzept bei Windkraftanlagen durch. Unter dem dänischen Konzept versteht man einen Asynchronmotor (Kurzschlussläufer) mit festen Drehzahl und drei starren Rotorblättern. Ein Luvläufer. Die Steuerung erfolgt durch Stalleffekt (Strömungsabriss). Diese Konstruktionsweise ist typisch für alle modernen Anlagen bis zu einer Größe von ca. 800 kW.

1983 bis 1987 stand im Kaiser-Wilhelm-Koog die Versuchsanlage GROWIAN (Große Windkraft-Anlage). Lange Zeit war sie die größte Anlage der Welt. Die GROWIAN hatte einen Zwei - Flügelrotor und war als Leeläufer ausgelegt. Der Rotor hatte einen Durchmesser von 100,4 m Die Anlage hatte eine Nennleistung von 3 MW.

Der 26. April 1986 war der Tag, der die Windkraft bedeutend prägte. Die Katastrophe von Tschernobyl sorgte für ein Umdenken in der Energiepolitik und war so wie ein Katalysator für die Windbranche.

Der 7. Dezember 1990 war der Tag, an dem das deutsche Stromeinspeisungsgesetz in Kraft trat, dem Vorläufer des Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG 29.03.2000). Das EEG war das erste seiner Art und Vorlage für viele ähnliche Gesetzte Weltweit. Die Vergütung durch das EEG ist für alle Anlagen gesondert zu ermitteln. Insbesondere ist der technologische Stand der Anlage von Bedeutung, so dass hierfür noch zusätzliche Boni möglich sind. Aktuell sind somit 8,03 ct/kWh für die ertsen 20 Jahre der Anlage möglich. Mit diesem Gesetz wurden die Rechtsgrundlagen für die Einspeisung gelegt und eine gesetzliche Vergütung. Nun mussten 5,5 ct/kWh vom Energieversorgungsunternehmen (EVU) vergütet werden.

Abb. 2:Fotomontage vom Offshore – Einsatz hölzerner Windkraftanlagen

Am 20. Oktober 2004 wurde die erste 108 m hohe E-112-Testanlage mit 4,5 MW Leistung in der Ems in Betrieb genommen. Dies war der Beginn des Zeitalters der Offshore-Windkraft. Wenn in der Folge hier von Windkraftanlagen und

Windkraftnutzung gesprochen wird, beziehe ich mich auf heutige, moderne Anlagen mit einer Leistung von 1 bis 4 MW und Turmhöhen von 70 bis 160 Metern.

3 Markt der Windkraft

3.1 Marktentwicklung weltweit

Die globale Windenergie-Industrie steht aufgrund der boomenden Nachfrage vor einer Herausforderung, die viele andere Sektoren als "Luxusproblem" bezeichnen würden. Die globale Windenergie-Branche wuchs in den letzten zehn Jahren mit durchschnittlich 30 % p.a. und Experten prognostizieren eine ähnliche Fortsetzung in den nächsten Jahren. Bedingt durch das enorme Wachstum existieren Probleme in der Lieferkette. Es lastet ein beispielloser Druck auf den Herstellern von Komponenten für Windenergieanlagen wie Türme, Rotorblätter, Getriebe, Lager, Generatoren. Momentan sind Lieferzeiten von zwölf Monaten die Regel, wobei erwartet wird, dass diese auf 18 bis 24 Monate steigen werden (GWEC 2007).

Die Windenergie ist derzeit weltweit eine der Branchen mit außerordentlich dynamischem Wachstum. Weltweit betrug der Umsatz in 2007 15,4 Mrd. Euro. Die deutsche Wertschöpfung an allen weltweit produzierten Anlagen und Komponenten betrug 5,6 Mrd. Euro in 2006 gegenüber 4,0 Mrd. Euro in 2005, was einem Wachstum von 40 % entspricht. Am weltweiten Gesamtumsatz hatten deutsche Hersteller und Zulieferer 2006 einen Anteil von 37 %. Die Exportquote stieg von 71 % in 2005 auf 74 % in 2006. Zusammen mit Installation, Betrieb und Service erwirtschaftete die Windenergie-Branche 2006 in Deutschland 7,2 Mrd Euro. (DEWI 2007)

Im ersten Halbjahr 2007 wurden in Deutschland 347 Anlagen mit 665 MW Gesamtleistung installiert. Insgesamt waren damit Mitte 2007 19.024 Windenergieanlagen mit einer Gesamtleistung von 21.283 MW installiert. Global ergibt sich daraus der erste Platz mit einem Anteil von 28 % an der installierten Windleistung. Nach Deutschland folgen Spanien (16 %), die USA (16 %), Indien (8,5 %), Dänemark (4,25 %) und China (3,25 %).

Nach einer Prognose des DEWI werden bis 2014 weltweit rund 210.000 MW Windleistung installiert sein. Dafür werden Investitionen von ca. 130 bis 200 Mrd. Euro notwendig. Die Deutsche Bank prognostiziert in einer Marktstudie, dass die Windenergie bis 2015 weltweit um etwa ein Fünftel p.a. expandieren wird. Die größten Wachstumsimpulse werden in Ländern außerhalb Europas gesehen. Besonders großes Wachstum wird in China und Indien mit Zuwachsraten um 30 % bzw. 23 % p.a. erwartet. In den USA wird die Neuausrichtung der Energiepolitik zu steigender Nachfrage führen, weshalb Zuwachsraten von 25 % im Jahresdurchschnitt zu erwarten sind. Für Europa werden leicht unterdurchschnittliche Zuwachsraten von etwa 15 % p.a. vorhergesagt. Grund dafür sind Sättigungseffekte. Ein europaweit überdurchschnittliches Wachstum wird hingegen in Frankreich und Großbritannien erwartet (Deutsche Bank 2007).

Um das Wachstumstempo zu halten, sind umfangreiche Kapazitätserweiterungen notwendig, die die Anbieter von hochwertigen technischen Ausstattungen zurzeit vollziehen. Dennoch gibt es noch eine Reihe von Engpässen in der Lieferkette (GEWC 2007).

Für die Berechnung des Marktvolumens wird die heutige Marktentwicklung mit einer durchschnittlichen Wachstumsrate von 20 % bis in das Jahr 2012 extrapoliert

Tab. 1: Prognose Leistung, WEA Stückzahlen, Umsatz 2007 – 2012

	Einheit	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Gesamtleistung (weltweit)	MW	89.068	106.881	128.257	153.908	184.690	221.628
Neu installierte Leistung p. a.	MW	14.845	17.8136	21.376	25.651	30.782	36.938
Stückzahl Neuanlagen inkl. Turm p. a. (durchschnittlich 2,5 MW pro Anlage)	Anzahl	5.938	7.125	8.550	10.660	12.313	14.775
Umsatz weltweit (Neuanlagengeschäft)	Mrd. €	19	22,8	27,36	32,83	39,40	47,28
Davon Deutschland (35 % Marktanteil)	Mrd. €	6,3	7,98	9,58	11,49	13,79	16,58
Umsatz Türme*	Mrd. €	1,9	2,28	2,74	3,28	3,94	4,73

3.2 Markt der Anlagenhersteller und Turmlieferanten

Der Markt für Windkraftanlagen teilt sich auf in zehn Hersteller, die 95% des Marktes bedienen. Diese Hersteller verfolgen verschiedene Geschäftsmodelle in Bezug auf ihre Fertigungstiefe. So haben einige Hersteller eine eigene Turmfertigung, andere arbeiten eng mit Turmherstellern zusammen. Da sich nur eine komplette Anlage zertifizieren lässt, in welcher der Turm fester Bestandteil ist, werden die Türme von den Anlagenherstellern entwickelt. Somit existiert kein eigenständiger Turmmarkt.

Unternehmen, die Türme zukaufen, lassen in hochspezialisierten mittelständischen Stahlbauunternehmen fertigen, die in der Regel überwiegend im Turmbau tätig sind. Große Turmhersteller sind Welcon, Siag, Ambau und KGW. Die Kosten für die Türme setzen sich aus den technischen Vorgaben der Anlagenhersteller und dem Preis für Stahl auf dem Weltmarkt zusammen. Andere Kosten fließen nur marginal in die Kostenkalkulation der Türme mit ein, so das alle Türme zu ähnlichen Kosten produziert werden. Somit bleibt den Turmproduzenten wenig Spielraum für die Preisgestaltung.

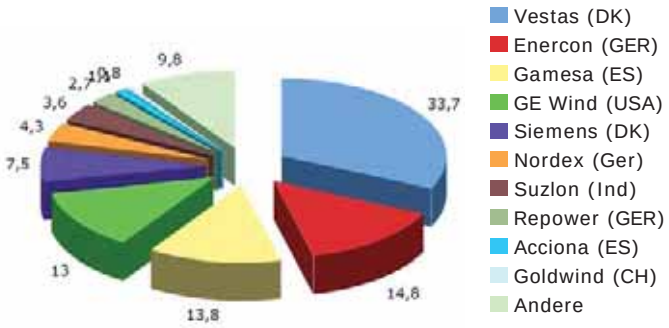


Abb. 3: Marktanteile Anlagenhersteller: Weltweit

Dieser enge Spielraum ist jedoch kein Nachteil, da der Turmmarkt durch eine extrem starke Nachfrage seitens der Anlagenhersteller gekennzeichnet ist, so dass momentan Lieferzeiten von 18 bis 24 Monaten mit steigender Tendenz zu kalkulie-

ren sind. Automation und Serienfertigung sind die Antwort auf diese Situation. In der gesamten Branche werden Kapazitätserweiterungen vorgenommen. So werden im Ausland vermehrt Stahlbauunternehmen zugekauft, während im Inland die Produktionen leicht erweitert werden.

3.3 Marktpotential für Holztürme

Bei einer angenommenen Wachstumsrate von 20 % p.a. und einer durchschnittlichen Leistung von 2,5 MW pro Anlage werden weltweit in den kommenden fünf Jahren ca. 45.000 Anlagen inklusive Turm aufgestellt.

Das Potenzial für Holztürme wird auf einen Marktanteil von fünf Prozent bei den On- und Offshore-Türmen in den nächsten fünf Jahren geschätzt. Dies entspricht ca. 2.250 Türmen mit einer durchschnittlichen Höhe von 90 m. Bei ca. 600 m^3 Brettsperrholz pro Turm ergibt sich eine Menge von 1.350.000 m^3 Brettsperrholz für die Produktion der Türme.

4 Holztürme für Windkraftanlagen

4.1 Technischer Hintergrund

Eine Windkraftanlage stellt ein technisches System dar, welches aus Fundament und Turm besteht, auf dem eine Gondel angeordnet ist. Am Turmkopf ist die Gondel mit einem Rotor in waagerechter Drehachse versehen, die mit einem Generator gekoppelt ist. Diese Windkraftanlagen sind im Hinblick auf den Wirkungsgrad, mit dem die Leistung des Windes nutzbar ist, weit entwickelt.

Der Turm ist der größte und schwerste Teil einer Windkraftanlage. Die Turmhöhe beträgt bei modernen Anlagen ca. das 0,75- bis 1,8-fache des Rotordurchmessers und kann mehrere 100 Tonnen schwer sein. Der Turm hat daher eine besondere wirtschaftliche Bedeutung. Er macht 30 bis 40 % des Preises der gesamten Windkraftanlage aus und ist für einen großen Teil der Transport- und Montagekosten verantwortlich.

Ziel ist es, durch die Wahl der Turmhöhe einen maximalen Energiegewinn und eine gleichmäßige Belastung des Rotors zu erzielen. Um die geeignete Turmhöhe zu bestimmen, müssen mehrere Aspekte berücksichtigt werden. Turbulenzen nehmen mit der Höhe ab und die Windgeschwindigkeit zu. Deswegen werden an schlechten Standorten mit hohen Turbulenzen bevorzugt hohe Türme gebaut, da somit der Ertrag hoch und die Belastungen niedrig sind.

An der Küste (oder auch Offshore) ist die Bodenrauhigkeit niedriger und die Windgeschwindigkeit höher als im Binnenland, was niedrige Turmhöhen zur Folge hat. Ein höherer Turm hat den Vorteil eines besseren Energieertrags, ist aber auch viel schwerer und teuer. Die Turmmasse eines typischen Stahlrohrturms steigt ungefähr mit dem Quadrat der Höhe: Ein 100 Meter hoher Turm wiegt beispielsweise im Schnitt 1,3 bis 2,6 t pro m, während ein 75-Meter-Turm „nur“ 0,6 bis 1,3 t pro m wiegt.

Die Energieausbeute korreliert mit der Höhe des Turmes einer Windkraftanlage. Es besteht ein wirtschaftlicher Zusammenhang aus anfallenden Baukosten und dem Ertrag aus Energiegewinnung, wobei aus Erfahrung die anfallenden Baukosten mit der Bauhöhe der Windkraftanlage überproportional steigen.

Wie eingangs geschildert, gibt es derzeit vier verschiedene Turmkonzepte. Dabei handelt es sich um Stahltürme, Gittertürme, Betontürme und Hybridtürme.

Die häufigste gewählte Bauform für Türme von Windkraftanlagen ist die Konstruktion aus einem Stahlrohr. Der Transport der Turmsegmente von sehr großen Windkraftanlagen kann bei Stahl-

rohrtürmen problematisch sein, da Straßenbrücken, die meist nur eine Durchfahrtshöhe von 4,20 m besitzen, den Durchmesser der Turmsegmente begrenzen.

Gittertürme, die heute meist als Fachwerktürme bezeichnet werden, waren oft bei Windkraftanlagen der ersten Generation zu finden. Sie benötigten weniger Material (etwa die Hälfte des Materials für Stahlrohrtürme) und waren folglich leichter und einfacher zu fertigen. Sie haben jedoch das Problem, dass zum einen die Lasten an ihnen vergleichsweise hoch sind und zum anderen sich die Verbindungselemente aufgrund der Eigenfrequenz der Windkraftanlage lösen. Hierdurch entstehen bei Gittertürmen aufgrund der Vielzahl der Verbindungsmittel gegenüber allen anderen Türmen wesentlich höhere Kosten bei Kontrolle und Support.

Betontürme werden aus vorgespanntem Stahlbeton gebaut. Sie sind viel dicker und schwerer als Stahltürme. Betontürme werden entweder am Standort selbst gebaut (Ortbeton) oder aus vorgefertigten Segmenten zusammengesetzt. Letztere sind bei Großserien günstig, aber bei Kleinserien deutlich teurer als Ortbetontürme. Bei Ortbetontürmen entfällt der Transport von großen Teilen. Die Qualität ist jedoch schwer zu kontrollieren.

Vereinzelt findet man auch so genannte Hybridtürme, d.h. Kombinationen aus den o.g. Turmvarianten Gittertürme, Beton und Stahlrohr. Sie lösen meist nur das oben beschriebene Problem des Transports der großen Unterteile von Stahlrohrtürmen. Weitere Probleme werde in Kauf genommen.

4.2 Warum ein Holzturm?

Mit wenigen Ausnahmen werden heute die Türme für Windkraftanlagen als Stahlrohrkonstruktion ausgeführt. Der Anteil am Markt ist für Konstruktionen wie Gittertürme, Betontürme oder Hybridtürme gering. Holz ist als Material heute nicht mehr gebräuchlich.

Durch die Entwicklungshistorie der modernen Windkraft ist es möglich, drei Gruppen von Türmen zu bezeichnen, die sich durch die dimensionierende Größe unterscheiden. Bei Türmen von bis zu 40 m ist i.A. die Extremlast die dimensionierende Größe.

Bei Türmen bis ca. 80 m wirkt die Materialermüdung in der Regel dimensionierend. Bei noch höheren Türmen ist die Eigenfrequenz die begrenzende Größe. Diesen unterschiedlichen Einflüssen wird durch jeweils unterschiedliche geometrische Größen Rechung getragen. In der Regel sind die Zusammenhänge weder linear noch einseitig. Beispielsweise verändert die zunehmende Blechdicke des Turmes das Flächenträgheitsmoment, wodurch ein Turm steifer wird und die Eigenfrequenz sich hierdurch erhöht. Die Zunahme der Masse durch Vergrößerung der Blechdicke wirkt dem jedoch entgegen. Das dynamische Verhalten der Anlage in Gänze ist verändert, was wieder einen Einfluss auf Lasten und Schnittgrößen hat.

Die Türme und Fundamente sind von ihrer Anforderung eher mit einem Maschinenbauteil zu vergleichen als mit einem Bauwerk aus dem Hochbau. Turm und Fundament beeinflussen die Dynamik und somit die Lasten. Die Lastermittlung und Schnittgrößenbestimmung bei Windkraftanlagen erfolgt somit nicht statisch, sondern in einer Simulation der gesamten Betriebszeit.

Abb. 4: 1:10-Modell einer Zwindo - Windkraftanlage aus Holz

Unter der Annahme einer äusseren Windeinwirkung von 20 Jahren werden alle Betriebs- und Störfälle simuliert. Dabei werden auch Einzelereignisse wie die 50-Jahresböe angenommen. Die programmierte Steuerung verursacht ein Verhalten der Anlage. An der untersuchten Anlage kann so eine Untersuchung der Schnittgrößen erfolgen. Nebenbei werden auch die Lastwechsel gezählt, die dann Grundlage einer Schädigungsanalyse sind. Es ergibt sich daraus, dass auch Optimierungen der Bodeneinspannung enormen Nutzen bei der Turmauslegung haben.

Auch wenn die statischen Lasten heute nicht dimensionierend sind für Türme, so sind diese meist dem Bauingenieur anschaulicher als die Eigenfrequenz von Bauwerken.

Die Turmkopflasten für moderne 2,5 MW-Anlagen liegen in der Größenordnung von:

- M_{xy} = 10.000 kNm als Kippmoment,
- M_T =1500 kNm für das Torsionsmoment,
- F_z =1500 kN fürs Eigengewicht aus Rotor und Anlage
- F_{xy} =300 kN aus dem Schub.

Das Einspannmoment des Turmes am Fundament kann auch über 100 MNm liegen.

4.3 TimberTower

Um den Preis einer Windkraftanlage zu senken und gleichzeitig die Logistik zu vereinfachen, hat die TimberTower GmbH einen Holzturm für Windkraftanlagen entwickelt.

Abb. 5: Konstruktion des Holzturmes

Der TimberTower besteht aus Brettsperrholzplatten, die auf der Baustelle zusammengefügt werden. Um die Aufnahme der Windkraftanlage zu gewährleisten (Runde Aufnahme), erhält der Turm einen Stahladapter (2 bis 12 Meter), der auf das obere Turmsegment aufgesetzt wird. Die Holzoberfläche wird mittels einer Bautextilie geschützt, welche auf die Außenfläche des aufgestellten Turms aufgeklebt wird.

Abb. 6: Rotormontage

Ein Vorteil gegenüber herkömmlichen Turmkonzepten besteht darin, dass die Herstellungskosten bei Windkraftanlagen sinken. Zielmarke dabei ist eine Kostenreduzierung von 20 bis 30 %. Noch bedeutender ist allerdings, dass der Bau und das Aufstellen des Turms sowie seine Transportierbarkeit stark vereinfacht werden.

Aus Holzplatten zusammengesetzte Teilstücke werden in unmittelbarer Umgebung des Standortes der Windkraftanlage montiert.

Ein weiterer wesentlicher Vorteil der Konstruktion liegt in der Unabhängigkeit von logistischen Restriktionen. Wie eingangs geschildert, sind für Türme von WEA verschiedene Nachweise erforderlich. Die statischen Nachweise wie auch die Ermüdungsnachweise lassen sich durch Spannungsgrößen erfassen. Für den Turm ist hier das Widerstandsmoment entscheidend. Die Eigenfrequenz wird durch das Flächenträgheitsmoment zweiten Grades bestimmt. Beide Größen sind vom Radius des Stahlrohrturmes bzw. von der Grundrisskantenlänge des Holzturmes abhängig. Die Abhängigkeit ist in der dritten bzw. vierten Potenz. Somit sind auch kleinere Änderungen des Radius sehr bedeutend für das Eigenfrequenzverhalten. Eine Vergrößerung des Radius bei Stahlrohrtürmen scheidet wegen der Brückendurchfahrten aus. Der TimberTower kann jedoch leicht eine vergrößerte Aufstandesfläche wählen ohne logistische Grenzen zu erreichen. Untersuchungen haben gezeigt, dass für Anlagen mit Nabenhöhen von 80 bis 160 m, Aufstandesflächen von 5 bis 7,5 m günstig sind.

Neben den oben gezeigten Vorteilen der Konstruktion gibt es noch einige weitere, die bisher nur qualitativ abschätzbar sind. Wir gehen davon aus, dass das Dämpfungsverhalten von Konstruktion und Material sich sehr günstig auswirken wird. Dies hat eine positive Wirkung auf die Schallemission. Zum anderen erwarten wir eine positive Auswirkung auf die Schnittgrößen. Die dazu notwendigen Untersuchungen werden universitär von unabhängigen Instituten begleitet. Veröffentlichungen zu den Ergebnissen werden für 2009 erwartet.

Abb. 7:

5 Fazit

Bei der Überlegung, ob und wie Holz seine angemessene Rolle im Maschinenbau finden kann, ist die Frage nach den Aufgaben, die Materialien übernehmen sollen, entscheidend. Bei maschinenbaulichen Lösungen entsteht der Eindruck, dass die Kenntnis von Eigenschaften verschiede-

ner Materialien sich insbesondere auf Metalle, am Rande auf Kunststoffe und Keramiken, beziehen. Holz bietet bekanntermaßen eine Vielzahl von Eigenschaften, die grundsätzlich anders sind als die von Metallen. Der fehlende Einsatz durch die Konstrukteure kann somit nur in der Unkenntnis der Eigenschaften liegen. Aktuell werden die positiven ökologischen Eigenschaften des Holzes hervorgehoben. Dies wird dem Holz nicht gerecht.

Die energetische Amortisationszeit einer modernen Windkraftanlage mit einem Stahlturm liegt bei 2 bis 5 Monaten. Durch den Einsatz von Holz kann diese sicherlich verkürzt werden.

Auch eine auf rein wirtschaftliche Aspekte fokussierte Diskussion führt zu keiner tragfähigen Entscheidung für oder gegen die Verwendung von Holz im Maschinenbau. Der TimberTower hat seine Chance bekommen, weil die Summe der Materialeigenschaften anderen Materialien – dem Stahl - überlegen ist. Eine Vielzahl von Bauteilen im Maschinenbau ist durch die Ermüdung dimensioniert, eine Größe, bei der Holz wesentlich bessere Eigenschaften hat als Stahl. Die dämpfende Eigenschaft von Holz, die bessere Beständigkeit gegen salzhaltige Atmosphären, die schlechte elektrische Leitfähigkeit. Dies alles sind vom Ansatz andere Eigenschaften und somit Alleinstellungsmerkmale. Von daher bin ich der Überzeugung, dass Holz ein geeigneter Werkstoff ist, um Stahl im Maschinenbau an vielen Stellen zu ersetzen. Um dies nachhaltig zu belegen, wird der TimberTower seinen Beitrag leisten.

Quellen

[1] Auer Josef: Deutsche Bank Research, Marktstudie Windenergie - Deutschland Weltweit führend, Frankfurt Oktober 2007.
[2] BMU: Erneuerbare Energien in Zahlen – nationale und internationale Entwicklung, Berlin 2007.
[3] Bundesverband Windenergie: Die Windindustrie in Deutschland - Daten, Potenziale, Unternehmen, Osnabrück 2007.
[4] Deutsches Windenergieinstitut: Ermittlung der deutschen Wertschöpfung im Weltweiten Windenergiemarkt, Wilhelmshaven 2007.
[5] Global Wind Energy Council : Global Wind Energy Outlook 2006 Report, Brüssel 2006.
[6] Global Wind Energy Council: Global Wind 2006 Report, Brüssel 2007.
[7] KPMG: Marktstudie Offshore-Windparks in Europa, Hamburg 2007.

15.1 Tragsysteme
Holztragwerke für Membranbauten

Katja Kübler, Wolfram Kübler

1 Allgemeines

Bauen mit Membranen nimmt im Bauwesen immer noch eine Sonderstellung ein. In der Lehre nur am Rande behandelt, in der Theorie mit großen Verformungen recht komplex und in der praktischen Umsetzung erfordert diese Bauweise relativ viel Erfahrung und Know-how mit dem Material, weshalb sie nur Fachplanern vorbehalten zu sein scheint. Eine veraltete bzw. nicht vorhandene Normung, mangelnde Erfahrung mit der Berechnung von, und vor allem der konstruktiven Detailausbildung zwischen Membrane und unterstützender Konstruktion sind weitere Hemmschwellen.

Realisierte Bauwerke sind vorwiegend Stahlkonstruktionen, obwohl manche Tragwerke genauso oder sogar noch geeigneter in Holz realisierbar wären.

Hier soll ein Überblick über mögliche statische Systeme, Materialien und Einsatzmöglichkeiten im, Holzbau gegeben werden. Des Weiteren wird aufgezeigt, auf was beim Konstruieren mit Membranen im Besonderen geachtet werden muss.

Abb. 1: Wundersamer Wolkenwürfel, Innsbruck 2005, Temporäre Installation

2 Membrantragwerke

Grundsätzlich kann bei reinen Membrantragwerken weniger als bei konventionellen Tragwerken zwischen primärer und sekundärer Konstruktion unterschieden werden, da auch die eingesetzten Rand- und Unterstützungskonstruktionen oft selber relativ weiche und flexible Systeme darstellen.

Meist müssen deshalb - um (geometrisch) nichtlineare Effekte zu berücksichtigen - die Systeme als eine Einheit abgebildet werden.

Um die zugbeanspruchten Membranflächen zu stabilisieren bzw. aufzuspannen eignen sich am besten typische auf Druck beanspruchte Tragelemente:

2.1 Bogengestützte Tragwerke

Die Bögen bilden dabei lineare Unterstützungen für die Membranen, wobei ihre Form aus der idealen Stützlinie ermittelt wird. Sehr effektive Tragsysteme lassen sich für Spannweiten bis ca. 25m realisieren. Bei entsprechender Interaktion und Ausbildung der beiden Elemente belastet die Membrane den Bogen zwar, kann ihn aber gleichzeitig auch stabilisieren und somit eine wirksame Sicherung gegen Knicken erzielen.

2.2 Punktförmige Primärstützungen

Doppelt gekrümmte und damit sich durch zusätzliche Belastung selbst spannende Konstruktionen lassen sich durch die Anordnung von nicht in einer Ebene liegenden Stützpunkten erzeugen.

Das sogenannte Vierpunktsegel ist dabei die einfachste Form und jedem geläufig. Durch Variationen der Anordnung und Anzahl der Unterstützungspunkte lassen sich vielfältige Geometrien für die unterschiedlichsten Randbedingungen ableiten.

Werden die punktförmigen Unterstützungen nicht am Rand, sondern in der Membranfläche

angeordnet bilden sich Hochpunkte aus. Sind infolge einer speziellen Nutzung keine Stützen erwünscht können diese auch als „Luftstützen", d.h. seilunterspannte Hochpunkte oder über einzelne Aufhängungen an außen liegenden Masten erzeugt werden.

Werden die beschriebenen Prinzipien umgedreht entstehen sogenannte Trichtermembranen. Hier werden nur die nach oben gerichteten Lasten (Windsog) von der punktförmigen Stützung = Trichter, die nach unten gerichteten (Schnee) müssen sich in die Ränder einhängen.

2.3 Grate und Kehlen

Durch die Anordnung von abwechselnd gegensinnig gekrümmten, nebeneinanderliegenden Seilen werden Shed-Dach-ähnliche Konstruktionen gebildet.

Das obere Gratseil ist für die Abtragung der Schneelasten, das untere Kehlseil für die Wind(sog)lasten erforderlich.

Abb. 2: Entwurf für Logistikzentrum, rd2b Architekten, Walt + Galmarini AG, Zürich

2.4 Luftgestützte Membranflächen (Kissen)

Äußerst leichte und auch für größere Spannweiten effiziente Tragwerke lassen sich mit dem Medium Luft als druckabtragendes Element erzeugen. Die Lastabtragung erfolgt für nach unten gerichtete Einwirkungen über den Abbau der Vorspannung der oberen und eine Zunahme der Zugspannungen in der unteren Membran. Die resultierenden horizontalen Auflagerkräfte müssen von der Umrandungskonstruktion aufgenommen werden.

2.5 Seilnetze

Werden die Grenzen der Möglichkeiten der Membranmaterialien erreicht oder kann die für ein textiles Membrantragwerk erforderliche Krümmung nicht realisiert werden, besteht die Möglichkeit über unterstützende Seilnetze die Lasten abzutragen und die Membranen als reine Dacheindeckung einzusetzen. Oft sollen die Seilnetze dabei als relativ ebene Flächen ausbildet werden. Dann ist es vorteilhaft, die Seile so anzuordnen, dass sich die Horizontalkräfte aufheben, oder über einen Druckring quasi einen „Tennisschläger" zu erzeugen.

3 Formfindung und Berechnung

Auch wenn inzwischen gängige kommerzielle Softwarepakete behaupten, Möglichkeiten der Formfindung und (geometrisch und materialnichtlineraren) Berechnung von Membrantragwerken zu bieten, bleibt die Erfahrung in der konstruktiven Durchbildung und das statische Grundverständnis für komplexe statisch unbestimmte Flächentragwerke die Grundvoraussetzung für den Bau von sicheren, ästhetisch hochstehenden und auch funktionalen wie wirtschaftlichen Membrantragwerken. Idealerweise sollten bereits beim Entwurf die orthotropen Materialeigenschaften, die verfügbaren Materialbreiten und daraus resultierenden (bemessungsrelevanten) (Schweiß)Nähte mit berücksichtigt werden. Besondere Bedeutung kommt dementsprechend auch dem eigentlichen Zuschnitt, also der zweidimensionalen Näherung der (doppelt) gekrümmten, dreidimensionalen Membranfläche in Form von ebenen Streifen zu. Dabei sind Kompensation, d.h. die Dehnungsunterschiede des Materials im vorgespannten Zustand gegenüber dem span-

nungslosen Zustand zum Zeitpunkt des Zuschnittes und dem zusammenfügen der einzelnen Streifen zu berücksichtigen.

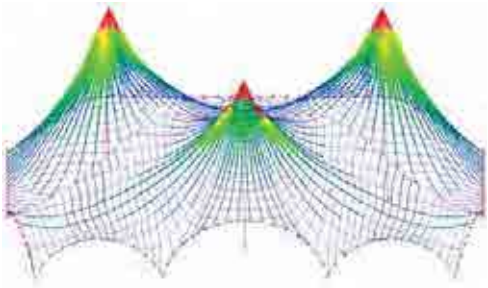


Abb. 3: Spannungen LF Schnee

4 Materialien

Eine textile Membran stellt in der Regel einen Verbundwerkstoff dar, der aus dem Gewebe, der Beschichtung und eventuell einem Oberflächenschutzfilm besteht.

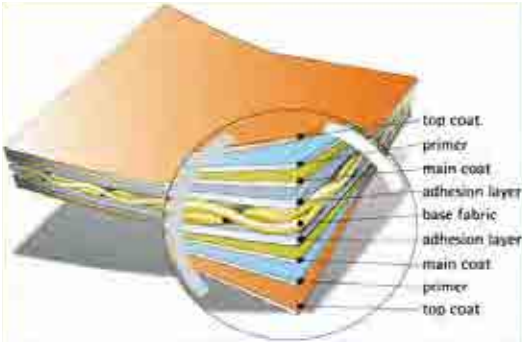


Abb. 4: Querschnitt Membrane

Das Gewebe übernimmt Zugkräfte und damit die Lastabtragung. Beim Weben werden die Kettfäden fix aufgespannt, die Schussfäden senkrecht dazu mit Schiffchen oder Düsenwebung eingetragen. Durch die Kompensation bei der Zuschnittsberechnung, wird das unterschiedliche Dehnungsverhalten der beiden Richtungen beim Vorspannen berücksichtigt. Manche Hersteller bieten in Schussrichtung vor dem Laminieren vorgespannte Gewebe an. Dadurch wird ein gleichmäßigeres Dehnungsverhalten erzielt.

Abb. 5: Webung Membrane

Die Beschichtung schützt das Gewebe und verleiht der Membrane entsprechende Gebrauchseigenschaften (Wetterschutz, UV-Schutz, Anschmutzverhalten, Entflammbarkeit, Farbe, Transluzenz).

4.1 PVC-beschichtetes Polyestergewebe

PVC-beschichtete Polyestergewebe, üblicherweise als PVC/PES-Gewebe bezeichnet, stellen aufgrund ihrer Materialeigenschaften und ihres günstigen Preises noch immer den häufigsten Werkstoff im konstruktiven Membranbau dar.

Ihre hohen Festigkeiten (Typ V bis 9800 N/5cm) und Weiterreißfestigkeiten (bis 1800 N) bei hohen Materialdehnungen (Bruchdehnung bis ca. 30 %) erlauben den Einsatz zu weit gespannten Flächentragwerken. Die Transluzenz beträgt ca. 0.8 % bis 25 %.

Abb. 6: Pavillon 150 Jahre ETH Zürich

PVC-beschichtete Polyestergewebe erreichen als schwerentflammbare Baustoffe i.d.R. die Brandklasse DIN 4102-B1 1996-10 und bilden – wie al-

le Membranen – aufgrund ihres geringen Flächengewichtes (bis ca. 1450 g/m²) und ihrer geringen Materialstärke (bis ca. 1.2 mm) eine extrem geringe Brandlast. Im Brandfall schmilzt das Gewebe auf, tropft brennend ab und schafft die Möglichkeit des direkten Rauch- und Wärmeabzuges.

Oberflächenversiegelungen bieten einen dauerhaften Schutz der PVC-Beschichtung vor Anschmutzung und vorzeitiger Alterung (UV-Schutz, Verflüchtigung der Weichmacher), so dass die Lebensdauer inzwischen mehr als 20 Jahre betragen kann. Die Einsatzmöglichkeiten decken das gesamte Spektrum des Textilbaus ab.

Tab. 1: Materialkennwerte PVC-Membrane

Typ	Gewicht [g/m²]	Reisskraft Kette/Schuss [N/5cm]	Weiterreiss-festigkeit [N]	Bruchdehnung % Kette/Schuss
I	800	3500/3500	300/300	7/10
II	1050	5800/5800	bis	bis
III	1550	7500/6500	500/500	2/17

4.2 Teflonbeschichtetes (PTFE) Glasfasergewebe

PTFE-beschichtete Glasfasergewebe sind zu einem hochwertigen Material mit einer Lebenserwartung von mindestens 25 bis 30 Jahren gereift und gelten mittlerweile als Standartprodukt im Textilbau. Das Gewebe besteht aus Glasfilamentgarnen unterschiedlicher Durchmesser (ca. 4 µm, 9 µm etc.). Da durch eine Grundimprägnierung des Glasgewebes keine Feuchtigkeit in die Gewebezwischenräume eindringen kann, ist auch eine Immission von Schmutzpartikeln, Mikroben oder Pilzsporen nahezu ausgeschlossen. Lediglich Flüssigkeiten geringer Oberflächenspannung, Gase und Dämpfe können die mikroporöse PTFE-Beschichtung durchdringen.

Die Materialdehnungen (Bruchdehnung ca. 3% bis 10%) und die Weiterreißfestigkeit (bis ca. 1200 N) sind aufgrund des relativ spröden Glasfasergewebes gering.

Vollflächig beschichtete PTFE-Glasfasergewebe können eine Transluzens bis ca. 22% erreichen, als offen- oder geschlossenporiges Gittergewebe bis zu ca. 65% - jedoch bei wesentlich geringerer Festigkeit. Sie erreichen die Einstufung als nichtbrennbares Material nach DIN 4102-A2 1989-05 Aufgrund der relativ geringen Knickbeständigkeit eignen sie sich nicht für den Einsatz als wandelbare (faltbare) oder mobile Fläche.

Tab. 2: Materialkennwerte PTFE-Membrane

Typ	Gewicht [g/m²]	Reisskraft Kette/Schuss [N/5cm]	Weiterreiss-festigkeit [N]	Bruchdehnung % Kette/Schuss
I	850	3000/3000	300	15/20
II	900	4500/3800	500	15/20
III	1050	6000/5500	1000/1200	15/25
IV	1400	7500/6500	1200	15/30
V	1600	9000/8500	2000	20/30

4.3 ETFE – Ethylentetrafluorethylen-Folie

ETFE-Folie wird überwiegend als transparentes Material in zwei- oder mehrlagigen pneumatischen (Kissen-)Konstruktionen verwendet. Sie bietet gegenüber anderen transparenten Kunststoffen und Glas entscheidende Vorteile: Geringes Flächengewicht von 1 kg/m², gestalterische Vielfalt durch die Formbarkeit unregelmäßiger, gekrümmter Flächen, hohe UV-Lichtdurchlässigkeit und eine selbstreinigende, vielfältig bedruckbare Oberfläche.

Ein sehr großer Vorteil ist die sehr hohe Lebenserwartung von > 25 Jahren ohne nennenswerte Qualitätsabminderungen.

Die Reißfestigkeit von 300 bis 600 N/5cm ist die geringste unter den gängigen Materialen für Membrantragwerke, allerdings wird eine Fliessdehnung von 4 % und eine Bruchdehnung von 400 % angegeben. Damit sind Spannweiten von

pneumatischen Kissen von 4 - 5m Spannweite bei Stichverhältnissen von 1/10 der Einzelfolien realistisch.

ETFE wird in die Brandklasse DIN 4102-B1 1996-10 eingestuft. Sie ist für wandelbare Tragwerke ebenfalls nicht geeignet

Abb. 7: Neubau Elefantenanlage Zoo Zürich, Markus Schietsch Architekten, Walt + Galmarini AG, Zürich. Eröffnung 2013

4.4 Aktuelle Entwicklungen - PV-Flexibles

Hochflexible Dünnschicht-Solarzellen werden über einen Silikonfilm auf Gewebemembranen und Folien appliziert. Die PV-Module selber sind dabei entweder (bei transparenten Konstruktionen) in ETFE-Folien, bei (transluzenten) Gewebemembranen in PTFE/Glas-Gewebe eingeschweißt.

Die einzelnen PV-Module haben dabei eine Breite von 30 cm und eine maximale Länge von 3 m. Die Anordnung der einzelnen Streifen auf der Membranfläche kann dabei auf Grund energetischer und/oder gestalterischer Überlegungen oder als Verschattung und zur Tageslichtsteuerung angeordnet werden. www.solarnext.de

4.5 Transluzente Wärmedämmung

Mit einlagigen Membrantragwerken können keine temperierten oder gar beheizten Gebäude realisiert werden. Sollen vertretbare Wärmedämmeigenschaften bei bleiben Transluzenz erreicht werden, bietet sich die Verwendung einer TWD (transluzente Wärmedämmung) an.

Sehr dünne, gesponnene Glasfasern werden mit einem lichtstabilen Binder versehen und zu einem sehr leichten und lichtdurchlässigen Glasgespinst verwoben. Die eingeschlossene stehende Luft im Glasgespinst sorgt für eine sehr gute Wärmedämmung. Im Vergleich zu Wabendämmungen weist das Glasgespinst eine niedrigere Lichtdurchlässigkeit auf, besitzt aber eine wesentlich stärkere Lichtstreuung. Dies führt zu einer blendfreien und gleichmäßigen Verteilung des einfallenden Lichtes. Im Sommer wird durch die sehr gute Sonnenschutzwirkung der Wärmeeintrag stark reduziert (niedriger g-Wert).

Das Glasgespinst kann ein oder mehrlagig eingesetzt werden je nach angestrebtem U-Wert und Lichtdurchlässigkeit. www.wacotech.de

4.6 Verschattung über Teilflächenbedruckung von ETFE-Luftkissen

Werden die einzelnen Folien von mehrlagigen Luftkissen gezielt bedruckt, können Verschattungseffekte auch bewusst für bestimmte Einstrahlungswinkel der Sonne erzielt werden. Dies kann von Interesse sein, wenn der solare Energieeintrag im Winter erwünscht, im Sommer aber reduziert werden soll.

5 Holztragwerke für Membranbauten

Folgenden Konstruktionsarten eignen sich besonders für die Kombination von Holzbauteilen mit Membranen/Folien:

- Bogentragwerke aus Brettschichtholz mit regelmäßigen Achsabständen und Grundrissen
- Schalentragwerke und Kuppeln aus stabförmigen Holzbauteilen mit ETFE-Luftkissen als Eindeckung

Entwicklungspotential kann auch bei (vorfabrizierten) intelligenten Fassadenkonstruktionen gesehen werden und lässt auf spannende, innovative aber auch funktionale und wirtschaftliche Hüllen hoffen.

Abb. 8: vorfabrizierte Fassadenelemente, Bergwacht, Bad Tölz

Generell sind nicht direkt bewitterte und mittels Luftumspülung vor Kondensatausfall gesicherte Konstruktionen und Details dringend anzustreben. Eine direkte Montage der Membranen oder Folien auf Holzbauteilen kann in Ausnahmefällen bei entsprechendem Klima und/oder kontrollierter Lüftung mit Entfeuchtung funktionieren. Zahlreiche Schadensfälle mahnen zur Vorsicht.

6 Membranen als konstruktiver Holzschutz

Ein weiteres spannendes Einsatzgebiet von Membranen im Holzbau, ist die Verwendung als konstruktiven Holzschutz.

Vertikale, flach gespannte Membranen funktionieren bis ca. 5m Spannweite. Für größeren Spannweiten und geneigte oder doppelt gekrümmte Anwendungen als reine Schutzschicht gelten die oben beschriebenen Regeln für Membrankonstruktionen.

Abb. 9: Brücke über die Reuss. Luzern, CH
Entwurf BlessHess AG, Luzern

Quellen

[1] Koch, Klaus-Michael: Bauen mit Membranen
[2] Moritz, Karsten: Membranwerkstoffe im Hochbau, Detail Heft 6/2000
[3] Rein, Alfred; Wilhelm, Viktor: Das Konstruieren mit Membranen, Detail Heft 6/2000
[4] Dienelt, Katja: Diplomarbeit am Institut für Holzbau, Hochschule Biberach, 2003

15.2 Bemessung

Zuverlässige Prognostizierbarkeit von Holzkonstruktionen?

Georg Hochreiner

1 Rückblick - Die Entwicklung bis heute

Schadensfälle der jüngsten Vergangenheit waren Anlass für zahlreiche Studien zur tatsächlichen Tragsicherheit von Holzkonstruktionen. Die Bewertungen der Ergebnisse daraus zeigten jedoch eine allgemeine Ratlosigkeit im Umgang mit aufgetretenen Problemen und resultierten schlussendlich meist entweder in einer pauschalen Erhöhung von Sicherheitsfaktoren und bzw. oder Zurücknahme von bisher jahrelang propagierten Materialfestigkeiten. Auch die behördlich verordnete Wartung von Gebäuden macht erst dann Sinn, wenn die zu beobachtende Grundsubstanz bereits ein Mindestmaß an Zuverlässigkeit erreicht hat. Leider gibt es nicht wenige Bauten, bei denen die Sanierungsarbeiten bereits während der Errichtung Platz greifen! Immerhin musste bei vielen nationalen Holzbau-Bemessungsnormen eine Konstanz betreffend Inhalte über Jahrzehnte festgestellt werden, was zum Einen Beweis genug ist für die mangelnde Bereitschaft bzw. Fähigkeit der Branche global zur Weiterentwicklung, zum Anderen im krassen Gegensatz zur Dynamik der Marktanforderungen und dem daraus resultierenden Wachstum an Produktionskapazitäten und innovativen lokalen Baupraktiken steht. Nachfolgende Tabelle 1 zeigt die Entwicklung von Querschnittsgrößen, Spannweiten, Belastungen und Holzverbrauch mit einer Bandbreite von 1:100. Simple Extrapolation von Geometrie ohne Adaption von begleitenden Maßnahmen wie Verfeinerung von Modellierungsansätzen in der Statik und Detailausbildung ist unverantwortlich und führt kurz- und langfristig zu Schäden an Tragwerken und am Vertrauen in den durchaus als zuverlässig einzustufenden Baustoff Holz.

Angesichts der Komplexität des Faserverbundwerkstoffes Holz war - in Ermangelung eines geeigneten Werkstoffgesetztes – Versuchstechnik eine einfache und erste Herangehensweise zur Lösung von Problemen. Wesentliche Nachteile einer alleinigen Anwendung dieser Methode wurden jedoch unterschätzt und haben sich schlussendlich nachteilig auf die aktuelle Entwicklung ausgewirkt. Wir besitzen eine Fülle teuer erkaufter Ergebnisse ohne wirkliches Verständnis der maßgebenden inneren Mechanismen, zusammengefasst in Regressionskurven ohne jegliche Chance, darauf eine strategische Produktentwicklung aufsetzen zu können oder mittels abgesicherter Extrapolation über die versuchstechnischen Grenzen hinauszukommen. Jede, von der Versuchskonfiguration abweichende neue Anwendung muss versuchstechnisch erneut nachgestellt und bauaufsichtlich neu geregelt werden mit allen Nachteilen von Zeitverlust und finanziellem Aufwand. Prüfinstituten ist damit zwar eine konstante Beauftragung gesichert, dem Anwender sind damit jedoch permanent die Hände gebunden, mit eigenen Mitteln selbstständig geeignete Kreationen als Antwort auf variierende Anforderungen des Marktes zu geben. Einziger Ausweg aus dieser Misere mangelnder, zuverlässigen

Tab. 1: Aktuelle Anforderungen der Baupraxis

	Spannweiten	N[kN] M[kNm]	Querschnitte	Holzverbrauch (Durchschnitt)	Anwendungen
Level 1	Ca. 5m	60 kN 200 kNm	6x12 16x60	80 m³	Einfacher Wohnbau, Büros
Level 2	<50m	600 kN 2.000 kNm	12x32 24x240	800 m³	Mehrstöckiger Wohnbau, Industriebau, Mehrzweck-Hallen, Verkehr
Level 3	<300m	6.000 kN 20.000 kNm	120x80 80x300	8.000 m³	Messehallen, Sportstätten

Prognosefähigkeit von Holzwerkstoffen und Holzkonstruktionen ist die Verfügbarkeit von ausgereiften Bewertungs- und Simulations-Werkzeugen für eine benutzerfreundliche und zeitgemäße Umsetzung von Aufgabenstellungen durch fachkompetente Entscheidungsträger.

2 Ebene der Versuchstechnik - Der einzige Weg zur Gewinnung von Materialparametern und Bemessungskonzepten?

Der historische Ansatz von „Versuche-Versuche-Versuche" mit anschließender statistischer Aufbereitung muss abgelöst werden von einer, in anderen Branchen durchaus nicht mehr neuen Praxis von prognostizierender Simulationsrechnung, wobei in der Anfangsphase der Modellbildung Validierungsversuche zur Bestätigung der in der Folge universell anwendbaren Nachweismethoden gewiss unumgänglich sind. Aufwendige Programme zur messtechnischen Begleitung von Problembaustellen (z.B. blockverleimte Holzbrückentragwerke unter freier Klimabeanspruchung), wie heute noch landläufig üblich, könnten zuverlässig durch Simulation der Problemstellung ersetzt werden bzw. vorzeitig in der Konzeptionsphase integriert werden, um derartige Schadensfälle a priori zu vermeiden und Holzkonstruktionen dauerhaft zuverlässig und wartungsfrei gestalten zu können.

Ein erster Schritt zur umfassenden Erarbeitung eines Materialgesetzes auch für Holz wurde im Rahmen der Industrieinitiative „Roadmap 2010" gesetzt. Entgegen der Meinungen vieler Experten hinsichtlich Aussichtslosigkeit eines derartigen Unterfangens – geschätzter Bedarf von mindestens 50 Jahren Entwicklungszeit - wurde an der TU-Wien unter Einbeziehung europäischer Forschungspartner ein Projekt mit Laufzeit von drei Jahren in Auftrag gegeben. Tragverhalten von Kleinstproben bis hin zu realen Bauteilgrößen unter Berücksichtigung von Feuchte, Kriechen, Wuchsunregelmäßigkeiten, Plastizität und Bruch-Interaktion werden systematisch erforscht und die Resultate in wissenschaftlicher wie kommerzieller Statik-Software den Endbenutzer zur Verfügung gestellt. In Abhängigkeit der Fragestellungen werden die einzelnen Phänomene auf unterschiedlichsten Ebenen wie Mikro- oder Makromechanik bzw. zylindrischer oder orthogonaler Anisotropie bearbeitet. Die daraus abgeleiteten Materialmodelle können in der Folge für erste Simulationsrechnungen zur Validierung von neuen Bemessungsmodellen im EC 5 verwendet werden und die derzeit sehr begrenzten Möglichkeiten der rein elastischen Orthotropie wesentlich erweitern. Auch wenn für die spätere Praxis Vereinfachungen im Rahmen der Normung anzustreben sind, steht zumindest für kniffelige Fälle ein weiteres, leistungsfähiges und erprobtes Werkzeug in Form der FEM auch für Holzwerkstoffe zur Verfügung. Langfristiges Ziel dieser Forschungsinitiative ist, dem Holzbauingenieur eines Tages schlüssige, zu Ende gedachte Bemessungskonzepte mit Gültigkeitsbereich für alle, derzeit auf dem Markt verfügbaren und eingesetzten Holzwerkstoffe wie Kantholz, Brettschichtholz, Furnierschichtholz, Brettsperrholz und OSB für jede Bauteilgröße bereit stellen zu können. Speziell Problemstellungen wie Durchbrüche oder Ausklinkungen mit und ohne lokale Verstärkungsmaßnahmen erfordern eine sehr differenzierte Betrachtungsweise der mechanischen Nachweisführung in Abhängigkeit vom jeweils verwendeten Werkstoff.

Es bleibt zu hoffen, dass die aktuelle Krise bei der Überarbeitung von Brettschichtholzfestigkeiten – ausgelöst durch weitgehend statistische Betrachtungsweisen speziell im Bereich der Sortierung und alleinige Konzentration auf die Biegefestigkeit von versuchstechnisch noch bewältigbaren Querschnittsgrößen – nicht endet in einem generellen Down-Grading bisher praktizierter Festigkeitsprofile, was einem massiven Vertrauensverlust und Imageschaden gleichzusetzen wäre, son-

dern zukunftsorientiert in einen Optimierungsprozess mit mechanischem Hintergrund ausartet, der es gestattet, mit wirtschaftlich vertretbaren Zusatzmaßnahmen auch jene Potentiale umzusetzen, die jeder Versuchstechniker in Form der „Ergebnis-Punktwolken" nur zu gut kennt!

Die Zukunft muss heißen: Statikmodelle mit Statistikunterstützung und nicht umgekehrt.

3 Ebene der Normen und Zulassungen - Konformität noch ausreichend?

Auch wenn Prognose grundsätzlich etwas mit Blick in die Zukunft zu tun hat, ist dennoch das Bewusstsein zu schulen, dass die Brauchbarkeit von Prognosewerkzeugen und Gültigkeit von Entscheidungshilfen wesentlich von deren Grundlagen abhängt. Die aktuellen Bemessungsnormen basieren auf leider nicht explizit ausgewiesenen historischen Anwendungsspektren (EC 5 entspricht Level-1, DIN 1052: 1988 entspricht bereits Level-2!), für deren Anwendungsgrenzen die aktuell angebotenen Vereinfachungen zwar gültig, für ähnliche, aber komplexere Bauwerke aber durchaus gefährlich werden können (siehe Level-3!)! Gleiches gilt auch für, mittels traditioneller Methoden ermittelter Materialkennwerte auf meist statistischer Basis unter Vernachlässigung von Effekten aus der Vorgeschichte des Wertschöpfungsprozesses wie z.B. der technischen Holztrocknung. Die inhaltliche Reduktion auf spezielle Anwendungsspektren wie Hochbau oder Brückenbau lässt leider schnell den Blick fürs Ganze verloren gehen und blockiert zudem die Weiterentwicklung neuer Baustrukturen. In der Norm nicht explizit angesprochene Problemzonen werden von „Rechenkünstlern und Formelakrobaten" als unkritisch wahrgenommen und in der eigenen Nachweisführung „scheinbar zu Recht" unter den Tisch fallen gelassen. Massive Schäden an Großbauten der jüngsten Vergangenheit, errichtet vor ca. 5 Jahren, sind auf dieses Missverständnis zurückzuführen!

Für das verantwortungsvolle Erkennen bzw. Füllen von Fehlstellen im Normenwerk ist zunehmend mehr umfassendes Ingenieur-Basiswissen erforderlich! Die Norm ist damit defacto nicht mehr „umfassender Stand der Technik" im juristischen Sinn, wie die jüngste Rechtsprechungspraxis auch schmerzhaft beweist. Der oft unerfahrene Anwender wird zunehmend mit in die Verantwortung einbezogen, die Normenverfasser entlasten sich durch einfaches Publizieren neuer erkannter Problemzonen im Rahmen von Tagungen und lassen den Endbenutzer im Regen stehen.

Der Rückblick auf die Neuauflagen von Holzbau-Bemessungsnormen des deutschsprachigen Raumes unter dem Aspekt „Integration substantieller Neuerungen auf dem Sektor Materialkennwerte und statischer Modellierung" zeigt in Form von „20 bzw. 40 jähriger Jubiläen unveränderten Bestandes" sehr deutlich, dass die Branche eher als „statisch ohne Visionen" einzustufen ist und sich selbst mit druckreifer Integration von Entwicklungen auf Normenebene im Zweijahresrhythmus sehr schwer zu tun scheint.

Kontraproduktiv haben sich zudem die Vorgaben von CEN ausgewirkt, wonach jede nationale Ergänzung zum EC 5 weder im Widerspruch dazu stehen noch signifikant darüber hinaus gehen dürfte. Nachdem der aktuelle EC 5 in seiner Grundkonzeption nur eine Bemessungsnorm für „architektonisch anspruchslose Einfamilienhäuser in Kantholzbauweise" darstellt, haben naturgemäß jene Länder mit bereits wesentlich höher entwickelter Ingenieurholzbau-Kultur heute massive Probleme hinsichtlich Wettbewerbsfähigkeit und statischer Nachweisführungen „komplexerer" Konstruktionen.

Dass im Zuge der generellen Einführung der europäischen Normen auch die Belastungsnormen neu überarbeitet wurden, haben viele Holzbauer

noch nicht richtig realisiert. Eine zuverlässige Lastaufstellung ist für Leichtbauweisen in Holz und Stahl aber mindestens genau so wichtig wie eine sorgfältige, räumliche statische Modellbildung. Unschärfen der Belastung wie z.B. die generelle Zulässigkeit von Schneelastungsreduktionen um 20 % auch bei Passivhaus-Ausführung der Gebäudehülle und Großflächen ab 10.000 m² liegen durchaus bereits im Wertebereich von gängigen Holzbau-Teilsicherheitsfaktoren und stehen in krassem Gegensatz zum Feilschen um Prozentpunkte im einstelligen Bereich bei Materialfestigkeiten.

Angesichts der noch sehr lückenhaften und fehlerbehafteten neuen europäischen Normeninfrastruktur ist eine zuverlässige Prognose von Holzbauwerken zu einer Herausforderung geworden, auf die sich Neueinsteiger und selbst erfahrene Hasen nur mehr bedingt einlassen werden. Auch das Drucken von Tabellen und Bereitstellen „praxisnaher" Software durch namhafte Verbände für unvollständige Nachweisketten wird diese Krise nicht nachhaltig bereinigen!

4 Ebene der Qualitätssicherung - Durchgängiges Konzept für die Holzbranche?

Trotz professionellster Werbung in der Holzbranche, unterstützt mit perfektem Bildmaterial, bleibt oftmals die Frage offen: Welche Qualität der Produkte bzw. Ausführung von Konstruktionen darf der Tragwerksplaner bzw. Kunde mit der Übernahme eines Holzbauwerkes erwarten?

Das aktuelle Qualitätsbewusstsein der Branche – betrifft Hersteller gleichermaßen wie Errichter - reduziert sich auf das Verständnis für die Notwendigkeit qualitätssichernder Maßnahmen auf den Bereich „Produktion der Grundwerkstoffe", wobei die Bereiche Holztrocknung geflissentlich ausgeklammert werden. Vielsagend ist stellvertretend das Zitat eines Sägers „Wir trocknen nach Gewinn", woraus geschlossen werden kann, dass man innerhalb dieser Personengruppe in der Kette der Wertschöpfung von Holzprodukten entweder sich der Bedeutung dieses Produktionsvorganges auf die mechanischen Festigkeiten des Resultats (=Balken oder Lamelle) infolge erhöhter Rissbildung nicht bewusst ist oder diese Realität wissentlich verweigert.

Grundsätzlich wird die Einführung von Qualitätsabzeichen leider nur als Instrument zur Marktdiversifizierung gesehen. Die ehrliche Sichtung der Satzungen ergibt jedoch wenig wirklich Brauchbares im Hinblick auf die Sicherstellung der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit von Holzkonstruktionen. Zudem sind sie meist nur vielversprechend formuliert, unvollständig und schwer kontrollierbar. Der aktuelle Wildwuchs an Ü-Zeichen, RAL-Abzeichen und Vereinsmarken (Zimmermeister, Fertighausverband, …) ist ein Beispiel für das Fehlen einer übergeordneten Norm zum „Qualitätsmanagement zur Ausführung von Holzbauarbeiten" in Analogie zum Stahlbau (z.B. DIN 18800-7 oder EN 1090-2) bzw. Massivbau. Wesentlicher Inhalt mit unter Umständen erheblicher finanzieller Auswirkung ist das Management (=Entscheidungskette) für, im Alltag leider auftretende Ausführungsfehler mit der Gewissensfrage " Ist das betroffene Bauteil neu zu fertigen oder kann es noch gerettet werden durch fachgerechte Sanierung (aber wie?) unter Berücksichtigung von formalen wie statischen Erfordernissen?".

Eine Bemessungsnorm ohne begleitende Ausführungshinweise ist nur die erste Hälfte des Weges! Die Annahmen der Bemessung basierend auf undokumentierten und vertraglich unvereinbarten Annahmen für die Ausführung sind ein schlechter Garant für die Prognose zuverlässige Tragwerke.

Tab. 2: Drei Qualifikationsklassen für ausführende Holzbau-Unternehmen

Qualifikation	Personal	Anlagen	Komplexität
Klasse 1	Zimmermeister	Abbund manuell	Einfache Strukturen aus dem täglichen Erfahrungsbereich ohne aufwendige statische Nachweisführung
Klasse 2	Zimmermeister + Konstruktionsbüro (Ingenieure mit FH-Abschluss)	Einfaches CAD-System, Abbund manuell + CNC	Einfache räumliche Strukturen mit vollständiger Tragwerksplanung
Klasse 3	Zimmermeister + Konstruktionsbüro (Ingenieure mit TU-Abschluss)	Allgemeines CAD-System, Abbund CNC + manuell	Komplexe, räumliche Strukturen mit umfangreicher statischer Nachweisführung

Optische Qualitätskontrollen auf der Baustelle sind geläufig, begleitende, selbstständige statische Qualitätskontrollen auf Seiten der ausführenden Unternehmen meist unbekannt. Eine mögliche Klassifizierung für ausführende Unternehmen (Tab. 2) könnte daher nach der Verfügbarkeit statisch kompetenten, firmeninternen Personals mit Fachwissen in passendem Kontext mit der Komplexität der Projekte erfolgen, unabhängig von der Frage, ob auch die Systemstatik, Detailstatik oder Konstruktionsplanung ebenfalls im Auftragsumfang des Auftragnehmers enthalten sind! Erfahrung ist nie ein Ersatz für statische Nachweisführung, maximal eine Beschleunigung!

Der Befugnisumfang des Zimmermeisters würde sich damit sinnvollerweise auf die Bereiche Unternehmensführung, fachgerechte Ausführung und grundlegendes Materialverständnis als Basis für Kommunikation mit dem Tragwerksplaner und zur Wahrung von Prüf- und Hinweispflicht beschränken. Qualifikation und Befugnis zur Planung von Tragwerken ist und bleibt Aufgabe von Ingenieuren und muss unbedingt aus dem gewerblichen Kontext klar herausgelöst werden!

5 Fazit: Was lernen wir daraus?

Die „gelernten Lektionen" aus der Analyse der aktuellen Misere hinsichtlich zuverlässiger Prognostizierbarkeit von Holzbaustrukturen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Der fachgerechte Umgang mit Holz muss – wie bei jedem anderen marktrelevanten Baustoff der Gegenwart - entsprechend ausgebildeten Fachleuten vorbehalten sein. Die Orientierung am untersten Ausbildungsniveau hinsichtlich Tragwerksplanung, aktuell limitiert durch die gewerbliche Denkweise der Zimmermeistergilde als personell stärkste Vertretergruppe der Holzbranche, muss fallengelassen werden, wenn ein substantieller Durchbruch von Holz als ebenfalls marktrelevanter Baustoff gelingen soll!
2. Die klassische Segmentierung in Kleinhausbau, mittlerer Gewerbebau und imposanter Sportstättenbau ist veraltert und stellt eine echte Barriere für eine wirkliche Weiterentwicklung im Holzbau dar. Vorgefertigte Wand-, Dach- und Deckenelemente gibt es in allen Bauvorhaben mit den projektspezifischen bauphysikalischen Anforderungen an Brand, Schall und Schwingungen. Ein architektonisch anspruchsvolles Einfamilienhaus ist unter Umständen in der statischen Umsetzung oft wesentlich anspruchsvoller als ein Gewerbebau mit Satteldachträger und klassischem Aussteifungsverband. Spannweite ist kein Indiz mehr für die

Komplexität von Bauwerken. Neue Kriterien, wie z.B. in Tabelle 2 vorgeschlagen, sind zu implementieren, sowohl in den Köpfen und Vorstandsebenen der Verbände sowie in normativen und baurechtlichen Regelwerken.

3. Die klassische Strukturierung von Normengremien in einzelne Aufgabenbereiche auf nationaler wie europäischer Ebene ist schnellstens zu reorganisieren. Das Schreiben einer Bemessungsnorm kann nicht unabhängig erfolgen von der Konzeption von Produktnormen und Versuchsnormen. Normen werden benötigt und gemacht, um einheitliche Sicherheitsstandards zu garantieren und sinnvolle wie wettbewerbsfähige Vereinfachungsmöglichkeiten im täglichen Umgang mit unter Umständen komplexen Bemessungssituationen anzubieten. Die Bearbeitungszyklen haben sich in zeitlicher Sicht nicht an, von der Europäischen Bürokratie vorgegebenen Horizonten von 5 bis 10 Jahren zu orientieren, sondern am Bedarf von Aufgabenstellungen des gegenwärtigen und künftigen Marktes. Andernfalls können maximal heute nicht mehr wettbewerbsfähige „historische" Baustrukturen zuverlässig prognostiziert werden, nicht jedoch zeitgemäße Projekte und Vorgaben im Sinne einer großflächigen Verwendung nachhaltiger Baustoffe wie Holz.
4. Eine aktive Teilnahme von Holzbauingenieuren mit Erfahrung an der Verbesserung und Konsolidierung von Belastungsnormen ist notwendig, da mit einer zu oberflächlichen Betrachtung der Einwirkungsseite entweder Tragwerke auf der unsicheren Seite oder überdimensionierte Querschnittsabmessungen mit Hang zur Unwirtschaftlichkeit generiert werden, in beiden Fällen mit fatalen Folgen für die Branche.
5. Die Segmentierung von Bemessungsnormen in Hochbau, Brückenbau und Erdbebenbemessung, getrennt nach Kaltbemessung und Heißbemessung ist zu ersetzten durch eine Bemessungsnorm für alle Grundprobleme des Ingenieurholzbaus, wobei in zwei parallel laufenden Spalten auf einen Blick die Kalt- und Brandbemessung ersichtlich sein müssen und die Aspekte der Erdbebenbemessung sich in Tabellen über Klassen der Duktilität für Baustoffe, Konstruktionsweisen und Verbindungsmittel im selben Dokument niederschlagen sollten.

   Durch die parallele Darstellung aller bemessungsrelevanten Aspekte sind zum Einen der Normenverfasser zu Vollständigkeit und Übersichtlichkeit angehalten und zum Anderen der Endbenutzer sehr schnell in der Lage zu beurteilen, ob für das ihm zugeteilte Projekt die normativen Grundlagen zur Bewältigung seiner Aufgabenstellungen auch wirklich zur Verfügung stehen. Schlimmstenfalls muss er auf andere Baustoffe ausweichen, für die aussagekräftigere und vollständigere Unterlagen zur Verfügung stehen.
6. Wenn von Modellierung gesprochen wird, sollte darunter primär immer eine physikalische (=mechanisch, chemisch) Modellierung zu verstehen sein. Statistische Aspekte können enthalten sein, dürfen aber weder als dominanter noch alleiniger Bestandteil der Modellbildung auftreten. Arbeitsprogramme von Forschergruppen mit Begründung auf Statistik als Kompensation für fehlendes oder mangelhaftes Wissen um physikalische Zusammenhänge sind in Zukunft strikte abzulehnen.
7. Die Grenzen der Versuchstechnik sind zu erkennen und zu akzeptieren! Die Konzeption von Versuchen darf sich nicht länger – wie im letzten Jahrhundert praktiziert – an der bestehenden, limitierenden Infrastruktur prominenter Versuchsanstalten orientieren! Die zugehörigen „historischen" Versuchsnormen sind schnellstens hinsichtlich Aussagekraft und Übertragbarkeit der Ergebnisse in reale Bauverhältnisse zu überdenken und neu zu konzipieren. Harmonisierung, Vergleichbarkeit und

Reproduzierbarkeit von Versuchsergebnissen sollten nicht Selbstzweck sondern Garant für eine flächendeckende Zuverlässigkeit von Baustoffen sein.

Nachdem alleinige Versuchstechnik für strategische Prognosen im Sinne einer Weiterentwicklung von Produkten und Bauweisen eindeutig ungeeignet und zudem mit allen Unsicherheiten von „try and error" hinsichtlich Zeitfaktor und Finanzierungsbedarf behaftet ist, sind derartige Forschungsprogramme zu stoppen und durch erfolgsversprechendere Konzepte zu ersetzen. Es bleibt nur zu hoffen, dass auch das oben erwähnte Forschungsprojekt „MechWood" mit Erweiterung auch auf andere Holzwerkstoffe fortgesetzt wird und nicht der Kurzsichtigkeit im Gefolge der Finanzkrise zum Opfer fällt! Das Regelschema für künftige Forschungstätigkeit muss mindestens die folgenden drei Bestandteile aufweisen:

- Strukturelles Erfassen der Aufgabenstellung mittels virtueller Simulation und Prognose der mechanischen wie chemischen Vorgänge (=Mindestens 70% des Arbeitsvolumens!). Das damit gewonnene Grundverständnis ist Basis für weiterführende, strategische Planungen und didaktische Aufbereitung der Resultate für den unverzichtbaren Wissenstransfer zum Endbenutzer.
- Virtuelle Konzeption und Planung relevanter Validierungsversuche zur Absicherung der Gültigkeit der Modellbildung.
- Reale Durchführung einer überschaubaren Anzahl von Versuchen und Feinjustierung der virtuellen Modellbildung in Übereinstimmung mit den Ergebnissen.
- Wissenstransfer zum Endbenutzer in Form der Implementierung von abrufbaren Zusatzfunktionalitäten sowohl in wissenschaftlichen Programmpaketen als auch kommerziell für jeden Ingenieur verfügbarer Software. Die erfolgreiche Umsetzung ist von der Forschergruppe sicherzustellen!

8. Abteilungsdenken ist aufzubrechen und durch ein vernetztes Denken unter Berücksichtigung aller Stufen des Wertschöpfungsprozesses zu ersetzen! Speziell die Holzverbände als verantwortliche Interessensvertreter und Informationsträger sind diesbezüglich in die Pflicht zu nehmen. Bei Forschungsvorhaben muss künftig bereits zu Beginn klar umrissen sein, wie die zu erwarteten Ergebnisse als Baustein im Baukasten der noch zu schaffenden bzw. zu verbessernden Infrastruktur für Entscheidungsträger einzuordnen sind.
9. Der Wildwuchs an plakativen aber ineffizienten Qualitätsmarken ist zu roden und durch eine branchenübergreifende, effiziente und umsetzbare Norm zur Sicherung der Ausführungsqualität im Holzbau zu ersetzen. Es kann nicht sein, dass die Qualität von im Werk vorgefertigten Bauelementen für Dach und Wände einer Überwachung bedarf und das Assembling derselben Bauteile auf der Baustelle unter wahrscheinlich wesentlich schlechteren Witterungsbedingungen hinsichtlich Qualität niemanden mehr zu interessieren braucht! Zuverlässige Bauwerke sind nicht nur das Ergebnis von theoretischen Überlegungen und Stubenhockerei, sondern wesentlich beeinflusst von der persönlichen Konfrontation mit den Realitäten im Herstellerwerk und auf der Baustelle!

15.2 Bemessung

Modellierung – Kerninhalt des EC5-Neu?

Georg Hochreiner

1 Einleitung: Status quo

Neuauflagen bzw. behördlich verordnete Generationswechsel im Bereich von Bemessungsnormen geben regelmäßig Anlass zu Diskussionen über die Vorteile bzw. Defizite der alten bzw. geplanten neuen Normenkonzepte. Meist ist die Branche darauf unvorbereitet und die Software noch nicht fertig oder ausgereift genug, den täglichen Umgang mit dem neuen Formelapparat in den Griff zu bekommen. Die Praxis einer ergänzenden Kommentierung mit „Normenstatus“ im Nachlauf ist zwar praktisch, hätte man aber bei umsichtiger und vorausschauender Konzeption der Basisdokumente leicht vermeiden und dem bereits gestressten Endbenutzer das parallele Lesen von zwei getrennten Dokumenten ersparen können. Einen Zusammendruck beider Werke in einem Buch mit zwei parallelen Seitenspalten zur leichteren Lesbarkeit (=parallel anstelle sequentiell!) und Zuordnung der betroffenen Punkte hat man bisher auch nicht wirklich geschafft.

Steine des Anstoßes sind in der Regel:

- Neufassung vertrauter Inhalte in geänderte Formelwerke
- Substantielle Neuerungen als Erweiterung des Anwendungsbereichs
- Geänderte Belastungsniveaus bzw. Neudefinition von Bemessungswerten mit Verlust jeglichen Zahlengefühls für bisher geläufige Dimensionen
- Änderungen in der Modellierung alter wie neuer Inhalte
- Für die tägliche Bemessungspraxis dringend benötigte, oftmals urgierte, jedoch abermals fehlende Inhalte in der neuen Fassung
- Einschränkung von Nachweisverfahren auf nur bestimmte Produktgruppen
- Unvollständigkeiten in der Nachweisführung, gleichbedeutend mit erhöhtem persönlichen Engagement zur Kompensation der Defizite
- Fehlende Integration der Unterstützungsmöglichkeiten durch moderne Software wie FEM
- Übertriebene oder irreführende Vereinfachungen mit Verlust sowohl des Verständnisses für die tatsächlichen mechanischen Hintergründe als auch der Wettbewerbsfähigkeit der Ergebnisse
- Pauschalierungen mit Behinderung differenzierterer Betrachtungsweisen im Falle einer genaueren Modellierung der Problemstellung
- Regressionskurven für mechanische Zusammenhänge, die mit „Nachdenken und Verstehen“ auch transparenter darstellbar gewesen wären
- Fehlende Anwendungsgrenzen für Nachweise, verbunden mit der Gefahr einer unzulässigen Extrapolation auf scheinbar ähnliche aber doch grundverschiedene Problemstellungen
- Übertriebene Forderungen allgemeiner Natur („Prinziples“), deren Erfüllbarkeit mit verfügbaren Mittel oft nur schwer bis nicht gegeben ist

Einziger Ausweg aus dieser Misere ist der Rückzug auf gesichertes Terrain durch eine, in sich schlüssige, zu Ende gedachte Modellbildung zur zuverlässigen Prognostizierung des Tragverhaltens und der Gebrauchstauglichkeit einer Holzkonstruktion. Aus eigener 20-jähriger Erfahrung in der Konzeption innovativer Tragwerke weiß ich jedoch, dass dafür eine gehörige Portion Mut und Selbstvertrauen gehört und ein gefestigtes Rückgrad in der Verteidigung der eigenen Ansichten einem Prüfer, einer Baubehörde oder einem Normengremium gegenüber.

2 Begriffe und Voraussetzungen

Wenn im Bauwesen von Modellbildung gesprochen wird, hat der Laie meist nur die, von Architekten gefertigten Bauwerksmodelle aus Pappe und Styropor vor Augen und weis Nichts von der noch interessanteren virtuellen Welt der Modellbildung seiner Statikerkollegen. Nachfolgende

Tab. 1: Modellbildung im Bauwesen

	Architekten	**Tragwerksplaner** (Statiker)
Material	Pappe und Styropor selten virtuell 3D !!!	Virtuell am Computer
Dynamik	Starr, zerbrechlich	Lebendig: Schwingt, fließt, ...
Aussagekraft	Nur Geometrie (3D)	Finale Geometrie (3D), Kraftflüsse, Verformungen, ...
Flexibilität	Neue Variante bedeutet meist Neuanfertigung	Konstruieren online !!! variantenreich, dynamisch änderbar, optimierbar
Baukastensystem	Maximal 3-teilig (oder Bruch ?!)	Gruppierung nach Bedarf Optimale Diskussionsgrundlage
Annäherung (Blickwinkel)	Von der Abstraktion zur Realität	Von der Realität zur Abstraktion

Übersicht (Tab. 1) soll den Unterschied zwischen dem Modellverständnis zweier wesentlicher, am Bauprozess beteiligter Partner verdeutlichen.

Sprechen Forscher von Modellbildung, so sind meist zu Beginn der Diskussionen folgende Begriffe zu klären.

- Von statistischer Modellbildung ist zu sprechen, wenn mehr oder weniger repräsentative Versuchsergebnisse (je mehr desto teurer und langwieriger!) mit statistischen Methoden wie Regression plakativ zusammengefasst werden. Diese Kurven spiegeln in keinster Weise die zugehörigen physikalischen Hintergründe wider und lassen nur sehr selten Extrapolationen über die Grenzen der Versuchskonfiguration zu. Für didaktisches Verständnis oder strategische Produktentwicklung - wie aktuell im Bereich der Neudefinition von Festigkeitsprofilen für Brettschichtholz propagiert - ist diese Art der Modellbildung ungeeignet, da immer nur historische Daten verwendet werden und unterschiedliche Versuchskonfigurationen in der Regel nicht unkritisch in einen Topf geworfen werden sollten.
- Von mechanischer Modellbildung darf man sprechen, wenn grundlegend mechanische Modelle verwendet werden, die bei Ansatz auf Micro-Ebene (= clear wood) entsprechender Homogenisierungsstrategien bedürfen, um die Ergebnisse unter Berücksichtigung von Wuchsunregelmäßigkeiten auf reale Bauteile übertragen zu können. Validierungsversuche im versuchstechnisch noch zumutbaren Bereich zur Bestätigung der Richtigkeit der Modellbildung sind notwendig, um Ergebnisse auch außerhalb der Versuchsgrenzen zuverlässig prognostizieren zu können. Diese Methode ist verständnisfördernd und geeignet, Ansätze für Optimierungsmöglichkeiten zu lokalisieren.
- In beiden Fällen sollte man sich jedoch immer bewusst sein hinsichtlich der Anwendungsgrenze, da jede Modellbildung zwecks praktischer Umsetzbarkeit auf Vereinfachungen und Restriktionen zurückgreifen muss frei nach dem Motto: Maximierung der Aussagekraft und Minimierung der Komplexität der Modellierung. Leider sind diese Grenzen selten dokumentiert, sodass speziell Rechenkünstler und Formelakrobaten oft verführt werden, das vorliegende Formelwerk unkritisch und uneingeschränkt anzuwenden. In der Statik einfach zu handhabende Stabwerksmodelle haben leider keine Aussagekraft hinsichtlich Kippen von Biegeträgern oder Lastweiterleitung im Querschnitt bei Einleitung von Kräften außerhalb der idealisierten Stabachse. Hierfür muss das Modell um Flächenelemente erweitert wer-

den, um diese Effekte zuverlässig mit abdecken zu können. Der Umgang mit diesen verfeinerten Methoden bzw. die Interpretation der daraus gewonnenen Ergebnisse erfordert Fachkenntnis und Unterstützung im Rahmen von z.B. Bemessungsnormen.

In der Modellbildungsstrategie von Ingenieuren geht es stets darum, eine gegebene Realität durch Abstraktion (= die Kunst des Weglassens ohne Verlust der Identität der Problemstellung!) in den Griff zu bekommen, wobei eine eigen qualitative Vorstellung vom mechanischen Tragverhalten bereits gegeben sein muss, und das Modell lediglich quantitative Aussagen hinsichtlich Materialbeanspruchung oder Verformungsverhalten liefert. Welche baustatische Methode (Theorie erster, zweiter oder dritter Ordnung) im Bedarfsfalle anzuwenden ist, welche Vereinfachungen ohne Schmälerung der Aussagekraft getroffen werden können und welche begleitende Vorgänge wie Produktionsprozesse mit zu berücksichtigen sind, erfordert eine solide persönliche Ingenieursausbildung. Bestrebungen zur Besitzstandswahrung historisch gewachsener Planungsbefugnisse von Seiten des Zimmermeistergewerbes wirken sich limitierend auf die „unbedenkliche Freigabe" von innovativen und erfolgversprechenden Nachweismethoden im Rahmen der Normung aus.

3 Klare Vorgaben der Norm

In den mit (P) gekennzeichnet Absätzen der EN 1995-1-1 sind die Grundregeln festgelegt, welche auf Nachweisführungen anzuwenden sind. Die davon betroffene Modellbildung erstreckt sich nicht nur auf mechanische Vorgänge, sondern sieht auch eine Integration von begleitenden Umständen wie Qualitätsanforderung für die Ausführung vor.

Abschnitt 2.1.2 (1) zum Thema Zuverlässigkeit schreibt vor, dass „diese durch eine geeignete Wahl der Qualitätssicherung bei Berechnung, Bemessung und der Ausführung entsprechend EN 1990: 2002, Anhang C sicherzustellen sei". Demnach sind im Rahmend der Statik bei erhöhter Anforderung an die Ausführungsgeometrie die Verwendung einer CNC-Fertigung vorzuschreiben und Angaben zum Qualifikationslevel des ausführenden Unternehmens zu treffen.

In Abschnitt 2.2.1 (1) P sind Rechenmodelle für verschiedene Grenzzustände anzuwenden, wobei ebenfalls nach Bedarf Elemente wie Exzentrizität von Lasteinleitungspunkten, Lastweiterleitung in die Tiefe des Querschnitts, lokale Querschnittschwächungen inklusive Kerbwirkung oder Schlupf bzw. elastisch / plastische Nachgiebigkeiten zu integrieren sind.

Nach Abschnitt 4.1.1. (8) P ist in jedem Fall die räumliche Stabilität der Tragwerke nachzuweisen.

Gemäß 4.1.3 (1) P ist die Tragfähigkeit der Verbindungen unter Berücksichtigung jener Schnittgrößen nachzuweisen, die auf Grund der Berechnung für die gesamte Konstruktion (und nicht für vereinfachte ebene Teilmodelle!) zwischen den zu verbindenden Teilen herrschen.

Die Anforderung nach 4.1.3 (2) P ist insofern kritisch, da sie in der Vergangenheit oft sträflich vernachlässigt wurde. Demnach ist in einer Nachweiskette für eine Verbindung das Verhalten aller Elemente zu berücksichtigen, welche die Verbindung bilden. Die aktuelle Nachweisführung mehrschnittiger Stabdübelverbindung verstößt ebenfalls bereits gegen obige Forderung wegen Vernachlässigung der Kompatibilität der Verformung. Zudem ist der Nachweis für die umgebende Holzmatrix – bekannt unter Blockscherversagen – interessanterweise nur auf informativer Ebene verankert!

4 Grundlagen der Nachweisführung

Eine professionelle Modellbildung zeichnet sich aus durch die Berücksichtigung der beiden Säulen der Statik, nämlich „Gleichgewicht der Kräfte“ und „Kompatibilität der Verformung“. Räumliche Modellierung ist Garant für eine vollständige Erfassung der Problemstellung in Verbindung mit in sich konsistenten Belastungsbildern. „Alleiniges Andenken“ – wie vielfach praktiziert - ist zu wenig, der Endbenutzer braucht „zu Ende gedachte“ Modellbildungsansätze, wenn zuverlässige Ergebnisse prognostiziert werden sollen. Die historischen wie jüngsten Normungsansätze sind voll von unvollständigen Lösungsansätzen mit der Rechtfertigung, die Oberfläche für den Endbenutzer nicht zu kompliziert erscheinen lassen zu wollen. In Wirklichkeit spiegelt dieses Verhalten lediglich das fehlende physikalische Verständnis und Unvermögen der verantwortlichen Normenverfasser wider, für relevante Problemstellungen die zugehörig passende, adäquate Modelbildung unter Berücksichtigung moderner Hilfsmittel wie FEM zu formulieren.

Auch wenn oftmals versucht wird, eine Holzbaustatik als eine besonders komplizierte Aufgabe – wegen der Komplexität des Baustoffes Holz! – darzustellen, sind die tatsächlichen Verhältnisse eher umgekehrt: Werkstoff unabhängige Aufgaben wie Lastaufstellung bzw. mechanische wie baustatische Basismodellierung, natürlich unter Integration der künftig konstruktiven Umsetzung, machen meist mindestens 70 %, holzbauspezifische Nachweisführungen in der Regel nur 30 % der Arbeit aus!

5 Bedürfnisse von Tragwerkplanern: Eigene Erfahrungen

Die Komplexität moderner Architektur und der enorme Zeitdruck, unter dem heute statische Nachweisführungen zu erbringen sind, stellen hinsichtlich Prozess-Sicherheit und Zuverlässigkeit der Ergebnisse große Ansprüche an die zugehörige Arbeitsmethode. Modellbildung kommt dabei eine wesentliche Bedeutung zu, ist sie doch das Werkzeug zur erfolgreichen Bewältigung dieser Herausforderung! Die räumliche Erfassung von Geometrie und Belastung, das Erkennen von Systemzwängungen (stark abhängig von realistisch angesetzten Steifigkeiten einzelner Verbindungsmittelgruppen!), die direkte Ablesbarkeit bemessungsrelevanter Schnittgrößen ohne händische Zwischenrechnung durch zweckmäßige Stabteilung und Einsatz von starren Stabelementen zur direkten Modellierung der geometrischen Verhältnisse bringen die Sicherheit für Einzelkämpfer, bei unvermeidbaren Änderungen stets ein in sich konsistentes statisches System vor sich zu haben, aus dem bei Bedarf elegant Montage- und Transportzustände herausgelöst werden können, Massenauszüge erstellt und rasch für Dokumentationszwecke genutzt werden kann. Am wichtigsten ist dabei das eigene Vertrauen in die Zuverlässigkeit von auf den ersten Blick oft nur schwer zu durchschauende Konstruktionen. Es Bedarf einer gewissen Veranlagung zum „Spielen“, mit vielen Neurechnungen das System im Sinne einer Sensitivitätsanalyse auf Eigenheiten abzuklopfen und ein ausgewogenes Verhältnis von Sicherheit über das gesamte System zu legen. Ist die Redundanz im Katastrophenfall nachzuweisen, können ohne Probleme diverse Versagenszustände einzelner Bauteile nachgestellt werden, ohne erst auf die Realität warten zu müssen. Nur so besteht real die Möglichkeit einer Optimierung von Tragwerken, die bei Zerlegung in Teilsystem und manueller Koppelung spätestens nach der ersten Änderung ein jähes Ende finden würde und es in der Praxis in Ermangelung der Praktikabilität auch de facto tut.

Angesichts der Leistungsfähigkeit heutiger Rechner braucht man selbst bei umfangreichen Systemen vor vielen Unbekannten des Gleichungssystems keine Scheu mehr zu haben!

6 Qualitätskriterien guter Holzbaunormung

Gute Holzbaunormung erkennt man an folgenden Kriterien: Transparenz der zu Grunde gelegten mechanischen Vorgänge, kompakte Darstellung, Vollständigkeit, zu Ende gedachte durchgängige Konzepte, einfache Integrierbarkeit in moderne Software, Vereinfachungen ohne Verlust der Wettbewerbsfähigkeit der Resultate.

In der aktuellen Situation ist die Holzbranche weit von diesem Ziel entfernt und jedes Holzbauunternehmen mit eigenem Konstruktionsbüro wird in Eigenregie und auf eigene Kosten kurzfristig die dringend benötigten Ergänzungen selbst kreieren müssen, wenn bis zur nächsten Neuauflage das Unternehmen in der Zwischenzeit nicht geschlossen werden soll in Ermangelung von wettbewerbsfähigen Lösungen für weitere Aufträge.

7 Kennzeichen für eine gute Holzbau-Software

Nachdem die Zeit der Handrechnung endgültig vorbei ist, ist man auf leistungsfähige Software mit ergänzender Funktionalität im Holzbau angewiesen. Generierungsmöglichkeit von Teilsystemen und Verbindungsmittelgruppen verkürzen aufwendige Eingabe erheblich, eine leistungsfähige Elementbibliothek mit Stab-, Platten- und Scheibenelementen, Interface-Elemente zur Berücksichtigung von Rissbildung infolge Querzugversagen trotz lokaler Verstärkungen durch dünne Vollgewindeschrauben (Zustand II wie im Massivbau!), einfache Skalierungsmöglichkeit zur Berücksichtigung von Feuchteänderungen und Langzeiteffekten und Interaktionsbedingungen für das Bruchversagen aller marktrelevanten Baustoffe analog zur Mises-Vergleichsspannung im Stahlbau würden die tägliche Arbeit eines Holzbaustatikers wesentlich erleichtern und wieder attraktiver gestalten. Solange allerdings die normativen Grundlagen in noch nicht ausgereiftem Zustand rechtzeitig zur Verfügung stehen, ist es nicht verwunderlich, dass Software-Hersteller sich mit der Implementierung holzbauspezifischer Programmergänzungen noch etwas Zeit lassen!

8 Aktuelle Beispiele

An Hand einiger Beispiele aus dem eigenen Erfahrungsbereich soll im Folgenden die Bedeutung von zuverlässiger wie effizienter Modellierung näher erläutert werden:

- Der Rahmenstab, bestehend aus Doppelstäben mit Verbindungshölzern (mechanisch verbunden oder verleimt) ist ein beliebtes Element im Holzbau. Die meisten Statikprogramme betrachten das tatsächlich schubweiche Gebilde jedoch als „schubstarren Einzelstab“ mit der Gefahr einer Überschätzung der daraus entstehenden Zwängungen und einer Unterschätzung der Stabilitätsgefährdung. Erst die Modellierung mit zwei tatsächlich getrennten Einzelstäben und unter Umständen sogar elastisch angeschlossenen Verbindungsstäben fördert dieses Missverhältnis von tatsächlichem Tragverhalten und üblicher baustatischer Umsetzung erst zu Tage!
- Flächige Aussteifungssysteme mit Holzwerkstoffplatten sind steifer und leistungsfähiger als üblicherweise verwendetes Trapezblech. Im Vergleich zur sogar normativ unterstützten Bemessung von Schubfeldern mittels Trapezblech sucht man derlei Angaben in der Holzbaunormung vergebens. In Ermangelung jeglicher Unterstützung von außen, persönlich entwickelte Schubkreuze zur Simulation von Aussteifungsscheiben erlauben es nunmehr, selbst mit nur einem Stabwerksprogramm aussagekräftige Einblicke in des Scheibentragverhalten ohne lästige Zwängungen und Interpretationsprobleme der Ergebnisse wie bei sonst beliebten Fachwerk-Modellen zu gewinnen.
- Architektonisch ansprechende Durchbruchsverstärkungen mit innenliegenden Stahlstangen (eingeklebt oder mechanisch verankert) werden bis heute in der Holzbaunorm einheitlich als Zustand I (=ungerissen!) betrachtet,

obwohl keinerlei Kompatibilitätsbedingungen zwischen Zugstangendehnung und Holzverformung senkrecht zur Faser eingefordert werden. Erst eine Scheibenbetrachtung mit künstlich mitmodellierten Rissen und bei Bedarf auch schräg eingebrachten Zugstangenverstärkungen (in der Norm noch nicht vorgesehen!) ermöglicht es, das Tragverhalten wesentlich zuverlässiger zu prognostizieren und von Zwängen der Normung einigermaßen gerechtfertigt abweichen zu können.

- Das Ersatzstabverfahren ist ein historisch gewachsenes Rechenverfahren zum Nachweis von Einzelstäben ohne Verbindungsmittel. Im Holzbau haben wir es jedoch meist mit Systemen aus unterschiedlichen Baustoffen, verbunden mit nachgiebigen Verbindungsmittel und unregelmäßigen Abmessungen zu tun. Dafür korrekte Knicklängen zu bestimmen ist in der Regel eine aufwendige bis unmögliche Angelegenheit ohne entsprechende Software. Ein realitätsnaher Verformungsnachweis kann mit diesem Rechenverfahren überhaupt nicht geführt werden! Einziger Ersatz für eine schlüssige und durchgängige Behandlung von stabilitätsgefährdeten Systemen ist und bleib die Theorie II Ordnung. Sie ist einheitlich anzuwenden für stabförmige (=Knicken) und flächige (=Kippen + Beulen) Systeme und wird bei den meisten, am Markt angebotenen Statikprogrammen ohnehin bereits gratis dazugeliefert. Eine sinnvolle Interaktionsformel von Kippen mit den Stabschnittgrößen nach Theorie II Ordnung (Kippeffekte sind in Stabmodell nicht automatisch enthalten!) ist aber noch in keiner Norm zu finden.

9 Lehren aus der Vergangenheit

Das fehlen adäquater Nachweiskonzepte inklusive Modellierung wurde in der Vergangenheit oftmals mit Geheimniskrämerei zugedeckt und als Fall für Experten abgestempelt. Patentanmeldungen sollten ebenfalls die technische Kompetenz und Reife neuerer Entwicklungen unterstreichen. Unvollständige Formulierungen von Normenpassagen haben in der Vergangenheit immer wieder dazu geführt, mit der Erstellung von Gutachten eine enge Kundenbindung der Praxis zu Forschungsinstituten aufzubauen, was sich aber auf die tägliche Umsetzung von Bauwerken oft lähmend ausgewirkt hat. Zahlreiche Fachliteratur mit Abdruck der Normeninhalte und extra darauf abgestimmten Beispielen – andere hätten zu viele neue Probleme aufgeworfen, für die der Verfasser sogar noch die Haftung zu übernehmen gehabt hätte - haben der Praxis letztendlich auch nicht wirklich weiter geholfen. Einzig die Sonderdrucke „Statik aktuell“ hatten annähernd institutionellen Charakter wie die Richtlinien des Deutschen Stahlbauverbandes, wenngleich der Verlag für Schäden auch nicht gerade gestanden wäre. Bisher haben zumindest viele Erkenntnisse von damals immer noch nicht den Weg in die Normung gefunden.

Gerechnet im Sinne einer strukturellen Analyse von Spannungszuständen zum besseren Verständnis der tatsächlichen Bruchursachen wurde in der Vergangenheit leider fast nie. Mit dem Ansatz linear elastischer Orthogonalität in Ermangelung eines leistungsfähigen Werkstoffgesetztes war auch kein Fortschritt zu erzwingen. Dies war auch der Grund, warum bis heute diese Praxis - im Gegensatz zu anderen Baustoffen wie Stahl oder Beton - im Holzbau nie richtig forciert wurde und die Entwicklung bis auf wenige punktuelle Vorstöße in den Kinderschuhen stecken geblieben ist.

10 Blick in die nähere Zukunft

Die Erfahrung zeigt, dass Baustoffe erst dann den Durchbruch am Markt geschafft haben, sobald ein leistungsfähiges Werkstoffgesetz für Simulationszwecke und Prognosen zur Verfügung gestanden ist. Deshalb ist es im Rahmen der Industrieinitiative „Roadmap 2010“ bereits vor ca. 2

Jahren gelungen, gegen den Widerstand vieler Experten die Erarbeitung eines allgemein gültigen Werkstoffgesetzes für den komplexen Baustoff Holz unter Berücksichtigung aller relevanten Einflussfaktoren in Gang zu bringen. Dieser längst fällige Schritt war notwendig, selbst auf die Gefahr, damit das „Lebenswerke angesehener Forschungsinstitutionen" in Frage zu stellen. Das Projekt läuft unter dem Namen MechWood an der TU-Wien am IMWS unter Einbindung Europäischer Forschungspartner. Holzartenspezifische elastische Kenngrößen, plastisches Tragverhalten, Einfluss von Feuchtigkeit, Kriechen unter Langzeitbelastung, Transportvorgänge und Wuchsunregelmäßigkeiten wie Äste oder Schrägfasrigkeit werden systematisch auf verschiedenen Ebenen (Nano bis Makro) untersucht und in Bewertungs- wie Simulationsmodelle zusammengefasst. Das Projekt ist für drei Jahre anberaumt, nach denen die ersten Ergebnisse bereits für Simulationsrechnungen im Rahmen der Neufassung des EC 5 anzuwenden sein werden.

11 Fazit: Checkliste für künftige Normenentwicklungen

Nachdem sich der Statiker als k.o-Kriterium in der Entscheidungskette für den Baustoff Holz herauskristallisiert hat, kommt bei der Neufassung seiner normativen Infrastruktur (=Produktnormen wie Bemessungsnormen) eine besondere Bedeutung zu. Folgende Inhalte müssen unbedingt berücksichtigt werden:

- Der Grundfokus der Normung muss auf Wettbewerbsfähigkeit und Vielfalt in der Anwendung ausgerichtet sein. Neue Erkenntnisse aus Forschung und Praxis müssen laufend eingearbeitet werden, um den Anwender (= Entscheidungsträger für den Werkstoff) bestmöglich zu unterstützen. Nur eine permanente Weiterentwicklung der normativen Infrastruktur gewährleistet eine kontinuierliche Markterweiterung, wie bereits am Markt etablierten Baustoffe bewiesen haben!
- Eine enge Zusammenarbeit bzw. Zusammenschau der Normengremien für Produkte und Bemessung ist organisatorisch sicherzustellen, wobei Personalunion anzustreben wäre, um Informationsverluste oder Missverständnisse zu minimieren!
- Materialkennwerte dürfen nicht durch „konstruktive Zusatzaspekte" verfälscht werden, da darunter das Grundverständnis für den Werkstoff leidet und die allgemeine Anwendbarkeit in Frage gestellt wird. Schlampiges Konstruieren ist mit klaren Vorgaben für die Modellbildung zu unterbinden.
- Hinweise zu effizienter und handhabbarer Modellbildung unter Berücksichtigung der Möglichkeiten moderner Software müssen Kernbestandteil der neuen Dokumente werden. Die Anwendungsgrenzen müssen angegeben bzw. deutlich erkennbar sein.
- Transparenz der Modelbildung hinsichtlich getroffener Annahmen, inkludierter wie vernachlässigter Effekte ist unabdingbare Voraussetzung für einen erneuten Vertrauensaufbau sowohl bei „Überläufer" wie „alten Hasen".
- Die angebotenen Nachweisketten müssen vollständig sein und für die gesamte gängige Produktpalette (Kantholz, Brettschichtholz, Brettsperrholz, Furnierschichtholz, Sperrholz, OSB) gelten.
- Die zu Grunde gelegten Theorien und Modellbildungen dürfen sich nicht am allgemeinen Wunsch nach „Einfachheit" richten, da auch komplexe Zusammenhänge softwareunterstützt sehr wohl wieder einfach in der Handhabung gemacht werden können. Vielmehr muss der Anspruch nach Wettbewerbsfähigkeit und Effizienz der Lösungen im Vordergrund stehen, wenn künftig Holz als flächendeckender Alternativbaustoff zum Einsatz kommen soll.

  Die Romantik der Handrechnung darf nicht verwechselt werden mit dem grundsätzlichen Bedarf an mechanischem Grundverständnis

zur Durchführung von Plausibilitäts- bzw. Ergebniskontrollen. Auch Erfahrung ist kein Ersatz für statische Nachweisführungen, maximal eine Beschleunigung!

- Die bestehenden Normen sind zu entrümpeln und einengende Rezepte für spezielle Anwendungen zu entsorgen.
- Die wahren mechanischen Sachverhalte müssen sich in den Formulierungen der Gleichungen widerspiegeln im Gegensatz zur bisher beliebten Praxis der anonymen Regressionsbeziehungen.
- Basiswerkstoffkenngrößen inklusive Aspekte der Plastizität und Ergänzungen für lokale Anwendungen wie Verbindungsmittel müssen entweder vollständig in den entsprechenden Produktnormen oder im Anhang zur Bemessungsnorm enthalten sein.
- Unsicherheiten der Vergangenheit sind umgehend zu korrigieren, schlummernde Reserven aufzuzeigen und verfügbar gemacht werden.
- Als Anwendergruppe sind Ingenieure mit FH- bzw. Universitätsabschluss ins Auge zu fassen.
- Begleitend zur Bemessungsnorm ist eine Norm für die Qualität der Ausführung zu verfassen, damit die im Rahmen der Modellierung getroffenen Annahmen auch auf der Baustelle wiederzufinden sind. In Abhängigkeit der Komplexität der jeweiligen Bauvorhaben sind im Rahmend der Ausschreibung Qualitätsklassen für potentielle ausführende Holzbauunternehmen und Zimmereien anzugeben, damit neben der optischen auch eine begleitende statische Qualitätskontrolle durch firmeneigenes Personal sichergestellt werden kann!

15.2 Bemessung
Erdbebenbemessung im Holzbau

Helmut Zeitter

1 Einleitung

Der Eindruck, es sei ein vermeintlich geringes Risiko, in Deutschland von einem schweren Erdbeben betroffen zu sein, entsteht in seiner Wahrnehmung aus mangelnder Erfahrung und den immer kürzeren "Halbwertzeiten" medialer Berichterstattung. Fragt man die Menschen, die 1978 das Albstadt-Erdbeben selbst erlebt haben, wie sie die Auswirkungen des Erdbebens in heutiger Zeit einschätzen würden, fällt deren Urteil schon deutlich pessimistischer aus. Und wenn dann erst ein Bemessungserdbeben in der Stärke auftreten wird (denn es ist keine Frage "Ob?" sondern nur eine Frage "Wann?"), die der Norm zugrunde liegt, wird sich auch die Argumentation aus verschiedenen Wirtschaftskreisen "Wo sind die problematischen Erfahrungen, die konstruktive und bautechnische Konsequenzen rechtfertigen?" erledigt haben.

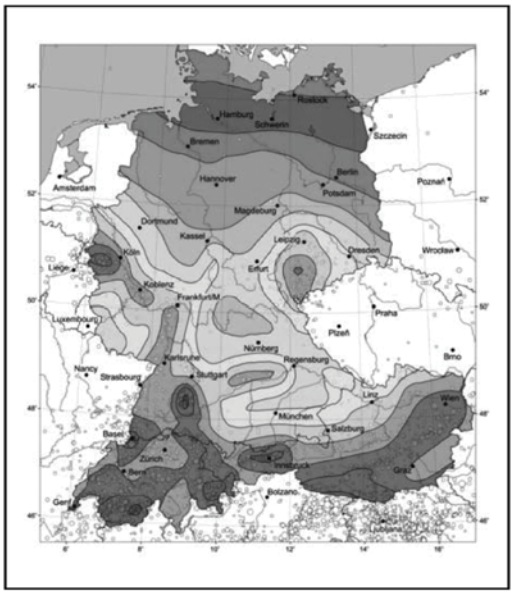


Abb. 1: Erdbebengefährdung in Deutschland, Österreich und der Schweiz

Diese statistische Blauäugigkeit täuscht über die Tatsache hinweg, dass Erdbeben auch hierzulande enorme Schäden z.B. an hochtechnisierten Gebäuden und Anlagen verursachen können. Die Betrachtung eines im Vergleich mit den großen Beben der Welt für die deutschen Erdbebengebiete schwachen, aber typischen Bebens ist daher selbstverständlicher Bestandteil einer Bauplanung. Der Versuch, Erdbebengebiete aufzuzählen wird von der Frage erschwert, nach welchem Kriterium zu sortieren ist. Intensität (schadensorientierte Skalierung), Magnitude (energieorientierte Skalierung), Häufigkeit der bisherigen Beben oder gar die Zahl der dabei ums Leben gekommenen Menschen? Jedenfalls stellt ein Erdbeben eine Gesellschaft vor Schwierigkeiten für den Wiederaufbau oder die Bewältigung unmittelbarer wirtschaftlicher Folgen aus der Zerstörung volkswirtschaftlicher Substanz.

2 DIN 4149:2005

Dazu ist im April 2005 die neue Erdbebennorm DIN 4149 im Weißdruck erschienen und inzwischen in allen betroffenen Bundesländern bauaufsichtlich eingeführt. Die Entwicklung der Normung im Erdbebeningenieurwesen ist jedoch jung (Tab. 1).

Neben der Anpassung an den Stand der Wissenschaft und Technik wurden Entwicklungen eingearbeitet, die sich auch in anderen Normen wiederfinden. So wird beispielsweise das durchschnittlich geringere Gebäudegewicht berücksichtigt. Der Umfang der Norm ist zwar erheblich gestiegen (von 14 Seiten der Fassung 1981 auf 84 Seiten der Fassung 2005), beantwortet jedoch auch weitgehend die bisher offenen Fragen.

Wichtigster Unterschied sind die auf probabilistischer Basis erstellten, neuen Erdbebenzonenkarten. Wie bisher sind Nordrhein-Westfalen und Baden-Württemberg am stärksten betroffen. Die Zuordnung einzelner Gemeinden zu den Zonen

Abb. 2: Erdbebenzonen

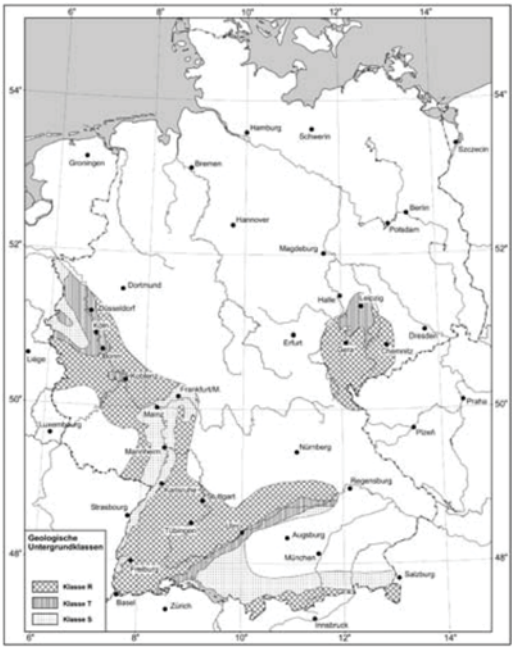


Abb. 3: Geologische Untergrundklassen

führt lokal sowohl zu Verschärfungen als auch zu Erleichterungen. Neu ist die Berücksichtigung des unmittelbar am Bauprojekt vorliegenden Baugrundes zur Ermittlung der bemessungsrelevanten Beanspruchungen, so dass es neben der auf 3 Zonen reduzierten Erdbebenzonenkarte eine Untergrundkarte gibt.

Tab. 1: Entwicklung der Normung im deutschen Erdbebeningenieurwesen

Jahr	Technische Regel	Seiten	Zonen
1957	DIN 4149:1957-07 "Bauten in deutschen Erdbebengebieten - Richtlinien für Bemessung und Ausführung"	6	2
1971	Vorläufige Richtlinien für das Bauen in Erdbebengebieten des Landes Baden-Württemberg	6	4
1981	DIN 4149-1:1981-04 "Bauten in deutschen Erdbebengebieten - Lastannahmen, Bemessung und Ausführung üblicher Hochbauten"	10+4	4
1992	Änderung A1 - Karte der Erdbebenzonen	1	4
2005	DIN 4149:2005-04 "Bauten in deutschen Erdbebengebieten - Lastannahmen, Bemessung und Ausführung üblicher Hochbauten	84	3
200x	EN 1998-1:2004: "Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben – Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten"	211	3
200x	EN 1998-3:2005: "Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben — Teil 3: Beurteilung und Ertüchtigung von Gebäuden"	85	-

Die in der DIN enthaltenen Übersichtskarten sind für eine gemeindescharfe Zuordnung nicht geeignet. Die letztendliche Entscheidung über die öffentlich-rechtliche Zuordnung der Erdbebenzonen und geologischen Untergrundklassen zu Verwaltungsgrenzen liegt in der Zuständigkeit der Obersten Bauaufsicht der Länder. Für Baden-Württemberg wurde eine entsprechende Karte bereits veröffentlicht.

Das Sicherheitskonzept der Erdbebennorm reiht sich dabei in die neue Generation der Berechnungs- und Bemessungsnormen auf der Basis der Teilsicherheitsbeiwert-Methode ein. Damit wurde der entscheidende Schritt auf dem Weg zu den europäischen Normen beschritten. In Verbindung mit der neuen DIN 1052:2004 im Holzbau kann so zunächst unmittelbar gearbeitet werden. Die prinzipiell positiven Eigenschaften von Holzkonstruktionen unter Erdbebeneinfluss werden allerdings aus dem für den Holzbau relevanten Kapitel 10 „Besondere Regeln für Holzbauten“ nicht direkt ersichtlich.

Bei kleineren Beben sollen Schäden vollständig ausbleiben, bei mittleren Beben sollten sie einfach zu beheben sein. Hier können Holzbauten auftrumpfen, da sie i.d.R. leichter zu reparieren sind. Bei starken Beben müssen die aus dem Untergrund kommenden, vornehmlich horizontalen Verformungen vom Bauwerk aufgenommen werden, ohne die Standsicherheit zu gefährden.

Wie in der alten Norm wird auch in der neuen DIN 4149:2005 eine Differenzierung nach der „Wichtigkeit“ der Gebäudenutzung unterschieden. Die ursprünglichen Gebäudeklassen wurden durch Bedeutungskategorien ersetzt.

Die Beanspruchung ergibt sich aus der Bodenbeschleunigung, die zu den zu errechnenden Inertiallasten führt. Es kann davon ausgegangen werden, dass die mit den Windlasten zu vergleichenden Lasten aus der Erdbeben-Einwirkung häufiger maßgebend werden, da diese Kräfte gegenüber der alten Normengeneration größer geworden sind.

Tab. 2: Bedeutungskategorien für Gebäudenutzung

Bedeutungskategorie	Bauwerke	Bedeutungsbeiwert γ_I
I	Bauwerke von geringer Bedeutung für die öffentliche Sicherheit, z. B. landwirtschaftliche Bauten usw.	0,8
II	Gewöhnliche Bauten, die nicht zu den anderen Kategorien gehören, z. B. Wohngebäude	1,0
III	Bauwerke, deren Widerstandsfähigkeit gegen Erdbeben im Hinblick auf die mit einem Einsturz verbundenen Folgen wichtig ist, z. B. große Wohnanlagen, Verwaltungsgebäude, Schulen, Versammlungshallen, kulturelle Einrichtungen, Kaufhäuser usw.	1,2
IV	Bauwerke, deren Unversehrtheit im Erdbebenfall von Bedeutung für den Schutz der Allgemeinheit ist, z. B. Krankenhäuser, wichtige Einrichtungen des Katastrophenschutzes und der Sicherheitskräfte, Feuerwehrhäuser usw.	1,4

Tab. 3: Zuordnung der Intensitätsintervalle und Bodenbeschleunigungen zu den Erdbebenzonen

Erdbebenzone	Intensitätsintervalle	Bemessungswert der Bodenbeschleunigung a_g m/s²
0	$6 \le I < 6{,}5$	–
1	$6{,}5 \le I < 7$	0,4
2	$7 \le I < 7{,}5$	0,6
3	$7{,}5 \le I$	0,8

Das Verhalten unter dynamischer Anregung lässt sich mechanisch abbilden.

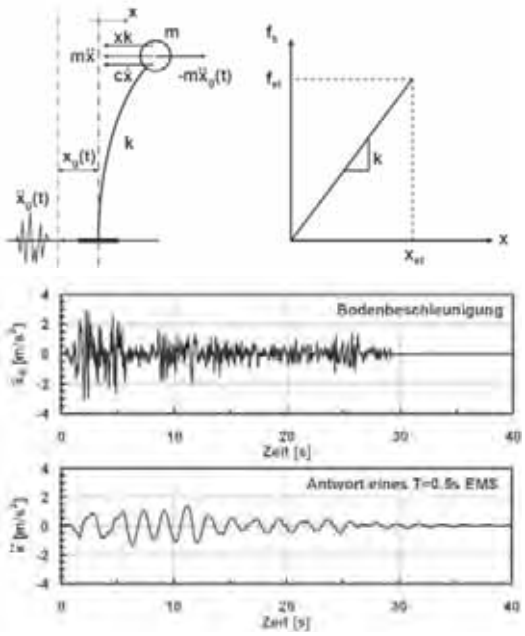


Abb. 4: Elastischer Einmassenschwinger [Quelle: A.Dazio]

Für verschiedene Systeme (Masse, Kragarmlänge) ergibt sich nach Beaufschlagung mit unterschiedlichen Erdbebenzeitverläufen jeweils ein anderes Verhalten („Antwort“).

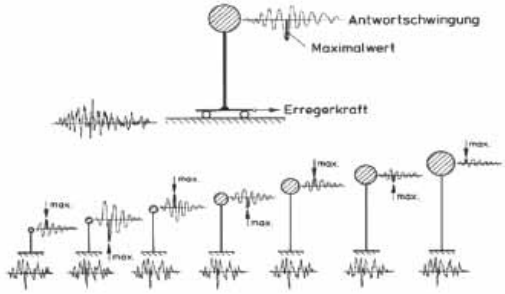
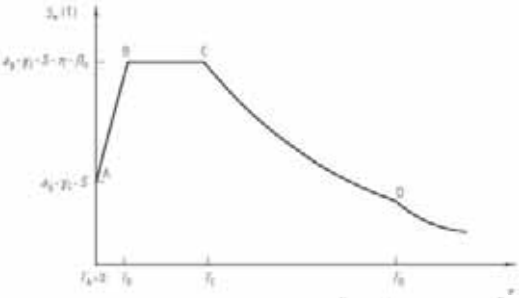


Abb. 5: Erregung verschiedener Einmassenschwinger

Das elastische Antwortspektrum ist die Zusammenfassung dieser Reaktionen und wird in der Norm folgendermaßen beschrieben:



$$T_A \le T \le T_B: \quad S_e(T) = a_g \cdot \gamma_I \cdot S \cdot \left[1 + \frac{T}{T_B} \cdot (\eta \cdot \beta_0 - 1)\right]$$

$$T_B \le T \le T_C: \quad S_e(T) = a_g \cdot \gamma_I \cdot S \cdot \eta \cdot \beta_0$$

$$T_C \le T \le T_D: \quad S_e(T) = a_g \cdot \gamma_I \cdot S \cdot \eta \cdot \beta_0 \cdot \frac{T_C}{T}$$

$$T_D \le T: \quad S_e(T) = a_g \cdot \gamma_I \cdot S \cdot \eta \cdot \beta_0 \cdot \frac{T_C T_D}{T^2}$$

Abb. 6: Allgemeines, elastisches Antwortspektrum nach DIN 4149: 2005

Die bodenmechanischen Randbedingungen gehen mit den unterschiedlichen Baugrundklassen und geologischen Untergrundklassen ein.

Tab. 4: Werte der Parameter zur Beschreibung des elastischen horizontalen Antwortspektrums

Untergrundverhältnisse	S	T_B s	T_C s	T_D s
A-R	1,00	0,05	0,20	2,0
B-R	1,25	0,05	0,25	2,0
C-R	1,50	0,05	0,30	2,0
B-T	1,00	0,1	0,30	2,0
C-T	1,25	0,1	0,40	2,0
C-S	0,75	0,1	0,50	2,0

Untergrundklassen:

R felsartiger Gesteinsuntergrund

T Übergangsbereiche zwischen R und S sowie flachgründige Sedimentbecken

S tiefe Beckenstrukturen mit mächtiger Sedimentfüllung

Baugrundklassen:

A Unverwitterte (bergfrische) Festgesteine mit hoher Festigkeit.

B Mäßige Festgesteine, grob- und gemischtkörnige Lockergesteine mit hoher Reibung

C Stark verwitterte Festgesteine, fein- und gemischtkörnige auch bindige Lockergesteine

Um eine Struktur nicht völlig unwirtschaftlich auf ein elastisches Verhalten auslegen zu müssen, darf das dissipative, auf plastischen Verformungen beruhende Verhalten berücksichtigt werden.

Dazu wird der sogenannte Verhaltensfaktor eingeführt, mit dessen Hilfe eine elastische Berechnung des Tragwerks möglich bleibt. Ansonsten müsste in aufwendigen Berechnungsschleifen das nicht-lineare Verhalten bei der Schnittgrößenermittlung kalkuliert werden.

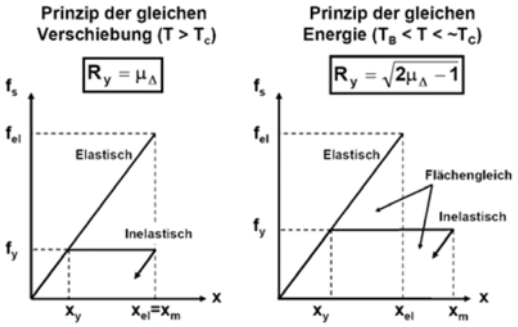


Abb. 7: Ansätze zur Berücksichtigung des plastischen Verhaltens [Quelle: A. Dazio]

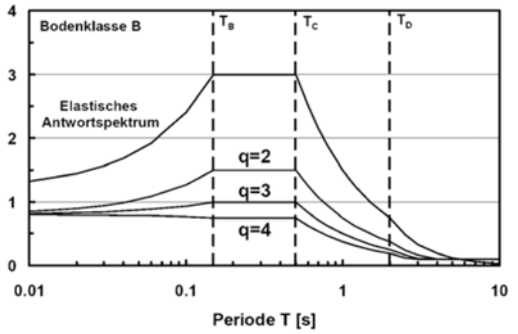


Abb. 8: Reduktion der Antwortspektren durch den Verhaltensfaktor q [Quelle: A. Dazio]

Es liegt in der Verantwortung und Erfahrung des Tragwerksplaners, die Einordnung einer Struktur in die höheren Duktilitätsklassen zu rechtfertigen. Damit werden die für die Energiedissipation erforderlichen Mechanismen zu einem wesentlichen Bestandteil der Zähigkeit einer Konstruktion. Die Dissipation kann mit der Knautschzone bei Fahrzeugen verglichen werden. Es gilt, die eingetragene Energie nicht nur über die Bewegung sondern auch über plastische Vorgänge zu vernichten („dissipieren").

Geschieht dies, dürfen mit dem sogenannten Verhaltensbeiwert q die für die Berechnungen anzusetzenden Ersatzlasten reduziert werden. Die ausführlichen normativen Vorgaben im Mauerwerks-, Stahlbeton- und Stahlbau wurden spezifisch auf die Werkstoffe abgestimmt. In der Kürze

der Vorgaben für den Holzbau liegt eine wichtige Chance. Es ist Aufgabe des Ingenieurs auch für Holzbauten das adäquate Sicherheitsniveau durch geeignete Berechnungsansätze und vor allem konstruktive Vorgaben sicherzustellen, damit die – auch bei den Bauherren – offensichtlichen Qualitäten des Holzbaus genutzt werden können.

Die Norm gibt für die Baustoffe weitaus präzisere Angaben zu den Regeln in den verschiedenen Bauweisen an. Bei Einhaltung der rechnerischen und baukonstruktiven Vorgaben können dann folgende Verhaltensbeiwerte genutzt werden:

Tab. 5: Verhaltensbeiwerte der Bauweisen

Bauart	**Duktilität**	**Verhaltensbeiwert**
Stahlbeton	Duktilitätsklasse 1	q = 1,5
	Duktilitätsklasse 2	q = 1,7 bis 3,0
Stahl	Duktilitätsklasse 1	q = 1,5
	Duktilitätsklasse 2	1,5 < q ≤ 4,0
	Duktilitätsklasse 3	4,0 < q ≤ 8,0
Holz	Duktilitätsklasse 1	q = 1,5
	Duktilitätsklasse 2	q = 2,5
	Duktilitätsklasse 3	q = 4,0
Mauerwerk	unbewehrtes Mauerwerk	q = 1,5
	eingefasstes Mauerwerk	q = 2,0
	bewehrtes Mauerwerk	q = 2,5

3 Die Regeln für den Holzbau

Auch wenn die der Norm zugrunde liegende Massenkonzentration in den Decken fraglich ist, kann mit den Verfahren aus der Norm gut gerechnet werden. Im Allgemeinen wird ein Holzhaus auch als elastisch gerechnetes System den Nachweis auch in den höheren Erdbebenzonen ohne zusätzliche Maßnahmen erfüllen können.

Die drei Duktilitätsklassen werden in der Norm beispielhaft mit typischen Baukonstruktionen belegt. Eindeutige Kriterien zur Zuordnung fehlen jedoch.

In Duktilitätsklasse 1 werden zunächst alle Holzbauten eingestuft, für die keine weiteren Auflagen zu erfüllen sind. Der angegebene Wert von 1,5 für q entspricht zwar nicht einem elastischen Verhalten (theoretisch wäre dieser 1,0), jedoch sind alle Spektren darauf ausgelegt, dass eine gewisse Dissipation immer stattfindet.

Diese wird jedoch nicht separat berechnet, so dass auch keine Duktilitätsanforderungen an das Tragwerk gestellt werden. Zu dieser Klasse werden auch 3-Gelenkbögen, 3-Gelenkrahmen mit Keilzinkenvollstößen und Stützen-Binder-Tragwerke mit starr eingespannten Stützenfüßen als Beispiel aufgeführt. Wird das Tragwerk im Großteil der wichtigsten Bauteile mit Nagel- oder Schraubpressleimung hergestellt, ist das spröde Verhalten dieser Verbindung ebenfalls maßgebend für die Gesamtstruktur.

Die Duktilitätsklasse 2 hat wenige, aber leistungsfähige dissipative Bereiche. Als Beispiel werden Stützen-Binder-Tragwerke mit halbstarr eingespannten Stützenfüßen sowie 2- und 3-Gelenkrahmen mit Dübelverbindungen in den Rahmenecken aufgeführt. Übliche Holztafelbauten mit geklebten Beplankungen für Wand- und Deckenscheiben sind aufgrund der großen Redundanzen hier einsortiert. Diese Duktilitätsklasse ist aber mit Sicherheit diejenige, bei der eine Berücksichtigung bei der Bemessung bereits große Wirkung entfaltet, aber die Kriterien zur zuverlässigen Einstufung am dünnsten sind.

Duktilitätsklasse 3 schließlich spiegelt mit vielen dissipativen Bereichen das sehr gute Verhalten der Holzkonstruktionen in der Praxis wieder. Rahmentragwerke mit Dübelverbindungen zwischen allen Bauteilen und die im Holzrahmenbau übliche Vernagelung oder Verklammerung stellen ein sehr gutmütiges Verhalten sicher. Bei Einstufung in diese Kategorie sollte aber unbedingt eine sehr sorgfältige Betrachtung des Entwurfs er-

folgen. Nur weil Holzrahmenbauwände und Holzbalkendecken ein hervorragendes Verhalten aufweisen, können damit Unzulänglichkeiten im Entwurf (Regelmäßigkeit in Aufriss und Grundriss) kaum kompensiert werden.

Die vereinfachte Reduktion der Verhaltensfaktoren um 20% bei unregelmäßigen Bauwerken ist hier nur bedingt tauglich, um die notwendige Robustheit im realen Verhalten sicherzustellen.

Da die Beplankung der Holzkonstruktion die gängigste und wichtigste Aussteifung darstellt, regelt die Norm (auf ungenügender Datenbasis) die Anforderungen an die wichtigsten Plattenwerkstoffe:

- Mindestdicke 12 mm für Spanplatten, OSB Platten (mindestens Plattentyp OSB/3), kunstharzgebundene Holzspanplatten und zementgebundene Holzspanplatten
- Mindestdicke 9 mm für Baufurniersperrholzplatten (mindestens 5-lagig)

Holzfaserplatten und Plattenwerkstoffe auf Gipsbasis dürfen nur einen Anteil ≤ 10 % an der Ableitung der Scheibenkräfte haben und nur in Kombination mit uneingeschränkt anwendbaren Beplankungsmaterialien eingesetzt werden

Inzwischen wurde jedoch durch Untersuchungen an Prüfinstituten nachgewiesen, dass für einige zugelassene Gipsfaserplatten ebenfalls die notwendigen dissipativen Eigenschaften vorliegen. Die Anwendung ist in Deutschland somit technisch vertretbar, aber mit der Bauaufsicht abzustimmen.

Die Eignung von Mehrschichtplatten und deren Verbindungsmitteln erfolgt auf separater Nachweisbasis. Hier ist der Ingenieur aufgefordert, im Rahmen der eigenen Kenntnisse und Verantwortung einen soliden Nachweis vorzulegen.

Weitere, durchaus normativ konzipierte Angaben, werden in Zukunft Gegenstand der normenbegleitenden Veröffentlichungen sein.

4 Ausblick

In Baden-Württemberg sind im Einführungserlass neben den bautechnisch betreffenden Regelungen auch Verfahrensfragen in Erdbebengebieten abweichend geregelt. Die Freistellung von der bautechnischen Prüfung wird in den höheren Erdbebenzonen Baden-Württembergs nach

§18 (1) LBOVVO eingeschränkt. Wegen der erhöhten Erdbebengefahr muss die bautechnische Prüfung auch bei solchen baulichen Anlagen durchgeführt werden, die ansonsten davon ausgenommen sind.

Für die in Deutschland zu erwartenden Erdbebenintensitäten sind die Schädigungen im Allgemeinen gering, wegen der Vielzahl der betroffenen Objekte sind die zu erwartenden Gesamtschäden aber erheblich. Eine Wiederholung des Bebens von 1978 bei Albstadt würde heute bereits Kosten von ca. 500 Mio. € verursachen. Bei einem Beben z.B. der Magnitude 6,4 mit Epizentrum nahe Köln könnten die versicherten Schäden nach Angaben der Münchener Rückversicherung die Größenordnung von 20 bis 30 Mrd. € erreichen.

Vor gut 650 Jahren (am Abend des 18. Oktober 1356) bebte in Basel die Erde. Würde dieses Erdbeben heute stattfinden, könnte Basel von der Landkarte verschwinden. Die Region Basel mit ihren Chemiekonzernen zählt weltweit zu den Gebieten mit dem größten Erdbeben-Risiko (versicherte Schäden nach Angaben der Swiss Re: 50 Mrd. SFR). Was in Basel als mittelalterliche Reminiszenz die Geschichtsbücher füllt, ist das stärkste Erdbeben nördlich der Alpen seit Menschengedenken und auch heute latente Gefahr:

Laut Dieter Mayer-Rosa, Chef des Schweizerischen Erdbebendienstes an der ETH Zürich, entspricht das Beben einer Stärke, die „maximal im Verlauf von etwa 800 Jahren auftritt". Statistisch sind es demnach noch 150 Jahre bis zum nächsten Beben. Zwar stuft der Seismologe die Wahrscheinlichkeit eines starken Erdbebens in der Region Basel global „eher im mittleren Bereich" ein, ganz anders aber beurteilt er das Risikopotential: „Da zählt Basel weltweit zu den zehn Städten mit dem höchsten Risiko. Man wird hier Basel und San Francisco in einem Atemzug nennen können.

Als Ingenieure können mit Hilfe der neuen DIN 4149 die erforderlichen Nachweise geführt werden. Die in der Norm genannten Regeln sind prinzipiell Gegenstand einer soliden Ausbildung. Dabei sind insbesondere entwerfende Architekten aufgefordert, die Grundlagen zu beachten. Ein entsprechend den Bauherren „verkaufter" Entwurf kann vom tragwerksplanenden Ingenieur nur noch begrenzt verbessert werden.

Die dafür erforderlichen Nachweise sind keine Grundleistungen nach HOAI. Auch in den Starkbebengebieten Deutschlands kann nicht davon ausgegangen werden, dass die Leistungen im Grundhonorar enthalten sind. Dass in diesen Regionen die entsprechende Beratung und Planung selbstverständlich sein sollte, ist von den Ingenieuren auch nach außen zu tragen. Der AHO (Ausschuss für die Honorarordnung) hat bereits 1996 im Heft 3 (Besondere Leistungen der Tragwerksplanung) folgende Bewertung vorgeschlagen:

Dabei ist zu beachten, dass die „Bauwerksklassen" der alten Norm nicht unmittelbar mit den „Bedeutungskategorien" in Tab. 3 der DIN 4149: 2005 vergleichbar sind. Die in der Tab. 6 genannten %-Sätze vom Grundhonorar sind individuell zu vereinbaren. Die Anwendung der neuen Norm rechtfertigt die oberen Werte der angegebenen Spannen, da auch nach der Gewöhnungzeit Verantwortung und Aufwand höher einzustufen ist als nach der alten Erdbebennorm. Entsprechende Passagen sollten in jedem Ingenieurvertrag enthalten sein.

Für den Holzbau hat die neue Norm zwar nur wenig Antworten auf die Berechnungsfragen parat, bietet dadurch allerdings die Möglichkeit, mit ingenieurtechnisch sinnvollen und nachvollziehbaren Nachweisen das hervorragende Potential der Holzkonstruktionen zu belegen. Die dabei gewonnenen Erfahrungen sollten mittelfristig auch in den Normen und den begleitenden Grundlagen zu den anerkannten Regeln der Technik Niederschlag finden. Die kommende europäische Normung wird dabei auf aktuellem Stand weder vereinfachend noch erschwerend wirken. Da die neue DIN 4149 jedoch so eng an dem entsprechenden europäischen Regelwerk (DIN EN 1998 – Eurocode 8) orientiert ist, steckt für die zahlreichen europäischen Erdbebengebiete (Griechenland, Italien, Türkei etc.) eine gute Export-Option in der zügigen Umsetzung der hinter der Norm stehenden Aspekte.

Tab. 6: Honorierung der Tragwerksplanungsleistungen zum Erdbebennachweise

Bauwerksklasse nach DIN 4149-alt	Leistungsphase 2 - 4	Leistungsphase 5	Gesamt
1	3 - 5 %	2 - 4 %	5 - 9 %
2 oder 3 - vereinfachter Nachweis	6 - 9 %	2 - 4 %	8 - 13 %
2 oder 3 - genauer Nachweis	10 - 15 %	2 - 4 %	12 - 19 %

Der aktuelle Normentext des Eurocode 8 (DIN EN 1998) weicht von der DIN 4149 nicht nur für das Holzbau-Kapitel ab. Die Diskrepanzen aus den Dissipationsklassen, anwendbaren Werkstoffen und den übrigen Randbedingungen werden aktuell im Rahmen der Erarbeitung der Nationalen Anhänge zum Eurocode so weit wie möglich ausgeräumt.

Vom geringen Umfang der normativen Angaben zum Holzbau in DIN 4149:2005 darf nicht auf eine mindere Relevanz der planerischen Notwendigkeiten geschlossen werden. Eher sollte daraus ein Arbeitsauftrag für die kommenden Normen aus Europa (DIN EN 1998) abgeleitet werden.

Der wachsende Anteil an Holzgebäuden rechtfertigt allemal die Erarbeitung entsprechender Kriterien. Da es sich bei der Erdbebenbeanspruchung um eine statistisch konstante Gefährdung handelt, erwächst aus den konstruktiven Eigenschaften des Holzbaus auch ein kalkulierbarer Vorteil, wenn die Robustheit des Tragwerks von Anfang an geplant und in der Ausführung kontrolliert wird.

Die vorgesehenen Entwicklungsfelder des Holzbaus bei mehrgeschossigen Bauwerken und im industriellen Hallenbau sowie bei wichtigen öffentlichen Bauten erfordern ausnahmslos, dass auf die Erdbebensicherheit ein besonderes Augenmerk gerichtet wird, damit hier kein Wettbewerbsnachteil aus mangelnder Beweiskraft entsteht.

aus: Tagungsband Fachtagung Holzbau, Leinfelden-Echterdingen, 2007

15.2 Bemessung
Mit Schrauben bewehrtes Holz

Martin Trautz, Christoph Koj

1 Grundlagen und Motivation

Der Begriff des ‚Mit Schrauben bewehrten Holzes' (MSBH) beinhaltet ein Konstruktionsprinzip zum Einsatz von selbstbohrenden Vollgewindeschrauben und Gewindestangen großer Baulänge als Bewehrungselemente zur Verstärkung und Versteifung sowie zur Fügung von Bauteilen aus Holz.

Am Lehrstuhl für Tragkonstruktionen der RWTH Aachen wurde im Rahmen von zwei Forschungsprojekten die Anwendung dieses Prinzips für verschiedene Bauteilverstärkungen und Bauteilfügungen untersucht und Ansätze zur Konfiguration und Dimensionierung der Bewehrungsschrauben entwickelt. Den Ansatz für ein Prinzip zur gezielten Bewehrung mittels Vollgewindeschrauben liefert die besondere Struktur des natürlichen Baustoffs Holz:
Holz weist schon als natürliches Konstruktionsmaterial eine hohe Effizienz auf. Durch seine Zellenstruktur bedingt, ist sein Eigengewicht relativ gering, die das Gefüge durchlaufenden Fasern hingegen gewähren in dieser Richtung, der dominierenden Wuchsrichtung, eine sehr hohe Festigkeit.

Dieser strukturelle Aufbau bedingt eine Anisotropie, die sowohl eine reduzierte Festigkeit als auch Steifigkeit rechtwinklig zur Faserrichtung mit sich bringt, die beide um ein Vielfaches unter den Werten parallel zur Holzfaser liegen. Die Leistungsfähigkeit von Holzbauteilen lässt sich durch gezielte Bewehrung dieser ‚schwachen' Tragrichtungen mittels Schrauben sowohl lokal als auch global deutlich steigern.

Ein weiteres wichtiges Merkmal des Holzes ist die starke Inhomogenität, die die für Holz typische große Schwankungsbreite der Steifigkeits- und Festigkeitskennwerte verursacht. Die Inhomogenität manifestiert sich besonders in wuchsbedingten Fehlstellen, wie Ästen und Harzgallen, und in Rissen aus Trocknungs- und Schwindvorgängen. Auch wenn die gezielte Sortierung bei der Weiterverarbeitung zu BSH, KVH und ähnlichen ‚veredelten' Holzbauprodukten zu einer deutlichen Homogenisierung führt, haben die verbleibenden natürlichen und neuen, künstlichen Fehlstellen (Keilzinkenstöße) einen noch immer bedeutenden Einfluss auf das Tragverhalten der Bauteile. Die Anordnung einer geeigneten Bewehrung im Bauteilinneren kann hier eine ‚Kanalisierung' des inneren Kraftflusses bewirken, wodurch sich der Einfluss lokaler Materialdefekte reduziert und sich unkalkulierbare Versagenseinflüsse deutlich vermindern.

Gegenüber fehlerfreien Kleinproben verringern die Fehlstellen bei Tragelementen mit baupraktischen Abmessungen besonders die Zug- und Biegezugfestigkeit, während die Drucktragfähigkeit

Tab. 1: Charakteristische Festigkeiten von Brettschichtholz GL24h und Baustahl S235 im Vergleich

Festigkeit / Streckgrenze [N/mm²]	GL 24h (BS 11)	Verhältnis Holz$_{\parallel}$ / Holz$_{\perp}$	S 235	Verhältnis Stahl / Holz
Biegung	24		240	10
Zug parallel/senkrecht	16,5 / 0,5	33	240	86 / 500
Druck parallel/senkrecht	24 / 2,7	8,9	240	10 / 90
Schub	2,5		138,6	56

kaum beeinträchtigt wird. Daher ist auch eine zusätzliche Bewehrung der Biegezugzone von Trägern eine logische Konsequenz aus dem Prinzip der gezielten Verstärkung von Holzbauteilen.

Für den Einsatz als Bewehrung sind Verstärkungselemente erforderlich, die einen möglichst ungeschwächten Verbund mit der Holzmatrix eingehen und somit vergleichbar der Bewehrung im Stahlbetonbau wirken. Außerdem ist eine hohe Festigkeit und Längssteifigkeit erforderlich, damit die Querschnitte der Bewehrungselemente und somit die Schädigung des Holzgefüges klein bleiben.

Moderne selbstbohrende Vollgewindeschrauben erfüllen die genannten Anforderungen und lassen sich darüber hinaus auch schnell und einfach verarbeiten.

Die Verbundfestigkeit liegt aufgrund des hohen Gewindeanteils bezogen auf den Nenndurchmesser höher als bei konventionellen Holzschrauben. Die Vollgewindeschrauben zeichnen sich durch hohe Zugfestigkeiten im Bereich von 800 bis 1000 N/mm² aus und sind je nach Hersteller in verschiedenen Durchmessern und Längen bis 800 mm erhältlich. Für noch größere Anwendungslängen stehen Gewindestangen bis 2,20 m Länge mit konventionellem Holzschraubengewinde nach DIN 7998 zur Verfügung, die jedoch vorgebohrt werden müssen.

Abb. 1: Vollgewindeschrauben bis 600 mm Länge und Gewindestangen bis 2,20 m Länge zur Anwendung als Bewehrung im Holz

2 Planung, Dimensionierung und Bemessung

Die Anordnung und Konfiguration von als Bewehrung eingesetzten Vollgewindeschrauben muss auf den einzelnen Anwendungsfall, d.h. den jeweils angestrebten Verstärkungseffekt oder das konkrete Fügungsproblem abgestimmt werden. Bisher wurden Schraubenkonfigurationen isoliert für bestimmte Einzelanwendungen, wie Auflageranschlüsse oder Hauptträger-Nebenträger-Anschlüsse, entwickelt und in bauaufsichtlichen Zulassungen oder Bemessungshilfen eingearbeitet. Um einen breiten Einsatz von Vollgewindeschrauben als Bewehrung zu ermöglichen, ist jedoch ein allgemein anwendbares, ingenieurmäßiges Dimensionierungskonzept sinnvoll, das dem Planer eine einfache Anpassung der Schraubenanordnungen an die gegebene Aufgabenstellung ermöglicht. Hierzu sind Kenntnisse über den Kraftfluss im Bauteil oder Fügungsdetail erforderlich. Bei einem anisotropen Material wie dem Holz sind klassische analytische Verfahren auf Grundlage der technischen Biegelehre nur sehr eingeschränkt zur Erfassung der Spannungs- und Deformationszustände im Bauteil nutzbar. Die komplexen Randbedingungen, z.B. an Auflagern und Lasteinleitungen, die je nach Richtung zur Holzfaser verschiedenen Werkstoffparameter und die Ausbildung von Verbundsystemen aus unterschiedlichen Materialien, lassen eine zusammenhängende Erfassung des Tragverhaltens im Regelfall nur mit Hilfe numerischer Berechnungsmethoden zu. Die genaue numerische Modellierung dieser komplexen Systeme, z.B. auf Basis der Finite-Elemente-Methode, ist jedoch aufwändig, so dass für die praktische Anwendung ein vereinfachtes Bemessungsverfahren benötigt wird, das eine Dimensionierung der Bewehrung mit einfachen Hilfsmitteln erlaubt.

Eine entsprechend vereinfachte und idealisierte Erfassung und Modellierung des inneren Kraftflusses bei Bauteilfügungen und -verstärkungen ist mit Hilfe von Fach- und Stabwerkmodellen

möglich, die im Stahlbetonbau schon seit langem zur Anordnung und Bemessung von Detailpunkten wie Auflager, Konsolen und Ausklinkungen genutzt werden. Für die Anwendung der Stabwerkmodelle im Holzbau ist aufgrund der unterschiedlichen Materialeigenschaften von Holz und Beton, eine entsprechende Abwandlung der Prinzipien für die Bewehrungsanordnung notwendig. Während beim Beton als sprödes, nicht-zugfestes und weitgehend isotropes Material sämtliche inneren Zugkräfte durch Bewehrung aufgenommen werden müssen, ist im Holz eine ausreichende Zugkraftübertragung in Faserrichtung im Allgemeinen auch ohne zusätzliche Bewehrung möglich. Außerdem ist im Holz auch die Anordnung von Bewehrung in druckbelasteten Fachwerkstäben sinnvoll, wenn die senkrecht oder schräg zur Faserrichtung verlaufen, um diese wenig steifen und gering tragfähigen Belastungsrichtungen zu ertüchtigen.

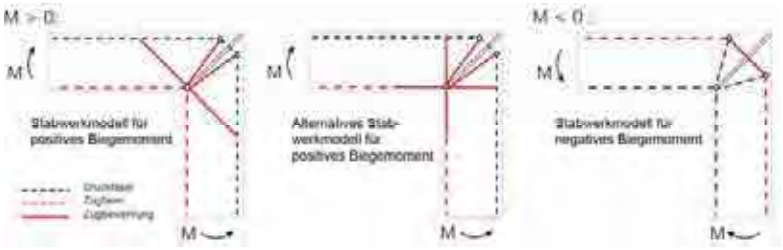


Abb. 2: Einfache Stabwerkmodelle für biegesteife Rahmenecken mit positiver und negativer Momentenbelastung

Die Konstruktion der Stabwerkmodelle anhand des inneren Kraftflusses kann bei einfachen Konstruktionen aus ingenieurmäßiger Anschauung oder in Anlehnung an existierende Modellbildungen und Untersuchungen zum Kräfteverlauf erfolgen. Bei komplexeren Problemstellungen ist u.U. eine vorherige Modellierung als FEM- System durchzuführen, um die Stabwerke beispielsweise am Verlauf der Hauptspannungen zu orientieren. Es sind aber auch Abwandlungen oder Verzerrungen der Stabwerkmodelle gegenüber dem ungestörten Kraftverlauf im Bauteil möglich, um durch die Konzentration von inneren Steifigkeiten Lastpfade gezielt vorzugeben.

Die so konstruierten Fachwerkmodelle lassen sich mit üblichen Methoden der Stabstatik berechnen und daraus die Dimensionierung der Bewehrungsschrauben ableiten. Sofern nicht die Gefahr eines spröden Holzversagens bei geringen Beanspruchungen besteht, z.B. bei Querzug oder Rollschub, können Stabkräfte auf Bewehrung und Holzquerschnitt verteilt werden.

Detaillierte Konstruktionsprinzipien und Bemessungsregeln für die Anwendung der Stabwerkmodelle sind im Rahmen weiterer Forschungen zu erarbeiten. Hierbei ist auch die Genauigkeit dieses vereinfachten und stark idealisierten Dimensionierungsmodells im Vergleich mit genaueren numerischen Modellierungen zu evaluieren.

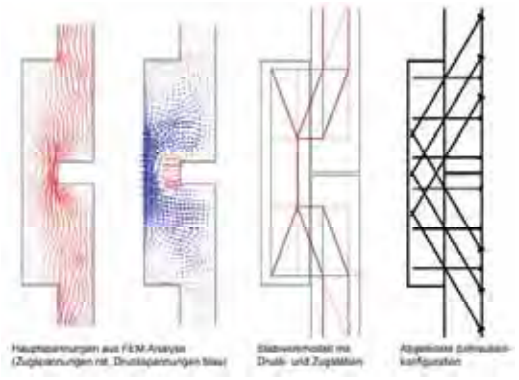


Abb. 3: Entwicklung eines Stabwerkmodells und einer Schraubenkonfiguration aus Hauptspannungstrajektorien am Beispiel eines einseitigen Zuglaschenstoßes

3 Anwendungsbereiche

Vollgewindeschrauben und Gewindestangen können für vielfältige Aufgaben zur Bewehrung und Fügung von Holzbauteilen genutzt und auch in Verbindung mit zusätzlichen Verstärkungs- oder Anschlusselementen verwendet werden.

Bereits etablierte Lösungen zur Bewehrung von Holzträgern sind die lokale Querdruckverstärkung von Auflagerbereichen und die Querzugverstärkung im Bereich von Lasteinleitungen oder Ausklinkungen. Im Rahmen von Sanierungsmaßnahmen wurde auch der Einsatz von eingeschraubten Gewindestangen als Querkraftbewehrung erprobt.

Im Rahmen der Forschungsprojekte des Lehrstuhls für Tragkonstruktionen an der RWTH Aachen wurden mehrere Versuchsreihen mit verschiedenen Trägerverstärkungen und Bauteilfügungen durchgeführt.

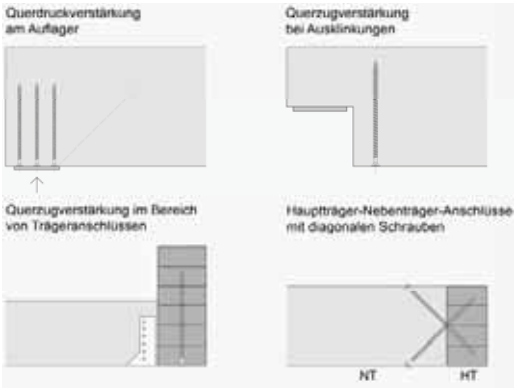


Abb. 4: Beispiele für bereits etablierte Anwendungen mit Vollgewindeschrauben als Bewehrung

Dabei wurde der Einsatz von Vollgewindeschrauben in unterschiedlichen fachwerkartigen Konfigurationen zur Schubversteifung von Brettschichtholzträgern untersucht und die Wirksamkeit der einzelnen Fachwerkkonfigurationen quantifiziert. In Bruchversuchen konnte zudem auch der homogenisierende Effekt der Schraubenfachwerke beobachten werden. Die Schubversteifung und -verstärkung durch Schraubenbewehrung eröffnet neue Möglichkeiten der Entwicklung leistungsfähiger Träger im Holzbau. Durch Kombination der fachwerkartigen Bewehrung mit zusätzlichen Stahllamellen zur Verstärkung der Biegezugzone ließ sich in weiteren Untersuchungen die Biegetragfähigkeit und -steifigkeit der Träger deutlich erhöhen. Die Ausbildung eines sehr steifen Verbundsystems wurde hierbei durch die hohen Steifigkeiten der Vollgewindeschrauben bei axialer Belastung ermöglicht. Das Schraubenfachwerk sorgt außerdem für eine gute Rückverankerung des Stahlzuggliedes in der Holzdruckzone und verhindert ein Schubversagen und die Delamination im Holzquerschnitt. Die Verankerung der Lamellen mit Schrauben lässt sich im Unterschied zum Kleben relativ unabhängig von Witterung, Holzfeuchte und Oberflächenbeschaffenheit ausführen. Daher ist diese Verstärkungsmethode besonders zur nachträglichen Ertüchtigung von Holzträgern beim Bauen im Bestand geeignet.

Abb. 5: Mit fachwerkartig angeordneten Vollgewindeschrauben befestigte Stahllamelle zur Verstärkung eines Brettschichtholzträgers beim Bruchversuch

Die Anordnung innenliegender, geschraubter Längsbewehrung zur Biegeverstärkung wurde ebenfalls in einer Versuchsreihe an Trägern mit Kragarm geprüft, führte aber in der gegebenen Konfiguration zu keiner nennenswerten Verbesserung des Tragverhaltens. Hier besteht ggf. wei-

terer Forschungsbedarf, um die Möglichkeiten und Potentiale einer derartigen Bewehrung zu erkunden.

Auf dem Gebiet der Bauteilfügungen mit Vollgewindeschrauben wurden einseitige Laschenstöße und ebene biegesteife Rahmenecken untersucht. Die geschraubten Laschenstöße zeigten gegenüber konventionell mit Stabdübeln gefügten Referenzproben trotz der deutlich geringeren Verbindungsmittelanzahl höhere Bruchlasten und Verschiebungssteifigkeiten sowie einen geringeren Schlupf. Mit dem verwendeten Stabwerkmodell ließen sich außerdem die Lastpfade in der Lasche so konzentrieren, dass geringere Exzentrizitäten auftraten.

Die biegesteifen Rahmenecken wurden mit unterschiedlichen Schraubenkonfigurationen, basierend auf drei verschiedenen Fachwerkmodellen, unter positiver und negativer Momentenbeanspruchung geprüft. Auch in diesem Fall wurde der Kraftfluss durch die jeweilige Bewehrungsanordnung gezielt beeinflusst. Die Ecken zeigten hohe Tragfähigkeiten, die teilweise die Bruchlast des Holzquerschnitts erreichten und deutlich höher als die rechnerische Tragfähigkeit von konventionell, z.B. mit Keilzinkenstoß oder Stabdübelkranz, gefügten Eckverbindungen waren.

Die untersuchten Verstärkungs- und Fügungslösungen zeigen die Potentiale der Nutzung von selbstbohrenden Vollgewindeschrauben als Bewehrung und geben Anlass zu weiten Untersuchungen. Auf Basis dieses allgemeinen Konstruktionsprinzips lassen sich für eine Vielzahl unterschiedlicher Verstärkungs- und Fügungsprobleme neue, individuell angepasste Lösungen entwickeln.

Abb. 6: Bruchzustände eines konventionell mit Stabdübeln und eines mit Vollgewindeschrauben gefügten einseitigen Zuglaschenstoßes

Tab. 2: Vergleich der Tragfähigkeiten mittels Vollgewindeschrauben gefügter, biegesteifer Rahmenecken mit konventionellen Fügungen durch Keilzinkenstoß oder Stabdübelkranz

Verbindungstyp		negative Momentenbeanspruchung			positive Momentenbeanspruchung		
		Kraft F [kN]		äquiv. M M [kNm]	Kraft F [kN]		äquiv. M M [kNm]
Keilzinkenstoß mit Zwischenstück	charakter. Wert	25,59	37,8%	27,39	5,12	8,2%	5,48
Dübelkranz 16 Stabdübel Ø 10 mm	charakter. Wert	17,02	25,2%	18,22	17,02	27,1%	18,22
Verbindung mit Vollgewindeschrauben	5%-Quantil Versuche	59,04	87,3%	63,18	43,60	69,5%	46,65
reiner BSH-Querschnitt	charakter. Wert	67,62	100,0%	72,35	62,71	100,0%	67,10

5 Technik

Das Einschrauben der Bewehrung kann sowohl im Werk, als auch auf der Baustelle mit geeigneten handelsüblichen Schraubgeräten erfolgen [Ref Hochstrate]. Der punktgenaue und richtungstreue Einbau der einzelnen Schrauben kann durch Nutzung von entsprechenden Schablonen oder die Anordnung von Pilotbohrungen erleichtert werden. Zu beachten ist, dass die Arbeitsgenauigkeit mit zunehmender Länge der Schrauben erhöht werden muss, um Abweichungen von der Solllage möglichst klein zu halten, insbesondere bei eng liegender oder sich kreuzender Bewehrung.

Gewindestangen sind mit ihrem Kerndurchmesser vorzubohren. Bei großen Längen werden auch hier wieder erhöhte Anforderungen an die Richtungstreue der Bohrungen gestellt. Außerdem sind zum Eindrehen langer Gewindestangen besonders drehmomentstarke Schraubgeräte erforderlich.

Bei Fügungen muss eine gute Fixierung der einzelnen Bauteile sichergestellt sein, um ein Verschieben während des Verschraubens zu verhindern.

Abb. 7: Einfaches Verschrauben einer biegesteifen Rahmenecke mit Hilfe von Pilotbohrungen

6 Ökonomie

Ein wirtschaftlicher Einsatz von Vollgewindeschrauben als Bewehrung ist besonders durch die schnelle und einfache Verarbeitung möglich. Bei den an der RWTH durchgeführten Versuchsreihen war die Montage von Fügungen mit Vollgewindeschrauben deutlich einfacher und weniger zeitaufwändig als die Herstellung, der als Referenz verwendeten konventionellen Anschlüsse. Auch die Bewehrung von Trägern und Befestigung von Verstärkungslamellen ließ sich bei Anwendung der o.g. Methoden und Hilfsmittel schnell und zuverlässig durchführen.

Eine weitere Vorkonditionierung der Bauteile oder die Anwendung automatisierter Verfahren, könnte in Zukunft die Montage nochmals vereinfachen und beschleunigen.

Die hohe Leistungsfähigkeit der mit axial beanspruchten Schrauben gefügten Verbindungen, birgt auch durch die geringere Anzahl an notwendigen Verbindungsmitteln ein ökonomisches Einsparpotential.

7 Ökologie

Das Bewehren von Holztragelementen mit Vollgewindeschrauben ermöglicht die Verbesserung der Festigkeiten und Steifigkeit kompletter Querschnittsbereiche, sowie eine Homogenisierung von fehlstellenreichen Hölzern. Dadurch eröffnet sich die Chance, verstärkt niedrige Sortierqualitäten einzusetzen und durch Bewehrung aufzuwerten. Auch bisher aufgrund ihrer geringen Festigkeitswerte nicht im Bauwesen verwendete Holzarten könnten durch entsprechende Bewehrung genutzt werden. Dadurch ergibt sich eine effektivere Ausschöpfung der Holzpotentiale unserer einheimischen Wälder, mit positiven Effekten auf die Nachhaltigkeit der Holzanwendung im Bauwesen.

8 Normen

Die Anwendung von selbstbohrenden Vollgewindeschrauben zur Bewehrung und Fügung von Bauteilen richtet sich nach den Regelungen der DIN 1052 (2008-12) und den jeweiligen allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen. Gewindestangen mit Holzschraubengewinde nach DIN 7998 (1975-02) können entsprechend der Festlegungen in DIN 1052 für Holzschrauben verwendet werden, gegebenenfalls auch unter Ansatz von durch den Hersteller nachgewiesenen höheren Materialfestigkeiten.

Die wesentlichen Randbedingungen für die Auslegung von Schraubenkonfigurationen zur Bewehrung und Fügung von Holzbauteilen betreffen die zulässigen Einschraubwinkel zur Faserrichtung und die erforderlichen Mindestabstände der Schrauben untereinander und zu den Bauteilrändern. Um einen effektiveren Einsatz der Vollgewindeschrauben zu ermöglichen, sind Untersuchungen zur möglichen Reduzierung von Einschraubwinkel und Abständen geboten, da die aktuellen Regelungen die Nutzung vieler leistungsfähiger Schraubenkonfigurationen stark einschränken.

Quellen

[1] Bejtka, I.: Verstärkung von Bauteilen aus Holz mit Vollgewindeschrauben; Band 2 der Karlsruher Berichte zum Ingenieurholzbau; Karlsruhe, 2005

[2] Blaß, H.J.; Bejtka, I.: Selbstbohrende Holzschrauben und ihre Anwendungsmöglichkeiten; in: Holzbau Kalender 2004, Bruderverlag Karlsruhe (2004)

[3] Hochstrate, M.: Wissenswertes zu Schraubgeräten; in: Bauen mit Holz, 6/2003, S.42-45

[4] Trautz, M.; Koj, C.: Mit Schrauben Bewehren; in: Bautechnik 85 (2008), Heft 3, S. 190-196.

[5] Trautz, M. et al.: Mit Schrauben bewehren - Selbstbohrende Vollgewindeschrauben als Verstärkung von Brettschichtholzträgern und zur Ausbildung von hochleistungsfähigen Verbindungen, Forschungsbericht 01/2007 des Lehrstuhls für Tragkonstruktionen der RWTH Aachen; Aachen, 2007.

15.2 Bemessung

Größeneffekte bei biegebeanspruchtem Fichtenschnittholz

Julia Denzler

1 Einleitung

Die Biegefestigkeit ist eine der wesentlichen Kenngrößen zur Bemessung von Holzbauteilen. Nach EN 408 ist die Biegefestigkeit mittels 4-Punkt-Biegeprüfung zu ermitteln (Abb. 1). Dabei muss nach EN 384 ein kritischer Querschnitt gewählt werden, „an dem nach Augenschein und nach anderen Informationen, wie z.B. den Messwerten einer Festigkeitssortiermaschine, vermutlich der Bruch eintreten wird".
(DIN EN 384:2004-05, Abschnitt 5.2)

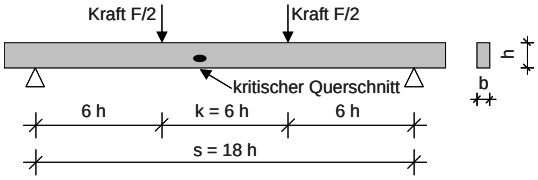


Abb. 1: Schematische Darstellung einer 4-Punkt-Biegeprüfung nach EN 408.

Nach Bestimmung der Festigkeit im Biegeversuch sind die ermittelten Festigkeitswerte nach EN 384 auf eine Holzfeuchte von u = 12 % und auf einheitliche Holzabmessungen zu korrigieren. Auf Grundlage der korrigierten Werte wird schließlich das 5%-Quantil bestimmt, mit welchem der Ingenieur Holzbauteile auf Biegung bemisst.

Zur Berücksichtigung des Einflusses der Holzabmessungen auf die Biegefestigkeit sind im Rahmen der europäischen Normung Größenfaktoren aufgeführt. Die charakteristische Biegefestigkeit wird dazu auf Bauteile mit einer Querschnittshöhe von h = 150 mm und eine Prüfanordnung nach EN 408 bezogen. Für Bauteile mit einer Querschnittshöhe h abweichend von h = 150 mm gibt EN 384 eine auf der Weibull-Theorie basierenden Korrekturfaktor an, der für die Umrechnung der charakteristischen Biegefestigkeit auf eine Querschnittshöhe von h = 150 mm herangezogen werden muss:

$$k_h = \left(\frac{150}{h}\right)^{0,2} \quad (1)$$

Der Faktor k_h wird als Höhenfaktor bezeichnet und soll den Einfluss der Querschnittshöhe auf die charakteristische Biegefestigkeit bei Schnittholz abdecken. Ein Einfluss der Breite b auf die Biegefestigkeit wird in EN 384 nicht berücksichtigt. Ein Einfluss der Stützweite s und damit der Schnittholzlänge auf die charakteristische Biegefestigkeit ist nach EN 384 zu berücksichtigen, wenn von einem Prüfverhältnis von s/h = 18 mit Krafteinleitung k in den Drittelspunkten (k = 6·h) abgewichen wird (Abb. 1).

Ziel dieses Beitrages ist, den Größeneffekt bei Fichtenschnittholz unter Beachtung europäischer Prüfvorschriften zu überprüfen, da in der Literatur stark unterschiedliche Werte für den Größeneffekt von Holz veröffentlicht sind. Neben dem direkten Größeneffekt, d.h. dem unmittelbaren Zusammenhang zwischen den Holzabmessungen und den Festigkeitseigenschaften, soll dabei auch der indirekte Größeneffekt beachtet werden, der sich aus dem Zusammenhang zwischen den Holzabmessungen und den Holzeigenschaften einerseits und den Holzeigenschaften und den Festigkeitseigenschaften andererseits ergibt. Im Rahmen dieses Beitrags wird auf die in [1] beschriebene, formelmäßige Herleitung der Größeneffekte verzichtet, um auf die wesentlichen Zusammenhänge eingehen zu können.

2 Material und Methoden

Insgesamt wurden zur Untersuchung des Größeneffektes 6244 Fichtenschnitthölzer in Gebrauchsabmessungen aus 27 Forschungsvorhaben (Quelle: Holzforschung München und zusätzliche Untersuchungen) ausgewertet. Dabei fanden neben 3899 flachkant oder hochkant biegegeprüften Schnitthölzern auch 2345 zuggeprüfte Schnitthölzer Verwendung, um die Zusammenhänge zwischen Holzabmessungen und Holzei-

genschaften an einer möglichst breiten Datenbasis zu untersuchen. Abb. 2 zeigt die Querschnittsabmessungen aller 6244 Schnitthölzer getrennt nach Prüfart.

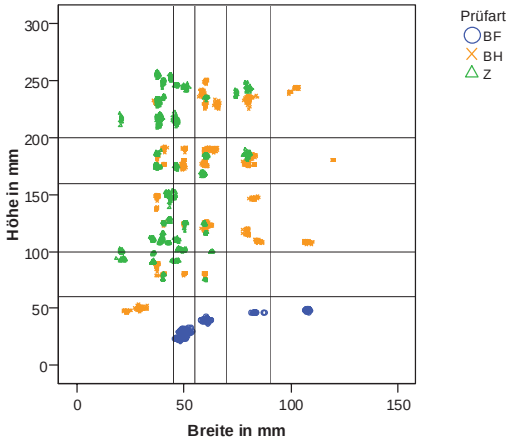


Abb. 2: Querschnittsabmessungen unterteilt nach Prüfart, n = 6244.

Zur Untersuchung des Größeneffektes bei biegebeanspruchtem Fichtenschnittholz wurden neben der Biegefestigkeit zahlreiche Parameter erfasst. Die Methoden zur Erfassung der einzelnen Parameter sind in [1] ausführlich beschrieben. An allen Schnitthölzern wurden vor der zerstörenden Biegeprüfung die Holzabmessungen Breite b, Höhe h und Stützweite s mit Hilfe eines Maßbandes ermittelt. Um eine Information über Lage und Größe der Äste im mittleren Drittel der Stützweite zu erhalten, wurden alle Einzeläste mit einem Durchmesser größer als 5 mm digital erfasst und computergestützt verschiedene Ästigkeiten berechnet.

Darr-Rohdichte, Jahrringbreite, Druckholzanteil, Markabstand und Jahrringlage wurden nach der zerstörenden Biegeprüfung anhand eines in der Nähe der Bruchstelle entnommenen ast- und fehlerfreien Probestreifens ermittelt. Die Jahrringlage beschreibt die Neigung der Jahrringe in Bezug auf die Querschnittsbreite im zugbeanspruchten Viertel der Querschnittshöhe. Anhand des Probestreifens wurde auch die Holzfeuchte bei der Biegeprüfung bestimmt. Aus der Vielzahl der berechneten Ästigkeiten (Ästigkeit nach DIN 4074-1 für Kantholz und Brett/Bohle, Ästigkeit entsprechend ECE-Regeln, Ästigkeiten tKAR und mKAR, …) wurden mit tKAR und mKAR diejenigen Ästigkeiten ausgewählt, die den größten direkten Korrelationskoeffizienten zur Biegefestigkeit bei u = 12 % aufwiesen. Nähere Informationen dazu können [1] entnommen werden.

3 Zusammenhänge zwischen Holzabmessungen, Holzeigenschaften und der Biegefestigkeit

Holzabmessungen, Holzeigenschaften und die Biegefestigkeit von Holz stehen in einem komplexen Zusammenhang. Um den Größeneffekt ganzheitlich zu erfassen, müssen diese Zusammenhänge untersucht werden und es muss geklärt werden, welche Zusammenhänge sich auf den Größeneffekt wie auswirken.

Abb. 3 und Abb. 4 zeigen die Biegefestigkeit aller 3899 Schnitthölzer über den Holzabmessungen b und h. Im Mittel nimmt die Biegefestigkeit mit zunehmender Breite zu und mit zunehmender Höhe ab. Dies steht im Widerspruch zur Weibull-Theorie, die davon ausgeht, dass mit zunehmendem Volumen die Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer infinitesimal kleinen Schwachstelle zunimmt und damit die Festigkeit mit zunehmendem Volumen abnimmt. Aufgrund des in engen Grenzen streuenden Verhältnisses von Stützweite zu Querschnittshöhe wird der kombinierte Einfluss von Stützweite und Querschnittshöhe im Weiteren auf die Querschnittshöhe bezogen.

Die große Streuung der Biegefestigkeitswerte (Abb. 3 und Abb. 4) zeigt, dass es außer den Holzabmessungen noch weitere Parameter geben muss, die die Biegefestigkeit beeinflussen. Deshalb werden die Zusammenhänge zwischen Bie-

gefestigkeit und Holzeigenschaften untersucht. Aus der Vielzahl der erfassten Holzeigenschaften werden hier die Ästigkeiten tKAR und mKAR ausgewählt und exemplarisch dargestellt, da die Ästigkeit eine für die Biegefestigkeit entscheidende Größe ist. Abb. 5 und Abb. 6 zeigen, dass die Biegefestigkeit mit zunehmender Ästigkeit abnimmt.

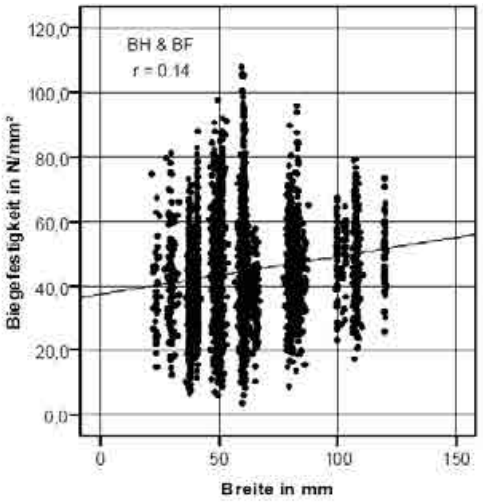


Abb. 3: Biegefestigkeit über Breite, n=3899

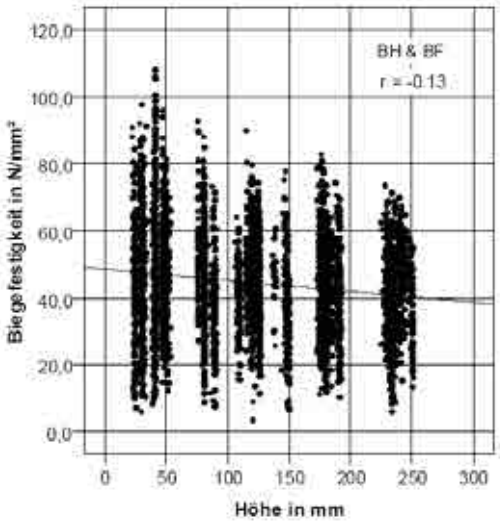


Abb. 4: Biegefestigkeit über Höhe, n=3899

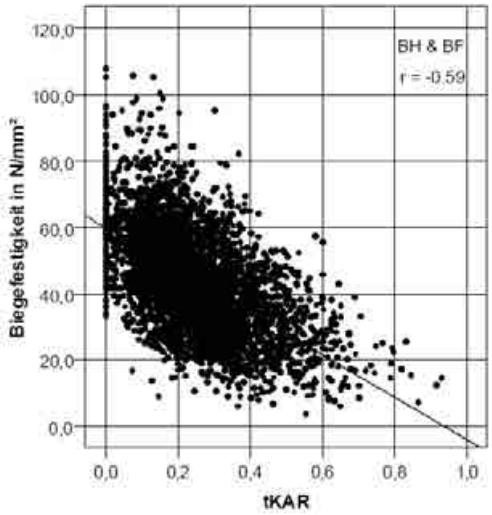


Abb. 5: Biegefestigkeit über tKAR, n=3899

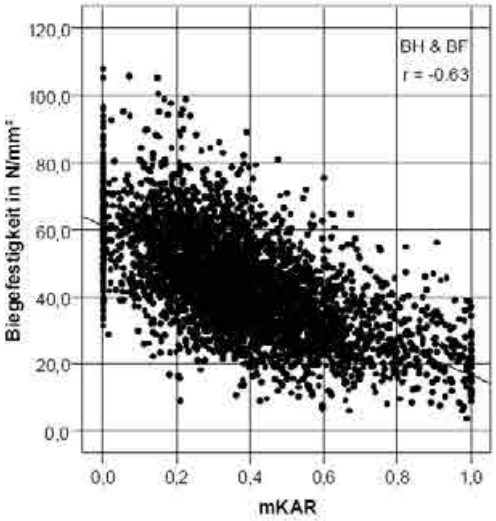


Abb. 6: Biegefestigkeit über mKAR, n=3899

Holzeigenschaften und Holzabmessungen sind nicht unabhängig voneinander. Für diese Zusammenhänge werden sowohl die Biege- als auch die Zugprüfkörper, also insgesamt 6244 Schnitthölzer, verwendet. Wie Abb. 7 und Abb. 8 zeigen, nimmt z.B. die Ästigkeit tKAR im Mittel mit zunehmender Querschnittsabmessung ab. Wäre nur dieser Zusammenhang für die Biegefestigkeit maßgebend, würde mit zunehmenden Holzab-

messungen die Biegefestigkeit zunehmen, da die Ästigkeit abnimmt. Dieser Zusammenhang ist vor allem für qualitativ schlechtes Schnittholz mit großen Ästen gültig, also auf dem Niveau der 5%-Quantilen, die für die Bemessung von Holzbauten entscheidend ist.

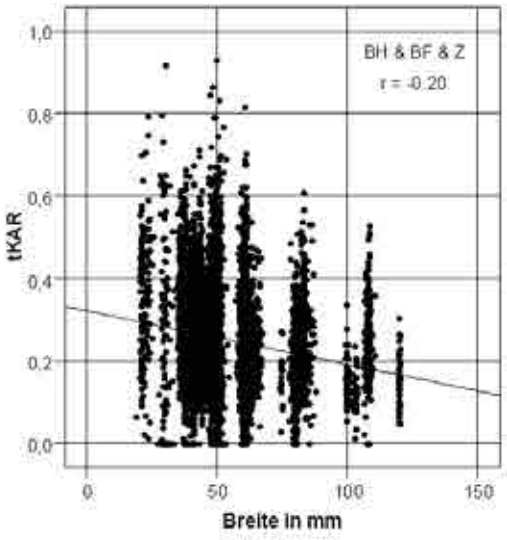


Abb. 7: Ästigkeit tKAR über Breite, n=6244

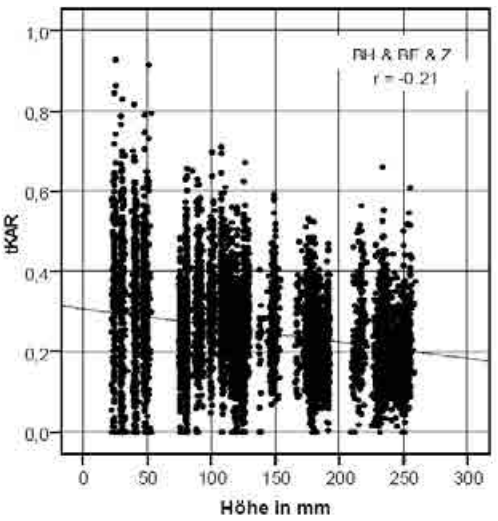


Abb. 8: Ästigkeit tKAR über Höhe, n=6244

Abb. 9 fasst die erarbeiteten Abhängigkeiten zusammen: Die Biegefestigkeit wird von den Holzabmessungen sowohl direkt als auch indirekt beeinflusst. Der indirekte Einfluss entsteht über die unterschiedlichen Holzeigenschaften bei sich verändernden Holzabmessungen. Vornehmlich beruht der indirekte Einfluss der Holzabmessungen auf die Biegefestigkeit auf den mit zunehmenden Holzabmessungen abnehmenden Ästigkeiten. Die Holzeigenschaften Darr-Rohdichte, Jahrringbreite, Druckholzanteil, Markabstand und Jahrringlage bleiben durch eine Veränderung der Holzabmessungen weitgehend unbeeinflusst. Im Weiteren wird die Kombination aus direktem und indirektem Größeneffekt unter dem Begriff wirksamer Größeneffekt zusammengefasst, da direkte und indirekte Größeneffekt in der Praxis nicht voneinander getrennt werden können.

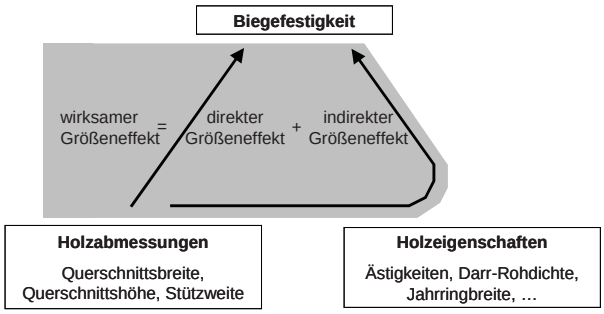


Abb. 9: Aufteilung des Größeneffektes in Teileffekte.

4 Auswertung und wesentliche Schlussfolgerungen

Die im Versuch ermittelte Biegefestigkeit wurde auf eine Holzfeuchte von u = 12 % umgerechnet [1]. Auf Grundlage der erarbeiteten Zusammenhänge kann ein mathematisches Modell zur Beschreibung des Größeneffektes bei u = 12 % erarbeitet werden [1]. Im Folgenden werden die wesentlichen Ergebnisse daraus beschrieben.

Abb. 10 und Abb. 11 zeigen den wirksamen Größeneffekt von Querschnittsbreite und -höhe für 2889 Schnitthölzer in Gebrauchsabmessungen, die mit einem festen Prüfverhältnis von s/h= 18 geprüft wurden. Die Biegefestigkeit

bleibt auf dem Niveau des 95%-Quantils mit zunehmender Breite nahezu unverändert. Mit sinkender Holzqualität nimmt der indirekte Einfluss der Querschnittsbreite auf die Biegefestigkeit zu, weshalb die Biegefestigkeitswerte mit zunehmender Breite zunehmen.

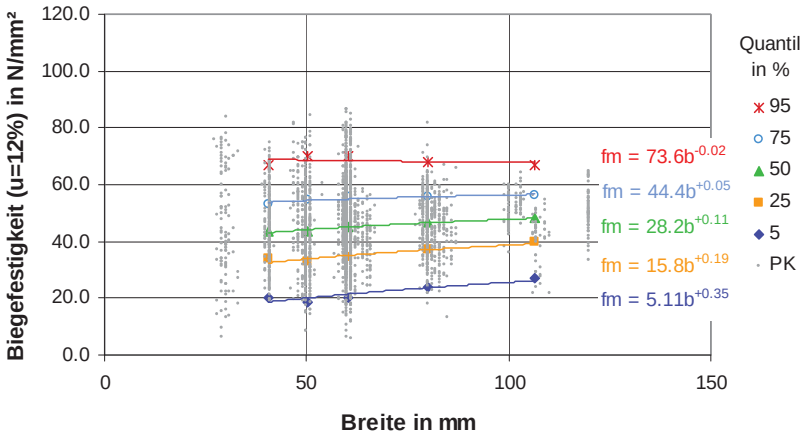


Abb. 10: Wirksamer Breiteneffekt über der Querschnittsbreite getrennt nach über Weibull-Verteilung bestimmtem Quantil in 5 Breitenkategorien, n = 2889.

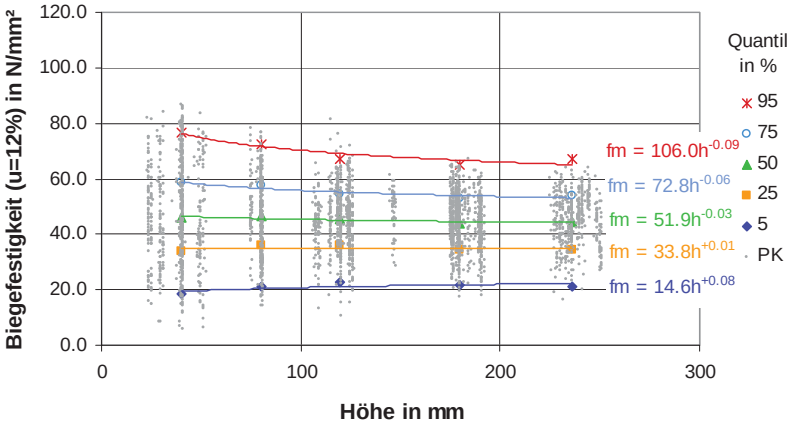


Abb. 11: Wirksamer Höheneffekt über der Querschnittshöhe getrennt nach über Weibull-Verteilung bestimmtem Quantil in 5 Höhenkategorien, n = 2889.

Dies gilt für den Einfluss der Querschnittshöhe ebenso, allerdings wird der Zusammenhang durch einen direkten Einfluss der Querschnittshöhe auf die Biegefestigkeit überlagert. Darum nimmt die Biegefestigkeit auf dem 95%-Quantilniveau mit zunehmender Querschnittshöhe ab und auf dem 5%-Quantilniveau mit zunehmender Querschnittshöhe zu. Der direkte Einfluss der Querschnittshöhe auf die Biegefestigkeit basiert auf der Weibull-Theorie und ist unabhängig von der Schnittholzqualität. Da die indirekten Einflüsse von Querschnittsbreite und -höhe hauptsächlich auf den sich verändernden Ästigkeiten mit sich verändernden Querschnittsabmessungen beruhen, sind die indirekten Einflüsse von der Schnittholzqualität abhängig und nehmen mit abnehmender Qualität zu. Der wirksame Größeneffekt ist damit von der Schnittholzqualität abhängig.

Abb. 10 und Abb. 11 stehen im Widerspruch zu den normativen Regelungen in EN 384 und Eurocode EN 1995-1, die eine Abnahme der Biegefestigkeit mit zunehmender Querschnittshöhe unabhängig von der Schnittholzqualität unterstellen und darüber hinaus keinen Einfluss der Querschnittsbreite auf die Biegefestigkeit berücksichtigen.

Bei beliebiger Anordnung der größten Ästigkeit tKAR in Längsrichtung entstehen indirekte Längeneffekte: Durch die zunehmende Auftretenswahrscheinlichkeit einer großen Ästigkeit mit zunehmendem Abstand der Lasteinleitungspunkten nimmt mit zunehmender Länge die Ästigkeit zu und damit die Festigkeit ab. Anders als bei den Querschnittsabmessungen wird ein direkter, Weibull-basierender Längeneffekt durch den entstehenden indirekten Längeneffekt verstärkt. Die Biegefestigkeit wird durch die zufällige Anordnung des kritischen Querschnitts generell erhöht. Dies ist vor allem beim Vergleich von Literaturdaten von Bedeutung, da unterschiedliche nationale

Prüfvorschriften damit zu unterschiedlichen Größeneffekten führen können.

Darüber hinaus werden die Größeneffekte durch die Art der Sortierung beeinflusst, weil durch die Sortierung die indirekten Größeneffekte verändert werden. Ein Vergleich zwischen visueller Sortierung nach US-amerikanischer Norm (National Grading Rule, NGR) und Sortierung nach DIN 4074-1 zeigt, dass eine visuelle Sortierung nach NGR zu deutlich größeren wirksamen Größeneffekten führt als eine visuelle Sortierung nach DIN 4074-1, selbst wenn dabei die nach US-amerikanischer Norm geltende und den Größeneffekt verstärkende Regelung, den Prüfbereich zufällig zu wählen, nicht berücksichtigt wird.

5 Zusammenfassung

Ziel der Arbeit war es, den Größeneffekt bei Schnittholz unter Beachtung europäischer Prüfvorschriften zu untersuchen. Dabei wurde unterstellt, dass sich der empirisch feststellbare „wirksame" Größeneffekt bei biegebeanspruchtem Fichtenschnittholz aus zwei Teileffekten, nämlich einem „direkt" und einem „indirekt" wirkenden Anteil zusammensetzt. Bei Prüfanordnung nach EN 408 und EN 384 beeinflusst die Querschnittsbreite die Biegefestigkeit nur indirekt über die Holzeigenschaften, die Querschnittshöhe beeinflusst die Biegefestigkeit sowohl direkt als auch indirekt. Direkte und indirekte Anteile besitzen unterschiedliche Tendenzen. Sowohl die Breite als auch die Höhe bewirken über ihre indirekten Anteile eine Biegefestigkeitszunahme mit zunehmender Querschnittsabmessung, die je nach Holzqualität unterschiedlich groß ist. Dabei spielt die Holzeigenschaft Ästigkeit eine wesentliche Rolle. Die direkten Höheneffekte sind unabhängig von der Schnittholzqualität und folgen der Weibull-Theorie.

Da die indirekten Größeneffekte von der Schnittholzqualität abhängig sind, wird der wirksame Größeneffekt sowohl durch die Prüfbedingungen als auch durch die Sortierung beeinflusst. Dies erklärt die zum Teil deutlich höheren Größenfaktoren in amerikanischen Untersuchungen. Auf der Basis der nach europäischen Prüfvorschriften hergeleiteten charakteristischen Biegefestigkeitswerte erscheint unter Berücksichtigung der festgestellten indirekten Größeneffekte die Einführung eines Größenfaktors für Schnittholz nicht erforderlich.

Wesentliche Literaturangaben

[1] Denzler, J.K.: Modellierung des Größeneffektes bei biegebeanspruchtem Fichtenschnittholz. Dissertation, Technische Universität München. München (2007) 176 S. http://mediatum2.ub.tum.de/node?id=627306> (22.01.2008)

15.2 Bemessung
Probabilistische Methoden zur Anschlussbemessung

Till Vallée, Thomas Tannert

1 Einführung

Seit Einführung der elektronischen Berechnungsmethoden, und der damit verbundenen Schnittgrössenermittlung für beliebige Systeme und Lastkombinationen, stellt die Nachweisführung für einzelne Teile von Tragwerken im Bauwesen keine Herausforderung mehr dar. Zwar ist der Spannungsnachweis im Holzbau, wegen der Werkstoffanisotropie, verglichen mit dem isotropen Stahl komplizierter; dies führt letztendlich aber nur zu längeren Ausdrücken, welche von gültigen Normen und Richtlinien vorgegeben sind. Dem Ingenieur steht zu diesem Zwecke das Wissen aus mehreren Jahrhunderten Forschung zur Stabstatik zur Verfügung, wo das komplexe Spannungsbild im Querschnitt auf die nun so geläufigen Begriffe wie Normalkraft N, Biegemoment M und Querkraft V heruntergebrochen wurde.

Erst durch die Formulierung des inneren Spannungszustandes in seine linearisierten Anteile (N, M und V) wird es möglich, Belastungen im Tragwerk experimentell ermittelten Widerständen gegenüberzustellen. Diese Vorgehensweise beruht allerdings implizit auf der Annahme, dass es keinen signifikanten Zusammenhang zwischen den Dimensionen der Probekörper an denen die experimentell bestimmten Festigkeiten und der des zu bemessenden Tragwerkes gibt; den meisten Praktikern ist diese Annahme bekannt, und stellt an sich kein Problem dar. Doch wird unterschwellig auch angenommen, dass sich sowohl im Probekörper als auch im zu bemessenden Bauteil konstante, bestenfalls linear verteilte, Spannungszustände herrschen: so zum Beispiel zur Bestimmung der Zugfestigkeit oder der Biegezugfestigkeit.

Sobald das Spannungsbild im Querschnitt nicht mehr homogen, also konstant oder linear verteilt ist, stellen sich die ersten Schwierigkeiten ein. Bei fast allen Anschlüssen entstehen komplexe Spannungsverläufe, z.B. Spannungsspitzen, die eine Bemessung durch einen einfachen Spannungsnachweis unmöglich machen. Solche Anschlüsse wurden, und werden immer noch, weitestgehend empirisch bemessen. Nachfolgend wird ein Beispiel vorgestellt: der geklebte Laschenanschluss, der sich dem „einfachen“ Spannungsnachweis entzieht. Anhand dieses Beispiels werden auch Wege aufgezeigt, wie der Spannungsnachweis mit probabilistischen Methoden erweitert werden kann, um auch für solche Anschlüsse einen ingenieurmässigen Bemessungsansatz zu formulieren.

2 Probabilistik

Zwei grundlegende Begriffe sind zur Erläuterung der prinzipiellen Vorgehensweise der probabilistischen Bemessung: zum einen der Größeneffekt, zum anderen die Probabilistik. Der Größeneffekt beschreibt den Zusammenhang zwischen Werkstoffkennwerten und den geometrischen Massen an denen diese ermittelt wurden, insbesondere betrifft dies die Festigkeit. Wird davon ausgegangen, dass Bruch von der schwächsten Fehlstelle ausgeht, ist statistisch gesehen die Wahrscheinlichkeit höher, dass Fehlstellen in grösseren Volumen vorhanden sind, diese somit unter geringeren Lasten versagen [1]. Bei der Auslegung von Bauteilen unter Ansatz eines „einfachen“ Spannungsnachweises müssen daher entsprechende Korrekturfaktoren berücksichtigt werden, die den Einfluss der Größe des Bauteils mit berücksichtigen; diese werden in der Regel experimentell bestimmt.

Zumindest für sprödes Material kann es experimentell nachgewiesen werden, dass es einen relativ einfachen mathematischen Zusammenhang zwischen dem zu erwartenden mechanischem Widerstand σ_i und dem Probenvolumen V_i gibt, siehe Gl. 1, die aufgrund einer Weibull- Verteilung abgeleitet werden kann.

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{-\frac{1}{m}} \qquad \text{(Gl. 1)}$$

Mit der Weibull- Verteilung wird auch das Konzept der Probabilistik eingeführt; sobald das Versagen mit Hilfe von statistischen Verteilungen beschrieben ist, wird dieses nicht mehr deterministisch, sondern probabilistisch formuliert, siehe Gl. 2.

$$P_s = \exp\left[-\int_V \left(\frac{\sigma}{\sigma_0}\right)^m \mathrm{d}V\right] \qquad \text{(Gl. 2)}$$

Es besteht demnach kein binärer Zusammenhang zwischen Spannungszustand und Versagen ($\sigma > \sigma_R \rightarrow$ Versagen, bzw. $\sigma \leq \sigma_R \rightarrow$ Überleben), vielmehr wird jedem Spannungszustand σ eine Versagenswahrscheinlichkeit $P_F(\sigma)$ zugewiesen. Die Versagenswahrscheinlichkeit $P_F(\sigma_0)$ beschreibt in erster Näherung die Proportion derjenigen Probekörper aus einer Versuchsreihe, die bei Spannungen $\sigma \leq \sigma_0$ versagen.

3 Geklebte Verbindungen im Holzbau

Um das Konzept der probabilistischen Methoden zur Anschlussbemessung zu veranschaulichen, wird es exemplarisch am Beispiel geklebter Verbindungen verdeutlicht. Es soll im Rahmen dieses Beitrages nicht auf die Vor- und Nachteile der Klebeverbindung eingegangen werden, vielmehr sollen die mechanischen Aspekte im Vordergrund stehen. Die erste analytische Beschreibung des Spannungszustands in geklebten Anschlüssen unter Annahme linear-elastischen Materialverhaltens stammt von Volkersen [2]. Der Verlauf der Schubspannungen ist beschrieben aufgrund der Annahme, dass sich die zu verklebenden Materialen nur longitudinal verlängern. Als nächstes haben Goland und Reissner [3] die Schubverformung sowie die Exzentrizität der anzuschliessenden Bauteile berücksichtigt und damit die analytische Beschreibung verfeinert. Die darauf basierenden Ergebnisse zeigen, dass sich die Spannungen an beiden Enden der Überlappung zu grossen Spannungskonzentration abbilden. Weitere Arbeiten führten zu einer immer genaueren Formulierung des mechanischen Sachverhaltes [4-5].

Die Berechnung geklebter Strukturen mit Hilfe der Finiten Elemente Methode (FEM) ist möglich und sinnvoll, wird jedoch häufig als problematisch eingestuft. Dies hat im wesentlichen zwei Ursachen: Zum einen führen die geringe Dicke einer Klebschicht im Vergleich zur übrigen Struktur und die Bedingung, dass ein bestimmtes Seitenverhältnis für die Elemente (etwa 1:10) möglichst nicht unterschritten werden sollte, zu sehr dichten Netzen, wobei die erforderliche Berechnungszeit und Computerkapazität mit der Dichte des Netzes stark zunimmt. Zum anderen sind die Festlegung verlässlicher Materialparameter und die Wahl eines geeigneten Materialgesetzes aufwendig.

Basierend auf der Beschreibung der Spannungen in der Klebefuge, erscheint es auf den ersten Blick einfach, die Tragfähigkeit von geklebten Anschlüssen in der Form eines deterministischen Spannungsnachweises, entweder im Kleber oder im Grundmaterial, zu bestimmen. Dieser Ansatz findet sich unterschwellig in vielen frühen Publikationen wieder [6–9], in denen die Verringerung von Spannungen in direkter Beziehung zu Laststeigerung im Anschluss gesetzt wird. Eine solche Betrachtung verlagert die Problematik der Bestimmung der Tragfähigkeit geklebter Anschlüsse auf die Kenntnis des Versagensmechanismus und der zum jeweiligen Versagensmechanismus gehörenden Materialfestigkeiten. Die Frage nach dem Versagensmechanismus lässt sich nur experimentell beantworten; aus den Experimenten können dann prinzipiell Rückschlüsse auf die notwendigen mechanischen Parameter zur Vorhersage der Bruchlast gezogen werden.

Da das Versagen von geklebten Anschlüssen durch einen mehrachsigen Spannungszustand herbeigeführt wird [10-12], ist in der Regel die Kenntnis des Bruchkriteriums der beteiligten Werkstoffe erforderlich. Im Falle von Metallen sind solche Versagenskriterien relativ einfach zu formulieren (z.B. von Mises) während für anisotrope Werkstoffe diese in der Regel komplizierter sind. Einen Überblick über häufig angewandte Kriterien liefern unter anderen Kasal und Leichti [13], ein weiterhin beliebtes Kriterium ist das von Norris [14].

4 Probabilistische Bemessung von geklebten Holzverbindungen

Im Rahmen der Überlegungen zur Anwendbarkeit von probabilistischen Methoden zur Bestimmung der Festigkeit von geklebten Anschlüssen im Holzbau wurden an der Berner Fachhochschule Architektur, Holz und Bau Versuche durchgeführt. Dabei wurden Doppellaschenanschlüsse aus Fichte bis zum Bruch auf Zug beansprucht.

Die Geometrie der untersuchten Probekörper ist Abb. 1 zu entnehmen. Die Dicke der außenliegenden Lamellen betrug die Hälfte der innenliegenden. Zum Kleben wurde ein Zweikomponenten-Epoxydharz-Kleber verwendet. Die untersuchten Überlappungslängen betrugen 80 mm, 120 mm und 160 mm. Ein typisches experimentell ermitteltes Bruchbild ist in Abb. 1, die Bruchlasten in Abb. 2 dargestellt. Bruch erfolgte immer im Holz, an keinem Probekörper versagte die Klebefuge; der Bruch selbst war spröde.

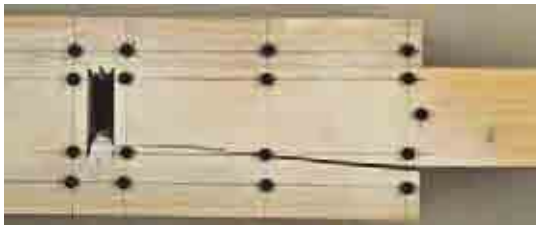


Abb. 1: Untersuchter Doppellaschenanschluss nach dem Bruch

Das verwendete Fichtenholz wurde anhand von kleinen Probekörpern hinsichtlich seiner Festigkeitskennwerte untersucht. Dabei wurde eine relative hohe Zahl von Zugversuchen durchgeführt, bei denen die Fasern verschiedene Neigungen zur Kraft aufwiesen. Diese *Off-axis Tests* ermöglichen es, neben der Festigkeit parallel und senkrecht zu den Fasern, respektive σ_1 und σ_2, auch dessen Schubfestigkeit τ_{12} zu bestimmen, wenn ein mehrachsiges Bruchkriterium angenommen wird. Werden diese Versuchsergebnisse statistisch ausgewertet, ergeben sich die Parameter zur Bestimmung der dazugehörigen Weibull-Verteilungen. Vorraussetzung hierfür ist, dass eine ausreichende Zahl von Versuchen durchgeführt wird, im hier beschriebenen Fall waren dies über 30 Zugversuche pro Faserausrichtung.

Parallel zu den experimentellen Untersuchungen wurden die Anschlüsse numerisch modelliert. Ohne an dieser Stelle auf die Details der Modellierung zu gehen, sei auf die Ergebnisse in Abb. 3 hingewiesen, welche die Spannungsspitzen an der Versagensstelle darstellen. Es sei angemerkt, dass die Spannungsspitzen an den Stellen auftreten, wo experimentell der Bruch initiiert wurde.

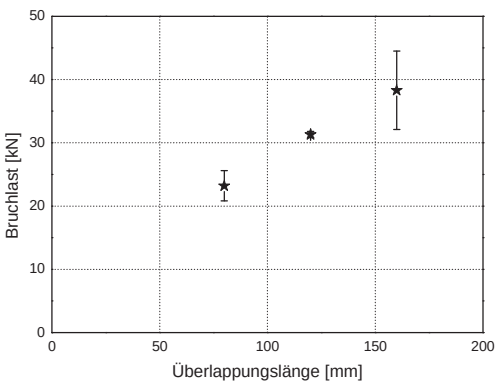


Abb. 2: Experimentelle Bruchlasten in abh. der Überlappungslänge L

Um die Bruchlast der untersuchten Anschlüsse zu bestimmen, wurden zwei Verfahren verwendet:

(i) der deterministische Spannungsnachweis und (ii) probabilistisch. Bei der deterministischen Bruchlastbestimmung wurde ein „einfacher" Spannungsnachweis auf Grundlage des Norris Bruchkriteriums nach Gl. 3 geführt.

$$\frac{\sigma_1^2}{\sigma_{R,1}^2}-\frac{\sigma_1\sigma_2}{\sigma_{R,1}\sigma_{R,2}}+\frac{\sigma_2^2}{\sigma_{R,2}^2}+\frac{\tau_{12}^2}{\tau_{R,12}^2}=1 \quad \frac{\sigma_1^2}{\sigma_{R,1}^2}=1 \quad \frac{\sigma_2^2}{\sigma_{R,2}^2}=1$$

(Gl. 3)

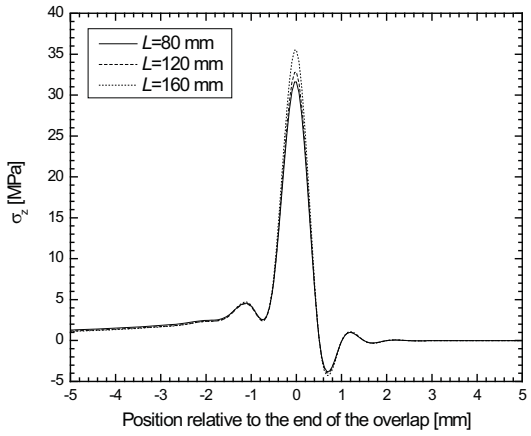


Abb. 3: Querzugsspannungsspitzen, σ_z, an der Enden der Überlappung für verschiedene Überlappungslängen, ermittelt unter der experimentell bestimmten Bruchlast

Dabei sind: σ_1, σ_2 τ_{12} die Spannungskomponenten an der höchstbelasteten Stelle, $\sigma_{R,1}$, $\sigma_{R,2}$ und $\tau_{R,12}$ die experimentell bestimmten Materialwiderstände.

Beim der probabilistischen Bruchlastermittlung werden die Spannungen, wie sie mit der FEM ermittelt werden, durch Gl. 4 zu einer Versagenswahrscheinlichkeit umformuliert.

$$P_s=\prod_{i=1}^{n}\exp\left[-\frac{V_i}{V_0}\cdot\left(\frac{\sigma_{F,i}}{\sigma_{F,0}}\right)^m\right]=\exp\sum_{i=1}^{n}\left[-\frac{V_i}{V_0}\cdot\left(\frac{\sigma_{F,i}}{\sigma_{F,0}}\right)^m\right]$$

(Gl. 4)

Dabei sind: V_i die Volumen der finiten Elemente, V_0 die der zur Ermittlung der mechanischen Kennwerte herangezogenen Probekörper, $\sigma_{F,i}$ die aus der FEM resultierenden Spannungsoperatoren, $\sigma_{F,0}$ und m statistische Parameter zur Beschreibung der Weibull- Verteilung.

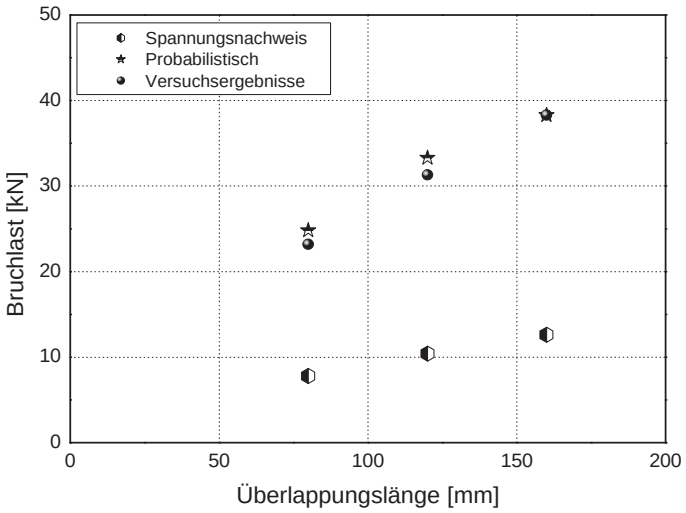


Abb. 4: Vergleich zwischen experimentell, deterministisch und probabilistisch bestimmten Bruchlasten in abh. der Überlappungslänge L

Die Ergebnisse sind in Abb. 4 dargestellt; es zeigt sich eindeutig, dass der Spannungsnachweis aufgrund der (in Abb. 3 anschaulich aufgezeigten) Spannungsspitzen nicht in der Lage ist die Bruchlast auch nur annähernd zu bestimmen. Die probabilistische Methode dagegen weist eine sehr gute Übereinstimmung mit den Versuchsergebnissen auf.

5 Zusammenfassung

Das hier dargestellte Beispiel zeigt, dass sich auch relativ komplexe mechanische Systeme im Holzbau noch konsistent rechnerisch nachweisen lassen, ohne dass hierzu empirische Faktoren hinzugezogen werden müssen. Prinzipiell lässt sich diese Vorgehensweise auch auf andere Systeme anwenden, insbesondere dort wo hohe Spannungsspitzen auftreten, z.B. ausgeklinkte Träger, ange-

klebte Stahl- oder CFK-Lamellen und Schwalbenschwanzanschlüsse.

Durch die hier dargelegte probabilistische Methode zur Anschlussbemessung wird es möglich, eine Optimierung am Anschluss numerisch durchzuführen. Ohne den probabilistischen Ansatz wird ein solches Vorgehen dadurch erschwert, dass eine Vielzahl von empirisch bestimmten Parametern die mechanischen Zusammenhänge zwischen Geometrie, Spannungen und Tragfähigkeit verschleiern.

Quellen

[1] Bažant ZP, Scaling of Structural Strength, London: Elsevier, 2005.

[2] Volkersen O, Die Nietkraftverteilung in zugbeanspruchten konstanten Laschenquerschnitten, Luftfahrtforschung 1938, Vol. 15, pp. 41–47.

[3] Goland M and Reissner E, The Stresses in Cemented Joints, Journal of Applied Mechanics 1944, March, pp. A17–A27.

[4] Lucas FM, da Silva, Paulo JC, da Neves, Adams RD, Spelt JK, Analytical models of adhesively bonded joints—Part I: Literature survey, International Journal of Adhesion and Adhesives, 29(3), 2009, pp. 319-330.

[5] Lucas F.M. da Silva, Paulo J.C. das Neves, R.D. Adams, A. Wang, J.K. Spelt, Analytical models of adhesively bonded joints—Part II: Comparative study, International Journal of Adhesion and Adhesives, Volume 29(3), 2009, p. 331-341.

[6] Adams RD, Harris JA, The influence of local geometry on the strength of adhesive joints. International Journal of Adhesion, Adhesives 1987;7(2):69–80.

[7] Tsai MY, Morton J, The effect of a spew fillet on adhesive stress distributions in laminated composite single-lap joints, Composite Structures 1995;32(1-4):123–131.

[8] Lang TP, Mallick PK, Effect of spew geometry on stresses in single lap adhesive joints. International Journal of Adhesion, Adhesives 1998;18(3):167–177.

[9] Belingardi G, Goglio L, Tarditi A, Investigating the effect of spew, chamfer size on the stresses in metal/plastics adhesive joints, International Journal of Adhesion, Adhesives 2002;22(4):273–282.

[10] Vallée T, Correia JR, and Keller T, Probabilistic strength prediction for double lap joints composed of pultruded GFRP profiles–Part I: Experimental and numerical investigations, Composites Science and Technology, vol. 66, no. 13, pp. 1903–1914, Oct, 2006.

[11] Vallée T, Correia JR, and Keller T, Probabilistic strength prediction for double lap joints composed of pultruded GFRP profiles–Part II: Strength prediction, Composites Science and Technology, vol. 66, no. 13, pp. 1915–1930, Oct, 2006.

[12] River BH, Fracture of adhesive-bonded wood joints, In: Handbook of Adhesive Technology, 2nd ed., Eds. Pizzi A, Mittal KL. Marcel Dekker, New York. pp. 653-680.

[13] Kasal B, Leichti RJ, State of the art in multiaxial phenomenological failure criteria for wood members, Prog. Struct. Engng Mater. 2005; 7:3–13.

[14] Norris GB, Strength of orthotropic materials subjected to combined stress, Report No. 1816. US Department of Agriculture, Forest Research Laboratory. Madison, WI, 1950. 40 pp.

15.2 Bemessung

Zum Tragverhalten nachgiebig verbundener Biegeträger aus Holz

Leif Arne Peterson

Zusammenfassung

Die im Holzbau übliche Bemessung für nachgiebig verbundene Biegeträger unter statischer Beanspruchung unterstellt linear elastisches Verbindungsmittelverhalten. Dem gegenüber werden die Ergebnisse praktischer Untersuchungen an zweiteiligen Kantholzbiegeträgern mit mechanischen Verbindungsmitteln unterschiedlicher Verformungscharakteristika vorgestellt. Hierdurch können die Unterschiede zum realen, plastischen Tragverhalten aufgezeigt werden. Begleitet von weiteren praktischen Untersuchungen an einzelnen Verbindungsmitteln unter Blockscherbeanspruchung wird die rechnerische Berücksichtigung des plastischen Verbindungsmittelverhaltens auf zwei theoretischen Wegen dargestellt. Zum einen handelt es sich hierbei um ein weiterentwickeltes, semianalytisches γ-Verfahren, welches unter Verwendung numerischer Differentialgleichungslöser (MAPLE®) das nicht elastische Verbindungsmittelverhalten berücksichtigen kann. Zum anderen sind dies Analysen mit finiten Volumen- und Kontakt-Elementen (ANSYS®), denen gegenüber sich das weiterentwickelte γ-Verfahren als leistungsfähiger erweist.

1 Einleitung

Zwischen dem lose übereinander gelagerten und dem starr verleimten mehrteiligen Biegeträger herrscht hinsichtlich des Tragverhaltens ein extremer Unterschied. Sind die Einzelquerschnitte vernagelt oder durch andere mechanische Verbindungsmittel schubweich verbunden, nennt man bei entsprechender Beanspruchung das Gesamtsystem einen nachgiebig verbundenen Biegeträger. Sein Tragverhalten liegt zwischen den in Abb. 1 dargelegten Extremen.

Als Einflussfaktoren aus der Verbundfuge sind die Reibung, die Steifigkeit der Verbindungsmittel sowie deren Anordnung zu erwähnen. Um die Beanspruchungen in solchen nachgiebig verbundenen Biegeträger zu berechnen, bedient man sich der wirksamen Biegesteifigkeit des Gesamtquerschnitts. Diese wirksame Biegesteifigkeit eines nachgiebig verbundenen Biegeträgers ist nicht mehr unabhängig vom statischen System und der Belastung, die auf das System einwirkt.

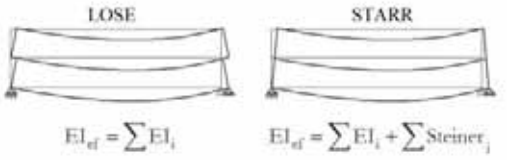


Abb. 1: Loser und starrer Verbund

In der Holzbaubemessung wird zur Ermittlung der wirksamen Biegesteifigkeit das γ-Nährungs-Verfahren verwendet. γ ist hierbei der Abminderungsbeiwert für den steinerschen Biegesteifigkeitsanteil und resultiert aus der geschlossen Lösung eines das Tragverhalten beschreibenden Differentialgleichungssystems (vgl. Abb. 2), wie es beispielsweise in [2] hergeleitet wird.

Bei der Berechnung von γ wird durch die konstante Fugensteifigkeit k eine elastische Schubkraftübertragung in der Verbindungsmittelfuge zugrunde gelegt. Mechanische Verbindungsmittel sind aber in Realität nicht ideal elastisch, sondern haben eine nichtlineare Kraft-Verformungs-Kurve. Für die Bemessung werden sie unter Verwendung der zum Gebrauchslastniveau gehörenden Verschiebung linearisiert. In der Realität sind sie bei niedrigen Belastungen deutlich steifer und im oberen Lastbereich deutlich weicher als die mittleren aus Versuchen bestimmten konstanten Verschiebungsmodulen. Diese werden auch nur für Verformungsprognosen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit den Bemessungen zugrunde gelegt. Dem höheren Bemessungsniveau im Grenzzustand der Tragfähigkeit entgegenkommend und zugunsten der Sicherheiten in den verbundenen Bauteilen, wird pauschal der Verschiebungsmodul um ein Drittel abgemindert.

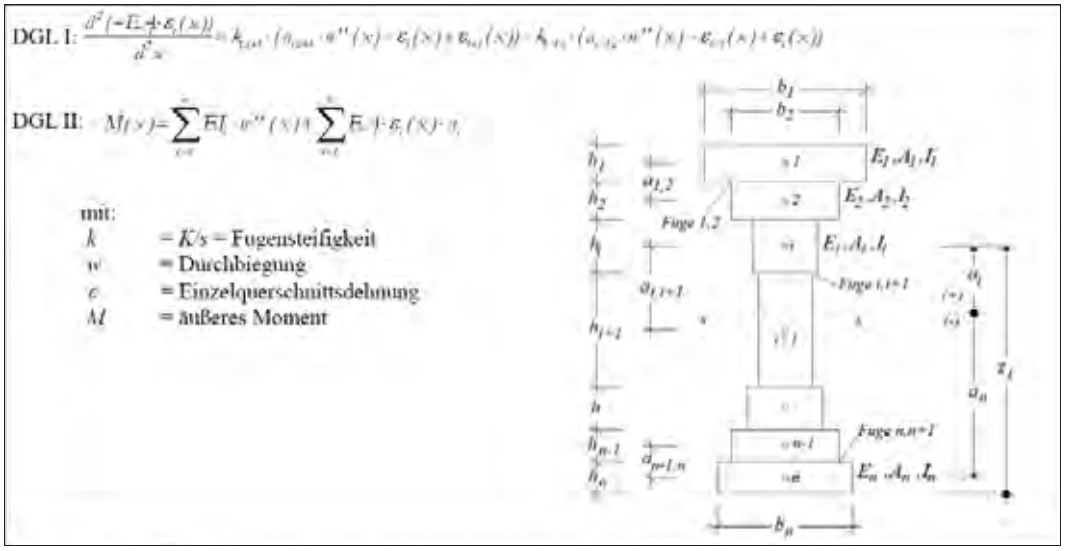


Abb. 2: Differentialgleichungssystem des nachgiebig verbundenen Biegeträgers

2 Praktische Untersuchungen

2.1 Blockscherversuche

In einer ersten Versuchsserie wurden Blockscherversuche an einzelnen Verbindungsmitteln durchgeführt, um deren Verformungscharakteristika zu bestimmen. Es wurden Nägel (Na 60 x 180), kaltverformte Stabdübel (SDü ∅ 10 x 200) und Ringkeildübel (Dü ∅ 65 A1) in jeweils fünf gleichen Versuchskörpern geprüft.

In diesen fünf Versuchskörpern waren die Einflüsse aus Fugenreibung durch eine doppelte Teflonschicht (jeweils 0,6 mm) in der Kontaktfuge nahezu ausgeschaltet. Zur Abschätzung dieses Einflusses wurde ein weiterer Probekörper ohne Reibbefreiung, also mit Reibeinflüssen in der Versuchseinrichtung auf Abscheren beansprucht.

In den Kraft-Verformungs-Linien der Verbindungsmittel lässt sich der Einfluss der Fugenreibung deutlich anhand der etwa 20 % höheren Tragfähigkeit und der größeren Steifigkeit erkennen.

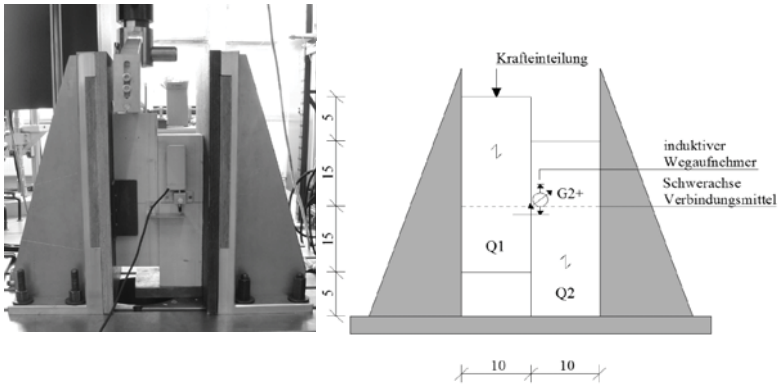


Abb. 3: Versuchsaufbau der Blockscherversuche

Die Mittelung der Kraft-Verformungs-Linien aus den fünf reibbefreiten Versuchskörpern ermöglicht die gemeinsame Ergebnisdarstellung in Abb. 4. Hieraus lassen sich die Unterschiede der Verformungscharakteristika erkennen. Verdeutlicht werden diese Differenzen auch durch die Verformungsfiguren der Verbindungsmittel.

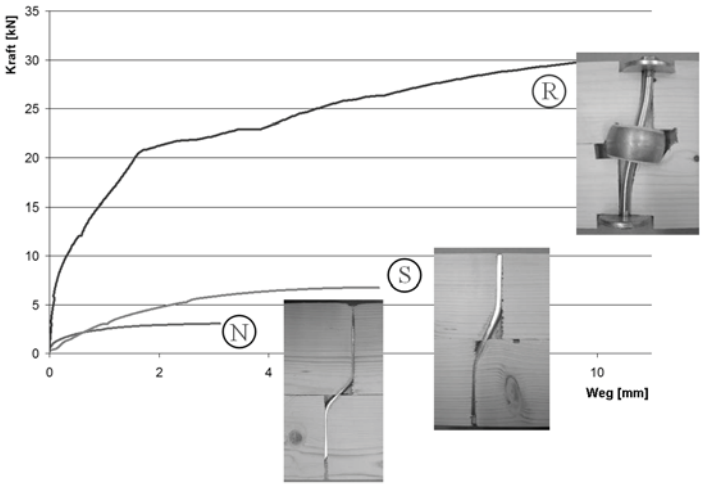


Abb. 4: Ergebnisse der Blockscherversuche

2.2 Bauteilversuche

In einer weiteren Versuchsserie, den Bauteilversuchen, wurden die gleichen Verbindungsmittel für nachgiebig verbundene Biegeträger mit kontinuierlicher Fugensteifigkeit verwendet. Die geometrischen Anschlussbedingungen waren identisch mit denen im Blockscherversuch. Für die Wahl des Verbindungsmittelabstandes parallel zur Faser war der Wunsch nach einer möglichst zwischen den Grenzwerten „starrer Verbund“ und „loser Verbund“ liegenden mittleren Verbundwirkung, beziehungsweise einer mittleren Biegesteifigkeit ausschlaggebend.

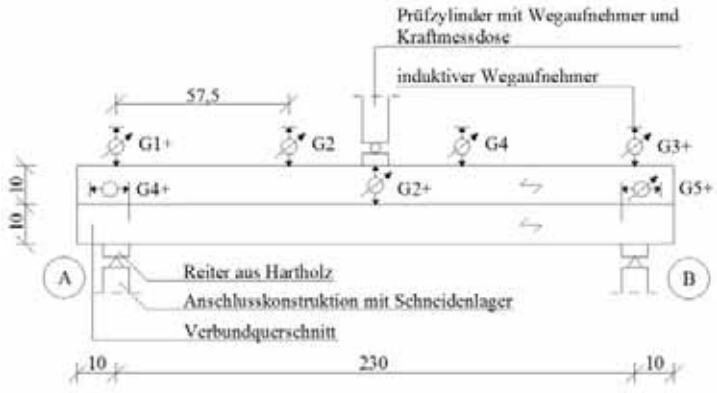


Abb. 5: Versuchsaufbau der Bauteilversuche

Der Stichprobenumfang umfasste wiederum fünf reibbefreite und einen in der Holz - Holz Fuge von Reibung beeinflussten Probekörper. Die 10/10 cm KVH-Kanthölzer bestanden zum Teil aus über Keilzinken verbundenen Hölzern unterschiedlicher Rohdichte.

3 Finite Elemente

Das strukturelle Tragverhalten genauer zu untersuchen war Anlass für die vergleichenden dreidimensionalen Berechnungen der beiden Versuchsserien in dem FEM- Programm ANSYS®.

Bei der Modellgenerierung wurde auf die Variabilität der geometrischen Parameter Wert gelegt, wie beispielsweise die der Elementierung. Zahlreiche Konvergenzuntersuchungen führten zu der in Abb. 6 zu erkennenden Netzfeinheit. Außerdem sind in diesem Bild die berücksichtigten Symmetriebedingungen dargestellt, wobei der obere Einzelquerschnitt nicht abgebildet ist, um den Einblick in die Anschlussfuge zu gewähren.

Den Volumen-Elementen sind Materialeigenschaften zuzuweisen. Für den isotrop unterstellten Stahl der Verbindungsmittel ist dies vergleichsweise einfach, weshalb an dieser Stelle nur auf die verwendeten Materialgesetze zur Abbildung des Holzes eingegangen wird.

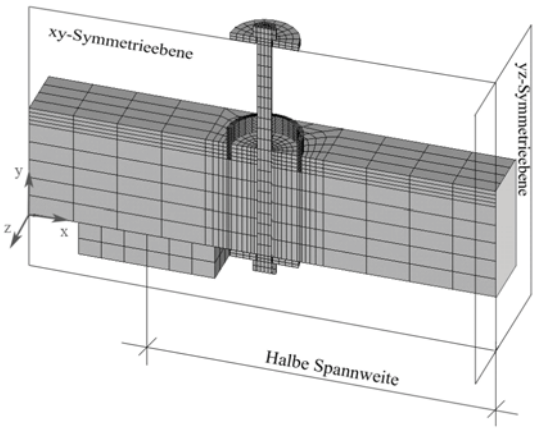


Abb. 6: Netzfeinheit und Symmetrie

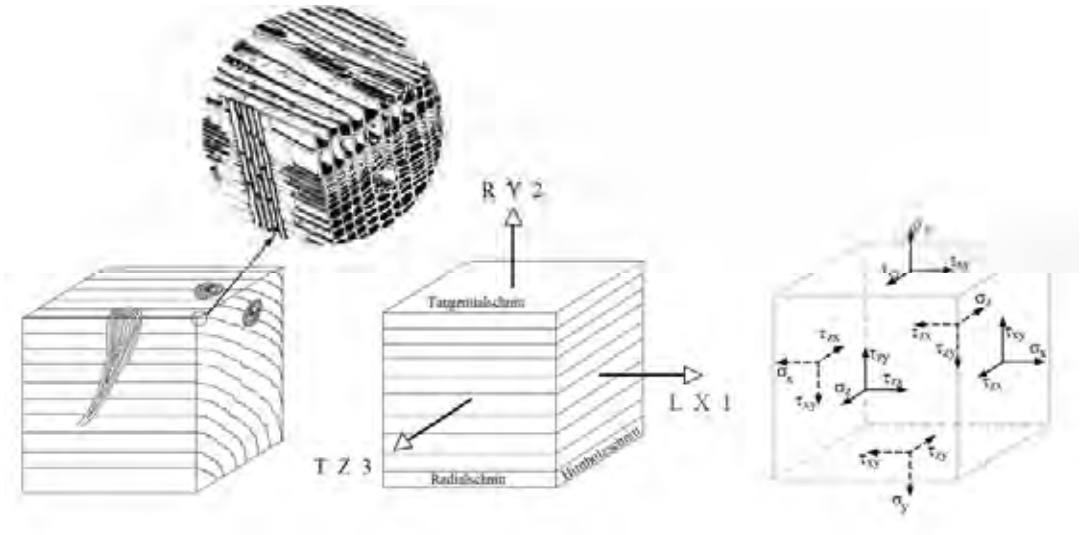


Abb. 7: Idealisierungen vom Vollholzwürfel zum Modell

Da Holz sich aufgrund seiner Mikrostruktur in unterschiedliche Richtungen unterschiedlich verhält, wird eine rhombische Anisotropie vorausgesetzt. Bereits zur Beschreibung des elastischen Holzverhaltens ist das Hooksche Gesetz zu erweitern bzw. zu verallgemeinern. Die Beziehung zwischen den Verformungen (Dehnungen und Gleitungen) und den (Normal- und Schub-) Spannungen wird durch eine zur Hauptdiagonalen symmetrische Steifigkeitsmatrix geregelt. Das elastische Materialverhalten von Holz lässt sich somit durch neun Parameter beschreiben. Da von dem hier abzubildenden Fichtenholz aus Vorversuchen der Elastizitätsmodul in x-Richtung und die Holzfeuchte bekannt waren, konnten die restlichen Parameter der Arbeit von NEUHAUS [3] entnommen werden.

Auch das plastische Materialgesetz kann durch mathematische Beziehungen angegeben werden, welches die Antwort des Materials unter Berücksichtigung irreversibler Dehnungen charakterisiert. Mit der generalisierten Hill-Potential-Theorie existiert in ANSYS® hierfür ein zuverlässiges, numerisch stabiles Materialgesetz, welches nichtlineares anisotropes Materialverhalten auf Grund lage zeitunabhängiger Plastizität zu berücksichtigen erlaubt. Dieser Plastizitätstheorie liegt eine zylindrische Fließfläche mit elliptischem Querschnitt zugrunde. Im Hauptspannungsraum umhüllt sie die Diagonale gleicher Hauptspannungen, welche aber nicht zwangsläufig auch die Mittelachse der Fließfläche sein muss.

Unter Verwendung dieser Materialgesetze wurden zunächst die Blockscherversuche modelliert. Das Trag- und Verformungsverhalten der Probekörper in diesen Versuchsreihen wird maßgeblich von den Materialeigenschaften des Holzes im Lochleibungsbereich beeinflusst.

Anhand der Versuchsergebnisse wurde ein plastisches Materialmodell identifiziert, welches das Tragverhalten aller drei Verbindungsmittel in den Blockscherversuchen auch unter Berücksichtigung großer Deformationen äußert brauchbar abbildet.

In den FEM-Modellen zur Abbildung der Bauteilversuche wurde dieses Materialmodell diskreten Lochleibungsbereichen zugewiesen. Deren Größe wurde nach den in diesen Modellen beobachteten Ausbreitungen der plastischen Verformungen

gewählt. Die Ergebnisse dieser FEM-Berechnungen sind in Abb. 9 anhand der gegenseitigen Verschiebungen dargestellt. Die dicken Linien zeigen die gemittelten Versuchsergebnisse der reibbefreiten Probekörper. Die FEM-Ergebnisse (dünne gepunktete Linien) lassen erkennen, dass das reale Tragverhalten deutlich unterschätzt wird. Diese Tragwerksreserven lassen sich unter Zuhilfenahme der visuellen Ergebnisausgabe des FEM- Programms erklären. Sie resultieren im Wesentlichen aus der gegenüber dem Blockscherversuch abweichenden Beanspruchung. Die Verbindungsmittel werden nicht nur auf Abscheren beansprucht, sondern gleichzeitig verdrehen sich die Einzelquerschnitte und werden auseinander gedrückt.

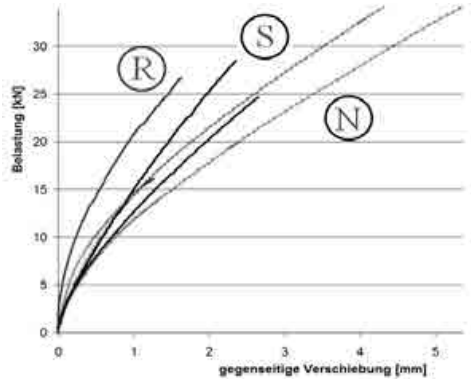


Abb. 8: Bauteilversuchsergebnisse

4 Semianalytisches γ-Verfahren

Während das in Abb. 2 angegebene Differentialgleichungssystem das Tragverhalten in Abhängigkeit der Durchbiegung und der Einzelquerschnitts-Dehnungen beschreibt, lässt sich auch ein Differentialgleichungssystem höherer Ordnung anschreiben, in welchem die Funktionen der Durchbiegung und der gegenseitigen Fugenverschiebungen δ die Unbekannten sind.

Numerische Lösungsmethoden, wie beispielsweise das vom Computeralgebraprogramm MAPLE® verwendete Schießverfahren, erlauben eine beliebig exakte Berechnung solcher Differentialgleichungssysteme als Randwertaufgaben. Bei dieser Lösungsmethode können auch nichtlineare Fugensteifigkeiten berücksichtigt werden, vorausgesetzt, dass diese als funktionale Beschreibung in Abhängigkeit der unbekannten gegenseitigen Fugenverschiebungen formulierbar sind. Es existieren in der Holzbauforschungslandschaft Ansatzfunktionen zur Beschreibung nichtlinearen Verbindungsmittelverhaltens (vgl. Blaß [5]). Diese sind aber für numerische Lösungsmethoden gänzlich unbrauchbar. Daher ist eine neue Ansatzfunktion entwickelt worden.

$$\text{Kraft}(\text{Weg}) = A \cdot (\arctan(B \cdot \text{Weg}))^C$$

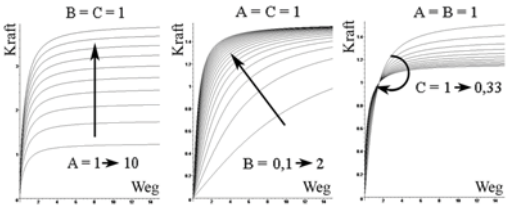


Abb. 9: Ansatzfunktion

Die allgemeine Form dieser auf dem Arcustangens basierenden Funktion ist von den drei Regelparametern A, B und C abhängig. Deren Auswirkungen sind gemeinsam mit der Funktion in Abb. 9 zu erkennen sind.

Mit dieser Ansatzfunktion lässt sich das mittlere Tragverhalten der reibbefreiten Blockscherversuche sehr gut idealisieren. Leitet man eine solche Kraftverformungsfunktion ab, ergibt sich ein funktionaler Zusammenhang für die Fugensteifigkeit. Wird dieser in das Differentialgleichungssystem aus Abb. 10 anstelle der konstanten Fugensteifigkeit integriert, ergibt sich ein komplexeres Differentialgleichungssystem, das immer noch nur die unbekannten Funktionen der Durchbiegung und der gegenseitigen Verschiebungen beinhaltet. Somit lässt sich nichtlineares Tragverhalten rechnerisch berücksichtigen.

$$\text{DGL I}: \quad \delta''_{i,j+1}(x) = a_{i,i+1} \cdot w'''(x) - \frac{k_{i-1,i}}{EA_i} \cdot \delta_{i-1,i}(x) + \left(\frac{k_{i,i+1}}{EA_i} + \frac{k_{i,i+1}}{EA_{i+1}} \right) \cdot \delta_{i,i+1}(x) - \frac{k_{i+1,i+2}}{EA_{i+1}} \cdot \delta_{i+1,i+2}(x)$$

$$\text{DGL II}: \quad Q(x) = -\sum_{i=1}^{n} EI_i \cdot w'''(x) + \sum_{i=1}^{n-1} \left(k_{i,i+1} \cdot a_{i,i+1} \cdot \delta_{i,i+1}(x) \right)$$

Abb. 10: Differentialgleichungssystem höherer Ordnung

Dass dieses zunächst nur qualitativ gelingt, lässt sich wiederum auf die zuvor mit den FEM-Berechnungen dargelegte abweichende Verbindungsmittelbeanspruchung zurückführen. In dem semianalytischen γ-Verfahren lassen sich durch Berücksichtigung eines weiteren Faktors vor der Ansatzfunktion die resultierenden Steifigkeitsreserven verhältnismäßig leicht quantifizieren. So konnte die in Abb. 11 dargestellte Übereinstimmung zwischen den Versuchen und den Berechnungen unter Verwendung der ebenfalls abgebildeten P_{et} - Faktoren erzielt werden. Die Steifigkeitsreserven der beiden stiftförmigen Verbindungsmittel sind demnach in etwa in der gleichen Größenordnung von 60 %. Für die Verbindungsmitteleinheit des Ringkeildübels liegen sie allerdings deutlich höher, was auf die stärkere Auswirkung der Beanspruchungsabweichung durch den Einhängeeffekt im Bolzen zurückzuführen ist.

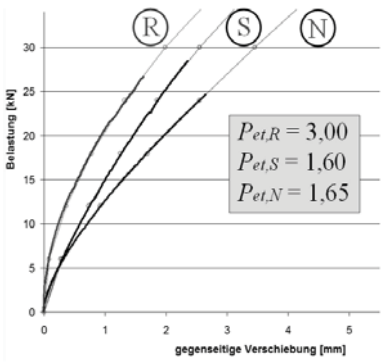


Abb. 11: Bauteilversuch und Berechnung

Als Vorteile dieses semianalytischen γ-Verfahrens ist neben der geringen Berechnungszeit vor allem die überschaubare Anzahl von zwei Regelparametern gegenüber numerischen Instabilitäten zu nennen.

5 Zusammenfassung und Ausblick

In Anbetracht der aus den Materialschwankungen im Holzbau resultierenden Sicherheiten ist unter der Maxime: „So einfach wie möglich, so genau wie nötig“ das existierende normative γ-Verfahren für die allermeisten Bemessungsaufgaben zu favorisieren.

Durch die vergleichenden FEM-Berechnungen der Blockscher- und der Bauteilversuche liegt ein Materialmodell zur realitätsnahen Abbildung plastischer Deformationen im Lochleibungsbereich mechanischer Verbindungsmittel vor. Das Materialgesetz sowie dessen Eingangsparameter sind weiterzuentwickeln. Insbesondere sollte ein Multiskalen-Ansatz entwickelt werden, der auch die Kompressibilität des natürlichen Materials Holz zu berücksichtigen ermöglicht.

Das semianalytische γ-Verfahren ist ein äußerst leistungsfähiges Werkzeug zur Berücksichtigung nichtlinearen Verbindungsmittelverhaltens. Mit einem überschaubaren Mehraufwand lassen sich nachgiebig verbundene Biegeträger hiermit zukünftig wirtschaftlicher bemessen.

Die hierfür notwendige Entwicklung einer funktionalen Beschreibung des plastischen Verbindungsmittelverhaltens, welches die Anwendung numerischer Lösungsmethoden ermöglicht, sei auch für zukünftige Forschungsaufgaben noch einmal besonders herausgestellt.

Für die Umsetzung eines neuen plastischen Bemessungskonzeptes in Anlehnung an die hier vorgestellte Methode sind vielfältige Anwendungsmöglichkeiten gegeben. Allerdings sind dafür statistisch abgesicherte Ansatzfunktionen zu ermitteln, um dass plastische Verbindungsmittelverhalten in Abhängigkeit vom Verbindungsmittel selbst und der Einbausituation berücksichtigen zu können.

Quellen

[1] L. A. Peterson: Zum Tragverhalten nachgiebig verbundener Biegeträger aus Holz. Dissertation Leibniz Universität Hannover, 2008

[2] W. Schelling: Zur Berechnung nachgiebig zusammengesetzter Biegeträger aus beliebig vielen Einzelquerschnitten. In: Ingenieurholzbau in Forschung und Praxis, Bruderverlag Karlsruhe, 1982

[3] F.-H. Neuhaus: Elastizitätszahlen von Fichtenholz in Abhängigkeit von der Holzfeuchte. Dissertation RU Bochum, 1981

[4] M. Grosse: Zur numerischen Simulation des physikalisch nichtlinearen Kurzzeittragverhaltens von Nadelholz am Beispiel von Holz-Beton-Verbundkonstruktionen. Dissertation BU Weimar, 2003

[5] H. J. Blaß: Untersuchungen über die Variation des Last-Verschiebungsverhalten in Nagelverbindungen. In: Holz als Roh- und Werkstoff, 48. Jahrgang, S.327-332, 1990

15.3 Aussteifung
Aussteifung mit Holzfaserdämmplatten

Gunnar Gebhardt

1 Einleitung

Holzfaserdämmplatten (HFDP) werden den Holzwerkstoffen zugeordnet. HFDP werden aus Holzfasern hergestellt, die aus Schwachhölzern und Holzresten gewonnen werden. HFDP können in zwei Verfahren hergestellt werden: Im Nassverfahren werden die Holzfasern mit Wasser und weiteren Zuschlagstoffen zu einem Brei vermischt und anschließend verpresst und getrocknet. Als Bindemittel dient ausschließlich das im Holz enthaltene Lignin. Dickere Platten werden durch Verklebung einzelner Platten hergestellt, um den für die Trocknung hohen Energieeinsatz zu minimieren. Durch die Verklebung können auch Platten mit unterschiedlichen Rohdichten kombiniert werden. Im Trockenverfahren werden die Holzfasern mit Klebstoff besprüht und anschließend verpresst und getrocknet. Hierbei können Platten bis zu einer Dicke von 200 mm aus einer Lage hergestellt werden. Nach der Trocknung und einer eventuellen Verklebung werden die Platten zugeschnitten und nach Bedarf die Plattenränder gefräst.

HFDP werden in Gebäuden in unterschiedlichen Bauteilen eingesetzt. Unterdeckplatten werden im Dach als Alternative zur Unterspannbahn und in Außenwänden in hinterlüfteten Fassaden verwendet. Dämmplatten können in der Zwischensparren- oder Aufsparrendämmung zum Einsatz kommen. Sie besitzen eine geringere Rohdichte und damit eine geringere Wärmeleitfähigkeit. Wärmedämmverbundplatten werden in Außenwänden als Putzträgerplatte eingesetzt.

In den vergangenen Jahren sind die Anforderungen an den Wärmeschutz stetig gestiegen. Hierdurch werden immer dickere Dämmschichten notwendig. Als nachwachsender Rohstoff kann Holz in Form von HFDP für diesen Zweck eingesetzt werden. Die Dämmwirkung eines Bauteils wird durch den Wärmedurchgangskoeffizienten beschrieben. Ein niedriger Wärmedurchgangskoeffizient erhöht die Dämmwirkung des Bauteils. Der Wärmedurchgangskoeffizient ist dabei abhängig von den Schichtdicken und den einzelnen Wärmeleitfähigkeiten. Die Wärmeleitfähigkeit sinkt durch eine höhere Porosität und der damit verbundenen geringeren Rohdichte. Die Rohdichte des Holzwerkstoffes ist jedoch auch mit den Festigkeitseigenschaften korreliert. HFDP besitzen eine vergleichsweise geringe Rohdichte und wurden daher für einen Einsatz als aussteifende Beplankung bislang nicht untersucht.

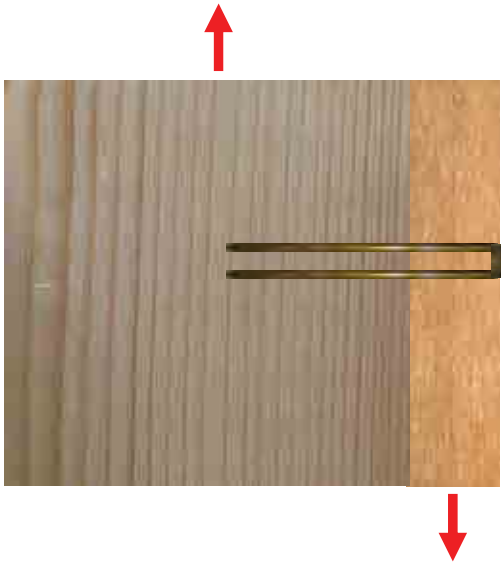


Abb. 1 Befestigung der Beplankung auf der Unterkonstruktion

In einem Forschungsvorhaben wurden am Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen der Universität Karlsruhe die tragfähigkeitsrelevanten Eigenschaften von HFDP unterschiedlicher Typen und Hersteller untersucht. Dabei wurden für die Berechnung der Tragfähigkeit der Verbindung zwischen HFDP und Holzunterkonstruktion die Lochleibungsfestigkeit von Nägeln in HFDP und die Rückendurchziehtragfähigkeit von Klammern ermittelt. Für den Nachweis der Beplankung wurde die Schubfestigkeit ermittelt.

2 Nachweise von aussteifenden Holztafeln

2.1 Nachweis der Tragfähigkeit nach DIN 1052:2004

Horizontale Lasten wie z.B. Wind- oder Erdbebenlasten können in Gebäuden durch Scheiben (Wände, Decken und Dächer) abgetragen werden. Eine Möglichkeit der Konstruktion einer aussteifenden Scheibe im Holzbau ist die Holztafelbauweise. Die Holztafel wird an allen Rändern durch Randrippen begrenzt. In regelmäßigem Abstand werden randparallele Innenrippen angeordnet. Über die Kopfrippe werden die einwirkenden Lasten in die Beplankung eingeleitet und über die Fußrippe in die angrenzenden Bauteile weitergeleitet. Nach DIN 1052: 2004 ist in der Bemessung von aussteifenden Holztafeln der Nachweis des Schubflusses zu führen:

$$\frac{s_{v,0,d}}{f_{v,0,d}} \leq 1 \qquad (1)$$

mit

$s_{v,0,d}$ Bemessungswert des Schubflusses der Beplankung

$f_{v,0,d}$ Bemessungswert der längenbezogenen Schubfestigkeit der Beplankung

In der Berechnung des Bemessungswertes der längenbezogenen Schubfestigkeit werden die drei möglichen Versagensmechanismen Versagen der Verbindung, Schubversagen der Beplankung und Beulen der Beplankung berücksichtigt:

$$f_{v,0,d} = \min \left\{ \begin{array}{c} k_{v1} \cdot \frac{R_d}{a_v} \\ k_{v1} \cdot k_{v2} \cdot f_{v,d} \cdot t \\ k_{v1} \cdot k_{v2} \cdot f_{v,d} \cdot 35 \cdot \frac{t^2}{a_r} \end{array} \right\} \qquad (2)$$

mit

k_{v1} Beiwert zur Berücksichtigung der Anordnung und Verbindungsart der Platten

k_{v2} Beiwert zur Berücksichtigung der Zusatzbeanspruchung

R_d Bemessungswert der Tragfähigkeit eines Verbindungsmittels auf Abscheren

a_v Abstand der Verbindungsmittel untereinander

$f_{v,d}$ Bemessungswert der Schubfestigkeit der Platten

t Dicke der Platten

a_r Abstand der Rippen

Für den Beiwert k_{v1} gilt:

$k_{v1} = 1{,}0$ für Tafeln mit allseitig schubsteif verbundenen Plattenrändern

$k_{v1} = 0{,}66$ für Tafeln mit nicht allseitig schubsteif verbundenen Plattenrändern

Für den Beiwert k_{v2} gilt:

$k_{v2} = 0{,}33$ bei einseitiger Beplankung

$k_{v2} = 0{,}5$ bei beidseitiger Beplankung

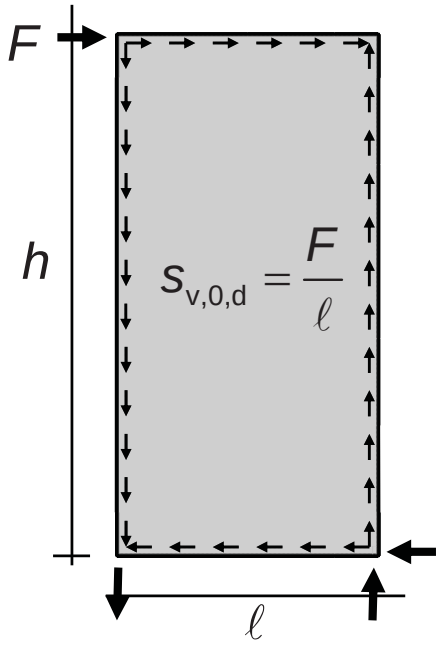


Abb. 2 Aussteifung über Schubfeld

2.2 Nachweis der Gebrauchstauglichkeit

Die horizontale Verformung einer Wandtafel in Richtung der Einwirkung kann nach „Erläuterungen zu DIN 1052: 2004“ berechnet werden. Die Verformung setzt sich hierbei aus vier Anteilen zusammen.

Der Verformungsanteil durch die Beanspruchung der Verbindungsmittel kann nach Gleichung (3) berechnet werden.

$$u_{K,inst} = (2l + 2h) \cdot \frac{a_v}{K_{ser} \cdot l^2} \cdot F \qquad (3)$$

mit

F horizontale Einwirkung in Tafelebene
l Länge der Wandtafel
h Höhe der Wandtafel
a_v Abstand der Verbindungsmittel
K_{ser} Verschiebungsmodul der Verbindungsmittel

Der Verformungsanteil aus der Schubbeanspruchung der Beplankung wird nach Gleichung (4) berechnet:

$$u_{G,inst} = \frac{F}{G \cdot t} \cdot \frac{h}{\ell} \qquad (4)$$

mit

G Schubmodul der Beplankung
t Dicke der Beplankung

Der Verformungsanteil aus der Normalkraftbeanspruchung der Randrippen errechnet sich zu:

$$u_{E,inst} = \frac{2}{3} \frac{F}{E_0 A} \cdot \left(\ell + \frac{h^2}{\ell^2} \cdot h \right) \qquad (5)$$

mit

E_0 Elastizitätsmodul der Rippe
A Querschnittsfläche der Rippe

Der Verformungsanteil der Wandtafel aus Querdruck wird nach Gleichung (6) berechnet:

$$u_{v,inst} = v_{90} \cdot \frac{h}{\ell} \cdot \frac{\sigma_{c,90,k}}{1{,}2 \cdot k_{c,90} \cdot f_{c,90} \cdot k_{mod}} = v_{90} \cdot \frac{h^2}{\ell^2} \cdot \frac{F}{1{,}2 \cdot A_{ef} \cdot k_{c,90} \cdot f_{c,90,k} \cdot k_{mod}} \qquad (6)$$

mit

v_{90} Querdruckverformung
$\sigma_{c,90,k}$ Querdruckspannung
A_{ef} Wirksame Querdruckfläche
$k_{c,90}$ Querdruckbeiwert
$f_{c,90,k}$ charakteristische Querdruckfestigkeit
k_{mod} Modifikationsbeiwert

Für die Querdruckverformung v_{90} darf bei voller Auslastung der Kontaktfläche v_{90} = 1 mm angenommen werden.

Die Gesamtverformung der Tafel ist die Summe der Einzelanteile.

3 Lochleibungsfestigkeit von Nägeln in HFDP

Die Lochleibungsfestigkeiten von Holzwerkstoffen können nach DIN 1052: 2004 in Abhängigkeit von der Rohdichte bzw. der Plattendicke und vom Durchmesser berechnet werden. Für HFDP wurden bislang keine Werte für die Lochleibungsfestigkeit ermittelt. Daher wurden mit fünf Nageldurchmessern über 600 Versuche in unterschiedlichen HFDP durchgeführt. Der Nagel wird in einen Probekörper eingebracht und nach einer festgelegten Prüfnorm beansprucht. Die Lochleibungsfestigkeit wird aus der aufgenommenen Kraft, der Dicke des Probekörpers und dem Nageldurchmesser berechnet.

Mit Hilfe einer multiplen Regressionsanalyse wurde für die mittlere Lochleibungsfestigkeit eine Gleichung in Abhängigkeit vom Durchmesser und von der Rohdichte hergeleitet.

$$f_h = 18{,}5 \cdot 10^{-5} \cdot \rho^{2{,}04} \cdot d^{-0{,}74} \quad \text{in N/mm}^2 \qquad (7)$$

mit

ρ Mittlere Rohdichte in kg/m^3
d Durchmesser in mm

Unter Berücksichtigung der jeweiligen charakteristischen Rohdichte für Unterdeckplatten (UDP), Wärmedämmverbundplatten (WDVP) und Dämmplatten (DP) kann die charakteristische

Lochleibungsfestigkeit in Abhängigkeit vom Durchmesser berechnet werden:

UDP $f_{h,k} = 8{,}88 \cdot d^{-0{,}75}$ in N/mm^2 (8)

WDVP $f_{h,k} = 4{,}25 \cdot d^{-0{,}75}$ in N/mm^2 (9)

DP $f_{h,k} = 1{,}57 \cdot d^{-0{,}75}$ in N/mm^2 (10)

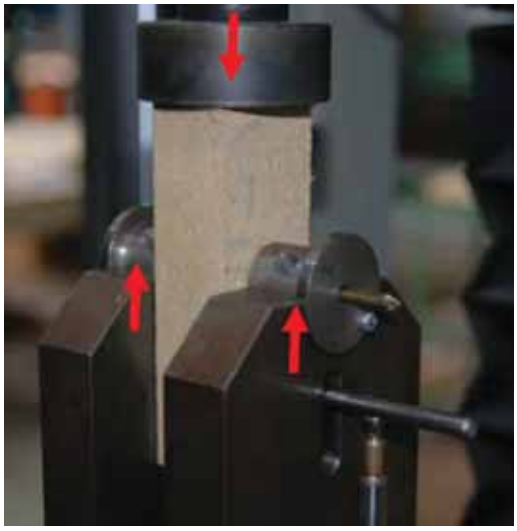


Abb. 3: Ermittlung der Lochleibungsfestigkeit

4 Rückendurchziehtragfähigkeit von Klammern in HFDP

Für die Ermittlung der Rückendurchziehtragfähigkeit von Breitrückenklammern in HFDP wurden weitere Versuche durchgeführt. Die ermittelte Maximallast entspricht hierbei der Rückendurchziehtragfähigkeit. Mit Hilfe einer multiplen Regressionsanalyse wurde für die mittlere Rückendurchziehtragfähigkeit eine Gleichung in Abhängigkeit von der Plattendicke und von der Rohdichte hergeleitet.

$R_{ax,2} = 0{,}040 \cdot \rho^{1{,}17} \cdot t^{0{,}95}$ in N (11)

mit

ρ Rohdichte der HFDP in kg/m^3

t Dicke der HFDP in mm

Die charakteristische Rückendurchziehtragfähigkeit kann nach Gleichung (12) berechnet werden:

$R_{ax,2,k} = 0{,}032 \cdot \rho_k^{1{,}17} \cdot t^{0{,}95}$ in N (12)

mit

ρ_k Charakteristische Rohdichte der HFDP in kg/m^3

Die Tragfähigkeit auf Herausziehen des Klammerschaftes aus Vollholz kann nach DIN 1052: 2004 berechnet werden.

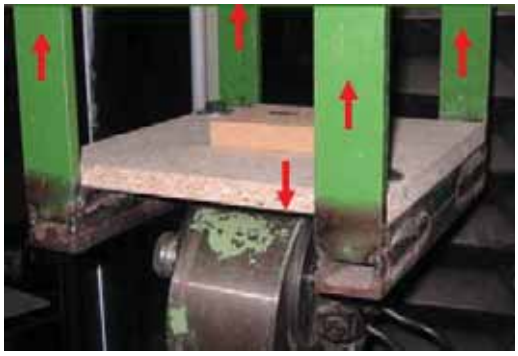


Abb. 4: Ermittlung der Rückendurchziehtragfähigkeit

5 Schubfestigkeiten und Schubmoduln von HFDP

Die charakteristischen Festigkeits- und Steifigkeitskennwerte von Hartfaserplatten und mitteldichten Faserplatten werden in DIN 1052: 2004 angegeben. Für HFDP wurden Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften in Plattenebene bislang nicht ermittelt. In Versuchen wurden daher die Schubfestigkeiten und Schubmoduln mit unterschiedlichen HFDP ermittelt. Die ausgeschnittenen Proben wurden für den Versuch mit Seitenhölzern verstärkt. Aus der Maximallast wird in Abhängigkeit von der Geometrie der Probe die Schubfestigkeit bestimmt.

Die unterschiedlichen HFDP wurden für die Bestimmung der charakteristischen Werte in vier Gruppen unterteilt: UDP mit $t \leq 22$ mm, UDP mit $t > 22$ mm, homogen aufgebaute WDVP sowie kombiniert aufgebaute WDVP und DP. Die cha-

rakteristischen Schubtragfähigkeiten und mittleren Schubmoduln sind in Tab. 1 angegeben.

Abb. 5 Ermittlung der Schubkennwerte

6 Zusammenfassung

In einem Forschungsvorhaben wurde am Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen der Universität Karlsruhe der Einsatz von HFDP als aussteifende Beplankung in Holztafeln untersucht. In Versuchen wurden die tragfähigkeitsrelevanten Eigenschaften von HFDP ermittelt. Hierfür wurden unterschiedliche HFDP von mehreren Herstellern ausgewählt. Die Lochleibungsfestigkeit von Nägeln in HFDP wurde mit fünf Durchmessern ermittelt. Als Ergebnis wird in Abhängigkeit von der Rohdichte der HFDP und vom Durchmesser des Verbindungsmittels eine Berechnungsgleichung für die mittlere Lochleibungsfestigkeit und Gleichungen für die charakteristischen Lochleibungsfestigkeiten angegeben. Mit Breitrückenklammern wurde die Rückendurchziehtragfähigkeit in HFDP ermittelt. Als Ergebnis wird in Abhängigkeit von der Rohdichte und von der Plattendicke eine Berechnungsgleichung für die mittlere und die charakteristische Rückendurchziehtragfähigkeit angegeben. In weiteren Versuchen wurden die Schubfestigkeiten und Schubmoduln von HFDP ermittelt. Charakteristische Kennwerte werden für verschiedene HFDP angegeben. Mit den Kennwerten für HFDP und den Eingangswerten für die Verbindung der HFDP mit der Unterkonstruktion kann die Tragfähigkeit von aussteifenden Holztafeln abgeschätzt werden. Damit können HFDP neben dem Wärmeschutz auch für die Aussteifung von Gebäuden herangezogen werden und besitzen ein Alleinstellungsmerkmal gegenüber anderen aussteifenden Holzwerkstoffplatten und weiteren Dämmstoffen.

Tab. 1: Kennwerte von HFDP

HFDP	σ in kg/m^3	$f_{v,k}$ in N/mm^2	G_{mean} in N/mm^2
UDP $t \leq 22$ mm	200	0,6	350
UDP $t > 22$ mm	200	0,4	300
WDVPh	150	0,3	300
WDVPc / DP	150 / 100	0,1	250

16 Leuchtturmprojekte

Leuchttürme sind Objekte, von denen man einen weiten Blick in die Holzbauszenerie werfen kann. Hier werden Bauwerke vorgestellt, die jeweils eine Besonderheit der Entwicklung des Holzbaues darstellen. Aus der Geschichte heraus entwickelt sich der Holzbau über die Fachwerkhäuser im Mittelalter bis hin zu modernen Wohnhäusern oder exotischen Wohnboxen. Dass man auch kommunale Bauten und Industrieanlagen in guter Qualität zu normalen Preisen realisieren kann, zeigen die Beispiele. Die technischen Ansprüche an den Brand- und Holzschutz können umgesetzt werden.

16 Leuchtturmprojekte

Bandkeramischer Holzbrunnen Kückoven (5.090-1.800 v. Chr.)
Pfahlbauten Überlingen (973 – 966 v. Chr.) / Stabkirche in Norwegen

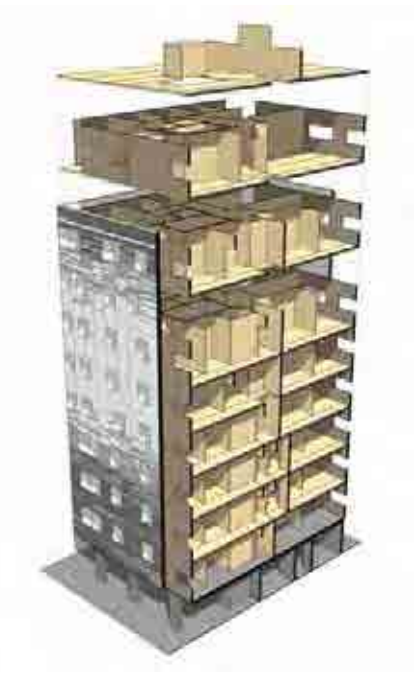
Fachwerkbau

Todai-ji Tempel Nara Japan, Bj. 745, restauriert 1708

Stabkirche Kerimäki FIN

Spruce Ghoose USA

Sea-Ranch USA



Wohnhaus Murray Groove London, GB – 9 Geschosse

Wohnhaus in Trondheim , N 2002

Würfelhäuser Karlsruhe

Wohnhaus in Kornwestheim

Wohnhaus GuglHupf in Innerschwand Mondsee, A

Museumswohnung „Parasite“ in Rotterdam, NL

Heliotrop in Freiburg, D

Cesa Futura in St. Moritz, CH

Kapelle San-Benedgt, CH

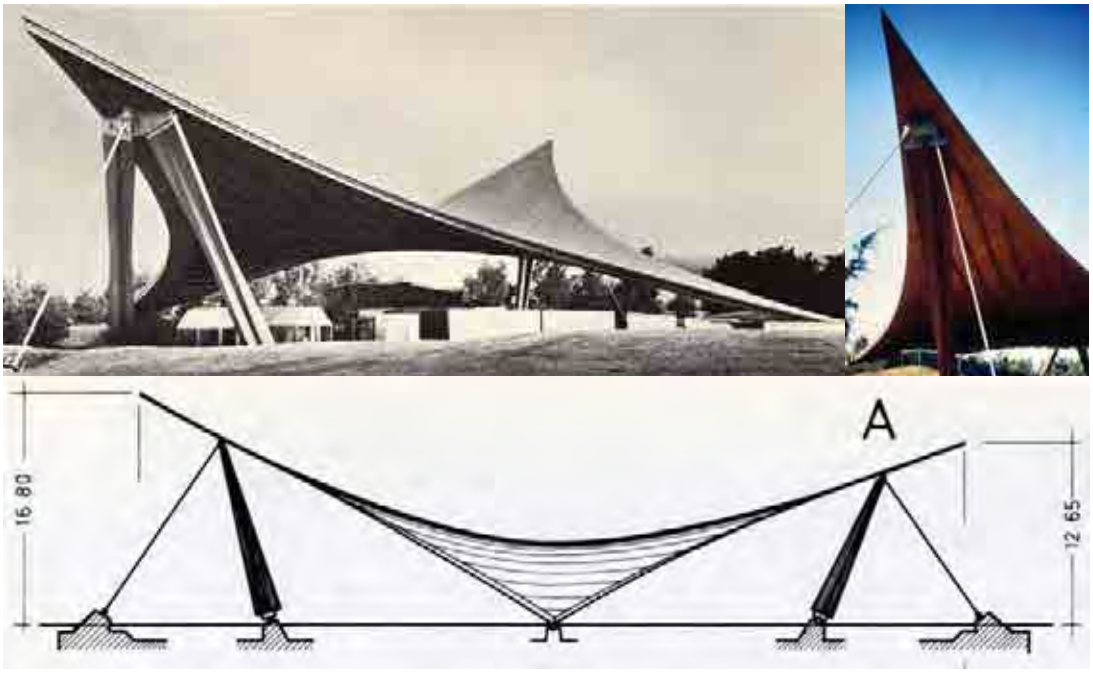
Sporthalle in Borex, CH

Trumpf Kantine in Ditzingen, D

Mensa FH Karlsruhe, D

Hausschneiderei Baufritz in Erkheim, D

Produktionshalle in Jenbach, A



Schale Gartenschau in Dortmund 1969, D

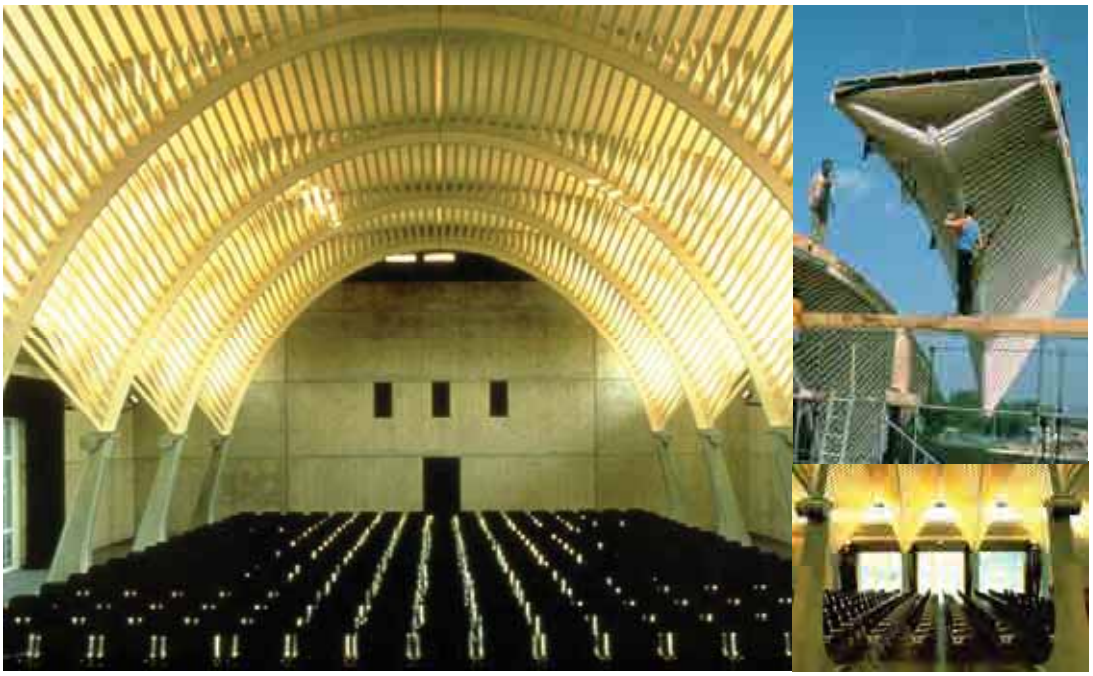
Multihalle in Mannheim, D

Hängeschale Expo 1964 in Lausanne, CH

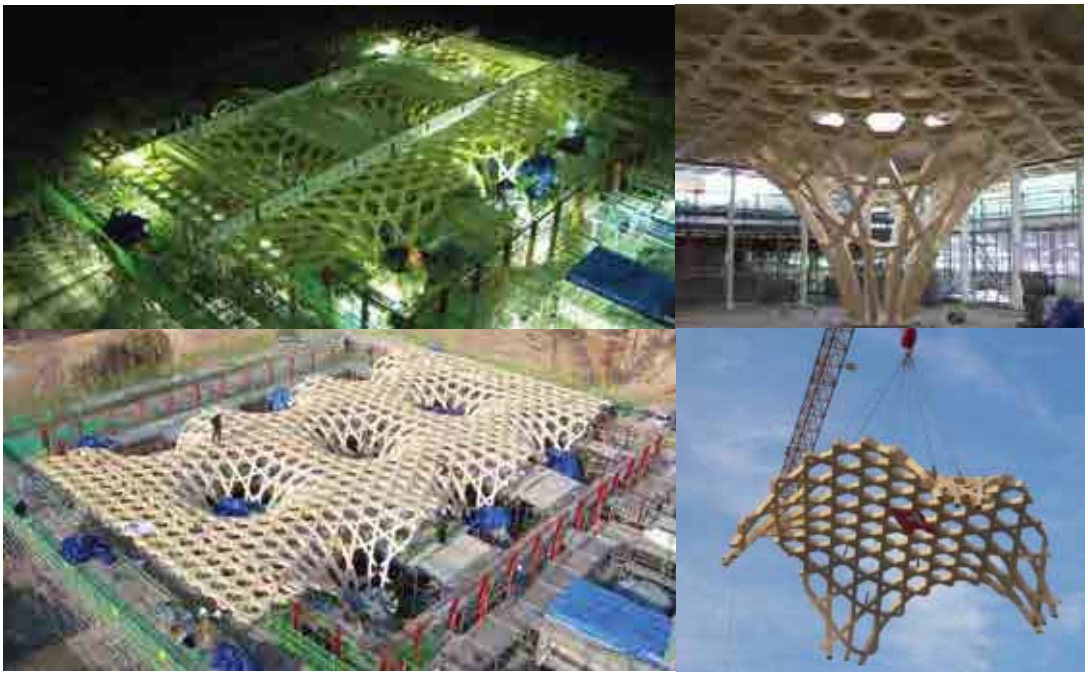
Kuppel Izumo, Japan

Japanischer Pavillon Expo 2000 in Hannover, D

Expodach 2000 in Hannover, D



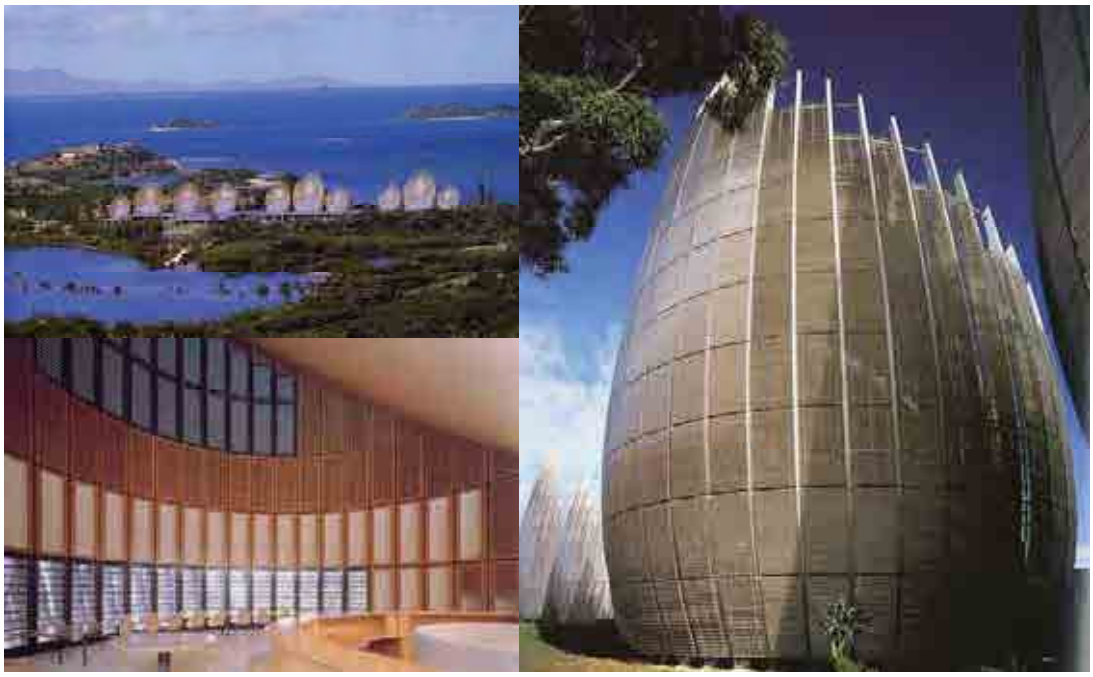
Kantonschule in Wohlen, CH



Yeoju Golf Resort, Südkorea

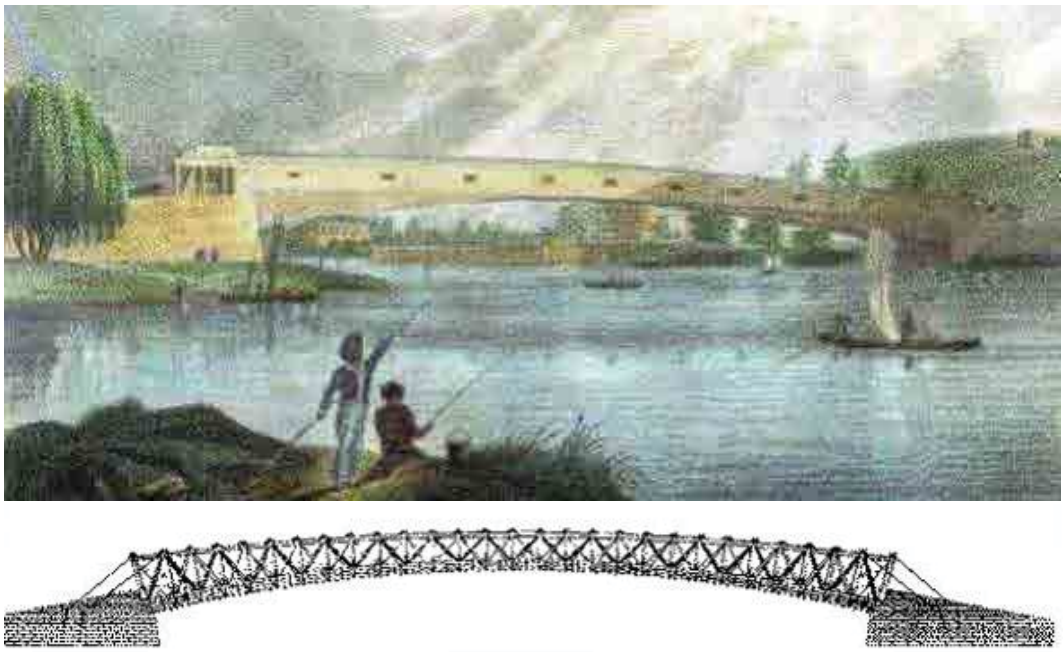
Gerichtshof in Antwerpen, B

Metropol Parasol, Plaza de la encarnación in Sevilla, E



Centro Cultural in Tjibaou, Noumea, Neukaledonien

Solemar in Bad Dürrheim, D



Colossus-Brücke in Philadelphia, USA

Vihantasalmi Brücke in Mäntyharju, FIN

Brücke in Rapperswil, CH

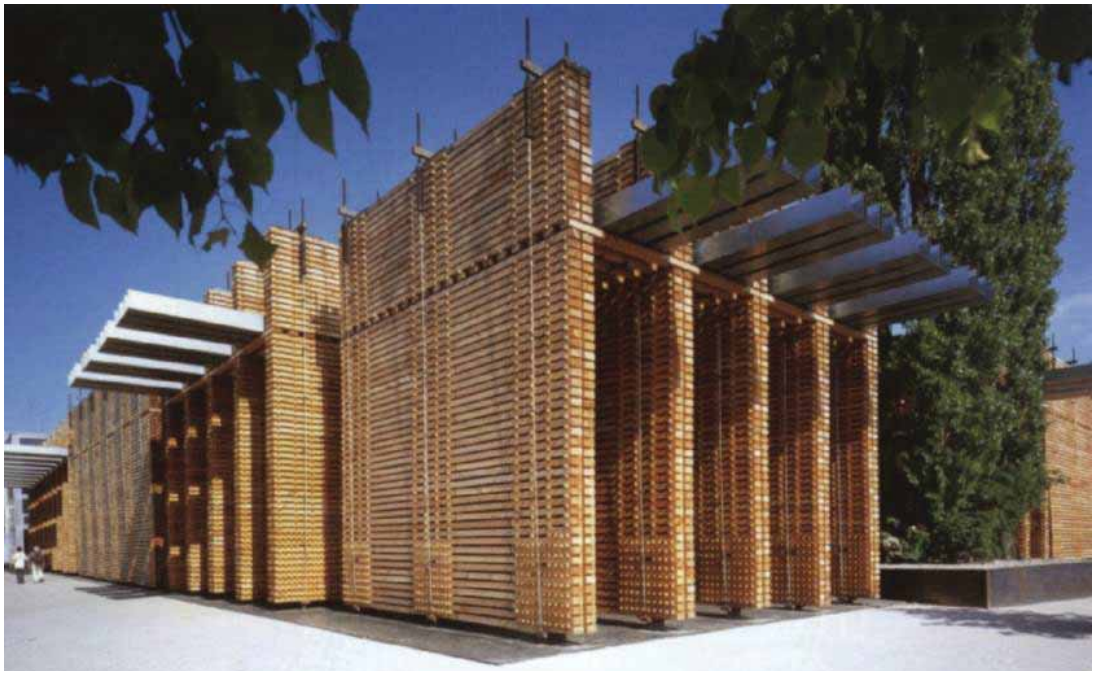
Traversinersteg, CH

Spannbandbrücke Buga 2007 in Ronneburg, D

Brücke Irawady, Mandelay Burma

Skulptur Jinhua

Stabraum in Biberach, D



Schweizer Pavillon in Hannover, D

Princes Elisabeth Station

Anlagen

A Stichwortliste
B Linkliste
C Autorenverzeichnis
D Expertenverzeichnis Interviewführung
E Themenliste

Stichwortliste

3D-Laserscanning 1267
3D-Modell 1267
3-Liter-Haus 901, 1231

A
Abbundanlage 1125
Absatzformen **26**
Acetylierung 587
Aktivhaus 67
Akustik 937
Altbau 895, 1231
Anlagentechnik 201, 867, 1239, 1293
Anschlussbemessung 1379
Architektur 161, 265, 1067, 1081, 1253
Aufstockung 1087, 1227, 1231
Ausbildung 239, 255
Außendämmung 875
Aussteifung 479, **1308**, 1393
Ausziehwiderstand 761
Automatisierung 1293

B
Bauaufsicht 175
Baubiologie **260**, 313
Bauelement 501, 1067, 1147
Bauen im Bestand **1178**, 1227, 1231, 1239
1247, 1253, 1257, 1267
Bauen in der Stadt 139, 1227
Baufeuchte 871, 1165
Bauherrengemeinschaft 139, 145
Baukunst, Baukultur 161, 1253
Bauphysik **860**, 867, 871, 875, 883, 889, 901
913, 929, 943, 949, 957, 965, 973, 983, 1081
Baustoff **460**
Baustoffklassen 943
Bausysteme → s. a. Holzbausysteme
bionische 1155
Bauteile **460**, 465, 501, 1131, 1385
hochgedämmt 1239
Bauteilsimulation 871, 913
Bauteilverfahren **460**
Bauweise
hybride 1087, 1099, 1221
Bauwerksüberprüfung 427
Bauzeit 1067
Bemessung 929, 965, 973, 1115, 1125, **1308**, 1323, 1339, 1347, 1365, 1373, 1379, 1385, 1393
Berechnung 1115
Beschichtung 797, 1013
Bestandsaufnahme 1257
Beton 699, 705, 711, 715, 719, 727
Betriebsorganisation **26**, 151
Bewehrtes Holz 1365
Bewehrung
textile 551, 693, 851
Biegebeanspruchung 785, 1109, 1115
Biegefestigkeit → Festigkeit
Biegesteifigkeit → Steifigkeit
Biegeträger 1385
Biegetragfähigkeit 819
Bildung **224**, 229, 237, 239
Bindemittel → Klebstoffe
Biomasse 299
Bionik 1155
Blockverklebung / -leimung 807, 839, 1109
Blower-Door 209, 883, 901, 1137
Brandlast 943, 949
Brandschutz **860**, 943, 949, 957, 965, 973, 1081, 1137, 1185, 1221, 1231
Brandverhalten 965
Brettschichtholz (BSH) 371, 761, 769, 819, 825, 839, 1185
Brettsperrholz (BSP) 371, 785, 1081, 1087, 1109, 1115, 1185
Brettstapelholz 1081, 1087, 1103, 1125
Brücken 715, 719, 839, 1109
Brückenbelag 1019
Bundeswaldinventur 335, 341, 347

C
CAD 185, 417, 1071, 1077
CAM 185, 417
Cluster 165
CNC 1137, 1171
CO_2 299, 309, 539
CO_2-Bank 309

Computer Based Training 255

D

Dämmung 517, 521, 875, 901
Dampfbremse 889, 895, 913, 1087
Dampfdiffusion 871, 889, 913, 997
Dauerhaftigkeit **860**, 983
Decke 501, 919, 929
Delaminierung 807
Demographischer Wandel 37, 185
DENA 1239
DendroLight 105, 665
Dissipation 1355
DNA 643
Dübelholz 1125
Duktilität 1355
DuroBoard 1019

E

EDV 1067, 1071
Eigenschaften 569
  bauphysikalisch 659
  chemische 1045
  physikalische 1045
  sorptive 871
  strukturelle 1045
Einsatzgebiete, besondere **1178**
Elastizität 1385
E-Learning 255
Elementbauweise 1131, 1147
Elementierung 465, 735, 1077, 1115, 1125
Emission 1013, 1029
Energie 175, 325, 901, 1013
Energieausweis 201, 1239
Energiebilanz 201, 299, 1137
Energieeffizienz 1239, 1277
Energieeinsparung 265
Energieeinsparverordnung → EnEV
Energiepass 201, 285
Energieressourcen 1193
EnEV 201, 209, 271, 285, 901
Entflammbarkeit 943
Entwicklung **156**, 385, 1067
Epoxydharz 761, 769
Erdbeben 1147, 1355
Erhaltung 1253
Ertüchtigung 727, 1253
Erziehung → Bildung
Essigsäure 587

F

Fachinformation 95
Fachwerk 883, 1253
Fachwerkträger 1171
Faltwerk 851, 1315
Faserbeton 727
Fassade 45, 75, 105, 465, 479, 517, 521, 587, 875, 1035, 1185
Feldfabrik 1199
FEM 919, 973,1339, 1347, 1379
Fenster 469, 479
Fertigung 1077
Festigkeit 361, 371, 559, 563, 569, 965
  Biegefestigkeit 371, 819, 1373
Festigkeitssortierung
  maschinelle 335, 361
  visuelle 355, 361
Feuchteschutz **860**, 883, 895, 913, 1021, 1081, 1239
Feuerwiderstandsklasse 943, 949
Fichtenpressholz 559
Finite Elemente → FEM
Finnwall 495
Flachdach 913
Flexibilität 1059, 1151
Formholz 551, 675, 687
Forschung **156**, 219, 385, 1067
Forst 37, **320**, 325, 331
Forstwirtschaftsrat 219
Fortbildung 237
Früherziehung 229, 1253
Fügetechniken **744**
Furfurylierung 599
Furnierschichtholz 385, 495, 1115
Furniersperrholz 611, 1273

G
Gebäudeautomation 1293
Gebäudehülle 201, 465, 1087, 1193, 1231, 1239, 1285
Gebäudeintegration 1285
Gebäudeklasse 943
Gebäudekonzepte **1178**, 1221
kostengünstige 127
besondere 1215
energetische 1193
Gebäudemanagement 1293
Gebäudesimulation 867
Gebäudetechnik 901, **1178**, 1285
Gebäudeupdate 1247
Gebrauchstauglichkeit 929, 1253
Gelege 675
Gentechnik 643
Geometrie 1257
Gerüstbau 1273
Geschosswohnungsbau 151, 1059
Gesellschaft 41
Gesetzgebung **156**, 209
Gestrick 675
Gesundes Bauen 1059
Gewindestangen 719, 761, 769, 1171
eingeklebt 749, 769
Glas 479
Glaser-Verfahren 871, 889
Glasträger 479
Globalisierung 41
Greywood 1035
Großbritannien 55
GSA-Technologie 769
Gütesiegel 293

H
Hallen 427, 433, 757
Hallentragwerke 427, 433
Handwerk 239, 1077
Haptik 121
Hausleasing 133
HBV → Holz-Beton-Verbund
Herausziehwiderstand 761, 777
HIB-Bausystem 1147
Hohlkästen 839
Holzabsatzfonds 175
Holzbalkendecke 1253
Holzbaubranche 75, **156**, 165, 175
Holzbauentwicklung 55
Holzbaupreis 117
Holzbauquote 95
Holzbausystem **1052**, 1081, 1087, 1103, 1109, 1115, 1125, 1151
Holzbauweise 943, **1052**, 1081, 1087, 1103 1109, 1115, 1125, 1155, 1171
Holz-Beton-Verbund 699, 705, 711, 715, 719, 727, 929, 1087, 1125, 1155, 1185
Holzfachhandel 151
Holzfaserdämmplatte 735
Holzfaserplatten 487, 521, 895, 889, 1393
konstruktiv 659
Holzfeuchte 833, 1005
Holz-Glas-Verbund 469, 479
Holz-Metall-Verklebung 807
Holzmodifikation → Modifizierung
Holzrahmenbau 773, 1081
Holz-Rahmensystem 495
Holzschutz 583, 797, 913, 997, 1005, 1013, 1019, 1021, 1037, 1045
chemischer 313, 997
Holzschweißen 845
Holz-Stahlfaserbeton-Verbund 727
Holz-Stahl-Klebeverbund 749, 757
Holz-Textil-Verbund 105, 675, 687, 851
Holzverdichtung 551, 563, 675, 687
Holzvernetzung 605, 611
Holzwerkstoffe **650**, 655, 659, 735, 665, 1147, 1315
Holzwirtschaftsrat 219
Hybrid 715, 1323

I
Imprägnierung 637
In.Silva 347
Individualisierung 1209
Industrie 1077

Infrastruktur 37
Innendämmung 875, 883, 889, 895
Insekten, holzzerstörend 997, 1005
Isolierglas 469

J
Jumbo-Wellennagel 777

K
Kapazität 417
Keilzinkenverbindung 807, 825
Kennwerte, hygrothermische 871
Keramikpapier 957
Kerto 385, 495
Kielstegelemente 501
Klebefuge 807, 815, 819, 825, 833, 839
Klebstoff 313, 705, **744**, 761, 807, 815, 819, 825, 833, 839, 851, 1109, 1379
Klebstofffrei 845
Klima 41, 169, 265, 1277
Klimaerwärmung 309, 1193
Klimaschutz 309
Klimawandel 185, 325, 331, 341, 655
Knotenpunkte 757
Kompositbauteil 1087
Konstruktion 1067, **1308**, 1323, 1339, 1393
  historisch 1253
Korrosion 797
Kriechkeller 1165
Kriechverhalten 705, 1109
Kultur 41, 161
Kunstharz 611
Kunststoffe, faserverstärkt 687
Kyoto-Protokoll 309

L
Lacke
  strahlengehärtet 1029
Lager 417
Laser 1037
Laserscanning 1267
Lasur 1021, 1031, 1035
Latentspeichermaterialien 509
Lehre 247, 255
Leichtbauweise 669, 957, 1099
Leichte Trennwände 495
LenoTec 1115
Lernen 229
  elektronisches 255
Lernportal 255
Lichtschutz 1031
Lignin 573, 845, 1037, 1045
Lignofast 815
Lochblech 749
Lochleibungsfestigkeit 785
Luftdichtheit 883, 901, 997, 1231, 1239
Luftwechselrate 1239

M
Marketing **26**, 75, 91, 101, 117, 121, 169, 219, 347
Markt 341
Markterschließung **26**, 61, 75
Marktforschung **26**, 61
Maschinen 355, 361, **378**, 417
Maschinenbau 175
Massivholz 45, 1103, 1137
Materialeigenschaften 1099, 1253
Materialkombination **650**, 711, 1087
Materialmodelle 545
Materialressourcen 1193
Mechatronik 469
Mehrgeschossiger Wohnungsbau 45, 139, 401, 949, 1185, 1221
Membranbau 1333
Messebau 1215
Messverfahren 1257
Metall-Holz-Verbindung 797
Mischbauweise 1059, 1087
Modellbildung 1347
Modifizierung von Holz **532**, 583, 587, 599, 605, 611, 619, 625, 637, 643
  biologische 583, 637, 643
  chemische 583, 587, 599, 605, 611, 619
  thermische 583, 625
Modulbauweise 401

Mondholz 569
Montage 1137, 1151
Montageverbinder 769
Multimedial 255
Musterbauordnung 1185

N
Nachgiebigkeit 1385
Nachhaltigkeit 209, **260**, 265, 271, 285, 293 299, 313, 1193
Nachverdichtung 1227
Nachweisverfahren 1347
Nägel 777
Nanobeschichtung 1021
Netzwerk 165
Nichtwohnungsbau 75
Normung **156**, 193, 1339, 1347
Notunterkünfte 105
Nullenergiehaus 1277

O
Oberfläche 121, 1045
Oberflächenbehandlung 469, **992**, 997, 1005, 1013, 1019, 1021, 1029, 1031, 1035, 1037, 1045
Oberflächenqualität 1037
Ökobilanz 293, 539
Ökologie **260**, 265, 285, 299, 313, 1151
Ökonomie **26**, 41, 55, 91, 95, 101, 117, 121, 139, 151
Optik 983

P
Pädagogik 229
Palettenhaus 105
Palisadio 1151
Papiere
adsorptiv, hochgefüllt 957
Pappel 563
Passbolzen 785
Passivhaus 67, 209, 465, 517, 901, 1231, 1239
PCM 509, 901, 1193
Photogrammetrie 1257
Photovoltaik 45, 1193, 1277, 1285
Pilze 637, 997
Pilzresistenz 599
Planung 145, **1052**, 1067, 1071, 1077
Plattenbalken 1109
Plattenbeanspruchung 1103
Plattenbemessung 1109
Plattenelement, leichtes 501
Plattenstoß 777
Plusenergiebaustoff 299
Politik 41, **156**, 169, 209
Polyurethan 1013, 1019
Preisverleihungen 105, 117
Pressdruck 807
Primärenergie 299, 1239, 1277
Produkt 91, 151, **460**
Produktentwicklung **378**, 397
Produktion 1077
Produktionskapazität 1199
Prüfverfahren
zerstörungsfrei 443
PU-Klebstoff 815
PUR-Klebstoff 761

Q
Qualitätssicherung 361, **378**, 437, 1339
Querdruck 559, 761
Querschnitt 675
Querzug 761

R
Radio Frequency Identification → RFID
Rahmen 469
Rahmenecke 757, 761
Rationalisierung 1209
Raumluft 313, 1239
Raummodul 1199
Reaktionsgeschwindigkeit 815
Recht **156**
Regelwerke 193, 1277
Reibung 845
Response Surface Analyse (RSM) 1045
Ressourcen 41, 185, 325, 341, 655

RFID 451
Rift 825
Rohrverbinder 749
Rohstoff 265, **320**, 331, 335, 341

S
Sägeindustrie **320**
Sandwichelement 517, 735
Sanierung 465, 727, 889, 895, 1231, 1239
Schäden 433, 443
Schall 487, 919
Schallschutz **860**, 919, 1185
Schindelelemente 105
Schlagregen 883, 895
Schnittholz 355, 361
Schraube 785, 1365
  selbstbohrend 785
Schraubenpressklebung 807
Schub 1109
Schubverankerung 773
Schubverbinder 749
Schule 229
Schweden 401
Schweißen 845
Schweiz 45
Schwingung **860**, 919, 929, 1147, 1253
Serienfertigung 1199
Sherpa 773
Sicherheitskonzept 1355
Siliziumhaltige Verbindung 619
Simulation 913
  numerische 545
Sinterpapiere 957
Software 1067
Solarzelle 1285
Sommerlicher Wärmeschutz 509, 867
Sondernägel 785
Sonnenenergie 1285
Sonnenschutz 469
Sorption 833
Sortierverfahren 355, 807
Stabdübel 785, 851, 965
  s. a. *Verbindungsmittel*
Stahlfaserbeton 727
Stahl-Klebeverbund 749, 757
Standardisierung 397, 401, 1059, 1209
Starkholz 335, 371
Steifigkeit 371
Steifigkeit 919, 929, 965, 1103, 1109, 1115
  Biegesteifigkeit 1385
Structural Glazing 479, 1285
Studentenwettbewerb 105
Sturmsicherheit 1147

T
Tachymetrie 1257, 1267
Taupunkt 883, 889
Technologietransfer 175
Termingeschlägertes Holz 569
Textile Fuge 1315
Textilien, technische 687
Textilverstärkung 687
  s. a. *Bewehrung*
Thermografie 437, 883
Thermoholz 625, 833
Thermowood 625
Trägerstoß 761
Tragsysteme 1067, **1308**, 1315, 1323, 1333
Tragverhalten 983, 1103, 1109, 1385
Tragwerk 427, 433, 1087, 1253, 1333
Tragwerksertüchtigung 427, 1253
Transponder 451
Treibhausgasemissionen 309
Trennwandsystem 487
Trittschall 919
Tri-Z-Anker 773
Trockenbau 487, 495
Türme 1323
Typisierung 397

U
Überprüfung 427, 433
Ultraschallechoverfahren 437, 443
Umkehrdiffusion 913
Uni*versa 487
Unternehmen 91

Untersuchungsmethoden
zerstörungsarm 437
zerstörungsfrei 437, 443
Urbanisierung 151
UV-Lichtstabilisierung 1031
UV-Schutz 1021
U-Wert 901
1115, 1385

V

Vakuumdämmung 517
Vakuum-Isolations-Paneel (VIP) 517
Verbandstruktur 219
Verbindungen 397, 825, 845, 1379
nachgiebig 1253
Verbindungsmittel 495, **744**, 749, 757, 761, 769 773, 775, 777, 785, 797, 965, 983, 1115, 1385
stiftförmige 785, 1103
textile 851
Verbindungstechniken **744**
Verbund 693
Verbundbauteile 1087
Verbundkonstruktionen **650**, 675, 687, 693, 699, 705, 711, 715, 719, 727, 735, 1155
Verbundquerschnitte 735
Verbundwerkstoff 957
Verdichten 551, 675
Verdichtetes Holz 551, 675
Verdichtung
thermomechanische 551, 559, 563, 687
Veresterung 587
Verformungsverhalten 983
Vergrauung 983, 1035
Verklebung 807, 815, 819, 825, 833, 839
Vermarktung 347
Vernetzung 845
Verstärkung, textile 675
Versteinertes Holz 619
Vibration 845
Visionen 185
VOC 313, 1029
Vorfertigung 735, 1077, 1087, 1109, 1137, 1147, 1155, 1199, 1209, 1215

W

Wabenplatten 669
Wald 325, 331, 335, 341, 347
Wald-Säge-Fuchstal eG 347
Waldwirtschaft 37, 331, 335, 391
Wandverbundquerschnitte 735
Wärmekapazität 509
Wärmeleitfähigkeit 901
Wärmepumpe 1299
Wärmerückgewinnung 1239
Wärmeschutz 521, **860**, 867, 875, 883, 895, 901, 1185, 1193, 1239
sommerlicher 509, 867
Wärmeschutzverordnung 201, 1239
Wasserdampfdiffusion → Dampfdiffusion
WDVS 465, 875, 521, 1185, 1239, 1247
Weißtanne 335, 391
Weiterbildung 237, 239, 255
Wellpappe 669, 957, 1215
Werkstoffvergleich 539
Werkzeug 355, 361, **378**, 417
Werthaltigkeit 1151
Wertschöpfung 1077
Wettbewerb 101, 105, 117
Windkraftanlagen 1323
Wissenstransfer 219
Witterung 675, 693, 1019, 1021, 1031, 1035
Wohngesundheit **260**, 313

Z

Zertifizierung 209, 293, 901
Zugverankerung 773
Zukunftsperspektiven 175

Linkliste

Weitere Untersuchungen zur Zukunft von Holz

www.ahb.bfh.ch
Innovations-Roadmap 2020

www.waldzukuenfte.de
Zukünfte und Visionen Wald 2100

www.holz2020.de
Trendanalyse Zukunft Holz

www.bmelv.de
Charta für Holz – Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz

www.forestplatform.org
Deutsche Forschungsagenda

www.holzbauderzukunft.de
Holzbau der Zukunft – Hich-Tech-Offensive Zukunft Bayern

www.zufo.de
Zukunftmärkte der Forst-Holz-Kette

www.holzwende2020.de
Holzwende 2020plus

Verbände, Organisationen, Holzbaubranche

www.zimmerer-westfalen.de
Landesbeirat Holz NRW

info@wigwam-conseil.com
Agence WigWam

www.akbw.de
Architektenkammer Baden-Württemberg

www.zaz-bc.de
Zimmerer Ausbildungs Zentrum und Kompetenz Zentrum Holz & Ausbau Biberach

www.bda-bund.de
Bund Deutscher Architekten

www.lignum.ch
Lignum – Holzwirtschaft Schweiz

www.zimmerer-bayern.com
Verbände des Bayerischen Zimmerer- und Holzbaugewerbes

www.hochbauamt.stadt-frankfurt.de
Hochbauamt Frankfurt

www.stmi.bayern.de
Bayerisches Staatsministerium für Landwirtschaft und Forst

www.brettschichtholz.de
Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V.

www.dgfh.de
Deutsche Gesellschaft für Holzforschung

www.pro-araucaria-online.com
Online-Schriftenreihe zur aktuellen Forschung über den südbrasilianischen Araukarienwald

www.ddh.de
Das Dachdeckerhandwerk

www.dachdecker-regelwerk.de
Deutsches Dachdeckerhandwerk – Regelwerk

www.klempnerhandwerk.de
Informationen Klempnerhandwerk

www.infoholz.de
Forst- und Holzwirtschaft

www.bakaberlin.de
Bundesarbeitskreis Altbauerneuerung e.V.

www.bdf-ev.de
Bundesverband Deutscher Fertigbau e.V.

www.dmbv.de
Deutscher Massivholz- und Blockhausverband

www.fachverband-holzwintergarten.de
Fachverband Holzwintergarten e.V.

www.informationsdienst-holz.de
holzbau handbuch, Arbeitshilfen für den Holzbau

www.baden-wuerttemberg.infoholz.de
Landesbeirat Holz Baden-Württemberg

www.forum-holzbau.com
IHF Hochschulforum

www.proholz.at
Forst- u. Holzwirtschaftschaft

www.lignum.ch
Forst- Holzwirtschaftsverband Schweiz

www.buildingsmart.de
IAI e.V. Industrieallianz für Interoperabilität für alle, die im Bauwesen tätig sind

www.vdi.de
VDI - Verein Deutscher Ingenieure

www.baumeister-online.de
Bund Deutscher Baumeister, Architekten und Ingenieure e.V.

www.acec.org
Council of American Structural Engineers
Bund der Bauingenieure

www.ice.org.uk
Institution of Civil Engineers - Institut der Bauingenieure

www.holzhandel.de
Gesamtverband Deutscher Holzhandel (GD Holz)

www.dhwr.de
Deutscher Holzwirtschaftsrat (DHWR)

www.holzabsatzfonds.de
Holzabsatzfonds Bonn (HAF)

www.holzkompetenz.de
Förderverein Forst und Holz e.V.

www.bdz-holzbau.de
Bund Deutscher Zimmermeister

www.holzbau-online.de
Verband des Zimmerer- und Holzbaugewerbes Baden-Württemberg

www.schreiner.de
Arbeitsgemeinschaft der Fachverbände des Tischler- und Schreinerhandwerks

www.akoeh.de
Arbeitskreis Ökologischer Holzbau e.V. (AKÖH)

www.bhkh.de
Bundesverband des holz- und kunststoffverarbeitenden Handwerks (BHKH)

www.holzkompetenz-erzgebirge.de
Förderverein Holzbau/Holzwirtschaft e.V. (FHH)

www.nagelplatten.de
Güte- und Informationsgemeinschaft der Nagelplatten-verwender e.V.

www.hdh-ev.de
Hauptverband der Deutschen Holz und Kunststoffe verarbeitenden Industrie und verwandter Industrie-zweige e.V.

www.zdh.de
Zentralverband des Deutschen Handwerks

www.baunetz.de
Bund Deutscher Architekten (BDA)

www.altbauerneuerung.de
Bundesarbeitskreis Altbauerneuerung e.V. (BAKA)

www.tischler.org
Bundesverband des holz- und kunstoffverarbeitenden Handwerks (BHKH)

www.bhb.org
Bundesverband Deutscher Heimwerker-, Bau- und Gartenfachmärkte e.V.

www.hpe.de
Bundesverband Holzpackmittel, Paletten, Exportverpackungen e.V. (HPE)

www.holzschutz.com
Deutscher Holzverband für großtechnische Imprägnierung e.V. (DHV)

www.experimenteller-wohnungsbau.bayern.de
Wohnen in Bayern Experimenteller Wohnungsbau

www.holzverband.de
Verband der Bayerischen Säge- und Holzindustrie e.V.

www.vdm-ev.de
Verband der Deutschen Möbelindustrie e.V.

www.vdp-online.de
Verband Deutscher Papierfabriken e.V.

www.zimmermeister-web.de
Zimmermeister-Web

www.fg-holzbau.de
Fördergesellschaft Holzbau und Ausbau

www.bundesfachschule-zimmerhandwerk.de
Bundesfachschule des deutschen Zimmerhandwerks

www.feropa.org
Feropa (NFB)

www.natureplus.org
Natureplus

www.holzfaser.org.
Verband Holzfaser Dämmstoffe e.V. (VHD)

www.eza-allgaeu.de
Energie- und Umweltzentrum Allgäu

www.zaz-bc.de
Zimmerer Ausbildungs Zentrum und Kompetenz Zentrum Holzbau und Ausbau Biberach

www.baumeister-online.de
Bund Deutscher Baumeister, Architekten und Ingenieure e.V.

Informationen, Datenbanken

www.irbdirekt.de
Datenbank bauaufsichtlicher Zulassungen, Baden-Württemberg, Frauenhoferinstitut Stuttgart

www.nextroom.de
nextroom Architektur Datenbank

www.lidiarte.de
Verlag für Architekturplakate

www.bernd-nebel.de
Dokumentationen von Brücken

www.de.structurae.de
Internationale Galerie und Datenbank des Ingenieurbaus

www.architecture.com
The Royal Institute of British Architects (RIBA)

www.holzinformation.at
Holzfachberater bei pro:Holz Salzburg

www.cluster-forstholzbayern.de
Cluster - Initiative Forst und Holz in Bayern GmbH

www.dbholz.de
Datenbank Holztechnologie

www.dataholz.com
Ö-Norm geprüfte Bauteile, pro Holz

Forschung und Entwicklung

www.ffu.uni-freiburg.de
Institut für Forst- und Umweltpolitik
Universität Freiburg

www.uni-stuttgart.de
Institut für Konstruktion und Entwurf
Universität Suttgart

www.fh-wiesbaden.de
Fachhochschule Wiesbaden

www.izt.de
Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung gGmbH

www.fh-salzburg.ac.at
FH Studiengang Holztechnik und Holzwirtschaft der FH Salzburg

www.infis.eu
Institut für internationale Sozialforschung e.V.

www.wki.fraunhofer.de
Fraunhofer-Institut für Holzforschung WKI

www.hb.bv.tum.de
Technische Universität München

www.puu.tkk.fi
Laboratory of Wood Product Technology
HUT Helsinki

www.psu.edu
Hankin Chair of Residential Building Construction, Penn State University

www.fzk.de
Institut für Materialforschung II, Forschungszentrum Karslruhe GmbH

www.uni-hannover.de
Institut für Bauphysik
Leibniz Universität Hannover

www.lsw-rosenheim.de
ift Schallschutzzentrum Rosenheim

www.uni-weimar.de
Holz- und Mauerwerksbau
Bauhaus- Universität Weimar

www.emz-berlin.de
Verbundkoordinator
Institut für Sozialforschung e.V.

www.gfoeb.eu
Gesellschaft für ökologische Bautechnik Berlin mbH

www.wki.fraunhofer.de
Fraunhofer Institut für Holzforschung

www.uni-kassel.de
Universität Kassel - Fachgebiet Bauphysik

www.empa.ch
Abteilung Holz - Empa Dübendorf

www.vht-darmstadt.de
Versuchsanstalt für Holz- und Trockenbau

www.ee.architektur.tu-darmstadt.de
TU Darmstadt FG Entwerfen und energieeffizientes Bauen

www.iws.fraunhofer.de
Fraunhoferinstitut für Werkstoff- und Strahltechnik

www.frauenhofer.de
Fraunhofer Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V.

www.dlr.de
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.

www.hsw-ingenieure.de
HWS-Ingenieure

www.fh-potsdam.de
Fachhochschule Potsdam

www.fh-koeln.de
Fachhochschule Köln

www.motorplan.de
Motorplan Architektur + Stadtplanung

www.aml-partner.de
Architekturwerkstatt Matthias Loebermann

www.hawk-hhg.de
HAWK Hildesheim

www.ihd-dresden.de
Institut für Holztechnologie Dresden gGmbH

www.holz.uni-karlsruhe.de
Technische Universität Karlsruhe

www.hochschule-biberach.de
Institut für Holzbau, Biberach

www.hs-rottenburg.de
Forstwirtschaft, Rottenburg

www.hsb.bfh.ch
Berner Fachhochschule

www.eth.ch
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich

www.uni-aachen.de
Universität Aachen

www.rwth-aachen.de
Rheinisch-Westfälische
Technische Hochschule Aachen

www.fh-konstanz.de
Fachhochschule Konstanz

www.hs-karlsruhe.de
Fachhochschule Karlsruhe

www.hs-wismar.de
Hochschule Wismar

www.hft-stuttgart.de
Hochschule für Technik Stuttgart

www.fhtw.de
Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin

www.tu-braunschweig.de
Technische Universität Braunschweig

www.univie.ac.at
Universität Wien

www.uni-stuttgart.de
Universität Stuttgart

www.holzforschung.at
Holzforschung Austria

www.holzforschung.ch
Schweizer Arbeitsgemeinschaft für
Holzforschung

www.ffu.uni-freiburg.de
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

www.forst.tu-muenchen.de
Technische Universität München

www.bv.tum.de
Fakultät für Bauingenieurwesen
und Vermessungswesen
Technische Universität München

www.forst.uni-goettingen.de
Georg-August-Universität Göttingen

www.tu-dresden.de
Universität Dresden

www.boku.ac.at
Universität für Bodenkultur Wien (BOKU)

www.fh-weihenstephan.de
Fachhochschule Weihenstephan

www.fh-eberswalde.de
Fachhochschule Eberswalde

www.hawk-hhg.de
Fachhochschule Hildesheim-Holzminden-
Göttingen

www.fh-erfurt.de
Fachhochschule Erfurt

www.fh-rosenheim.de
Hochschule Rosenheim

www.shr.nl
Forschung und Prüfung, Beratung, Gutachten
Produkt- und Materialentwicklung

www.scionresearch.com
Forschungsanstalt

www.steinbeis-europa.de
Steinbeis Europa Zentrum

www.fva-bw.de
Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-
Württemberg (FVA)

Forst und Sägeindustrie

www.rp-stuttgart.de
Regierungspräsidium Freiburg
Abteilung Forstdirektion

www.bundesforst.de
Bundesforst

www.wald-online-bw.de
Landesforstverwaltung Baden-Württemberg

www.forst.bayern.de
Bayerische Forstverwaltung

www.stadtentwicklung.berlin.de
Berliner Forsten

www.mlr.baden-wuerttemberg.de
Ministerium für Ernährung und Ländlichen Raum
Baden-Württemberg

www.mlur.brandenburg.de
Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt
und Verbraucherschutz (MLUV) Brandenburg, Potsdam

www.forst-hamburg.de
Landwirtschaft und Forsten Hamburg

www.hmulv.hessen.de
Forsten und Naturschutz Hessen

www.wald-mv.de
Landesforst Mecklenburg-Vorpommern

www.landesforsten.de
Niedersächsische Landesforsten

www.forst.nrw.de
Landesforstverwaltung Nordrhein-Westfalen

www.wald-rlp.de
Landesforsten Rheinland-Pfalz

www.saarforst.saarland.de
SaarForst Landesbetrieb

www.smul.sachsen.de
Staatsbetrieb Sachsenforst

www.landesforstbetrieb.de
Landesforstbetrieb Sachsen-Anhalt

www.schleswig-holstein.de
Landesforstverwaltung Schleswig-Holstein

www.thueringenforst.de
Thüringer Landesforstverwaltung

www.dfwr.de
Deutscher Forstwirtschaftsrat (DFWR)

www.fsc-deutschland.de
Forest Stewardship Council (FSC)

www.pefc.de
Programme for the Endorsement of Forest
Certification Schemes (PEFC)

www.kwf-online.de
Kuratorium für Waldarbeit und Forsttechnik (KWF)

www.anw-deutschland.de
Arbeitsgemeinschaft naturgemäße Waldwirtschaft
(ANW) e.V.

www.foka.de
Forstkammer Baden-Württemberg

www.forstverein.de
Deutscher Forstverein (DFV) e.V.

www.bdf-online.de
Bund Deutscher Forstleute (BDF)

www.fachverband-forst.de
Fachverband Forst e.V.

www.igbau.de
Industriegewerkschaft Bauen Agrar Umwelt (IG Bau)

www.vdfonline.de
Verband Deutscher Forstbaumschulen (VDF) e.V.

www.afsv.de
Arbeitsgemeinschaft Forstliche Standorts- und Vegeta-
tionskunde (AFSV)

www.saegeindustrie.de
Verband der Deutschen Säge- und Holzindustrie (VDS) e.V.

www.waldwissen.net
Aktuelles und Fachinformationen für die Praxis

www.vsh.de
Verband der Säge- und Holzindustrie Baden- Württemberg e.V.

www.lwf.bayern.de
Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF)

www.lfe.brandenburg.de
Landesforstanstalt Eberswalde (LFE)

www.nw-fva.de
Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (NW-FVA)

www.fawf.wald-rlp.de
Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft (FAWF)

www.thueringen.de
Thüringer Landesanstalt für Wald, Jagd und Fischerei (TLWJF)

www.vti.bund.de
Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI) (BFH) Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei

www.jki.bund.de
Julius Kühn-Institut (JKI) Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen

www.dvffa.de
Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten (DVFFA)

Baustoffe, Bauprodukte
www.brettschichtholz.de
Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V.

www.holzdatenbank.de
Datenbank Holzarten der TU Dresden

www.sandwich.fh-mainz.de
Institut für Sandwichtechnik

www.holz.de
Holzartenlexikon

www.hanfhaus.de
HanfHaus Online Shop Hempro International

www.flachs.de
Holstein Flachs GmbH

www.zirbe.info
Informationen zur Zirbe

www.accsysplc.com
Accsys Technologies PLC, Accoya

www.baustoff-fachhandel.de
Bundesverband Deutscher Baustoff-Fachhandel e.V. (BHB)

www.bga.de
Bundesverband des Deutschen Groß- und Außenhandels e.V. (BGA)

www.holzpflaster.de
Fachverband Holzpflaster e.V.

www.holzhandel.de
Gesamtverband Deutscher Holzhandel e.V. (GDH)

www.vhi.de
Verband der Deutschen Holzwerkstoffindustrie e.V. (VHI)

www.parkett.de
Verband der Deutschen Parkettindustrie e.V.

www.window.de
Verband der Fenster- und Fassadenhersteller

www.collano.com
Collano AG / Ebnöther

Planung

www.akoeh.de
Arbeitskreis Ökologischer Holzbau e.V.

www.hbv-systeme.de
TiComTec GmbH

www.holzbauphysik.de
Büro für Bauphysik

www.kd-brandschutz.de
Dehne, Kruse Brandschutzingenieure
GmbH & Co. KG

www.variotec.de
Variotec

www.grossearchitektur.de
Grosse Architektur

www.remmers.de
Wissenschaftlich technische Objektberatung
Remmers Fachplanung GmbH

www.herz-lang.de
Herz & Lang GmbH

www.ptspaper.de
Papiertechnische Stiftung

www.plus-bauplanung.de
plus+ bauplanung GmbH

www.kaden-klingbeil.de
Kaden Klingbeil Architekten

www.mikecon.de
MIKECON – Consulting

www.ibp.fraunhofer.de
Fraunhofer-Institut für Bauhysik

www.ilm-forum.com
Ascona König-Jama GbR

www.blesshess.ch
BlessHess AG, Luzern

www.galmarini.ch
Walt + Galmarini AG, Zürich

www.r-m-p.de
r-m-p-architekten

www.ib-miebach.de
Ingenieurbüro Miebach
Holzbau und Holzbrückenbau

www.biokon.net
Forschungsgemeinschaft Bionik
Kompetenznetz e.V.

www.bauart-konstruktion.de
Bauart Konstruktions GmbH+Co.KG

www.schaller-sternagel.de
Architekturbüro Schaller - Sternagel

www.designtoproduction.ch
designtoproduction GmbH Erlenbach, Zürich

www.fachagenturholz.de
Fachagentur Holz

www.archplan.de
Archplan GbR

www.setzpfandt.de
Ingenieurgemeinschaft Setzpfand GmbH+Co.KG

www.stahl-sonnenenergie.de
Stahl + Weiß – Büro für Sonnen Energie

www.nh-lungern.ch
Neue Holzbau AG Lungern

www.kauffmanntheilig.de
Kaufmann Theilig & Partner GbR

www.creation-holz.ch
Creation Holz

www.holzverbindung.de
Bohrenkämper GmbH

www.fa-bau.de
Fachausschuss Bau der Deutschen Unfallversicherung e.V.

www.schweickhardt-erchinger.de
Schweickhardt & Erchinger Ingenieurbüro für Bauwesen mbH

www.holzbauing.ch
Makiol & Wiederkehr Holzbau-Ingenieure

www.wagner-zeitter.de
Ingenieurbüro Wagner Zeitter

www.shl-ing.com
Ingenieurgemeinschaft Speich – Hinkes - Lindemann

www.mkp-bauingenieure.com
Merz Kley Partner AG

www.fachagenturholz.de
Holz + Holzschutz, Sachverständigenbüro

www.lattke-architektur.de
Lattke Architektur

www.cbg-ing.ch
Conzett, Bronzini, Gartmann AG

www.timberconsult.ch
Fischer Timber Consult

www.bruderverlag.de
Bruderverlag

Programme, Datenbanken
www.wufi.de
WuFi, Software zum hygrothermischen Feuchtetransport, Frauenhoferinstitut Stuttgart

www.hs-augburg.de
Hobex, Bemessungshilfe für die neue DIN 1052

www.rowa-soft.de
Wärme und Dampf

www.windows.lbl.gov/software/therm/therm.htm
Therm Software

www.standard-detail.de
Standard-Detail-Sammlung

www.trada.co.uk
The Timber Research and Development Association (TRADA)

www.woodforgood.com
Wood for Good, Bilder, Datenbank

http://holzs01.fh-biberach.de
HOLZbank Institut für Holzbau Biberach

www.forum-holz.info
Internationale Linkliste Holz

Konstruktion, Firmen, Produktion
www.lohn-abbund.de
Verband CNC-Abbund

www.wood.vdma.org
Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA) e.V.

www.hundegger.de
Hundegger Maschinenbau GmbH

www.dendrolight.com
DendroSolutions GmbH

www.lignotrend.com/
Lignotrend Produktions GmbH

www.baufritz.com
Bau-Fritz GmbH & Co. KG

www.timbertower.de
TimberTower GmbH

www.haubold-deutschland.com
ITW Befestigungssysteme GmbH

www.pavatex.de
Pavatex GmbH

www.kielsteg.com
Kielsteg Bauelemente

www.nolax.com
Nolax AG

www.sentinel-haus.eu
Sentinel-Haus ® Institut GmbH

www.twoods.ch
Twoods AG

www.haring.ch
Häring & Co. AG

www.cordes-row.de
Ing.-Holzbau Cordes GmbH & Co. KG

www.huettemann-holz.de
Hüttemann Wismar GmbH Co. KG

www.renggli-haus.ch
Renggli AG

www.holzbau-patzwahl.de
Ing. Holzbau – Brückenbau und Holzhandlung

www.schaerholzbau.ch
Schär Holzbau AG

www.xella.de
XELLA Trockenbau-Systeme GmbH

www.haas-fertigbau.de
Fa. Haas, Falkenberg

www.finnforest.de
Fa. Finnforest Merk

www.trusjoist.com
Holzrahmenbau, Federal Way

www.glunz.de
Holzwerkstoffe, Meppen

www.agepan.de
Glunz AG

www.kaufmann-holzbau.de
Fa. Kaufmann Oberstadion

www.egger.de
Fa. Egger, Wismar

www.burgbacher.de
Fa. Burgbacher

www.merkle-holzbau.de
Fa. Merkle

www.hess-wohnwerk.de
Fa. Hess-Wohnwerk

www.kunz.de
Fa. Kunz, Augsburg;

www.homogen80.ch
Fa. Homogen80

www.klimaplan.de
Fa. H. Schmid Bauunternehmen

www.KLH.at
KLH Massivholz GmbH

www.magnum-board.com
KMB Produktions GmbH

www.bresta.ch
Tschopp Holzbau AG

www.erne.net
Erne AG Holzbau

www.lignatur.ch
Lignatur AG

www.induo.de
induo Systemholztechnik

www.braun-wuerfele.de
Braun und Würfele

www.hib-system.de
HIB-Bauelemente

www.timberhouse.ch
TimberHouse

www.schilliger.ch
Schillinger Holz AG

www.membranbau.ch
HP Gasser AG

www.bauenimbestand24.de
Informationen zum Bauen im Bestand

www.lignatur.ch
Fa. Lignatur

www.zmh.de
Vereinigung ZimmerMeisterHaus

www.massivholzmauer.de
Massiv-Holz-Mauer

www.holzbau-amann.de
Holzbau Amann GmbH

www.wiehag.com
Wiehag GmbH

www.stephan-holz.de
Paul STEPHAN GmbH + Co. KG

www.schaffitzel.de
Schaffitzel Holzindustrie GmbH + Co.KG

www.derix.de
W. u. J. Derix GmbH & Co. Holzleimbau

www.binderholz.com
BINDERHOLZ GmbH

Qualitätssicherung
www.mpa.uni-stuttgart.de
Materialprüfungsanstalt Universität Stuttgart

www.qmholzheizwerke.de
Arbeitsgemeinschaft Qualitätsmanagement Holzheizwerke

Bauphysik
www.holzbauphysik.de
Büro für Bauphysik

www.klimadiagramme.de
Weltweite Klimadiagramme

www.flib.de
Fachverband Luftdichtheit im Bauwesen

www.deutsche-energieagentur.de
Dena Kompetenzzentrum

www.passivehouse.com
Passivhaus Institut

www.enev-online.de
Onlineinformationen zur Energieeinsparverordnung

www.gebaeudeenergiepass.de
Onlineinformation zum Bestandsenergiepass der dena

www.feuertrutz.de
Verlag für Brandschutzpublikationen

www.gbt.ch
Wissensdatenbank zur Gebäudtechnik

Holzschutz, Oberflächenbehandlung
www.der-neue-holzschutz.de
Holzschutz mit Nanotechnologie

www.sikkens.de
Farben, Lacke, Holzbeschichtung

www.teknos.com
Beschichtungen

www.franklinadhesives.com
Holzschutz, Oberflächenbeschichtungen

www.farbe-und-technik.info
Informationen zu Holzschutz Reken

Nachhaltigkeit, Ökologie, Gesundheit, Energie

www.bund.net
Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland

www.waldjugend.de
Deutsche Waldjugend

www.dnr.de
Deutscher Naturschutzring e.V. (DNR)

www.greenpeace.de
Greenpeace e.V.

www.naturland.de
Naturland – Verband für Ökologischen Landbau

www.nabu.de
Naturschutzbund Deutschland (NABU) e.V.

www.umwelt.org
Robin Wood e.V.

www.sdw.de
Schutzgemeinschaft Deutscher Wald (SDW) e.V.

www.wald-in-not.de
Stiftung Wald in Not

www.wwf.de
World Wildlife Fund Deutschland (WWF)

www.deutsche-energie-agentur.de
Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena)

www.bioenergie.de
Bundesinitiative BioEnergie (BBE)

www.enev-info.de
Energieeinsparverordnung in Theorie und Praxis

www.solarindustrie.com
Bundesverband Solarenergie e.V. (BSE)

www.wind-energie.de
Bundesverband Windenergie e.V. (BWE)

www.dfs.solarfirmen.de
Deutscher Fachverband Solarenergie e.V. (DFS)

www.bine.info
BINE Informationsdienst Energieforschung für die Praxis

www.eere.energy.gov
Building Energy Software Tools Directory

www.usgbc.org
US Green Building Council (USGBC)

Normen

www.beuth.de
Beuth Verlag

www.din.de
Deutsches Institut für Normung e.V.

www.dibt.de
Baugesetze, -Verordnungen, -Richtlinien etc. der Bundesländer

www.technischebaubestimmungen.de
Technische Baubestimmungen online

www.bauregeln.de
Bauregeln online

www.baurecht-dienst.de
Baurecht und Bauantragsformulare

www.bauvorschriften.de
Bauvorschriften

www.agw.de
Oberste Baubehörde der Länder

www.nabau.din.de
Normenausschuss Bau

www.nhm.din.de
Normenausschuss Holzwirtschaft und Möbel (NHM)

www.is-argebau.de
Musterbauordnung / Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an hochfeuerhemmende Bauteile in Holzbauweise (M-HFHHolzR)

www.sia.ch
Normen Schweiz

Recht, Politik, Behörden, Ministerien
www.bbr.bund.de
Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung

www.aelf-ke.bayern.de
Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Kempten

www.wm.baden-wuerttemberg.de
Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg

www.stmi.bayern.de
Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern

www.mswv.brandenburg.de
Ministerium für Stadtentwicklung, Wohnen und Verkehr Brandenburg

www.bauumwelt.bremen.de
Senator für Bau und Umwelt Bremen

www.bbv.hamburg.de
Behörde für Bau und Verkehr Hamburg

www.wirtschaft.hessen.de
Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung, Wiesbaden

www.am.mv-regierung.de
Ministerium für Arbeit, Bau und Landesentwicklung Mecklenburg-Vorpommern

www.mi.niedersachsen.de
Niedersächsisches Innenministerium

www.mswks.nrw.de
Ministerium für Städtebau und Wohnen, Kultur und Sport Nordrhein-Westfalen

www.fm.rlp.de
Ministerium der Finanzen Rheinland-Pfalz

www.umwelt.saarland.de
Ministerium für Umwelt

www.smi.sachsen.de
Sächsisches Staatsministerium des Innern

www.sachsen-anhalt.de
Ministerium für Bau und Verkehr

www.landesregierung.schleswig-holstein.de
Innenministerium Schleswig-Holstein

www.thueringen.de
Thüringer Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Infrastruktur

www.bmvbs.de
Baugesetze, -Verordnungen, -Richtlinien etc. des Bundes

www.wm.baden-wuerttemberg.de
Baugesetze, -Verordnungen, -Richtlinien etc. für Baden-Württemberg, Stuttgart

www.stmi.bayern.de
Baugesetze, -Verordnungen, -Richtlinien etc. für Bayern

www.stadtentwicklung.berlin.de
Baugesetze, -Verordnungen, -Richtlinien etc. für Berlin

www.mv-regierung.de
Baugesetze, -Verordnungen, -Richtlinien etc. für Mecklenburg-Vorpommern

www.mbv.nrw.de
Baugesetze, -Verordnungen, -Richtlinien etc. für Nordrhein-Westfalen

www.fm.rlp.de
Baugesetze, -Verordnungen, -Richtlinien etc. für Rheinland-Pfalz

www.saarland.de
Baugesetze, -Verordnungen, -Richtlinien etc. für das Saarland

www.sachsen.de
Baugesetze, -Verordnungen, -Richtlinien etc. für Sachsen

www.juris.de
Baugesetze, -Verordnungen, -Richtlinien etc. für Schleswig-Holstein

www.ms.niedersachsen.de
Baugesetze, -Verordnungen, -Richtlinien etc. für Niedersachsen

www.sachsen-anhalt.de
Baugesetze, -Verordnungen, -Richtlinien etc. für Sachsen-Anhalt

www.innenministerium.baden-württemberg.de
Landes Bauodnung Baden-Württemberg

www.verbraucherministerium.de
Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz

www.bmbf.de
Bundesministerium für Bildung und Forschung

www.cordis.europa.eu
Forschungs- und Entwicklungsinformationsdienst der Gemeinschaft

www.bundesanzeiger.de
Bundesanzeiger Verlag

www.umwelt-online.de
Umweltrecht – Online

www.bmvbw.de
Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen

www.bmbf.de
Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)

www.bml.de
Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft

www.bmwa.de
Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit (BMWA)

www.bmu.de
Bundesministerium für Umwelt (BMU)

www.umweltbundesamt.de
Umweltbundesamt

www.ble.de
Bundesamt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE)

www.bafa.de
Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA)

www.bgr.bund.de
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)

www.fal.de
Bundesanstalt für Landwirtschaft (FAL)

www.big-flora.de
Bundesinformationssystem Genetische Ressourcen (BIG)

www.zadi.de
Zentralstelle für Agrardokumentation und –information (ZADI)

www.fnr.de
Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR)

www.carmen-ev.de
Centrale Agrar-Rohstoff-Marketing- und Entwicklungs-Netzwerk (C.A.R.M.E.N. e.V.) im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe

www.nova-institut.de
Nova-Institut GmbH

www.aid.de
Aid infodienst Verbraucherschutz Ernährung Landwirtschaft e.V.

www.bfub.de
Bundesverband für Umweltberatung e.V.

www.inaro.de
Informationssystem Nachwachsende Rohstoffe

www.iful.bwl.de
Institut für umweltgerechte Landbewirtschaftung (IfUL)

www.wupperinst.org
Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH

www.nawaro-hessen.de
Informationen zu biologischen Merkmalen und Verwendungsmöglichkeiten von Pflanzen sowie zu Entwicklungen in Forschung und Züchtung

www.adnr-bonn.de
Zusammenschluss von Dämmstoffherstellern, Produktinformationen zu Dämmstoffen

www.ihb.de
IHB Internationale Holzbörse

www.ibaw.org
IBAW Interessengemeinschaft für Biologisch Abbaubare Werkstoffe e.V.

www.dlg.org
Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft e.V.

www.umwelt-bw.de
Umweltportal Baden-Württemberg

www.statistik.baden-wuerttemberg.de
Statistisches Landesamt Baden-Württemberg

www.bayern.de
Bayerisches Landesamt für Umwelt

www.accsysplc.com
Accsys Technologies PLC

www.bre.co.uk
Building Research Establishment (BRE)

www.aia.org
The American Institute of Architects

Zeitschriften

www.mikado-onlinde.de
Mikado, Unternehmermagazin für Holzbau und Ausbau

www.bauenmitholz.de
Bauen mit Holz, Bruderverlag Köln

www.quadriga-news.de
Die neue Quadriga Holzbau

www.schweizerholzbau.ch
AG Verlag Hoch- und Tiefbau

www.puuinfo.fi
Woodfocus

www.rudolf-mueller.de
Baufachinformationen

www.baufachmedien.de
Baufachmedien

www.ssb-seminare.de
Spezial Seminare Bau

Autorenverzeichnis

Unser Dank gilt allen Mitwirkenden, die mit Ihren Beiträgen in diesem Querschnittsbericht zu einem weitgefassten Blick über den Holzbau, dessen Chancen und Möglichkeiten beigetragen haben.

A

Adriaans, Richard Dipl.-Ing. Arch.
Arbeitskreis Ökologischer Holzbau e.V.
Herford, D 67, 127, 133, 1247

Aicher, Simon Dr. rer. nat.
Materialprüfanstalt, Universität Stuttgart
Stuttgart, D 825

Aldi, Pietro Dipl.-Ing.
Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Institut für Konstruktion und Entwurf
Universität Suttgart
Stuttgart, D 719

B

Bahmer, Rainer Dipl.-Ing.
TiComTec GmbH
Haibach, D 711, 757

Bathon, Leander Prof. Dr.-Ing.
Fachbereich Architektur und Bauingenieurwesen
Fachhochschule Wiesbaden
Wiesbaden,D 699, 749

Bauer, Jürgen Dr.
Cluster - Initiative Forst und Holz in Bayern GmbH
München, D 165

Bachler, Otmar Dipl.-Ing. (FH)
Holzfachberater bei pro:Holz Salzburg
Salzburg, A 91

Becker, Martin Prof. Dr.-Ing.
Institut für Gebäude- und Energiesysteme
Hochschule Biberach
Biberach, D 1293

Behrendt, Siegfried
Institut für Zukunftsstudien und
Technologiebewertung gGmbH
Berlin, D 331

Berger, Günther Prof. Mag.
Fachbereichsleiter Wirtschaft und Management, Studiengang Holztechnik & Holzwirtschaft, FH Salzburg
Salzburg, A 91, 121

Berger, Johann Direktor
DendroSolutions GmbH
Euratsfeld, A 665

Blaß, Hans Joachim Univ.-Prof. Dr.-Ing.
Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und
Baukonstruktionen, Universität Karlsruhe
Karlsruhe, D 785, 1171

Blenk, Markus Dipl. Holzwirt
Cluster - Initiative Forst und Holz in Bayern GmbH
München, D 165

Bletz, Oliver Dipl.-Ing. (FH) (TU)
Fachbereich Architektur und Bauingenieurwesen
Fachhochschule Wiesbaden
Wiesbaden, D 699, 749

Blumer, Hermann Dipl.-Ing. ETH/SIA
Creation Holz
Herisau, CH 185, 1221

Bohrenkämper, Gustav Dipl.-Ing.
Bohrenkämper GmbH
Bünde, D 773

Borsch-Laaks, Robert
Sachverständiger für Bauphysik
Büro für Bauphysik
Aachen, D 883, 889

Bräuchle, Ralf Dipl.-Ing.
Lignotrend Produktions GmbH
Weilheim-Bannholz, D 487, 937

Brunner, Maurice Dr. sc. Techn. ETH
Prof. für Baustatik und Konstruktion
Berner Fachhochschule
Architektur, Holz und Bau
Biel, CH 705, 819

Brüggemann, Beate Dr. Soziologin
Institut für internationale Sozialforschung e.V.
Berlin, D 41

D

Damm, Hannelore Prof. Dipl.-Ing.
Fakultät für Bauingenieurwesen und
Umwelttechnik – Fachhochschule Köln
Köln, D 385

Dederich, Ludger Dipl.-Ing. (FH) Arch.
Leitung Arbeitsbereich Holzbaufachberatung
Holzabsatzfonds
Bonn, D 95, 161, 229, 401, 1087, 1227

Dehne, Michael Dr.-Ing.
Dehne, Kruse Brandschutzingenieure
GmbH & Co. KG
Gifhorn, D 943

Denzler, Julia K. Dr.-Ing.
Holzforschung München
Technische Universität München
München, D 355, 1373

Von Detten, Roderich Dr. Dipl.-Forstwirt
Institut für Forst- und Umweltpolitik
Universität Freiburg
Freiburg, D 325

Dietsch, Philipp Dipl.-Ing.
Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion
TU München
München, D 427, 433

Donders, Chantal A.
Dipl. Chem. UniBE / MSc MTEC ETH
Böhme AG
Liebefeld, CH 1031

Donders, Karoly Dipl. Chem.
Böhme AG
Liebefeld, CH 1031

Donzé, Marc Holzing. (FH) Projektleiter
Orchidèes Constructions SA
Onnens, CH 819

E

Eckert, Werner Geschäftsführer
Lignotrend Produktions GmbH
Weilheim-Bannholz, D 487, 937

Edeler, Joachim Dipl.-Ing.
Fachausschuss Bau der Deutschen
Unfallversicherung e.V.
Hannover, D 1273

Eisfeld, Matthias
Geschäftsführer Landesbeirat Holz NRW
Schmallenberg, D 309

Erchinger, Carsten Dr.-Ing.
Schweickhardt & Erchinger
Ingenieurbüro für Bauwesen mbH
Tuttlingen, D 965

Erdmann, Lorenz
Institut für Zukunftsstudien und
Technologiebewertung gGmbH
Berlin, D 331

F

Fischer, Jürg Prof. (FH), Dipl.-Ing. (FH)
Fischer Timber Consult
Bubikon, CH 45

Floß, Alexander Prof. Dr.-Ing.
Institut für Gebäude- und Energiesysteme
Hochschule Biberach
Biberach, D 1299

Forstner, Martin Dipl.-Ing. Arch.
Variotec
Neumarkt i.d.Oberpfalz, D 517

Fritz-Kramer, Dagmar Dipl.-Ing. (FH)
Geschätsführung
Bau-Fritz GmbH & Co. KG
Erkheim, D 285

Fritzen, Klaus Dipl.-Ing. (FH) Bauingenieur
Herausgeber Bruderverlag
Straubenhardt, D 175

G

Gebhardt, Gunnar Dipl.-Ing.
Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen
Universität Karlsruhe (TH)
Karlsruhe, D 1393

Ganne-Chédeville, Christelle Dr.-Ing.
Wissenschaftliche Mitarbeiterin
Berner Fachhochschule
Architektur, Holz und Bau
Biel, CH 845

Gerber, Andreas Dipl.-Physiker
Hochschule Biberach
Biberach, D 201

Giebel, Holger Dipl. Volkswirt / Dipl.-Sozial. ÖK
Geschäftsführer TimberTower GmbH
Schmallenberg, D 1323

Gläser, Beate Dipl.-Ing. (FH)
Fraunhofer-Institut für Holzforschung WKI
Braunschweig, D 797

Glos, Peter Prof. Dr.-Ing.
Holzforschung München
Technische Universität München
München, D 355

Gröber, Peter Dipl.-Ing.
Holzbau Gröber GmbH
Eberhardzell-Füramoos, D 757

Grosse, Werner Dipl.-Ing. Arch.
Grosse Architektur
Stuttgart, D 1151

Gümmer, Klaas Dipl.-Ing. Timber Engineer
ITW Befestigungssysteme GmbH
Hemmingen, D 777

H

Haller, Peer Prof. Dr.-Ing.
Institut für Stahl- und Holzbau
Technische Universität Dresden
Dresden, D 551, 559, 563, 675, 687, 693, 1037

Hamm, Patricia Dr.-Ing.
Ingenieurbüro für Baudynamik und Holzbau
Marktoberdorf, D
Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion
Technische Universität München
München, D 919, 929

Hasenstab, Andreas Dr.–Ing.
Wissenschaftlich technischer Objektberater
Remmers Fachplanung GmbH
Löningen, D 443

Heiduschke, Andreas Dr.-Ing.
Institut für Stahl- und Holzbau,
Technische Universität Dresden
Dresden, D 727

Henke, Klaudius Dipl.-Ing. Arch.
Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion
Technische Universität München
München, D 1257

Herz, Dieter Dipl.-Ing (FH)
Herz & Lang GmbH
Die Fachplaner für energieeffizientes Bauen
Weitnau, D 1239

Hilt, Jerg Geschäftsführer
Forstkammer Baden- Württemberg e.V.
Stuttgart, D 341

Hochreiner, Georg Dipl.-Ing.
ZT für Bauwesen
Altheim, A 1339, 1347

Hofenauer, Andreas Dr. rer. Nat.
Papiertechnische Stiftung
München, D 957

Horsch, Bettina Dipl.-Ing. (FH) Arch.
Agence WigWam
Nantes, F 61

Hübner, Peter Prof. Dipl.-Ing.
plus+ bauplanung GmbH
Neckartenzlingen, D 145

Hurst, Andreas Dr.
Leiter der Abteilung Holz in Biel
Berner Fachhochschule AHB
Biel, CH 833

J

Jamnitzky, Jens Dipl.-Ing.
Finforest Merk Holzbau GmbH & Co. KG
Aichach, D 1115

Jentsch, Axel Dipl. Holzwirt
Deutsche Gesellschaft für Holzforschung e.V.
München, D 219

Junker, Dieter Vorstand
HIB-System AG
Meißenheim, D 1147

K

Kaden, Tom Dipl.-Ing. Arch.
Kaden Klingbeil Architekten
Berlin, D 139

Kairi Matti Prof. Dr.
Laboratory of Wood Product Technology
HUT Helsinki
Helsinki, FIN 385

Kaltenbrunner, Robert Dr.-Ing.
Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung
Bonn, D 265, 1209

Kasal, Bo Prof. PhD.-Ing.
Hankin Chair of Residential Building Construction, Penn State University
Pennsylvania, USA 727

Kaufmann, Peter
Kaufmann GmbH
Dübelholztechnik und Energietechnik
Oberstadion, D 1125

Kaufmann, Hermann Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Arch.
Institut für Entwerfen und Bautechnik
Fachgebiet Holzbau
Technische Universität München
München, D 1059

Kehl, Daniel Dipl.-Ing. (FH)
Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Berner Fachhochschule
Architektur, Holz und Bau
Biel, CH 867, 871

Keller, Michael Dipl.-Ing.
MIKECON – Consulting
Aichach, D 55

Kempkes, Christoph Dipl.-Ing.
Fraunhofer-Institut für Bauhysik
Ing.-Büro Prof. Dr. Hauser GmbH
Kassel, D 509

Klaus, Jürgen Leiter Marketing
Weinmann Holzbausystemtechnik
St. Johann – Lonsingen, D 417

Knedlitschek, Karl-Heinz
PAVATEX GmbH
Leutkirch, D 895

Koj, Christoph Dipl.-Ing.
Lehrstuhl für Tragkonstruktionen
Fakultät Architektur
RWTH Aachen
Aachen, D 1365

König, Holger Dipl.-Ing.
Ascona König-Jama GbR
Karlsfeld b. München, D 271

Krestel, Stefan Dipl.-Ing.
Kielsteg Bauelemente
Graz, A 501

Kruse, Dirk Dipl.-Ing.
Fraunhofer-Institut für Holzforschung WKI
Braunschweig, D 943

Kuhlmann, Ulrike Prof. Dr.-Ing.
Institut für Konstruktion und Entwurf
Universität Stuttgart
Stuttgart, D 719

Kübler, Katja Dipl.-Ing. (FH)
BlessHess AG, Luzern
Luzern, CH 1333

Kübler, Wolfram Dipl.-Ing. (FH)
Walt + Galmarini AG, Zürich
Zürich, CH 1333

L

Lang, Florian Dipl.-Ing (FH)
Herz & Lang GmbH
Die Fachplaner für energieeffizientes Bauen
Weitnau, D 1239

Lenhard, Patrick Dipl. Geol.
Labor für Geologie und Hydrogeologie
Hochschule Biberach
Biberach, D 1267

Leitner, Katharina Dr.-Ing.
Wissenschaftliche Beratung
Aachen, D 851, 1315

Loth, Ralph Dipl.-Ing. Forstwirtschaft (FH)
Abteilung Forstdirektion
Regierungspräsidium Freiburg
Freiburg, D 391

Ludewig, Andreas Dipl.-Ing.
MHM - Massiv Holz Mauer
Entwicklungs- GmbH
Pfronten, D 1137

Luthiger, Hans-Peter Projektleiter
Nolax AG
Sempach-Station, CH 815

Lutz, Gerhard Dipl.-Ing.
Ingenieurbüro Lutz
Herbertingen, D 1199

M

Mattheck, Claus Prof. Dr. rer. nat. habil
Institut für Materialforschung II, Forschungszentrum Karslruhe GmbH
Karlsruhe, D 573

Matzig, Roland Dipl.-Ing. (FH) Arch.
Zertifizierter Passivhausplaner
r-m-p-architekten
Mannheim, D 209

Menzel, Ralf Dipl.-Ing.
Institut für Stahl- und Holzbau
Technische Universität Dresden
Dresden, D 687

Mestek, Peter Dipl.-Ing.
Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion
Technische Universität München
München, D 1103, 1109

Miebach, Frank Dipl.Ing..
Ingenieurbüro Miebach
Holzbau und Holzbrückenbau
Lohmar, D 839

Moser, Karl Dipl.-Ing.
Karl Moser Consulting
Aichach, D 169

Müller, Stefan
PAVATEX GmbH
Leutkirch, D 895

Mundorff, Carmen Dipl.-Ing. Arch.
Geschäftsbereich Architektur und Medien
Architektenkammer Baden-Württemberg
Stuttgart, D 237

N

Nebgen, Nikolaus Prof. Dipl.-Ing.
HAWK Hildesheim
Hildesheim, D 397

Niemeier, Anja Dipl.-Ing. (FH) Architektur
Bonn, D 161, 229, 401, 1227

Niemz, Peter Prof. Dr.-Ing. habil.
Institut für Baustoffe, Holzphysik
ETH Zürich
Zürich, CH 833

O

Oligmüller, Dieter Dipl.-Ing. Arch.
Forschungsgemeinschaft Bionik
Kompetenznetz e.V.
Bochum, D 1155

P

Pape, Heinz Dr.-Ing.
Bauart Konstruktions GmbH+Co.KG
Lauterbach, D 465

Peterson, Leif Arne Dr.-Ing.
Institut für Bauphysik
Leibniz Universität Hannover
Hannover, D 1385

Plößl, Josef Geschäftsführer
Gesamtverband Deutscher Holzhandel e.V.
Berlin / Wiesbaden, D 151

Pöhler, Harald Redakteur
Abt. Presse und Medien – NintegrA gGmbH
Stuttgart, D 1151

Prass, Gregor
Geschäftsführer TimberTower GmbH
Schmallenberg, D 1323

Putzger, Robert Dipl.-Ing.
Institut für Stahl- und Holzbau
Technische Universität Dresden
Dresden, D 693

Q

Quasnitza, Hans Prof. Dr.
Leitung Vermessungslabor
Hochschule Biberach
Biberach, D 1267

R

Rabold, Andreas Dipl.-Ing.
ift Schallschutzzentrum Rosenheim
Rosenheim, D 919

Radovic, Borimir Akademischer Direktor i.R.
Knittlingen, D 521, 807, 997, 1005

Rautenstrauch, Karl Prof. Dr.-Ing.
Holz- und Mauerwerksbau
Bauhaus- Universität Weimar
Weimar, D 715

Rid, Wolfgang Dr.-Ing.
Lehrstuhl für Wohnungsbau und Wohnungs-wirtschaft,
Technische Universität München
München, D 299

Riehle, Rainer Dr. Dipl.-Ing.
Verbundkoordinator
Institut für Sozialforschung e.V.
Berlin, D 41

Römer, Michael Dr. sc. Techn. ETH
Holcim, CH 705

Rothfuß Thomas
Gesamtleiter Zimmerer Ausbildungs Zentrum
und Kompetenz Zentrum Holz & Ausbau
Biberach, D 239

Rudolphi, Alexander Prof. Dipl.-Ing.
Gesellschaft für ökologische
Bautechnik Berlin mbH
Berlin, D 293

Rug, Wolfgang Prof. Dr.-Ing.
Fachgebiet Holzbau, Fachhochschule Eberswalde
Eberswalde, D 1253

Rüther, Norbert Dipl.-Ing. (FH)
Fraunhofer Institut für Holzforschung
Braunschweig, D 659, 735, 875, 983

S

Sandomeer, Markus Dipl.-Ing.
ETH Zürich Institut für Baustatik und Konstruktion
Zürich, CH 361

Sauter, Udo, Hans Forstdirektor Dr.
Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt
Baden Württemberg - Abteilung Waldnutzung
Freiburg, D 335

Schaller, Till , Dipl.-Ing. Arch.
Architekturbüro Schaller - Sternagel
Allensbach und Stuttgart, D 901

Scheurer, Fabian Dipl.-Inform. (FH)
designtoproduction GmbH Erlenbach, Zürich
Zürich, CH 1071

Schiermeyer, Volker Prof. Dipl.-Ing.
HSW-Ingenieure
Bad Oeynhausen, D 255

Schleifer, Vanessa Dr. sc.
Institut für Baustatik und Konstruktion ETH Zürich
Zürich, CH 973

Schlitzberger, Stefan Dipl.-Ing.
Universität Kassel - Fachgebiet Bauphysik
Kassel, D 509

Schmerker, Simon cand.-Ing.(FH)
Herz & Lang GmbH
Fachplaner für energieeffizientes Bauen
Weitnau, D 1239

Schmidt, Daniel Dipl.-Ing. (FH)
bauart Konstruktions GmbH+Co.KG
Lauterbach, D 913

Schmidt, Jens Dipl.-Ing. (FH) M. Eng.
Fachbereich Architektur und Bauingenieurwesen
Fachhochschule Wiesbaden, D
Wiesbaden, D 749

Schneider, Maximilian Zimmermeister,
Qualitätsmanagementbeauftragter
Zimmerer Ausbildungs Zentrum Biberach
Biberach, D 239

Schnider, Thomas Dipl.-Ing.(FH)
Institut für Baustoffe, Holzphysik
ETH Zürich
Zürich, CH 833

Schnüriger, Marco Dipl. Bauing. ETH, Projektleiter
Creabeton Matèriaux AG
Münstschwiler, CH 705

Schrank, Marco M.Sc.
Materialprüfungsanstalt
Universität Stuttgart
Stuttgart, D 825

Schubert, Mark Dr. Dipl.-Forsting.
EMPA – Abteilung Holz
St. Gallen, CH 1045

Schwarze, Francis W.M.R. Prof. Dr.
EMPA – Abteilung Holz
St. Gallen, CH 1045

Seidel, Arnim Dipl.-Ing. Arch.
Fachagentur Holz
Düsseldorf, D 101,117

Seinecke, Joachim Dipl.-Ing. Arch.
Archplan GbR
Münster, D 1231

Simon, Antje Dr.-Ing.
Ingenieurgemeinschaft Setzpfand GmbH+Co.KG
Weimar, D 715

Spritzendorfer, Josef Geschäftsführer
Sentinel-Haus ® Institut GmbH
Freiburg 313

Sprockhoff, Jana Dipl.-Ing.
EGGER Holzwerkstoffe Wismar
Wismar, D 655

Stahl, Wilhelm Prof. Dr.rer.nat Diplom-Physiker
Stahl + Weiß – Büro für Sonnen Energie
Freiburg, D 1277

Stautmeister, Thomas Dr.-Ing. habil.
Professor für Automatisierungstechnik
Berner Fachhochschule
Architektur, Holz und Bau
Biel, CH 451

Stehling, Hanno Dipl.-Ing. Architektur
designtoproduction GmbH Erlenbach, Zürich
Zürich, CH 1071

Steiger, René Dr.-Ing
Abteilung Holz - Empa Dübendorf
Dübendorf; CH 361, 761

Steinmann, Urs Dipl.-Ing. (FH)
Mechatronik
TWOODS AG
Wildhaus, CH 1131

Strahm, Thomas Dipl.
Holzbauingenieur HTL/SH Holz
Neue Holzbau AG Lungern
Lungern, CH 769

T

Tannert, Thomas Dipl.-Ing., Ph.D.
Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Berner Fachhochschule
Architektur, Holz und Bau
Biel, CH 437, 545, 1379

Theilig, Andreas Prof. Dipl.-Ing.
Kaufmann Theilig & Partner GbR
Ostfildern, D 1215

Teischinger, Alfred Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.
Universität für Bodenkultur Wien
Department für Materialwissenschaft und
Prozesstechnik
Institut für Holzforschung
Wien, A 539

Tichelmann, Karsten Ulrich Prof. Dr.-Ing.
Versuchsanstalt für Holz- und
Trockenbau, Darmstadt, D
Institut für Tragwerksentwicklung
Hochschule Bochum, D 949, 1099

Tratzmiller, Michael Dipl.-Forstwirt, Forstassessor
Holzforschung München
München, D 371

Trautz, Martin Univ.-Prof. Dr.
Ingenieurbüro für Bauwesen
Aachen, D 1365

U

Uibel, Thomas Dipl.-Ing.
Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und
Baukonstruktionen
Technische Universität Karlsruhe
Karlsruhe, D 785

Übelhack, Anders Dipl.-Ing. (FH)
Finnforest Merk GmbH
Aichach, D 1077

V

Vallée, Till Dr.-Ing
Professor für Verbundbau
Berner Fachhochschule
Architektur, Holz und Bau
Biel, CH 545, 1379

Vogel, Mareike, Dipl.-Ing.
Wissenschaftliche Mitarbeiterin
Berner Fachhochschule
Architektur, Holz und Bau
Biel, CH 437

W

Wach, Thomas cand. Architekt
TU Darmstadt FG Entwerfen und
energieeffizientes Bauen
Darmstadt, D 1285

Wegener, Gerd Prof. Dr. Dr. habil. Drs. h.c
Holzforschung München,
Technische Universität München
München, D 165

Wehner, Marcus Dipl.-Ing. (FH)
Stabsstelle Forschung und Entwicklung
Hochschule Rosenheim
Rosenheim, D 75

Wehsener, Jörg Dipl.-Ing.
Institut für Stahl- und Holzbau
Technische Universität Dresden
Dresden, D 559

Weiß, Volker Dipl.-Ing.
Stahl + Weiß – Büro für Sonnen Energie
Freiburg, D 1277

Wentzlaff, Daniel Dipl.-Ing AADipl.
NW Nissen Wentzlaff Architekten BSA SIA AG
Basel, CH 1067

Werther, Norman Dipl.-Ing.
Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion
Technische Universität München
München, D 1165

Wiedemann, Günter Dr.-Ing.
Fraunhoferinstitut für Werkstoff- und
Strahltechnik
Dresden, D 1037

Wiegand, Tobias Dr.-Ing. Geschäftsführer
Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V.
Wuppertal, D 193

Winter, Stefan Univ.-Prof. Dr.-Ing.
Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion
Technische Universität München
München, D 427, 433, 1103, 1109, 1165, 1185

Wirthensohn, Hugo Forstamtsrat Dipl.-Ing. (FH)
Amt für Ernährung, Landwirtschaft
und Forsten Kempten
Kempten, D 347

Wittig, Arnold
W.H. Holzbaulösungen e.K.
Ehekirchen, D 1019

Wolfrum, Arthur Dipl.-Ing. Architekt
Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion
Technische Universität München
München, D 433

Wollenweber, Jörg Dipl.-Ing. Arch.
Wollenweber Architektur / TU Darmstadt
FG Entwerfen u. energieeffizientes Bauen
Darmstadt, D 1193, 1285

Wolpensinger, Holger Dipl.-Ing.
Projektmanager Nachhaltiges Bauen beim
Informationsdienst Holz, Holzabsatzfonds Bonn
Bonn, D 299

Wust, Hendrik Dr.-Ing.
Fraunhoferinstitut für Werkstoff- und Strahltechnik
Dresden, D 1037

Wurz, Antje Dr.
Institut für Forst- und Umweltpolitik
Universität Freiburg
Freiburg, D 37

Z

Zeitter, Helmut Dipl-Ing.
Ingenieurbüro Wagner Zeitter
Wiesbaden, D 1355

Ziegler, Sonja Dipl.-Ing.
Institut für Stahl- und Holzbau
Technische Universität Dresden
Dresden, D 563

Expertenverzeichnis Interviewführung

A

Ast, Siegfried Prof. Dipl.-Ing.
Fachhochschule Potsdam
Potsdam, D

B

Blaß, Joachim Univ.-Prof. Dr.-Ing.
Technische Universität Karlsruhe
Karlsruhe, D

Blumer, Hermann Dipl.-Ing. ETH/SIA
Creation Holz
Herisau, CH

Boddenberg, Ralf-Werner Prof. Dipl.-Ing.
Hochschule Wismar
Wismar, D

Borsch-Laaks, Robert
Büro für Bauphysik
Aachen, D

C

Conzett, Jürg Dipl.-Ing.
Conzett, Bronzini, Gartmann AG
Chur, CH

Cordes, Heinrich Bau.-Ing. (grad.)
Ing.-Holzbau Cordes GmbH & Co. KG
Rotenburg/Wümme, D

Cordes, Ulf Dipl.-Ing. (FH) / Dipl.-Kfm. (FH)
Ing.-Holzbau Cordes GmbH & Co. KG
Rotenburg/Wümme, D

D

Damm, Hannelore Prof. Dipl.-Ing.
Fachhochschule Köln
Köln, D

Dederich, Ludger Dipl.-Ing. (FH) Arch.
Holzbaufachberatung Holzabsatzfonds
Bonn, D

Derix, Markus Dipl.-Ing.
W. u. J. Derix & Co. Holzleimbau
Niederkrüchten, D

F

Fischer, Jürg Prof. (FH) Dipl.-Ing. (FH)
Fischer Timber Consult
Bubikon, CH

Fritzen, Klaus Dipl.-Ing. (FH)
Bruderverlag
Köln, D

H

Haller, Peer Prof. Dr.-Ing.
Technische Universität Dresden
Dresden, D

Häring, Christoph Dipl.-Ing.
Häring & Co. AG
Pratteln, CH

Hallinger, Wolfgang Dipl.-Ing. (FH)
Verbände des Bayerischen Zimmerer- und Holzbaugewerbes
München, D

Heemskerk, Jean Dipl.-Ing. Arch.
Motorplan Architektur + Stadtplanung
Mannheim, D

Herbst-Hüttemann, Mathias Dipl.-Ing.
Hüttemann Wismar GmbH Co. KG
Wismar, D

Heußer, Harald Dipl.-Ing. Arch.
Hochbauamt Frankfurt
Frankfurt, D

Hinkes, Franz-Josef Prof. Dr.-Ing.
Ingenieurgemeinschaft
Speich – Hinkes – Lindemann
Hannover, D

J

Jentsch, Axel
Deutsche Gesellschaft für Holzforschung
München, D

K

Kabelitz, Rainer Dipl.-Ing.
Bund Deutscher Zimmermeister
Berlin, D

Kaufmann, Hermann Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Arch.
Technische Universität München
München, D

Kessel, Martin Prof. Dr.-Ing.
Technische Universität Braunschweig
Baunschweig, D

Kirst, Alexander Dipl.-Ing.
Verbände des Bayerischen Zimmerer-
und Holzbaugewerbes
München, D

Kohnle, Ulrich Dr.
Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt BW
Freiburg, D

Krolak, Matthias Dipl.-Ing.
Deutsche Gesellschaft für Holzforschung
München, D

L

Lattke, Frank Dipl.-Ing. Arch.
Lattke Architektur
Augsburg, D

Loebermann, Matthias Prof. Dipl.-Ing.
Architekturwerkstatt Matthias Loebermann
Nürnberg, D

M

Maas, Michael Dr.-Ing. (FH)
Holzbaufachberatung Nordrhein-Westfalen
Arnsberg, D

Mahr, Ludwig Dipl.-Ing. (FH)
Holzbaufachberatung Hessen
Fulda, D

Marutzky, Rainer Prof. Dr.
Fraunhoferinstitut für Holzforschung WKI
Braunschweig, D

Mayer, Hermann Leitender Ministerialrat
Bayerisches Staatsministerium für
Landwirtschaft und Forst
München, D

Merz, Konrad Dipl.-Ing.
Merz Kley Partner AG
Dornbirn, A

Mohr, Bernhard Dipl.-Ing.
Mohr Holzbau GmbH
Trier; D

Mohr, Johannes Dipl.-Ing.
Mohr Holzbau GmbH
Trier; D

Mohrmann, Martin Dipl.-Ing. Arch.
Holz + Holzschutz, Sachverständigenbüro
Eutin, D

Möllenbeck, Markus Dipl.-Ing.
XELLA Trockenbau-Systeme GmbH
Duisburg, D

Müller, Matthias Dipl.-Ing. (FH)
Holzbaufachberatung Baden-Württemberg
Blaustein, D

N

Nebgen, Nikolaus Prof. Dipl.-Ing.
HAWK Hildesheim
Hildesheim, D

Nentwig, Andreas Prof. Dipl.-Ing.
HAWK Hildesheim
Hildesheim, D

Niemz, Peter Prof. Dr.-Ing. habil.
ETH Zürich
Zürich, CH

P

Patzwahl, Dieter Zimmerermeister
Ing. Holzbau – Brückenbau und Holzhandlung
D. Patzwahl GmbH
Düsseldorf, D

Peter, Mandy Dr.-Ing.
Bund Deutscher Zimmermeister
Berlin, D

Plößl, Josef Geschäftsführer
Gesamtverband Deutscher Holzhandel e.V.
Wiesbaden, D

R

Renggli, Max Geschäftsführer CEO
Renggli AG
Sursee, CH

Richter, Klaus Dr.
EMPA Holz
Duebendorf, CH

S

Sauter, Udo Dr.
Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt BW
Freiburg, D

Schär, Walter
Schär Holzbau AG
Altbüron, CH

Schläpfer, Ralf Dipl.-Ing.
Lignatur AG
Waldstatt, CH

Schiermeyer, Volker Prof. Dipl.-Ing.
HWS-Ingenieure
Bad Oeynhausen, D

Schmidt, Hans Dipl.-Ing.
Ingenieurbüro Schmidt
Stade-Bützfleth, D

Schwotzer, Willi
Collano AG / Ebnöther
Sempach Station, CH

Speich, Martin Prof. Dr.-Ing.
Ingenieurgemeinschaft
Speich – Hinkes - Lindemann
Hannover, D

Sprockhoff, Jana Dipl.-Ing.
EGGER Holzwerkstoffe Wismar
Wismar, D

Starck, Christoph Direktor
Lignum – Holzwirtschaft Schweiz
Zürich, CH

Steigerwald, Bernd Prof. Dipl.-Ing.
Fachhochschule Potsdam
Potsdam, D

T

Tobisch, Steffen Dr. rer. nat.
Institut für Holztechnologie Dresden gGmbH
Dresden, D

W

Wagner, Claus Prof. Dr.-Ing.
Hochschule Rosenheim
Rosenheim, D

Wegener, Gerd Prof. Dr. Dr. habil. Drs. h.c.
Holzforschung München
München, D

Wiederkehr, Reinhard Dipl. Holzbau-Ing. HTL / SISH,
Dipl. Zimmermeister
Makiol & Wiederkehr Holzbau-Ingenieure
Beinwil am See, CH

Wiegand, Tobias Dr.-Ing.
Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V.
Wuppertal, D

Winter, Stefan Univ.-Prof. Dr.-Ing.
Technische Universität München
München, D

Wörner, Johann-Dietrich Prof. Dr.-Ing.
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
Köln, D

Z

Zeitter, Helmut Dipl.-Ing.
Ingenieurbüro Wagner Zeitter
Wiesbaden, D

Themenliste

Markterschließung, Ökonomie

1.1 Marktforschung

Demographische Entwicklung 37
Gesellschaftlicher und kultureller Wandel 41
Die drei M des zeitgenössischen Holzbaus in der Schweiz 45
Holzbauentwicklung in Großbritannien 55
Tendenzen und Perspektiven – Holzbau in Frankreich 61
Aktivhaus versus Passivhaus – Effektivität versus Effizienz 67

1.2 Marketing

Markterschließung 75
Marketing im Holzbau 91
Die Bedeutung der Fachinformation für Planer 95
Holzbau und Architektenwettbewerbe 101
Holzbau und Studentenwettbewerbe 105
Preisverleihungen im Holzbau 117
Holz spüren – ein querdenkerischer Ansatz zur Positionierung von Holzprodukten 121

1.3 Absatzformen

Kostengünstige Gebäudekonzepte 127
Hausleasing 133

1.4 Betriebsorganisation

Bauen mit Holz in der Stadt 139
Bauherrengemeinschaft, Partizipation am Bau 145
Zukunft des Holzbaus aus der Sicht der Holzfachhändler 151

Holzbaubranche, Recht, Politik

2.1 Holzbaubranche

Holzbaukultur 161
Von der Wertschöpfungskette zum Cluster 165
Zukunft Holz 169
Zukunftsperspektiven Holz(bau) 175
Visionen im Holzbau 185

2.2 Normung

Nationale und europäische Regelwerke und deren Auswirkungen 193

2.3 Politik, Gesetzgebung

Energieeinsparverordnung und Energiepass 201
Zertifizierung von Passivhäusern 209

2.4 Forschung, Entwicklung

Forschungsübergreifende Plattform 219

Bildung, Erziehung

3 Bildung, Erziehung

Früherziehung – Schule 229
Mit Holz bauen – von Kindheit an 237
Aus- und Weiterbildung im Handwerk 239
Hilfsmittel für die Lehre 247
Holzbau E- Learning 255

Nachhaltigkeit, Ökologie

4.1 Nachhaltigkeit

Green Glamour ist nicht genug! 265
Nachhaltigkeit und Gebäudetransparenz - Von der Vermutung zur Berechnung 271
Nachhaltigkeit von Holz und Holzprodukten 285
Chancen und Perspektiven im Holzbau durch Zertifizierung 293
Plusenergiebaustoff Holz 299
CO_2 Bank 309

4.2 Baubiologie, Wohngesundheit

Holzbau und Wohngesundheit 319

Forst und Sägeindustrie

5.1 Forst und Sägeindustrie

Märkte für Forst- und Holzwirtschaft 325
Wald und Klimawandel 331
Rohholzbedarf und –bereitstellung 335
Ressourcen – Rohstoffmobilisierung 341
Besondere Absatzkonzepte 347

5.2 Rohstoff Holz

Maschinelle Festigkeitssortierung von Schnittholz 355
Potential der maschinellen Festigkeitssortierung von Schnittholz 361
Hochwertige Bauprodukte aus starkem Stammholz 371

Produktion, Qualitätssicherung

6.1 Produktentwicklung

Zusammenhang zwischen F&E und Geschäftsentwicklung in der Holzindustrie 385
Trendentwicklung Weißtanne 391

6.2 Produktionsverfahren

Standardisierung und Typisierung von Verbindungen im Holzbau 397
Standardisierung am Beispiel Schweden 401

6.3 Maschinen, Werkzeug

Maschineneinsatz im Holzbau 417

6.4 Qualitätssicherung

Überprüfung und Unterhalt von Hallentragwerken aus Holz 427
Auswertung von Schäden an Hallentragwerken aus Holz 433
Zerstörungsfreie und –arme Überwachungsmethoden 437
Ultraschall-Echo Verfahren zur zerstörungsfreien Fehlstellenlokalisierung in Holz 443
Radio Frequency Identification – RFID 451

Baustoffe, Bauteile

7.1 Bauteile, Bauteilverfahren

Energetische Sanierung von Gebäuden mit Fassadenelementen in Holzbauweise 465
Fenstertechnologie 469
Holz-Glas-Verbundkonstruktionen 479
uni*versa Trennwandsystem aus natürlichem Holz 487
Leichte Trennwände – System Finnwall 495
Kielstegelemente 501

7.2 Sonstige Baustoffe, Produkte

Latentspeichermaterialien (PCM) 509
Vakuumdämmung im Holzbau 517
Wärmedämmverbundsysteme mit Holzfaserplatten im Holzbau 521

Vollholz

8.1 Vollholz

Holz im Vergleich mit anderen Werk stoffen 539
Materialmodelle für Holz 545
Vom Baum zum Bau oder die Quadratur des Kreises 551
Festigkeitsuntersuchungen an Fichtenpressholz FPH 559
Untersuchung vom thermo-hygromechanischen Verformungsverhalten von Pappelholz aus KUP Mondholz 563
Holz - die innere Optimierung der Bäume 569
573

8.2 Modifiziertes Holz

Modifizierung von Holz 583
Acetylierung 587
Furfurylierung 599
Melaminharzbehandlung 605
Holzvernetzung 611
Siliziumhaltige Verbindungen 619
Thermische Modifizierung 625
Modifikation mit Holz zersetzenden Pilzen 637
DNA Modifikation von Bäumen 643

Holzwerkstoffe, Verbundkonstruktionen

9.1 Holzwerkstoffe

Zukunft der Holzwerkstoffe – Holzwerk stoffe haben Zukunft! 655
Konstruktive Holzfaserplatten 659
DendroLight – leichte Massivholzplatte 665
Wabenplatten 669

9.2 Verbundkonstruktionen, Materialkombinationen

Konzepte für textile Bewehrungen in der Holzkonstruktion 675
Textilverstärkte Formholzrohre 687
Charakterisierung der Verbundfestigkeit von textilbewehrtem Holz 693
Holz-Beton-Verbund 699
Holz-Beton-Platten mit Klebeverbund 705
Holz-Beton-Verbund Systeme 711
Straßenbrücken in Holz-Beton-Verbundbauweise 715
Holz-Beton-Verbundträger im Straßenbrückenbau 719
Holz-Stahlfaserbeton-Verbundsystem 727
Wandverbundquerschnitte 735

Verbindungstechniken

10.1 Verbindungsmittel

Holz-Stahl-Klebeverbund 749
HSK- Systeme 757
Ausziehwiderstand von in Brettschichtholz eingeklebten Gewindestangen 761
GSA – Technologie 769
Holzrahmenbauten sicher auf Zug verankern 773
Moderne Verbindungsmittel 775
Der Jumbo - Wellennagel als tragendes Verbindungselement 777
Bemessungsvorschläge für Verbindungsmittel in Brettsperrholz 785
Korrosionsverhalten von Baumetallen bei Holz-Kontakt 797

10.2 Klebstoffe

Kleben im Holzbau - Stand der Technik und Qualitätssicherung 807
Lignofast – ein Quantensprung in der Klebstoff-technologie 815
Elastisch nachgiebige Klebefuge für Brettschichtholz 819
Optimierung geklebter Holzverbindungen 825
Verklebung von wärmebehandeltem Buchenholz 833
Blockverleimung 839

10.3 Fügetechniken

Schweißen von Holz 845
Textile Verbindungen 851

Bauphysik

11.1 Wärme- und Feuchteschutz

Sommerlicher Wärmeschutz 867
Hygrothermische Kennwerte von Holz 871
Außendämmung aus Holz 875
Balkendurchdringungen in historischen Außenwänden 883
Innendämmung - eine Chance für den Holzbau? 889
Holzfaserplatten für die Innendämmung 895
Passivhaus 901
Flachdächer in Holzbauweise 913

11.2 Schallschutz, Schwingung

Schall- und schwingungsoptimierte Holzdecken Bemessungshilfen für die Praxis 919
Schwingungstechnische Optimierung von Holzdecken 929
Akustikbauteile aus natürlichem Holz 937

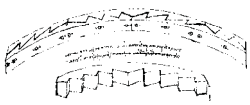
11.3 Brandschutz

Brandschutz im Holzbau 943
Sicher hoch hinaus im Holzbau 949
Hochgefüllte Papiere als Holzfaserverbundwerkstoff – Potenzial im Brandschutz 957
Mehrschnittige Stabdübelverbindungen und Brandschutz 965
Modell zum Nachweis der raumaschließenden Funktion von Holzbauteilen 973

11.4 Dauerhaftigkeit
Dauerhaftigkeit im Holzbau 983

Holzschutz, Oberflächenbehandlung

12 Holzschutz, Oberflächenbehandlung
Holzschutz – Aktueller Stand der Wissenschaft und Technik 997
Unempfindlichkeit von technisch getrocknetem Holz gegen Insekten 1005
Polyurethan-Beschichtungen 1013
Brückenbelag aus DuroBOARD 1019
Nano- Beschichtungen 1021
Strahlengehärtete Lacke 1029
UV-Lichtstabilisierung 1031
Greywood 1035
Die Wirkung von Laserstrahlung auf Eigenschaften des Holzes 1037
RSM Analyse der Wirkung kombinierter Parameter auf das Wachstum von Pilzen 1045



Planung, Holzbauweisen

13.1 Planung
Gedanken zur Situation des Holzbaus 1059
EDV-Planungshilfen und Schnittstellen 1067
Digitaler Holzbau - Komplexe Formen in Holz 1071
Konstruktiver Holzbau auf dem Weg vom Handwerk zum Industriellen Prozess 1077

13.2 Holzbauweisen, Holzbausysteme
Holzbausysteme und Bauweisen 1081
Mischbauweise 1087
Eigenschaften von Leichtbauweisen 1099
Brettstapel (BST) 1103
Brettsperrholz (BSP) 1109
Konstruieren mit Brettsperrholz 1115
Dübelholz 1125
TWOODS- Bauelemente 1131
Vorteile und Ausführung des massiven Holzbaus 1137
HIB- Bausystem 1147
Palisadio 1151
Bionisches Bausystem in Holz bzw. Holz-Beton-Verbundbauweise 1155
Klimatische Verhältnisse in Kriechkellern 1155
Fachwerkträger 1171

Gebäudekonzepte, Bauen im Bestand

14.1 Besondere Gebäudekonzepte
Mehrgeschossiger Holzbau – heute und in naher Zukunft 1185
Nachhaltige, energetische Gebäudekonzepte 1193
Bauen mit Raummodulen 1199
Anforderungen an den Wohnungsbau der Zukunft 1209
Holz in temporärem Einsatz 1215
Hochhäuser aus Holz 1221

14.2 Bauen im Bestand
Bauen in der Stadt 1227
Dachaufstockungen 1231
Sanierung auf Passivhausstandard 1239
Gebäude- Update 1247
Erhaltung und Ertüchtigung von Holztragwerken 1253
Bestand geometrisch erfassen 1259
Baubegleitendes 3D-Laserscannen 1267

14.3 Besondere Einsatzgebiete
Sperrholz – Ein Werkstoff im Gerüstbau 1273

14.4 Gebäudetechnik
Zukünftige Gebäud 1277
Photovoltaik und Holz – Eine Verbindung mit Zukunft 1285
Zeitgemäße Gebäudeautomation 1293
Aktueller Stand und Potenziale Wärmepumpen 1299

Konstruktion, Bemessung

15.1 Tragsysteme

Faltwerke	1315
Türme aus Holz für Windkraftanlagen	1323
Holztragwerke für Membranbauten	1333

15.2 Bemessung

Zuverlässige Prognostizierbarkeit von Holzkonstruktionen?	1339
Modellierung – Kerninhalt des EC5- Neu?	1347
Erdbebenbemessung im Holzbau	1355
Mit Schrauben bewehrtes Holz	1365
Größeneffekte bei biegebeanspruchtem Fichtenschnittholz	1373
Probabilistische Methoden zur Anschlussbemessung	1379
Zum Tragverhalten nachgiebig verbundener Biegeträger aus Holz	1385

15.3 Aussteifung

Aussteifung mit Holzfaserdämmplatten	1393

16 Leuchttürme 1399