



Aachener Holzbautagung 2013 5. und 6. September an der FH Aachen



FH AACHEN
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

AACHENER FREUNDKREIS DER HOLZINGENIEURE E.V.
FH AACHEN | BAYERNALLEE 9 | 52066 AACHEN



Tagungsband
Aachener
Holzbautagung 2013
5. und 6. September
an der FH Aachen

Herausgeber | Prof. Dr.-Ing. Thomas Uibel, Prof. Dr.-Ing. Leif Arne Peterson

Inhalt

Programm	7
Vorwort	8
Prof. Ludger Dederich Neue Verwendungsformen für Laubholz im Bauwesen	10
Dr. Thorsten Mrosek Trends in der Forst- und Holzwirtschaft mit Bezug zum Holzbau	14
Prof. Jörg Wollenweber Stadt HOLZ – städtisches Bauen mit Holz	20
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Martin Trautz Fügen und Verstärken von Holzbauteilen mit Vollgewindeschrauben	26
Dr.-Ing. Peter Mestek Bemessung von Brettsperrholz unter Plattenbeanspruchung	34
Prof. Dr.-Ing. Thomas Uibel Tragverhalten von Verbindungen für die Brettsperrholzbauweise	42
Dipl.-Ing. Michael Steilner Querdruckvorspannung von Holz mit Vollgewindeschrauben	60
Dipl.-Ing. (FH) Tobias Götz Moderner Holzbau – auf dem Weg nach oben!	66
Impressum	75

Programm

Donnerstag, 5. September 2013

Moderation: Prof. Dr.-Ing. Leif A. Peterson

- 12.30 Uhr **Registrierung, Ausgabe der Tagungsunterlagen, Begrüßungskaffee**
- 13.00 Uhr **Prolog** | Prof. Dr.-Ing. Wilfried Moorkamp
- 13.15 Uhr **Grußworte** | Prof. Dr. rer. nat. Marcus Baumann,
Rektor der FH Aachen
- 13.30 Uhr **Es geht auch anders - Neue Verwendungsformen für Laubholz im Bauwesen**
Prof. Ludger Dederich, Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg
- 14.15 Uhr **Trends in der Forst- und Holzwirtschaft mit Bezug zum Holzbau**
Dr. Thorsten Mrosek, Holzkompetenzzentrum Rheinland, Nettersheim
- 15.00 Uhr **Kaffeepause**, offeriert vom Berufsbildungszentrum Euskirchen BZE
- 15.30 Uhr **Stadt|HOLZ** | Prof. Jörg Wollenweber, FH Aachen, Fachbereich Architektur
- 16.15 Uhr **Fügen und Verstärken von Holzbauteilen mit Vollgewindeschrauben**
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Martin Trautz, RWTH Aachen,
Lehrstuhl für Tragkonstruktionen
- 19.00 Uhr **Erfahrungsaustausch im Ratskeller Aachen**

Freitag, 6. September 2013

Moderation: Prof. Dr.-Ing. Wilfried Moorkamp

- 8.30 Uhr **Begrüßungskaffee**
- 9.00 Uhr **Bemessung von Brettsperrholz unter Plattenbeanspruchung**
Dr.-Ing. Peter Mestek, Sailer Stepan und Partner GmbH, München
- 9.45 Uhr **Tragverhalten von Verbindungen für die Brettsperrholzbauweise**
Prof. Dr.-Ing. Thomas Uibel, FH Aachen, Fachbereich Bauingenieurwesen
- 10.30 Uhr **Kaffeepause**, offeriert vom Berufsbildungszentrum Euskirchen BZE
- 11.00 Uhr **Querdruckvorspannung von Holz mit Vollgewindeschrauben**
Dipl.-Ing. Michael Steilner, Karlsruher Institut für Technologie,
Holzbau und Baukonstruktionen
- 11.45 Uhr **Moderner Holzbau - auf dem Weg nach oben!**
Dipl.-Ing. Tobias Götz, Pirmin Jung Deutschland GmbH, Sinzig
- 12.30 Uhr **Schlussworte** | AFH-Vorstand

Vorwort

Die Bedeutung des nachhaltigen Baustoffes Holz ist baugeschichtlich durch Höhen und Tiefen gekennzeichnet. Seit längerem gewinnt er zweifelsfrei wieder an Beachtung. Die Holzbranche ist vielfältiger und innovativer geworden. Insgesamt spiegeln die jüngsten Entwicklungen aber auch den gesellschaftlichen Wandel in Hinblick auf die ganzheitliche Nutzung und wirtschaftliche Verwertung natürlicher Ressourcen sowie das Bewusstsein für die globalen klimatischen Veränderungen wieder. Dieses Bewusstsein wird in naher Zukunft und für kommende Generationen weiter an Bedeutung gewinnen. Um die Herausforderungen anzugehen, die sich der Holzwirtschaft und dem Holzbau folglich stellen, ist es wichtig, die beteiligten Akteure zusammenzubringen, wissenschaftliche Erkenntnisse weiterzugeben und praktische Erfahrungen auszutauschen, um so gemeinsam Stärken weiterzuentwickeln und zu konzentrieren.

Dies war unsere Intention für die Einrichtung einer regelmäßigen Holzbautagung des Aachener Freundeskreises der Holzingenieure e. V. (AFH) und der Fachhochschule Aachen. Die Veranstaltung bringt Architekten, Tragwerksplaner, Holzbauingenieure, Unternehmen aus den Bereichen Hochbau bzw. Holzbau, Forst- und Holzwirtschaft sowie Studierende aus den Bereichen Architektur, Bauingenieurwesen und Holzingenieurwesen als heranwachsende Multiplikatoren zusammen. Die fachlichen Grundlagen für die Gespräche bilden die Vorträge, die Ihnen durch diesen Tagungsband zusammengefasst zur Verfügung gestellt werden.

Die Themen des ersten Tages sind der Holz- und Forstwirtschaft, der Holzverwendung im Bauwesen sowie der Architektur und Konstruktion im Holzbau gewidmet. Zunächst stellt Prof. Ludger Dederich Verwendungsbereiche für moderne Bauprodukte aus Laubholz vor. Dass sich das Potential dieser Holzarten zumindest im Verhältnis zu unseren Waldbeständen noch am Anfang einer vielversprechenden Entwicklung befindet, wird in dem Beitrag von Dr. Thorsten Mrosek zu den Trends in der Forst- und Holzwirtschaft noch einmal bekräftigt.

Die Möglichkeiten und Vorteile von vorgefertigten Holzkonstruktionen bei der Nachverdichtung des städtischen Raums erläutert Prof. Jörg Wollenweber. Anhand von Beispielen zeigt er, dass gerade im Bereich der Urbanisierung häufig Ressentiments bei den Entscheidungsträgern zu überwinden sind und die Leistungsfähigkeiten unseres leichten Baustoffes noch weitaus kreativere Lösungen ermöglichen. In der Holzbaustatik spielt hierfür vor Allem das Fügen der Holzbauteile eine entscheidende Rolle. Neuste Forschungsergebnisse und Modellierungsansätze zum Anschließen und Verstärken mit Vollgewindeschrauben zugunsten schlanker Tragwerke werden von Univ.-Prof. Dr.-Ing. Martin Trautz vorgestellt.

Die Bemessung von Bauteilen aus Brettsper Holz und hierbei auch die effektive Anwendung von Vollgewindeschrauben erläutert Dr.-Ing. Peter Mestek am folgenden Tag. Prof. Dr.-Ing. Thomas Uibel stellt anschließend für die Verbindungen von Brettsper Holzbauteilen Forschungsergebnisse und daraus abgeleitete Bemessungsmethoden vor. Ein aktuelles Forschungsthema ist die Querszugverstärkung von Holzbauteilen mittels vorspannender Vollgewindeschrauben mit unterschiedlicher Gewindesteigungen, welches Dipl.-Ing. Michael Steilner im Zusammenhang mit neuesten Untersuchungsergebnissen präsentiert. Die praxisrelevanten Projektierungsschritte bei der Ausführung von mehrgeschossigen Holzkonstruktionen und deren Besonderheiten gegenüber den herkömmlichen Bauverfahren legt Dipl.-Ing. Tobias Götz in seinem Beitrag auch an ausgewählten Wohnungsbauprojekten dar.

Das Programm der Aachener Holzbautagung beinhaltet somit für alle Adressaten fachspezifische Vorträge und schafft darüber hinaus interessante Blicke „über den eigenen Tellerrand“. Zudem ergibt sich die Möglichkeit zu einem lebhaften Diskurs mit den Referenten und Tagungsteilnehmern über die aktuellen Fragen unseres Baustoffes Holz.

Wir sind gespannt auf Ihre Anregungen für künftige anwendungsbezogene Forschungsvorhaben und wünschen Ihnen – auch im Namen unserer Vereinsmitglieder und der beiden Vorstandskollegen Wilfried Moorkamp und Jörg Wollenweber – eine gewinnbringende Veranstaltung und freuen uns auf eine gute zukünftige Zusammenarbeit für den und in dem modernen Holzbau.

Thomas Uibel

Leif A. Peterson



Prof. Dipl.-Ing. Architekt Ludger Dederich

Professor für Holzbau
Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg
Schadenweilerhof | 72108 Rottenburg am Neckar
dederich@hs-rottenburg.de

- seit 2012 Professor für Holzbau im Studiengang Holzwirtschaft der Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg
- 2011 - 2013 freiberufliche Tätigkeit sowie Geschäftsführung Holzbau Deutschland-Institut, Berlin
- 2010 - 2011 Immobilienmanagement für einen Sozialkonzern in Köln
- 2003 - 2009 Leitung des Arbeitsbereichs Holzbaufachberatung beim Holzabsatzfonds, Bonn
- 2001 - 2003 eigenes Architekturbüro in Lübeck und Regionaler Fachberater für den Informationsdienst Holz in Norddeutschland
- 1997 - 2001 Mitarbeiter in Lübecker Architekturbüros
- 1996 - 1997 Mitarbeiter bei Bjerking Ingenjörbyrå AB, Uppsala
- 1991 - 1996 Studium der Architektur an der Fachhochschule Lübeck
- 1988 - 1991 Berufstätigkeit als Zimmerer
- 1987 - 1988 Zivildienst
- 1984 - 1986 Ausbildung zum Zimmerer
 - 1984 Abitur am Gymnasium Köln-Ostheim
 - 1964 geboren in Düsseldorf

Es geht auch anders – Neue Verwendungsformen für Laubholz im Bauwesen

Prof. Dipl.-Ing. Architekt Ludger Dederich, Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg

1 Grundlagen für die Nutzung von Laubholz im Bauwesen

Wirklich neu ist die Idee nicht, Laubholz im Bauwesen zu verwenden: dort, wo das Material ausreichend zur Verfügung stand, sind Fachwerkkonstruktionen aus Eiche üblich gewesen, und in manchem historischem landwirtschaftlichem Gebäude verbergen sich Lösungen aus Laubholz, die in anderer Form der Verfügbarkeit Rechnung tragen. So wurde etwa am Niederrhein oder in Norddeutschland immer wieder Pappelholz für Beplankungen von Balkenlagen genutzt, wenn am Bauplatz erst Pappeln gefällt werden mussten.

Doch nicht zuletzt aufgrund der Industrialisierung insbesondere in der Sägewirtschaft und dem Primat der Masse rückte Nadelholz ob der einfacheren Bearbeitbarkeit für die Verwendung im Bauwesen in den Vordergrund. Gestützt wurde diese Entwicklung durch eine konsequente Fokussierung auf die Fichte (*Picea abies*) als dem „Brotbaum“ der Forstwirtschaft. Während der letzten 200 Jahre wurde diese wegen ihrer hohen Zuwachsraten und anspruchslosen waldbaulichen Behandlung stark gefördert.

Aktuell befinden sich in Europa 6 bis 7 Mio. ha reine Fichtenbestände außerhalb ihres natürlichen Verbreitungsgebietes. Mindestens 4 bis 5 Mio. ha davon stehen auf Laub- und Laubmischwaldstandorten. Dem entsprechend sind Teile von West- und Mitteleuropa von Fichtenforsten dominiert. Diese Wälder sind anfälliger gegenüber Immissionseinwirkung, Schädlingsbefall, Windwurf und Trockenstress. Der prognostizierte Klimawandel verschärft zunehmend das Problem.

Aus wirtschaftlichen, ökologischen und sozialen Gründen wird daher die Wiederherstellung der ursprünglichen Laubmischwälder als Schritt in Richtung einer nachhaltigen Waldwirtschaft angesehen. Dieser Umbau kann rasch in Form von Bestandsumwandlung mittels Kahlschlag oder über einen längeren Zeitraum durch Voranbau mit Buche (*Fagus sylvatica*) unter einem sogenannten Fichtenaltholzschirm erreicht werden. Diese neuen Laubholzvorräte werden dann in etwa 100 bis 120 Jahren erntereif sein.

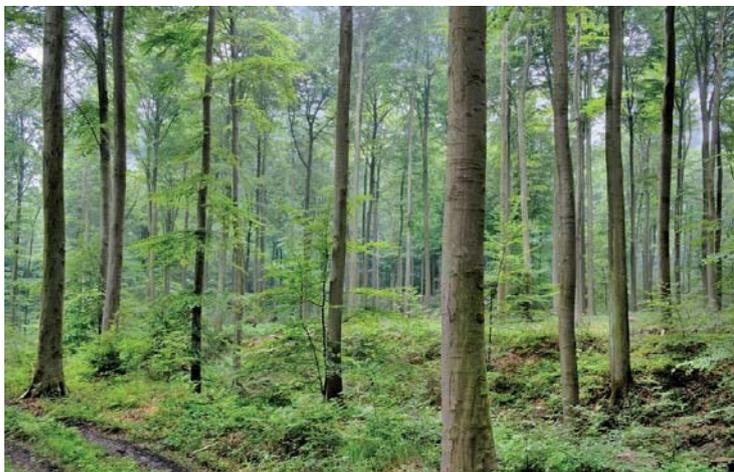


Bild 1: Buchenbestand
Quelle: Holzabsatzfonds

Laubholz

- a Rinde
- b Bast
- c Kambium
- d Frühholz
- 1 Dicke
- 2 Höhe
- 3 Länge des Holzstrahls
- d Frühholz mit zahlreichen Gefäßen
- e Spätholz
- f Jahrringgrenze
- h_o primärer oder großer Markstrahl
- h_s sekundärer oder kleiner Markstrahl

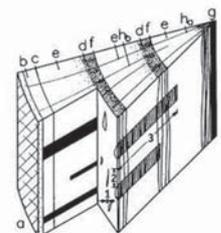


Bild 2: Aufbau von Laubholz
Quelle: Arbeitsgemeinschaft Holz

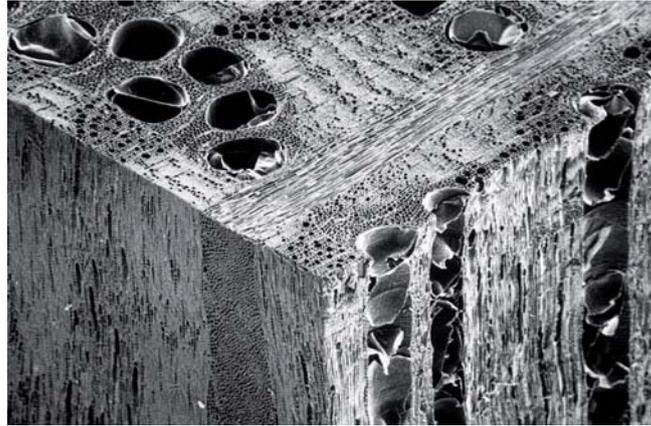


Bild 3: Struktur von Laubholz in einer mikroskopischen Darstellung
Quelle: Holzforschung München, TUM

2 Potentielle Verwendungsbereiche

Von daher gilt es, Einsatzbereiche für Laubholz zu besetzen, bei denen Nadelholz bzw. Nadelholzprodukte substituiert werden. Dabei kommt hinsichtlich der Verwendung von Laubholz in den Bereichen, die der Bewitterung ausgesetzt sind, die fundamentale Maßgabe der Normenreihe DIN 68800 Holzschutz mit ihren Teilen aus den Jahren 2011 und 2012, konstruktiven Maßnahmen immer den Vorrang vor solchen unter Verwendung von chemischen Holzschutzmitteln einzuräumen, zugute. Um nicht flächendeckend bislang übliche Fassadenelemente chemisch behandeln zu müssen, sollten für diese (auch wenn sie als Verschleißteile interpretiert werden können) Lösungen auf der Grundlage von Laubholz gefunden werden. Dabei geht es nicht nur um die klassisch zu nennende Vollholzschalung (als Brett oder als Leiste), sondern auch um flächige Produkte wie Massivholzplatten.

Ein weiteres Einsatzgebiet sind Fassadensysteme mit großen Glasanteilen, für die aktuell Lösungen mit Profilen aus Stahl oder Aluminium entwickelt und angeboten werden. Aus gestalterischen wie funktionalen Gründen sollen die Tragelemente dieser Bauteile schmal und schlank gehalten sein. Lösungen aus Nadelholz finden hierbei selten Akzeptanz, da sie aus brandschutztechnischen Gründen bezogen auf die Maßgaben überdimensioniert (zu breit, zu massig) sind. Aufgrund der deutlichen höheren Festigkeiten und der besseren Eigenschaften im Brandfall sollten Fassadensysteme entwickelt werden, die ähnlich der Holzrahmenbauweise offene Systeme mit der Möglichkeit breiter Akzeptanz und nahezu flächendeckender Verbreitung und deren Basis Laubholzprodukte sind.

3 Bauprodukte aus Laubholz

Bei der Verwendung von Laubholz zur Herstellung geklebter Produkte, die zudem konstruktiv eingesetzt werden können, sind mit der Entwicklung von Brettschichtholz (BS-Holz) aus Buche erste erfolgreiche Schritte getätigt worden. Auch wenn es sich dabei um ein baurechtlich unregelmäßiges Produkt handelt, ist es dennoch für Planer wie Verarbeiter handhabbar. In der jüngeren Vergangenheit realisierte Projekte unter Verwendung weiterer Laubholzarten (z.B. Esche und/oder in der Kombination mit Nadelhölzern) bei der Herstellung von BS-Holz lassen das Potential ahnen, das sich in diesem Zusammenhang aufgrund technisch-konstruktiver wie gestalterischer Eigenschaften eröffnet. Dazu muss allerdings die Möglichkeit zum Einsatz diverser Laubholzarten insbesondere in stand-sicherheitsrelevanten Bereichen geregelt werden. Die bis dahin notwendigen Zustimmungen im Einzelfall sind aufwändig und kostenträchtig. Einmal mehr bietet sich hierbei der Blick in die Schweiz als lehrreich an.



Bild 4: Bearbeitung von Buchenholz mittels Bandsäge
Quelle: Holzabsatzfonds

Tabelle 1: Vergleich technischer Eigenschaften

	Rohdichte [kg/m ³]	Biegefestigkeit [N/mm ²]	E-Modul [N/mm ²]
LVL Bu	680	70	16.800
LVL Fi	480	48	13.800
BS-Holz Fi (GL 24)	480	24	11.600
KVH Fi (C24)	480	24	11.000

Quelle: Pollmeier Massivholz, Creutzburg



Bild 5: Brettschichtholz aus Buche bzw. mit hybridem Aufbau
Quelle: Holzabsatzfonds



Bild 6: Furnierschichtholz (LVL - Laminated Veneer Lumber) aus Buche
Quelle: Pollmeier Massivholz, Creutzburg, TUM

Weitere, konkrete Produktentwicklungen wie die von Furnierschichtholz aus Buche stützen diese Entwicklung, und lassen angesichts der ungewohnten materialspezifischen Eigenschaften auf noch nicht zu denkende Einsatzmöglichkeiten und Gestaltungen hoffen.

4 Exkurs: Importhölzer

Dem steht allerdings, bei aller Faszination, die die im ausländisch-deutschsprachigen Raum unter Verwendung von hybridem Brettschichtholz realisierten Projekte auf uns ausüben, ein kleines, aber nicht unwesentliches Detail entgegen: die auf der Grundlage der Liste der Technischen Baubestimmungen eingeführten Laubholzarten. Von den verfügbaren einheimischen (im Zusammenhang mit Holzarten und deren Vorkommen ist der Begriff „einheimisch“ mit „europäisch“ gleichzusetzen) sind nur

- > Buche (*Fagus sylvatica*) und
- > Eiche (*Quercus petraea* und *Quercus robur*) bauaufsichtlich eingeführt.

Entsprechende Möglichkeiten gelten für die Importholzarten

- > Afzelia (*Afzelia* spp.) aus Westafrika,
- > Angeliq (*Dicorynia guianensis* Amsl) aus Südamerika,
- > Azobe (Bongossi) (*Lophira alata*) aus Westafrika und Guyana,
- > Ipe (*Tabebuia* spp.) aus Mittel- bzw. Südamerika,
- > Keruing (*Dipterocarpus* spp.) aus Südostasien,
- > Merbau (*Intsia* spp.) aus Südostasien und
- > Teak (*Shorea glauca*) ebenfalls aus Südostasien.

Dem zweiten Teil der Liste steht zu gewissen Teilen die EU-Holzhandelsverordnung (HolzhandelsVO) entgegen, deren Ziel es ist, den illegalen Holzeinschlag weltweit zu bekämpfen. Daher verbietet die Verordnung, Holz und Holzzeugnisse aus illegalem Einschlag in den EU-Binnenmarkt in Verkehr zu bringen. Dazu sei nur beispielhaft darauf hingewiesen, dass es praktisch kein Merbau mit FSC-Zertifizierung gibt. Für die Gattung *Intsia* wurde 2006 der Antrag gestellt, diese in den Anhang III des Washingtoner Artenschutzabkommens (CITES) aufzunehmen, um diese so als CITES geschütztes Handelsholz eingestuft zu bekommen. Diesem Antrag wurde nicht entsprochen.

Merbau ist somit zwar eine hierzulande bauaufsichtlich geregelte (Import-)Holzart, darf jedoch nicht eingeführt und gehandelt werden. Gleichzeitig sind einheimischen Holzarten wie beispielsweise Robinie (ungeachtet bereits vor etwa 10 Jahren durchgeführter Entwicklungsarbeiten zu den Möglichkeiten der Verklebung) und Esche, aber auch Ahorn und Birke, grundsätzlich von der Verwendung im Bauwesen ausgeschlossen.

5 Fazit

Insgesamt bleibt den Planern einmal mehr nur, auf der Grundlage von Gestaltung und Konzeptentwicklungen die für den Anstich von Entwicklung notwendigen Nachfrage- druck zu Bauprodukten aus Laubholz zu schaffen. Wohl ist Furnierschichtholz aus Buche ein im holzwirtschaftlichen Sinne ein Produkt endogen motivierter Forschungs- und Entwicklungsarbeit, doch stellt dieses Ergebnis eine Ausnahme dar. In der Regel werden in der deutschen Holzwirtschaft strukturell-konzeptionelle wie konkret-bauliche Innovationen von außen angestoßen.



Dr. Thorsten Mrosek

Landesbetrieb Wald und Holz Nordrhein-Westfalen
Holzkompetenzzentrum Rheinland
Römerplatz 12
53947 Nettersheim
t.mrosek@hkzr.de

- seit 2010 Leiter Holzkompetenzzentrum Rheinland beim Landesbetrieb Wald und Holz Nordrhein-Westfalen
- 2009 - 2010 Wissenschaftlicher Angestellter bei iMOVE, Initiative des Bundesministeriums für Bildung und Forschung, angesiedelt beim Bundesinstitut für Berufsbildung
- 2007 - 2009 Leiter Arbeitsbereich Auslandsmarketing beim Holzabsatzfonds - Absatzförderungsfonds der deutschen Forst- und Holzwirtschaft
- 2004 - 2007 Wissenschaftlicher Assistent an der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster, Fachbereich Geowissenschaften, Institut für Landschaftsökologie / Wald-Zentrum
- 2001 - 2003 Wissenschaftlicher Angestellter an der Fachhochschule Eberswalde, Fachbereich Forstwirtschaft
- 1998 - 2002 Promotion an der Universität Toronto, Forstwissenschaftliche Fakultät
- 1998 - 2001 Wissenschaftlicher Mitarbeiter bei Haliburton Forest & Wild Life Reserve Ltd., Kanada
- 1992 - 1998 Studium der Forstwissenschaft an der Georg-August Universität Göttingen, Forstwissenschaftlicher Fachbereich

Trends in der Forst- und Holzwirtschaft mit Bezug zum Holzbau

Dr. Thorsten Mrosek, Landesbetrieb Wald und Holz Nordrhein-Westfalen, Holzkompetenzzentrum Rheinland

Die Rahmenbedingungen für den Holzbau und für Holzverwendung allgemein sind seit einigen Jahren sehr positiv, insbesondere aufgrund der wachsenden Bedeutung von Umwelt-, Klimaschutz- und Nachhaltigkeitsthemen. Deutschland verfügt über umfassende Holzressourcen, aber während es beim Nadelholz zu einer Verknappung und Preissteigerung kommt, bestehen noch große Nutzungspotenziale beim Laubholz und hier insbesondere beim Buchenholz. Innovative Laubholzprodukte auch für konstruktive Anwendungen sind bereits verfügbar, aber es besteht weiterer Bedarf zur Entwicklung und Vermarktung solcher Produkte und Konstruktionslösungen. Clusterinitiativen zur überbetrieblichen Unterstützung der Forst- und Holzwirtschaft können einen Beitrag zur Innovationsförderung, Produktentwicklung und Informationsarbeit im Bereich Laubholzprodukte leisten.

1 Einleitung

Die Rahmenbedingungen für den modernen Holzbau stellen sich in den letzten Jahren sehr positiv dar. Der Holzbau kann in besonderem Maße von den derzeitigen gesellschaftlichen und politischen Veränderungen mit einer wachsenden Bedeutung von Umwelt-, Klimaschutz- und Nachhaltigkeitsthemen profitieren. Auch der Stand von Wissenschaft und Technik, die Qualifikation in der Wirtschaft sowie die Aus- und Weiterbildungsmöglichkeiten an Hochschulen und für das Handwerk stellen in Deutschland sehr positive Rahmenbedingungen dar. Da für den Holzbau auch Entwicklungen in der Forst- und Holzwirtschaft insgesamt von Bedeutung sind, insbesondere mit Bezug zur Verfügbarkeit heimischer Holzrohstoffe sowie bezüglich der Möglichkeiten zur Entwicklung und Vermarktung innovativer Holzprodukte, werden im vorliegenden Beitrag einige ausgewählte Trends für die Forst- und Holzwirtschaft in Deutschland kurz vorgestellt und diskutiert.

2 Trends in der Forst- und Holzwirtschaft mit Bezug zum Holzbau

2.1 Rahmenbedingungen für Holzverwendung

Die Rahmenbedingungen für eine moderne Holzverwendung und somit auch für einen zeitgemäßen Holzbau haben sich etwa im letzten Jahrzehnt sehr positiv entwickelt. Nicht erst seit der Initiative „Charta für Holz“ des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherchutz (BMELV) aus dem Jahr 2004 [1] erlebt die Verwendung von Holz und hier insbesondere der Holzbau eine Renaissance. Angesichts globaler Herausforderungen wie der Ressourcen- und Energieverknappung sowie dem Klimawandel haben in Politik, Wirtschaft und Gesellschaft umweltpolitische Ziele an Bedeutung gewonnen. Bei der Umstellung auf ein umwelt- und klimafreundlicheres sowie nachhaltigeres Produzieren und Konsumieren weisen Holzprodukte umfassende Anwendungsmöglichkeiten und viele Vorteile auf [2]. So ist Holz ein nachwachsender Rohstoff mit vielfältigen Verwendungsmöglichkeiten als Baumaterial, Werkstoff und Energieträger. Wie z. B. im Waldbericht der Bundesregierung [3] dargelegt, wird Holz aus heimischen Wäldern nach sehr hohen Nachhaltigkeitsstandards produziert. Die deutschen Wälder sind größtenteils nach internationalen Standards wie PEFC oder FSC zertifiziert. In diesem Jahr wird in Deutschland das 300-jährige Jubiläum forstlicher Nachhaltigkeit gefeiert. Die Herstellung des Rohstoffs Holz sowie die Be- und Verarbeitung weisen im Vergleich zu anderen Ressourcen eine hohe Ressourcen- und Energieeffizienz auf. Bei heimischer Produktion und Verwendung mit relativ geringen Transportwegen sind Holzprodukte durch eine gute Umweltbilanz gekennzeichnet. Holzprodukte können im Rahmen einer Kaskadennutzung unterschiedlich stofflich und abschließend energetisch genutzt oder recycled werden.

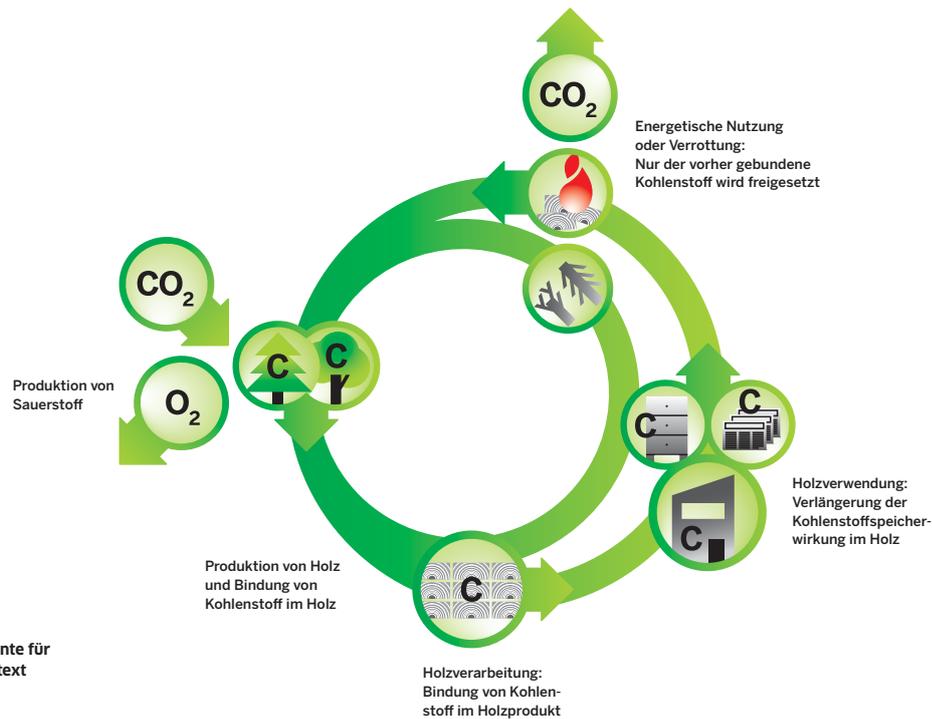


Bild 1: Neue Argumente für den Holzbau im Kontext Klimaschutz [2]

Durch die Kohlenstoffspeicherung in Holzprodukten während der Nutzungsdauer leisten Waldbewirtschaftung und Holzverwendung einen aktiven Beitrag zum Klimaschutz. Dies wurde im Rahmen einer aktuellen Studie für das Land Nordrhein-Westfalen auch umfassend quantitativ dargelegt [4].

Auch im Bauwesen kommt den Themen Energieeffizienz und Nachhaltigkeit eine größere Bedeutung zu, so insbesondere beim nachhaltigen Bauen oder „Green Building“. Aufgrund der positiven Konstruktions- und Materialeigenschaften kann der Holzbau von diesen neuen Anforderungen profitieren.

Deutschland verfügt über umfangreiche Holzressourcen und eine starke Holzbranche [3]. Die heimische Forst- und Holzwirtschaft gehört zu den globalen Markt- und Technologieführern. Im letzten Jahrzehnt hat sich in Deutschland im Zusammenhang mit dem Clusterkonzept eine zusammenhängende Betrachtung der Forst- und Holzwirtschaft und somit der Produktions- und Wertschöpfungsketten um den Rohstoff und das Material Holz durchgesetzt. In verschiedenen Clusterstudien auf unterschiedlichen räumlichen Ebenen wurde die große sozioökonomische Bedeutung des Clusters Forst und Holz aufgezeigt. Die heimische Holzwirtschaft ist auf eine ausreichende Holzversorgung insbesondere aus den heimischen Wäldern angewiesen. Zudem ist es auch unter Umweltschutz- und Nachhaltigkeitsgesichtspunkten vorteilhaft, die Nachfrage nach Holzprodukten größtmöglich aus eigenen Quellen zu bedienen.

Während sich eine gesteigerte Holzverwendung aus nachhaltiger, heimischer Waldbewirtschaftung aus Sicht des Umwelt- und Klimaschutzes positiv darstellt, bestehen bezüglich verschiedener Naturschutzziele Handlungserfordernisse oder Einschränkungen. So besteht an die deutsche Forstwirtschaft die Anforderung, z. B. seit 2007 im Rahmen der Nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt, die Wälder naturnäher und unter stärkerer Berücksichtigung des Erhalts von Biodiversität zu bewirtschaften. Dies bedeutet unter waldbaulichen Gesichtspunkten den verstärkten Waldumbau hin zu Laubwäldern und den größeren Anbau insbesondere der Baumart Buche, mit einem entsprechenden Rückgang von Nadelwäldern und hier insbesondere der Baumart Fichte. Weitere Naturschutzziele beinhalten die verstärkte Ausweisung von Naturschutzgebieten mit einer entsprechenden Verringerung oder Einstellung der Waldbewirtschaftung und Holznutzung, z. B. im Rahmen des Programms „Nationales Naturerbe“. In Abhängigkeit von der Waldbesitzart erfolgt die Umsetzung dieser Naturschutzziele in unterschiedlichem Maße.

Die verschiedenen Zielsetzungen und strategischen Ansätze bei der nachhaltigen, multifunktionalen Waldbewirtschaftung in Deutschland sind u. a. in der „Waldstrategie 2020“ beschrieben [5].

2.2 Holzressourcen und -verbrauch

Deutschland verfügt mit 11,1 Mio. ha Wald und mit Holzvorräten von 3,4 Mrd. m³ über umfassende Holzressourcen [3, 6, 7]. Die Holzvorräte sind die höchsten in Europa. Während Deutschland naturgeschichtlich gesehen größtenteils mit Buchenwäldern bedeckt wäre, besteht die heutige Waldfläche aufgrund wirtschaftlicher Anforderungen seit einigen hundert Jahren zu großen Teilen auch aus Nadelwäldern. So beträgt der Flächenanteil von Nadelbäumen 57,6%, der von Laubbäumen 40,1%. Die wichtigsten Baumarten sind nach derzeitigen Flächenanteilen Fichte (28,2%), Kiefer (23,3%), Buche (14,8%) und Eiche (9,6%). Verschiedene forstpolitische Ansätze auf Bundes- und Landesebene und entsprechende Waldbauprogramme zielen seit geraumer Zeit auf einen verstärkten Waldumbau hin zu naturnahen Laub- und Mischwäldern sowie den verstärkten Anbau vor allem der Baumart Buche ab. Gleichzeitig finden Bemühungen statt, die Douglasie als neue, wirtschaftlich bedeutende Nadelholzbaumart zu etablieren. Die waldbaulichen Schwerpunkte sind bei den verschiedenen Waldbesitzarten unterschiedlich (43,6% Privatwald, 29,6% Staatswald und 19,5% Körperschaftswald, Rest Bund und Treuhandwald).

Das Grundprinzip der nachhaltigen Forstwirtschaft beinhaltet, höchstens so viel Holz zu nutzen wie langfristig nachwächst. So wird das durchschnittliche jährliche potenzielle Rohholzaufkommen in Deutschland im Zeitraum 2003 bis 2042 mit 78,2 Mio. m³ Erntefestmaß angegeben (60,9 Mio. m³ Stammholz, 7,4 Mio. m³ Industrieholz und 9,9 Mio. m³ derzeit nicht verwertbares Derbholz). Dem gegenüber steht nach der amtlichen Statistik ein Holzeinschlag von ca. 52 Mio. m³ in 2012 (5-Jahres-Durchschnitt ca. 59 Mio. m³) (aktuelle Mitteilung des BMELV). Insgesamt hat sich der Holzeinschlag gegenüber dem langjährigen Mittel der 1990er Jahre (ca. 34 Mio. m³) etwa verdoppelt [3, 6, 7, 8].

Die Nachfrage nach Holz steigt in Deutschland wie auch weltweit stetig an. Die Holzverwendung umfasst nach der Holzrohstoffbilanz Deutschland 2012 [8] insgesamt (nicht nur Waldholz) ca. 70 Mio. m³ für stoffliche und ebenfalls ca. 70 Mio. m³ für die energetische Nutzung. Für den Betrachtungszeitraum 1987-2015 steigen das Holzaufkommen (Waldholz und andere Holzrohstoffe) und die -verwendung deutlich an. Allein im Vergleich von 2005 zu 2010 stiegen das Aufkommen und die Verwendung von 115 Mio. m³ auf 135,4 Mio. m³ an. Die Holzaufkommenspotenziale und die Holzverwendung im Jahr 2010 werden nach unterschiedlichen Szenarien im Bereich von 137,5 bis 177,1 Mio. m³ gesehen. Das Derbholzsoriment bewegt sich hierbei je nach Szenario im Bereich von 70,1 bis 77,9 Mio. m³.

Die stoffliche Holzverwendung wird durch die Nachfrage der Sägeindustrie dominiert (37,3 Mio. m³), gefolgt von der Nachfrage der Holzwerkstoffindustrie (16,9 Mio. m³) [7]. Die Schnittholzproduktion betrug in 2011 ca. 24,8 Mio. m³. Die deutsche Sägeindustrie ist mit einem Anteil von ca. 23,5 Mio. m³ Nadelschnittholz absolut auf die Nadelholzproduktion ausgerichtet, die Produktion von Laubschnittholz macht nur ca. 1,2 Mio. m³ aus. Der deutsche Außenhandel mit Holzprodukten ist durch einen größeren Import von Rohholz und einen größeren Export von Schnittholz gekennzeichnet [7]. So wurden in 2011 ca. 7,7 Mio. m³ Rohholz importiert (überwiegend Nadelrohholz) und ca. 3,7 Mio. m³ Rohholz exportiert (Nadel- und Laubrohholz). An Schnittholz wurden ca. 4,3 Mio. m³ Schnittholz importiert und ca. 7,3 Mio. m³ Schnittholz exportiert (in beiden Fällen überwiegend Nadelschnittholz). Der deutsche Außenhandel mit Holzprodukten findet überwiegend mit Ländern der Europäischen Union statt, insbesondere der Handel mit Nadelholz, aber auch Exportmärkte wie z. B. die Golfregion und Asien sind von Bedeutung.

Insofern verfügt Deutschland grundsätzlich über ausreichende Holzressourcen auch für einen wachsenden Holzbau-Markt, aber die steigende Nachfrage führt insbesondere bei Nadelholzprodukten bereits sichtbar zu einer Verknappung und zu Preissteigerungen bei der heimischen Produktion. Bezüglich der Importe von Nadelholzprodukten könnte der Verwendung heimischen Nadelholzes unter Umweltschutz-, Klimaschutz- und Nachhaltigkeitsgesichtspunkten zukünftig eine größere Bedeutung zukommen. Angesichts der großen und weiter wachsenden, bisher unzureichend in Wert gesetzten Laubholzpotenziale, stellt die Erschließung neuer, marktfähiger Laubholzprodukte eine besondere Herausforderung für die deutsche Forst- und Holzwirtschaft dar.

2.3 Entwicklung und Vermarktung neuer Produkte und Anwendungen

Wie u. a. 2012 auf der Tagung des BMELV zu moderner Laubholzverwendung vorgestellt und diskutiert wurde, besteht zwar weiterhin eine große Herausforderung zur verbesserten Nutzung der bestehenden Laubholzpotenziale, aber es gibt auch bereits einige vielversprechende Ansätze in Richtung neuer, innovativer und werthaltiger Laubholzprodukte [9].

Für den konstruktiven Bereich weisen insbesondere Produkte wie Buchen-Brettschichtholz oder Hybrid-Brettschichtholz interessante Anwendungsmöglichkeiten auf. Auch wenn in diesem Feld noch Bedarf für weitere Forschung und Normung besteht, liegen für einige Produkte und Anwendungen bereits Zulassungen vor. So ver-

fügt die Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V. über eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung über BS-Holz aus Buche und BS-Holz aus Buchen- und Fichtenholzlamellen (Buche-Hybridträger). Für Buchen-Brettschichtholz und Hybrid-Brettschichtholz mit unterschiedlichen Laubholzarten (u. a. Buche und Eiche) gibt es inzwischen verschiedene bauliche Anwendungsbeispiele innovativer deutscher Ingenieurholzbauunternehmen. Weitere innovative Laubholzprodukte beinhalten z. B. Furnierschichtholz (LVL) für konstruktive Verwendung und thermisch modifiziertes Holz für Anwendung im Außenbereich wie Verkleidungen und Terrassen.

Neben der Entwicklung neuer Laubholzprodukte und entsprechender Anwendungsgebiete im Bauwesen bedarf es auch der verstärkten Vermarktung. Bei Fachleuten aus Bereichen wie Architektur, Ingenieurwesen, Immobilienwesen und Projektentwicklung, bei öffentlichen, gewerblichen und privaten Bauentscheidungsträgern sowie in der Ausbildung an Hochschulen und im Handwerk besteht ein großer Informationsbedarf bezüglich der konstruktiven Einsatzmöglichkeiten von Laubholzprodukten.

Nach dem Wegfall des Holzabsatzfonds, der zentralen Marketingeinrichtung für die deutsche Forst- und Holzwirtschaft mit umfangreicher Mittelausstattung, in 2009 konnten die Branchenverbände, die Facheinrichtungen der Wirtschaft und die öffentlichen Einrichtungen die Marketingarbeit nur eingeschränkt fortsetzen. Insbesondere Facheinrichtungen der Wirtschaft wie z. B. die Überwachungsgemeinschaft Konstruktionsvollholz e.V. und die Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V. bieten vielfältige, überbetriebliche Produktinformationen an. Unter der Marke Informationsdienst Holz werden verschiedene Informationsbroschüren für Fachleute und für die Ausbildung sowie eine Holzbau-Referenzdatenbank angeboten. Die Marketingplattform Wood Germany bietet international Informationen zur deutschen Forst- und Holzwirtschaft an. Ein aktuelles Beispiel für eine bundesweite Informations- und Marketingmaßnahme für Laubholzprodukte ist die 2012 vom BEMLV herausgegebene Broschüre „Unser Laubholz“ [10].

In einigen Bundesländern mit einer bedeutenden Forst- und Holzwirtschaft werden verstärkt Maßnahmen zur Förderung der Holzbranche auf Landesebene durchgeführt. Dies beinhaltet meist auch Maßnahmen zur Förderung von Produktentwicklung und Vermarktung. Als Beispiel für die Förderung des Holzbaus in einem Bundesland kann die Informations- und Marketingbroschüre zum Bauen und Modernisieren mit Holz in Nordrhein-Westfalen dienen [2].

Neue Marketingansätze in einzelnen Bundesländern finden häufig im Rahmen von Clusterinitiativen statt, also Initiativen zur Förderung der Holzbranche entlang der gesamten Produktions- und Wertschöpfungsketten um den Rohstoff Holz. Das Clusterkonzept hat sich in etwa den letzten zehn Jahren, beginnend mit der ersten Clusterstudie für die Forst- und Holzwirtschaft in Nordrhein-Westfalen [11], in der deutschen Holzbranche etabliert. Inzwischen liegen Clusterstudien auf Bundesebene [12] für viele Bundesländer und auch für einzelne Regionen [13] vor. Zudem wurden in den meisten Bundesländern mit einer starken Forst- und Holzwirtschaft Clusterinitiativen zur Förderung der Holzbranche gestartet und ein entsprechendes Clustermanagement eingerichtet. Viele der Clusterinitiativen wie z. B. in Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz, Baden-Württemberg und Bayern zielen insbesondere auch auf die Förderung des Holzbaus und innovativer konstruktiver Holzprodukte ab. Einige Clusterinitiativen wenden sich auch bereits der Aufgabe zu, die Entwicklung und Vermarktung neuer, innovativer und marktfähiger Laubholzprodukte zu unterstützen.

3 Literatur

- [1] Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (Hrsg.): *Verstärkte Holznutzung. Zugunsten von Klima, Lebensqualität, Innovationen und Arbeitsplätzen (Charta für Holz)*. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Berlin, 2004
- [2] Landesbetrieb Wald und Holz NRW (Hrsg.): *Holz für nachhaltiges Bauen und Modernisieren. Informationen für Architekten, Planer, Projektentwickler und Bauentscheidungssträger*. Landesbetrieb Wald und Holz NRW, Münster, 2011
- [3] Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (Hrsg.): *Waldbericht der Bundesregierung 2009*. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Berlin, 2009
- [4] Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.): *Wald und Klimaschutz in NRW. Beitrag des NRW Clusters ForstHolz zum Klimaschutz – Kurzfassung der Studie*. Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf, 2013
- [5] Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (Hrsg.): *Waldstrategie 2020. Nachhaltige Waldbewirtschaftung – eine gesellschaftliche Chance und Herausforderung*. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Bonn, 2011
- [6] Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (Hrsg.): *Die zweite Bundeswaldinventur*. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Berlin, 2004
- [7] Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (Hrsg.): *Holzmarktbericht 2011. Abschlussergebnisse für die Forst- und Holzwirtschaft des Wirtschaftsjahres 2011*. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Bonn, 2012
- [8] Mantau, U.: *Holzrohstoffbilanz Deutschland, Entwicklungen und Szenarien des Holzaufkommens und der Holzverwendung 1987 bis 2015*. Informationssysteme für Rohstoffe und Universität Hamburg / Zentrum Holzwirtschaft, Arbeitsbereich Ökonomie der Holz- und Forstwirtschaft, Hamburg, 2012
- [9] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (Hrsg.): *Gülzower Fachgespräche. Stoffliche Nutzung von Laubholz. 6./7. September 2012, Würzburg*. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., Gülzow, 2012
- [10] Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (Hrsg.): *Unser Laubholz. Über die Nutzung und Verwendung einheimischer Laubhölzer*. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Bonn, 2012
- [11] Landesforstverwaltung NRW (Hrsg.): *Clusterstudie Forst und Holz NRW. Gesamtbericht*. Landesforstverwaltung NRW, Düsseldorf, 2003
- [12] Mrosek, T.; Kies, U.; Schulte, A.: *Clusterstudie Forst und Holz Deutschland 2005. Forst- und Holzwirtschaft hat sehr große volkswirtschaftliche und arbeitsmarktpolitische Bedeutung*. Holz-Zentralblatt, Leinfelden-Echterdingen, 84, S. 1113-1117
- [13] Kies, U.; Martinsohn, A.; Mrosek, T.; Schulte, A.: *Netzwerk Wald und Holz Eifel. Informationsgrundlagen für ein Netzwerkmanagement des Cluster Wald, Forst- und Holzwirtschaft in der Region Eifel. Gesamtbericht*. Internationales Institut für Wald und Holz NRW e. V., Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Münster, 2008



Prof. Jörg Wollenweber

Professor für Holzbau, Bauen im Bestand,
energieeffizientes Planen und Bauen
FH Aachen | Fachbereich Architektur
Bayernallee 9 | 52066 Aachen
wollenweber@fh-aachen.de

- seit 10/2010 Professor für Holzbau, Bauen im Bestand, Nachhaltigkeit
- 2007 - 2010 Wissenschaftlicher Mitarbeiter TU Darmstadt, Fachgebiet Entwerfen und Energieeffizientes Bauen, Prof. Manfred Hegger
 - Forschung
 - Leitfaden zur Integration Energiegewinnender Systeme in die Gebäudehülle.
 - SolarDecathlon 2007 - Fassadenentwicklung
 - SolarDecathlon 2009 - Projektleitung
- 2006 Gründung des Büros WollenweberArchitektur, Düsseldorf
Partnerschaft mit Katrin Wollenweber
- 2001 - 2006 Gründung des Büros, BeumerArchitekten, Münster, Düsseldorf
- 1998 - 2000 Partnerschaft modul_A GmbH, Münster
- 2001 - 2003 Studium der Architektur: Universität Wuppertal,
Entwerfen - Ökologisches Bauen
- 1993 - 1998 Studium der Architektur: Fachhochschule FH Lippe / Detmold
- 1970 geboren in Sendenhorst

Stadt | HOLZ

städtisches Bauen mit Holz

Prof. Jörg Wollenweber; FH Aachen Fachbereich Architektur

Eine der wichtigen aktuellen und zukünftigen Aufgaben der Architektur ist die qualitätsvolle Nachverdichtung des städtischen Raums. Dauerhaft ist eine weitere Erschließung und Versiegelung der stadtnahen Räume mit dem derzeitigen Ausmaß nur bedingt tragbar. Eine Alternative kann die Nachverdichtung innerstädtischer Flächen sein. Hier kann sich der Baustoff Holz durch die Möglichkeit der ausgeprägten Vorfertigung einen Vorteil verschaffen und mit großen Elementen die Bauzeit und die anfallenden Immissionen der Baustelle gering halten.

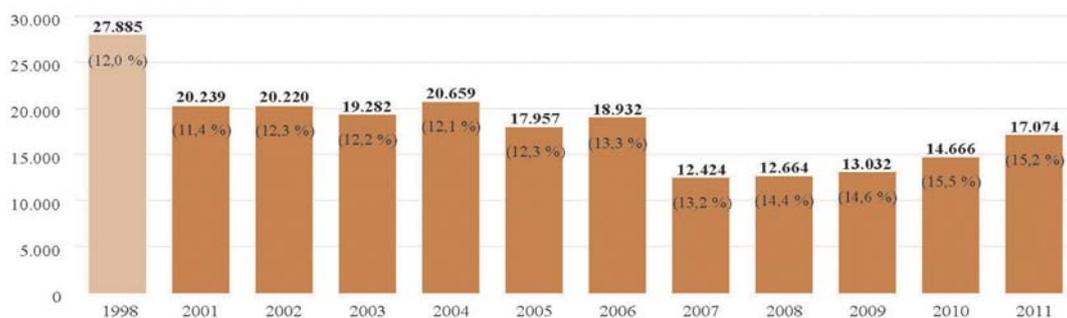
Einige Kommunen haben dieses Potential der Nachverdichtung erkannt und erstellen Informationen über Flächen die für eine entsprechende Bebauung geeignet sind. Ausgehend von diesem Gedanken werden Projekte und eine mögliche Applikation für die Suche nach innerstädtischen Grundstücken vorgestellt.

1 Stand der Dinge

Das Bauen mit Holz im innerstädtischen Kontext ist nicht die Regel. Mit einem Gesamtmarktanteil von derzeit ca. 15 % im Wohnhausbau sowie ca. 18 % im nicht Wohnungsbau, ist dies auch nicht anders zu erwarten.

Die Qualitäten, die der Werkstoff Holz gerade im Innenstadtbereich unter den besonderen Bedingungen hervorbringt, werden derzeit noch unterschätzt und in einem zu geringen Maße ausgeschöpft. Bisher sind Baufamilien, die sich den städtischen Raum als Lebensraum wünschen, nicht ausreichend über die Möglichkeiten des modernen, effizienten und äußerst nachhaltigen Baustoffes Holz aufgeklärt. Aber genau hier ist anzusetzen. Der Innerstädtische oder stadtnahe Raum wird häufig aus Gründen der Nachhaltigkeit und Effizienz gewählt. Die Wegestrecken sind in den meisten Fällen zu Fuß oder mit dem Fahrrad zu gewältigen. Dies mindert die Immissionen bei einem monatlichen Pensum von ca. 240 km um ca. 720 kg CO₂ pro Person. Bei einem Vierper-

Genehmigte Wohngebäude in Holzbauweise



Genehmigte Wohngebäude gesamt (BRD)

Jahr	1998	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Gesamt	231.671	177.769	164.838	158.192	170.400	145.604	142.138	94.008	87.674	89.509	94.602	112.698

Bild 1: Anteil genehmigte Wohngebäude mit Baustoff Holz in Deutschland, Stand 2012

Quelle: Statistisches Bundesamt

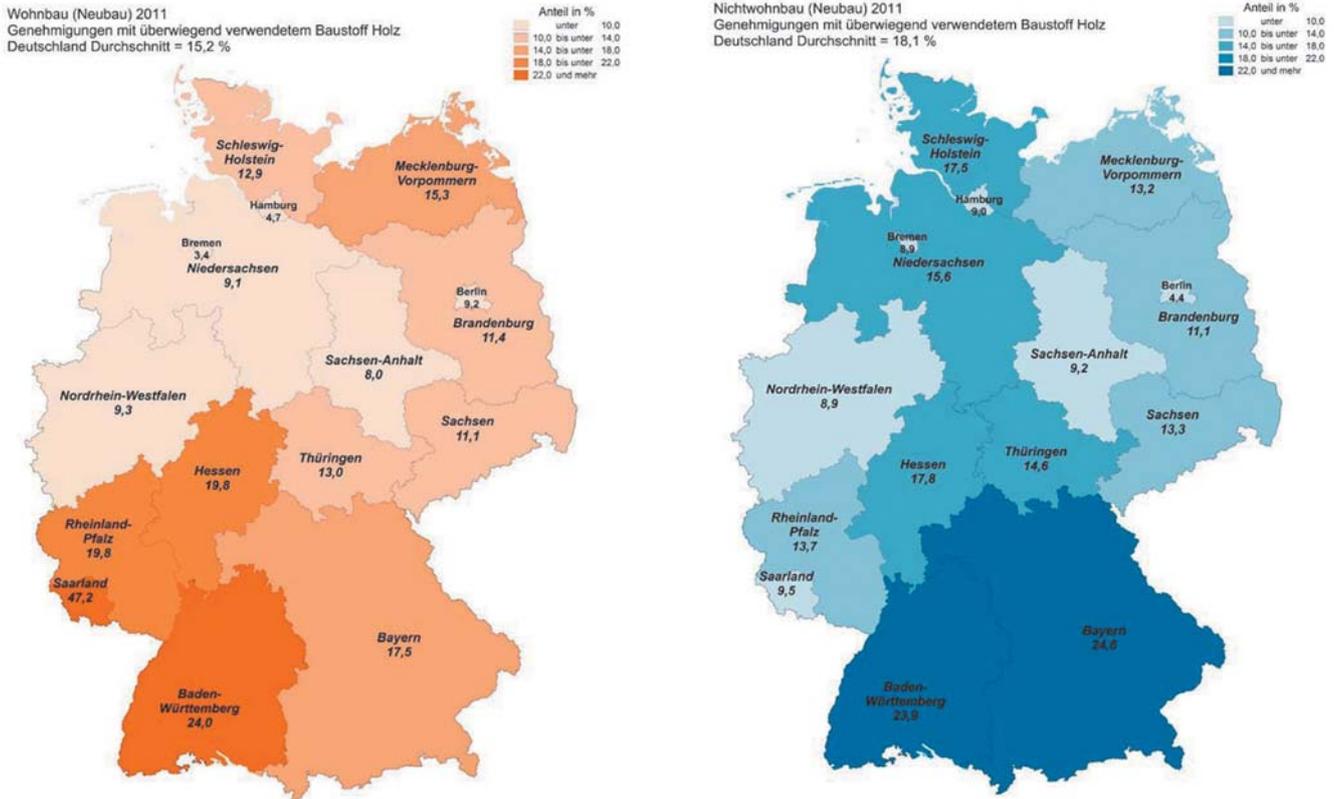


Bild 2: Genehmigungen Deutschland nach Bundesländern
Quelle: Holzbau Deutschland GmbH, Jahresbericht 2013

sonenhaushalt und einer Zeitspanne von 25 Jahren, könnte dies zu einer Einsparung von ca. 72.000 kg CO₂ führen. Dieser Grundgedanke der Schadstoffminimierung muss in den Prozess der Bauentscheidung aufgenommen und vertieft werden. Dieses Potential gilt es stärker auszuschöpfen. Bauen mit Holz muss stärker die Leistungsstärke und effizient denkende Gesellschaftsschicht erreichen und mit außergewöhnlichen Projekten überzeugen. Die guten konstruktiven Eigenschaften des Materials Holz sind hier genauso heraus zu stellen, wie die stofflich-nachhaltigen.

In der Länderverteilung ist zu erkennen, dass der Marktanteil in Nordrhein-Westfalen an genehmigten Wohngebäuden nur bei 9,3% liegt. Hiermit liegt das bevölkerungsreichste Bundesland weit hinter dem Bundesdurchschnitt. Spitzenreiter ist das Saarland mit 47,2%, was sicherlich durch die geringere Zahl der Baugenehmigungen etwas isoliert zu betrachten ist. Im Bereich der Nichtwohngebäude ist die Situation noch deutlicher. Hier liegt Nordrhein-Westfalen sogar auf dem vorletzten Platz. Nur in Berlin werden weniger Nichtwohngebäude mit überwiegendem Anteil des Baustoffes Holz errichtet. Somit ist gerade hier ein enormer Nachholbedarf festzustellen. Insgesamt ist ein deutliches Nord-Süd-Gefälle zu erkennen. Auffällig ist, dass in den Bundesländern Bremen, Hamburg und Berlin ein weit unter dem Durchschnitt liegender Anteil am Baustoff Holz vorherrscht. Nordrhein-Westfalen, mit seinen vielen Großstädten und Ballungszentren ist in eine ähnliche Kategorie einzuordnen. In den ländlicheren Bereich ist, wie auf den Karten (Bild 2) zu sehen, der Baustoff Holz stärker ausgeprägt.

Diese Situation ähnelt auch ansatzweise dem Bild 3. Der Holzvorrat in Deutschland befindet sich zu einem großen Teil in den südlichen Bundesländern. Nordrhein-Westfalen steht hier an Rang 5 mit ca. 259.929.000 m³ Holz. Dieses ist besser als die Anzahl der durchgeführten Neubauten in Holzbauweise ahnen lassen.

2 Wo kann es hin gehen?

Gerade in den dicht besiedelten Regionen ist der Anteil der Holzbauten anzuheben. Hier sind die Möglichkeiten der modernen Kommunikation stärker auszuschöpfen. Außergewöhnliche Projekte müssen stärker vermarktet und gefördert werden. Bauherren und Architekten, die den Baustoff Holz verstärkt im innerstädtischen Kontext einsetzen müssen durch gezielte Maßnahmen gefördert werden. Der Anreiz, den Baustoff Holz einzusetzen, muss gezielt gesteigert werden. An dieser Stelle sind zu einem großen Teil die Architekten und Planer gefragt. Einen entsprechende Ausbildung der jungen Kolleginnen und Kollegen muss weiter gefördert und ausgebaut werden. Ohne Architekten, die dem

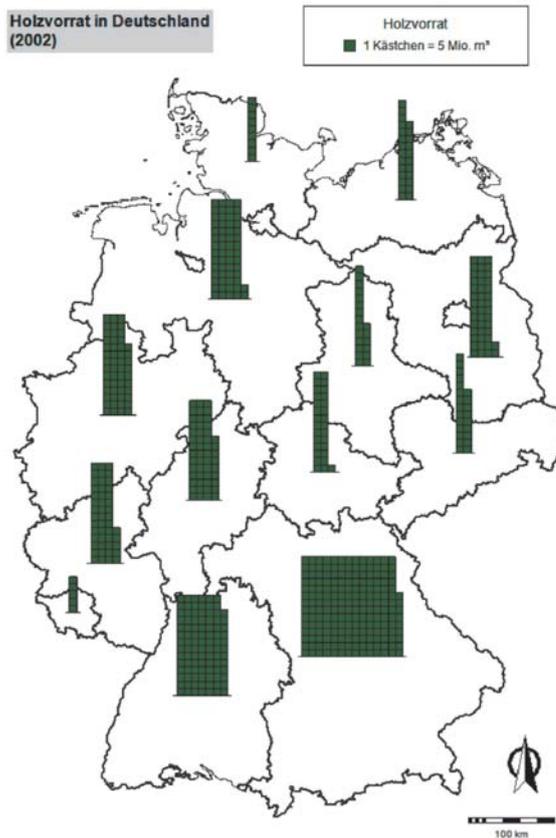


Bild 3: Holzvorrat in Deutschland
Autor: Patrik Ginsbach 05.09.2008

Baustoff Holz durch Ausbildung und/oder Vorkenntnisse zugewandt sind, wird der Anteil kaum anwachsen können.

Die Holzindustrie hat am Baustoff Holz weiter gearbeitet. Die technischen Eigenschaften des Werkstoffes Holz und die modernen Möglichkeiten der Verarbeitung sowie der Montage, lassen auch eine Verwendung unter hohen brandschutztechnischen sowie Schalltechnischen Anforderungen zu. Diese stellen gerade in der städtischen Nachverdichtung oft eine hohe Hürde da. Aktuelle Projekte und Arbeiten aus der jüngeren Vergangenheit geben hier einen guten Eindruck, wie diese Aufgabe mit dem Baustoff Holz umgesetzt wurden.

Dies gilt auch bei der energetischen Sanierung von Gebäuden. In den wenigsten Fällen sind die Konstruktionen der betroffenen Gebäude so bemessen, dass diese erhöhte Lasten durch zusätzliche konstruktive Maßnahmen aufnehmen können. Hier hat der Baustoff Holz einen wesentlichen Vorteil. Der Rückbau vorhandener Konstruktionen erzeugt



Bild 4: Sanierung eines Schulgebäudes
Quelle: Wollenweber-Architektur

häufig eine höhere Masse als die neue einzubringende Holzkonstruktion. Dies wirkt sich in den meisten Fällen positiv auf die vorhandene Konstruktion aus. Die Möglichkeiten, eine hoch gedämmte Hüllkonstruktion z. B. in Holzrahmenbau, neu in eine vorhandene, in den meisten Fällen massive Substanz einzubauen sind gleichwertig in massiver Bauweise nicht realisierbar.

3 Maßnahmen

Die Aufklärung und Weiterbildung der Entscheidungsträger im Kommunalen wie im gewerblichen Bereich ist eine der wichtigen Aufgaben, die den Architekten und Planern obliegt. Die Fähigkeiten moderner Holzkonstruktionen aber auch deren Grenzen müssen besser vermittelt werden um den Anteil des Werkstoffes Holz in den geforderten Bereichen weiter steigen zu lassen. Neue technische Möglichkeiten, wie Holzhybridkonstruktionen aus Laub- und Nadelholz oder Holz-Beton-Verbundkonstruktionen sind als Entwicklungen ebenso wichtig, wie die emotionale Bindung der Bauherren und Entscheider an das Material Holz. Diese Überzeugungsarbeit gilt es durch gute Bauwerke zu dokumentieren und zu verbreiten. Des Weiteren sind Werkzeuge zu generieren mit denen bebaubare Flächen im innerstädtischen Raum für den Investor erkennbar gemacht werden. Hier können die modernen Kommunikationsmittel einen großen Beitrag leisten. Applikationen für Tablett, Smartphone oder Computer können hier einen mobilen Lösungsansatz aufzeigen.

4 Fazit

Die aktuellen Möglichkeiten der Holzverarbeitung sind in angemessener Weise den Entscheidungsträgern zu vermitteln. Dieses erweiterte Wissen würde dem Material Holz auf dem Weg zu einem Bauwerk viele Hürden erleichtern und könnte die Bedenken gegen das Material mindern. Aber auch hier ist die Ausbildung von angehenden Kollegen an den Hochschule für eine dauerhafte Weiterführung und permanenter Aktualisierung dieser Themen wichtig.



Univ.-Prof. Dr.-Ing. Martin Trautz

Lehrstuhlinhaber des Lehrstuhls für Tragkonstruktionen an der RWTH Aachen
RWTH Aachen | Fakultät für Architektur | Lehrstuhl für Tragkonstruktionen
Schinkelstraße 1 | 52062 Aachen
trautz@trako.arch.rwth-aachen.de

- seit 2010 Inhaber und Geschäftsführer von trakoengineering Aachen-Kelkheim, Ingenieurbüro für Tragwerksplanung und Sonderkonstruktionen
- seit 2005 Ordentlicher Professor am Lehrstuhl Tragkonstruktionen, RWTH Aachen
- seit 2002 Eigenes Büro für Tragwerksplanung
- 1997 - 2002 Projektleiter bei Bollinger + Grohmann, Frankfurt/Main
 - 1998 Promotion zum Thema: „Zur Entwicklung von Form und Struktur historischer Gewölbe aus der Sicht der Statik“, Berichter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. E. Ramm, Univ.-Prof. Dr.-Ing. R. Barthel (TU München)
- 1993 - 1997 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Sonderforschungsbereich 230 „Natürliche Konstruktionen“ Teilprojekt „Geschichte des Konstruierens“ an der Universität Stuttgart
- 1991 - 1993 Projektleiter bei Ove Arup & Partners/Arup GmbH London/Leipzig
- 1990 - 1991 Acer Freeman Fox Ltd. Guildford/Surrey, Structures Department
- 1989 - 1990 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Massivbau (Univ.-Prof. Dr. J. Schlaich) der Universität Stuttgart
- 1983 - 1989 Studium des Bauingenieurwesens und der Architektur an der Universität Stuttgart

Fügen und Verstärken von Holzbauteilen mit Vollgewindeschrauben

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Martin Trautz, Dipl.-Ing. Christoph Koj, Dipl.-Ing. Mazen Ayoubi,
Lehrstuhl für Tragkonstruktionen, RWTH Aachen

Mit selbstbohrenden Vollgewindeschrauben lassen sich sehr leistungsfähige Verstärkungen und Fügungen von Holzbauteilen herstellen. Im vorliegenden Beitrag wird der Modellierungsansatz von Vollgewindeschrauben als Bewehrung, mit Analogien, aber auch Unterschieden zum Bewehren im Stahlbetonbau präsentiert. Der große Unterschied in den Festigkeiten der Schrauben gegenüber dem Holz ermöglicht dabei einen im Vergleich zum Stahlbetonbau erweiterten Einsatz, weil nicht nur die Festigkeit, sondern auch der Kraftfluss in Bauteilen sich durch die Einbringung von Vollgewindeschrauben beeinflussen lässt. Die Ergebnisse stützen sich auf mehrere Versuchsserien, die am Lehrstuhl für Tragkonstruktionen unter dem Titel „Mit Schrauben Bewehren“ mit Schubverstärkungen von Trägern mit fachwerkartigen Schraubenkonfigurationen, Biegezugverstärkungen mit aufgeschraubten Stahllamellen sowie Fügungen für biegesteife Rahmenecken mit positivem und negativem Biegemoment durchgeführt wurden. Die Versuchsergebnisse zeigen das große Leistungspotential dieses Konstruktionsprinzips und geben Impulse für die Entwicklung im Holzbau hin zu schlankeren und effizienteren Tragstrukturen.

1 Einleitung

Selbstbohrende Vollgewindeschrauben (VGS) haben sich in den letzten Jahren als leistungsfähige Verbindungsmittel mit vielfältigen Einsatzgebieten in der Holzbaupraxis etabliert. Ihre speziellen Eigenschaften eröffnen Anwendungen, die mit konventionellen Holzschrauben mit Normgewinde nach DIN 7998 nicht möglich waren.

Durch Vergütung erreichen moderne VGS Stahlfestigkeiten im Bereich von 1000 N/mm^2 . Daher können auch mit geringen Kernquerschnitten hohe Zugkräfte übertragen werden. In Verbindung mit einer verbesserten Gewindegeometrie und dem resultierenden höheren Auszieh Widerstand sind VGS daher bevorzugt als axial belastete Verbindungsmittel einzusetzen. Der kontinuierliche Verbund des über die gesamte Schraubenlänge durchgehenden Gewindes mit dem Holz und die verfügbaren großen Schraubenlängen (bis 1500 mm) ermöglichen darüber hinaus ihre Nutzung als Bewehrungselemente zur Verstärkung und Versteifung von Holzbauteilen. Ähnlich einer Bewehrung im Stahlbetonbau überträgt die Schraubenbewehrung dabei innere Kräfte, die der Holzquerschnitt alleine nicht tragen könnte. Während beim annähernd isotropen Werkstoff Beton die Bewehrung in allen Raumachsen zur Übertragung von Zugkräften eingesetzt wird, bedingt die starke Anisotropie des natürlichen Werkstoffs Holz eine bevorzugte Anordnung der Bewehrung in den schwachen Tragrichtungen rechtwinklig und schräg zur Holzfaserrichtung. Übliche Anwendungen für VGS sind dementsprechend die Querzugverstärkung von gekrümmten Biegeträgern, die lokale Querzugverstärkung an ausgeklinkten Auflagern, bei Öffnungen und bei angehängten Einzellasten, die Querdruckverstärkung an Auflagern und Lasteinleitungspunkten und die Schubverstärkung kurzer Träger. Als Fügungen mit VGS haben sich verdeckte Hauptträger-Nebenträger-Verbindungen und Koppelpfettenanschlüsse etabliert. Darüber hinaus ergeben sich durch Kombination von VGS mit außenliegenden Stahlplatten eine Vielzahl weiterer Fügungsmöglichkeiten. Die Bemessung dieser Details ist u.a. in [3], [4], und [6] dargestellt und wurde für viele verfügbare VGS von den Herstellern bereits in elektronische Bemessungstools implementiert.

Unter dem Titel „Mit Schrauben Bewehren“ („MSB“) wurden am Lehrstuhl für Tragkonstruktionen seit 2006 in Kooperation mit der Firma SPAX® International und dem Institut für Bauforschung der RWTH Aachen (ibac) neue Verstärkungs- und Fügungslösungen mit VGS entwickelt ([7], [8]). Seit 2011 laufen zusätzlich Untersuchungen zum Verbundwerkstoff Schraube-Holz mit großen Verbundlängen [2].

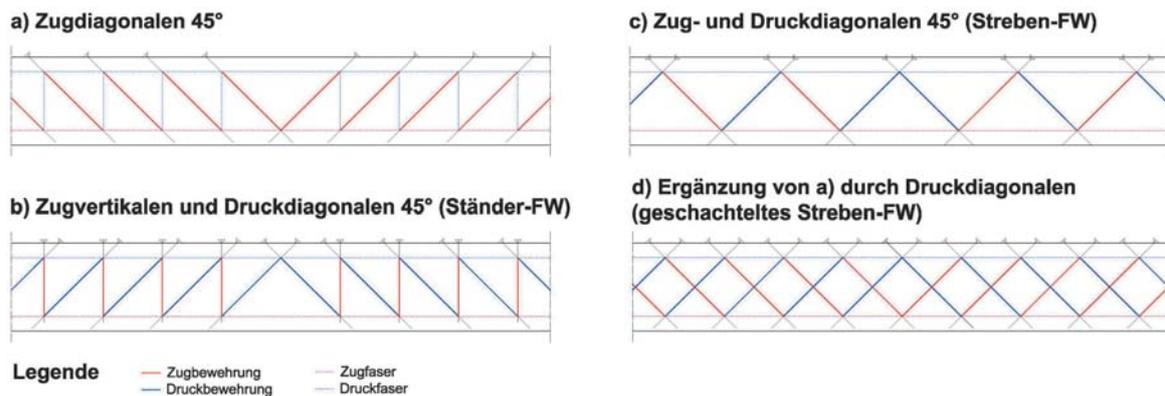


Bild 1: Fachwerkartige Verstärkung von BSH-Trägern mit VGS

2 Stabwerkmodelle zur Modellierung von Verstärkungen und Fügungen mit Vollgewindeschrauben

Aufgrund der bestehenden Analogie bietet sich für die Entwicklung von Schraubenanordnungen und die Dimensionierung von VGS als Bewehrung das aus dem Stahlbetonbau bekannte Konzept der Stabwerkmodelle an. Hierbei wird der innere Kraftfluss im Bauteil durch Zug- und Druckstäbe modelliert, wobei im Stahlbetonbau Zugkräfte in der Modellierung durch Bewehrungsstäbe abgedeckt und Druckkräfte durch entsprechend dimensionierte Betondruckstreben abgetragen werden müssen.

Im Holzbau sind aufgrund Anisotropie des Holzes Modifikationen bei der Nutzung der Stabwerkmodelle erforderlich. Einerseits ist der Holzquerschnitt parallel zur Faserrichtung sehr gut in der Lage, Zugkräfte zu übertragen, andererseits kann rechtwinklig zur Faserrichtung die Anordnung von Bewehrungsschrauben notwendig sein, um ein Versagen des Holzes auf Druck zu verhindern. Es können also beide, Druck- und Zugstäbe des Modells sowohl durch den Holzquerschnitt, als durch VGS gebildet werden.

3 Verstärkung und Versteifung von Holzträgern

3.1 Schubversteifung durch Schraubenfachwerke

In den Projekten „MSB 1“ und „MSB 2“ wurden von 2006 bis 2009 fachwerkartige Schraubenbewehrungen zur Schubverstärkung und -versteifung untersucht. Im Pilotprojekt „MSB 1“ wurde zunächst der Effekt von unterschiedlichen Schraubenfachwerken (Bild 1 a) bis c) auf das Bruchverhalten von Brettschichtholzbiegeträgern getestet. Die Träger aus GL24 mit einem Querschnitt von 16/32 cm und einer Stützweite von 5,76 m wurden im Vierpunktbiegeversuch nach DIN EN 408 [10] bis zum Bruch belastet. Es konnte eine homogenisierende Wirkung der Schraubenbewehrung beobachtet werden, sodass der Bruch der Träger in einem eng begrenzten Bereich und ohne die bei unverstärkten Referenzträgern auftretenden weiträumigen Delaminationen erfolgte.

Im Fortsetzungsprojekt „MSB 2“ erfolgte mit den gleichen Prüfkörpergeometrien eine genauere Untersuchung zur Schubversteifung mit dem Verfahren nach DIN EN 408 [10], Abschnitt 11. Zunächst wurde die Biege- und Schubsteifigkeit aller Träger im unbewehrten Zustand bestimmt. Zunächst wurde die Biege- und Schubsteifigkeit aller Träger im unbewehrten Zustand bestimmt. Anschließend wurde im mittleren Bereich der Träger in zwei Schritten eine Bewehrung mit Schrauben als Zugdiagonalen entsprechend Bild 1 a) und zusätzlichen Druckdiagonalen entsprechend Bild 1 d) eingebaut. Aus der gemessenen Gesamtschubsteifigkeit konnte nach Abzug der Schubsteifigkeit im unbewehrten Zustand für beide Bewehrungskonfigurationen die Ersatzschubsteifigkeit des jeweiligen Schraubenfachwerks ermittelt werden. Die Wirksamkeit der als Zugdiagonalen angeordneten VGS war durch den weichen, rechtwinklig zur Faser belasteten Holzdruckstab des Fachwerks stark eingeschränkt, sodass die Erhöhung der Schubsteifigkeit unter 4 % lag. Das geschachtelte Fachwerk mit zusätzlichen druckbelasteten VGS war deutlich wirksamer und steigerte die Schubsteifigkeit um über 10 %.

Zur Schubverstärkung für den Bruchzustand liegen Ergebnisse von Blaß und Krüger [4] an Doppel-T-Trägern mit großem Höhe-Stützweite-Verhältnis vor. Durch die Verstärkung mit VGS und eingeschraubten Gewindestangen wurden Tragfähigkeitssteigerungen von ca. 30 % gegenüber unbewehrten Referenzträgern erzielt.

Die Schubverstärkung mit selbstbohrenden Vollgewindeschrauben oder Gewinde-

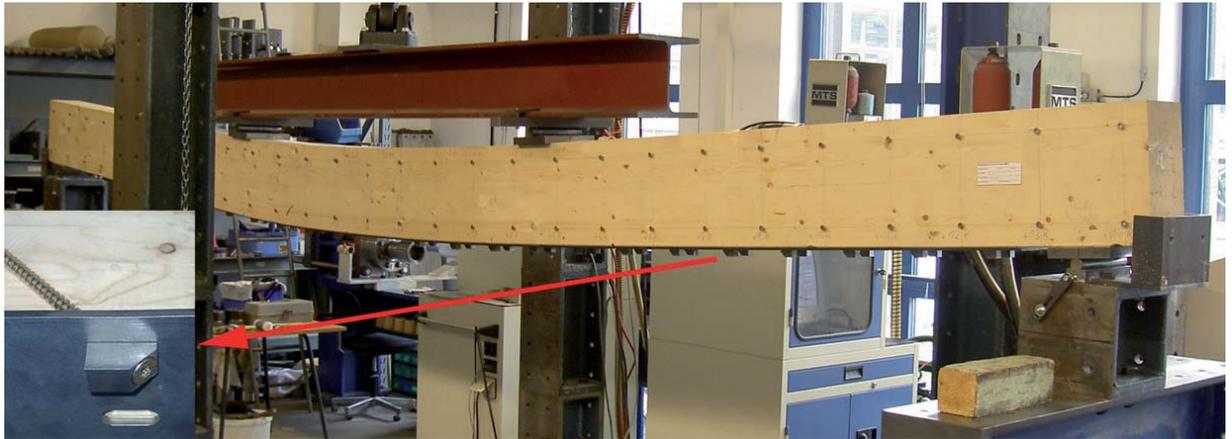


Bild 2: Biegeträger mit Verstärkung durch Stahl lamelle im Bruchversuch

stangen mit Holzschraubengewinde lässt sich in der Praxis vor allem bei durch Rissbildung geschädigten Brett-schichtholzträgern anwenden und bietet somit eine einfache Alternative zu aufgeklebten Holzwerkstoffplatten oder eingeklebten Stahlstangen. Ein Beispiel für diese Art der Sanierung ist in [5] dargestellt.

3.2 Biegezugverstärkung mit Stahl lamellen und Vollgewindeschrauben

Im Vergleich zur Schubverstärkung kommt der Biegezugverstärkung im Holzbau eine wesentlich größere Bedeutung zu, da bei üblichen Tragstrukturen und Trägergeometrien in den meisten Fällen der Biegezugbruch das maßgebliche Versagenskriterium ist.

Daher wurde im Projekt „MSB 2“ die fachwerkartige Schraubenbewehrung im Trägerinneren mit einer außenliegenden Stahl lamelle auf der Zugseite der Träger ergänzt. Als Versuchsaufbau wurde der oben dargestellte Vierpunktbiegeversuch gewählt, sodass eine Vergleichbarkeit mit den unbewehrten Referenzträgern aus dem Pilotprojekt gegeben war. Es wurden zwei Verstärkungskonfigurationen geprüft: Typ 1 mit Lamelle aus S235 und Bruttoquerschnitt 6 x 120 mm und Typ 2 mit S355 und Bruttoquerschnitt 8 x 120 mm. Im Abstand von 21,3 cm wurde die Stahl lamelle über in Langlöchern sitzende Verankerungsschuhe quasi schlupffrei mit je zwei unter 45° geneigten VGS Ø 10 mm mit dem Holzquerschnitt verbunden (siehe Bild 2).

Durch die Verstärkung ließ sich eine deutliche Steigerung der Tragfähigkeit und Biegesteifigkeit der Brett-schichtholzträger erzielen. Ein Vergleich mit den Werten der unverstärkten Referenzträger ist in Tabelle 1 dargestellt.

Alle verstärkten Träger versagten durch Biegezugbruch des Holzquerschnitts, jedoch war auch im Bruchzustand noch eine hohe Resttragfähigkeit vorhanden. Die über die gesamte Querschnittshöhe des Trägers durchgehenden Vollgewindeschrauben sorgten für eine Rückverankerung der Stahl lamelle in die Holzdruckzone und gleichzeitig eine Schubbewehrung des Trägers. Dadurch wurde auch nach dem Versagen der Holzdruckzone die Wirksamkeit des Verbundquerschnitts sichergestellt und eine Delamination bzw. ein Schubversagen im Holz verhindert.

Bei beiden untersuchten Verstärkungstypen war ein plastisches Tragverhalten zu beobachten. Einerseits trat an den Lochschwächungen der Stahl lamellen lokales Fließen auf, andererseits kam es auch zum Plastizieren der Holzdruckzone mit Ausbildung von Druckfalten.

Die entwickelte Verstärkungsmethode für Brett-schichtholzträger eignet sich sowohl für die Ertüchtigung von Bestandsbauwerken, als auch für die Herstellung schlanker, hochtragfähiger Brett-schichtholzelemente im Neubau. Durch eine Variation von Querschnitt und Festigkeit der Stahl lamelle sowie Abstand und Durchmesser der Verankerungsschrauben lässt sich der Verbundquerschnitt individuell an die jeweilige Verstärkungsaufgabe anpassen. Im Gegensatz zu geklebten Verstärkungen lassen sich

Tabelle 1: Bruchlasten und Biegesteifigkeiten von mit Stahl lamellen verstärkten Trägern

	Referenz-träger		Verstärkung Typ 1		Verstärkung Typ 2	
Bruchlast F_{mittel}	92,79 kN	100 %	134,47 kN	145 %	165,93 kN	179 %
Biegesteifigkeit $(E \cdot I)_{\text{ideel}}$	5,07 MNm ²	100 %	7,02 MNm ²	139 %	7,55 MNm ²	149 %

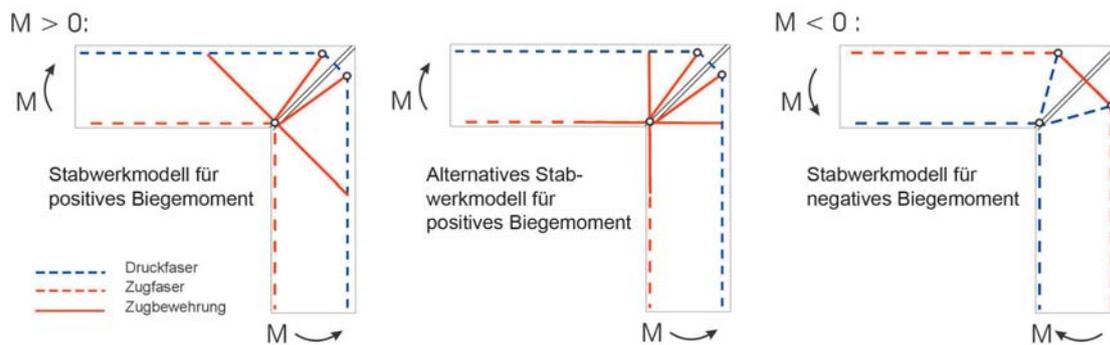


Bild 3: Vereinfachte Stabwerkmodelle für biegesteife Rahmenecken

die Stahllamellen unabhängig von klimatischen Randbedingungen und der Oberflächenqualität der Holzträgers vor Ort montieren. Zur Verankerung der Schrauben sind mittlerweile auch vorgefertigte Gusselemente verfügbar. Die Bemessung kann z.B. mit dem γ -Verfahren als nachgiebig verbundener Querschnitt erfolgen, allerdings ohne Berücksichtigung der plastischen Tragreserven.

4 Fügungen von biegesteifen Rahmenecken mit Vollgewindeschrauben

Im Ingenieurholzbau ist die Herstellung biegesteife Rahmenecken für weitgespannte Hallentragwerke meist mit einem großen konstruktiven und logistischen Aufwand verbunden. Geklebte Verbindungen mit Universalkeilzinkenstoß bedingen bei Herstellung im Werk große Bauteilabmessung, die die Transportfähigkeit stark einschränken. Auf der Baustelle zu fügende Anschlüsse, z.B. Stabdübelkreise oder Verbindungen mit Stahleinbauteilen sind konstruktiv aufwendig oder erfordern eine Ausführung als Zangenkonstruktion.

Daher wurden am Lehrstuhl für Tragkonstruktionen nach dem Prinzip des Bewehrens mit Vollgewindeschrauben biegesteife Eckanschlüsse entwickelt, die ohne zusätzliche Stahlteile mit selbstbohrenden VGS und vorgebohrten Gewindestangen gefügt werden können. In den Projekten „MSB 1“ und „MSB 2“ wurden Rahmenecken mit positiver und negativer Momentenbelastung im Kurzzeitversuch getestet. Im aktuellen Projekt „MSB 3“ wurde eine Langzeitbelastung im Außenklima (NKL 2) mit anschließender Ermittlung der Resttragfähigkeiten durchgeführt.

Die Entwicklung der Schraubenanordnungen basiert auch hier auf Stabwerkmodellen, die vereinfacht in Bild 3 dargestellt sind.

Im Projekt „MSB 1“ wurden für positives und negatives Biegemoment ähnliche Schraubenkonfigurationen verwendet, die auf den Stabwerkmodellen Bild 3 links bzw. rechts beruhen. Bei positiver Momentenbelastung wurde der Zugstab an der Innenecke durch zwei diagonale Gewindestangen mit $d = 16$ mm gebildet, bei negativem Moment erfolgte die Zugkraftübertragung an der Außenecke durch acht gekreuzte Vollgewindeschrauben mit $d_1 = 8$ mm. Bei positivem Moment wurden gehrungsparelle Schrauben zur Aufnahme von Querszugkräften angeordnet. Im Bruchversuch wurden L-förmige Probekörper aus Brettschichtholz der Festigkeitsklasse GL24 mit einem Querschnitt von 14/36 cm am vertikalen Schenkel eingespannt und die Belastung am freien Ende des horizontalen Schenkels aufgebracht (siehe Bild 4).

Das Versagen trat unter negativer Momentenbelastung durch Zugbruch der außenliegenden VGS auf, mit einer für Stahlversagen entsprechenden sehr geringen Streuung der Bruchlasten. Bei positivem Moment trat durch vorzeitigen Bruch der gehrungsparellen Schrauben ein Querszugversagen des Holzquerschnitts ausgehend von der Gehrungsfuge auf.

Im Folgeprojekt „MSB 2“ wurde daher für positives Moment eine neue, auf dem Stabwerkmodell in Bild 3, Mitte basierende, fächerartige Schraubenkonfiguration mit sich rechtwinklig an der Innenecke kreuzenden Zugschrauben mit $d_1 = 10$ mm entwickelt. Die dichte „Vernadelung“ des Querschnitts im Bereich der Gehrungsfuge durch sich kreuzende Schrauben verhinderte effektiv das Querszugversagen, sodass der Bruch durch Stahlversagen der vertikalen Zugschrauben auftrat. Die Tragfähigkeit für negatives Biegemoment konnte durch Verdoppelung der Anzahl der außenliegenden Zugschrauben

nochmals gesteigert werden. Das Versagen erfolgte durch Biegezugbruch im vertikalen Holzchenkel. Die diagonalen Gewindestangen bewirkten durch ihre gegenüber dem umgebenden Holzquerschnitt sehr hohe Steifigkeit eine Konzentration der Druckkraftübertragung an der Innenecke und damit eine Maximierung des inneren Hebelarmes zur Momentenübertragung. Der innere Kraftfluss im Bauteil lässt sich also durch die Anordnung von Bewehrungsschrauben gezielt beeinflussen und kanalisieren.

Die 5 %-Quantilwerte der in den Versuchen ermittelten Bruchlasten der biegesteifen Eckverbindungen sind in Tabelle 2 der rechnerischen charakteristischen Tragfähigkeit des reinen geraden Brettschichtholzquerschnitts (GL24h, 14/36 cm) gegenübergestellt.

Im aktuellen Projekt „MSB 3“ wurden die Schraubenkonfigurationen für negatives Biegemoment aus den beiden Vorgängerprojekten für zwei Jahre im natürlichen Außenklima (NKL 2) mit einer der KLED „lang“ nach Eurocode 5 [9] entsprechenden Dauerlast beansprucht. Bei Konfiguration Typ 1 (aus „MSB 1“) wurde die Last bei einigen Probekörpern phasenweise bis auf einen Wert entsprechend der KLED „kurz“ erhöht, um den Einfluss von wechselnden Lasten zu untersuchen. Ebenfalls wurde die Wirkung einer konstruktiven Quersugbewehrung geprüft. Der Versuchsaufbau unterschied sich von den Kurzzeitversuchen, indem jeweils zwei Ecken zu einem Dreigelenkrahmen zusammengefasst wurden. Die Belastung wurde als mittige Einzellast über eine gespannte Federkonstruktion aufgebracht.

Im Anschluss an die Langzeitbelastung wurde die Resttragfähigkeit der Rahmenecken ermittelt. Wie Tabelle 3 zeigt, tritt bei den geringer ausgelasteten Ecken des Typs 1 gegenüber dem Kurzzeitversuch nur ein geringer Tragfähigkeitsverlust auf. Die Ecken des Typs 2 mit einer höheren Auslastung zeigen dagegen einen deutlichen Tragfähigkeitsverlust von 17,5% gegenüber dem Kurzzeitversuch. Hier traten unter Dauerlast wahrscheinlich Kriechvorgänge und Schädigungen des Holzes und des Verbundes der Schrauben bzw. Gewindestangen auf. Die weitere Auswertung der Versuchsdaten soll hier Aufschluss über das maximal ausnutzbare Dauerlastniveau der Rahmenecken liefern.

Die Ergebnisse der Kurz- und Langzeitversuche zeigen, dass sich mit den entwickelten biegesteifen Eckverbindungen sehr hohe Tragfähigkeiten erreichen lassen. Durch die bessere Auslastung des Holzquerschnitts auch im Verbindungsbereich werden schlankere Tragwerke ermöglicht.

5 Untersuchungen des Verbundverhaltens von Vollgewindeschrauben mit großer Einbindelänge in Brettschichtholzbauteilen

Der Einsatz der Schrauben als Bewehrungsmittel zur Verstärkung, Versteifung und Fügung von Holzquerschnitten erfordert Kenntnisse zum Kraftübertragungs- und Verbundverhalten der Schrauben im Holz. Da auf dem Markt ein breites Angebot an VGS verschiedener Hersteller, jeweils mit eigener bauaufsichtlicher Zulassung, vorhanden ist, wurden zunächst Untersuchungen zur Vergleichbarkeit der unterschiedlichen Fabrikate durchgeführt. Anhand ihrer Geometrie (Gewinde, Bohrspitze) konnten die Schrauben in drei Klassen eingeteilt werden, aus denen anschließend für jeweils ein Fabrikat in Pull-Out-Versuchen das Verbundverhalten geprüft wurde.

Die Schrauben mit Durchmessern zwischen 9 mm und 13 mm wurden in Probekörper mit Abmessungen von 20 x 20 x 20 cm aus Brettschichtholz der Güte GL 24 h mit Winkeln von 60°, 30° und 0° zwischen Schraubenachse und Holzfaserrichtung eingedreht.



Bild 4: Versuchsaufbau biegesteife Rahmenecke mit negativem Moment im Projekt "MSB 2"

Tabelle 2: Tragfähigkeiten der biegesteifen Ecken im Kurzzeitversuch

Verbindungstyp		negatives Biegemoment			positives Biegemoment		
		Kraft F		äquiv. M	Kraft F		äquiv. M
Rahmenecken MSB 1	5 %-Quantil	41,67 kN	61,6 %	44,59 kNm	19,36 kN	30,9 %	20,71 kNm
Rahmenecken MSB 2	5 %-Quantil	59,04 kN	87,3 %	63,18 kNm	43,60 kN	69,5 %	46,65 kNm
reiner BSH-Querschnitt	char. Wert	67,62 kN	100,0 %	72,35 kNm	62,71 kN	100,0 %	67,10 kNm

Tabelle 3: Mittelwerte der Bruchlasten der Rahmenecken mit und ohne Langzeitbelastung

	Typ 1a	Typ 1b	Typ 1c	Typ 2
Belastung	Veränderlich	Veränderlich	Konstant	Konstant
Bruchlast Kurzzeit	42,73 kN	42,73 kN	42,73 kN	64,08 kN
Bruchlast Langzeit	42,68 kN	39,30 kN	39,70 kN	52,88 kN
Verhältnis F_{kurz} / F_{lang}	~100 %	92,0 %	92,9 %	82,5 %



Bild 5: Versuchsaufbau
Pull-Out-Versuche

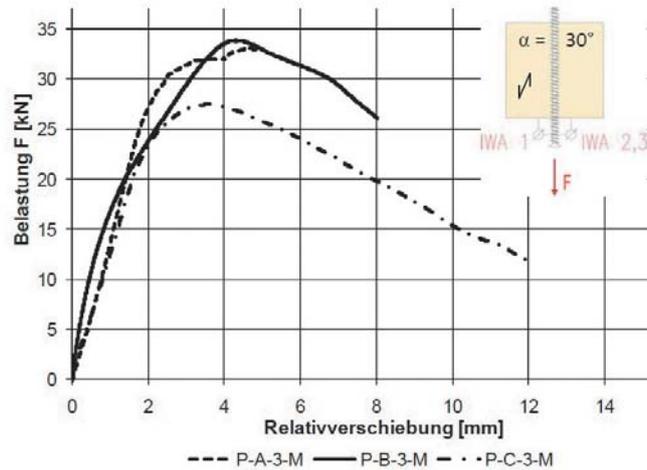


Bild 6: Mittelwerte der Last-Verschiebungs-Kurven für drei verschiedene Schraubentypen mit $d_1 = 10$ mm bei einem Einschraubwinkel von 30° zur Holzfaserrichtung

Beim Ausziehversuch wurden Relativverschiebungen zwischen Schraube und Holz sowohl auf der belasteten, als auch der unbelasteten Seite mit induktiven Wegaufnehmern gemessen. Der Versuchsaufbau ist in Bild 5 dargestellt.

Die untersuchten Fabrikate zeigten nur geringe Abweichungen im elastischen Bereich, was sowohl für die maximalen Verbundtragfähigkeiten der Schrauben als auch für das Last-Verschiebungs-Verhalten gilt. Bild 6 stellt exemplarisch die Versuchsergebnisse für drei marktführende Fabrikate gegenüber. Die Versuche ergaben jedoch, dass besonders bei faserparalleler Verschraubung der Einfluss von Herstellungsungenauigkeiten relevant ist. Bei einem Schraubenfabrikat führte die unregelmäßige Gewindegeometrie zu geringeren Tragfähigkeiten und Verbundsteifigkeiten. Eine ausführliche Beschreibung der Versuchsergebnisse ist in [1] aufgeführt.

Genauere Untersuchungen zur Beschreibung des Verbundverhaltens von Vollgewindeschrauben mit großen Einbindelängen werden aktuell in Zusammenarbeit mit dem Institut für Bauforschung der RWTH Aachen (ibac) durchgeführt [2]. Hierbei sollen mittels experimenteller, analytischer und numerischer Methoden die Grundlagen für eine zutreffende Modellierung und Bemessung von komplexen Verbindungen mit Vollgewindeschrauben erarbeitet und ihr Verbundverhalten optimiert werden. Dabei werden insbesondere die Anisotropie des natürlichen Werkstoffes Holz und der Einfluss der Belastungsdauer auf die Tragelemente berücksichtigt.

Die Untersuchungen zum Verbundverhalten von Vollgewindeschrauben liefern die für den Einsatz von Vollgewindeschrauben im Sinne einer Bewehrung erforderlichen theoretischen Grundlagen für die Kraftübertragung zwischen Schraubenbewehrung und Holzmatrix.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Die am Lehrstuhl für Tragkonstruktionen durchgeführten Versuche mit Verstärkungen und Fügungen, die das Prinzip des Bewehrens mit Vollgewindeschrauben nutzen, belegen das hohe Potential, mit schlanken und effizienten Konstruktionen den Holzbau als nachhaltige Bauweise zu fördern. Gleichzeitig ergibt sich aber auch Bedarf nach weiteren Forschungsarbeiten, um die gewonnenen Erkenntnisse, vor allem zum Langzeitverhalten des Schraubenverbundes, zu erweitern. Aufgrund der günstigen Trageigenschaften dürften sich bewehrte Holzbaustoffe als Verbundwerkstoffe in der Praxis mehr und mehr etablieren. Diese neuartigen Verbindungs- und Verbundkonzepte erweitern die Einsatzmöglichkeiten von Holz im Bauwesen deutlich, in dem sie eine Optimierung des Werkstoffes Holz durch Kompensation seiner durch Anisotropie bedingten Schwächen möglich machen.

Literatur

- [1] Ayoubi, M.; Trautz, M.: *Ausziehverhalten von Vollgewindeschrauben*. Forschungsbericht 02/2012 des Lehrstuhls für Tragkonstruktionen der RWTH Aachen, Aachen, 2013
- [2] Ayoubi, M.; Trautz, M.: *Experimentelle Untersuchungen zum Verbundverhalten und zur Kraftübertragung des Verbundwerkstoffes Schraube-Holz*. In: 19. Symposium Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde, Tagungsband, Karlsruhe, 2013, S. 540-553.
- [3] Bejtka, I.: *Verstärkung von Bauteilen aus Holz mit Vollgewindeschrauben*. Karlsruher Berichte zum Ingenieurholzbau, Band 2, Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen (Hrsg.), Universität Karlsruhe (TH), Karlsruhe, 2005
- [4] Blaß, H. J.; Krüger, O.: *Schubverstärkung von Holz mit Holzschrauben und Gewindestangen*. Karlsruher Berichte zum Ingenieurholzbau, Band 15, Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen (Hrsg.), Universität Karlsruhe (TH), Karlsruhe, 2010
- [5] Brüninghoff, H.: *Ertüchtigung von BS-Holz-Tragwerken*. In: Ingenieurholzbau - Karlsruher Tage 2007, Tagungsband, Karlsruhe, 2007, S. 25-35
- [6] Krenn, H., Schickhofer, G.: *Traglast von auf Zug beanspruchten Schraubenverbindungen mit Stahlblechen*. In: 6. Grazer Holzbau-Fachtagung, Tagungsband, Graz, 2007
- [7] 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
- [8] Trautz, M.; Koj, C.: *Mit Schrauben bewehren 2 - Schubversteifung mit Schraubenfachwerken, Verstärkung von Biegeträgern mit Stahllamellen und Leistungssteigerung von biegesteifen Eckverbindungen*. Forschungsbericht 01/2009 des Lehrstuhls für Tragkonstruktionen der RWTH Aachen; Aachen, 2009
- [9] DIN EN 1995-1-1:2010-12; Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten - Teil 1-1: Allgemeines - Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau
- [10] DIN EN 408:2004-08: Holzbauwerke - Bauholz für tragende Zwecke und Brettschichtholz - Bestimmung einiger physikalischer und mechanischer Eigenschaften



Dr.-Ing. Peter Mestek

Sailer Stepan und Partner GmbH
Beratende Ingenieure für Bauwesen VBI
Ingolstädter Straße 20 | 80807 München
peter.mestek@ssp-muc.com

- seit 2011 Sailer Stepan und Partner GmbH
- 2011 Promotion zum Dr.-Ing. an der TU München
- 2005 - 2011 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion der TU München
- 1999 - 2005 Studium des Bauingenieurwesens an der TU München

Bemessung von Brettsperrholz unter Plattenbeanspruchung

Dr.-Ing. Peter Mestek; Sailer Stepan und Partner GmbH, München

Die Brettsperrholzbauweise ermöglicht die Verwendung flächenhafter, großformatiger Elemente in tragender und aussteifender Funktion. Dabei sind hinsichtlich des Tragverhaltens von Brettsperrholz die lagenweise wechselnden Materialeigenschaften zu beachten, da sie das Verformungsverhalten und die Tragfähigkeit der Elemente entscheidend beeinflussen. Zudem treten im Bereich konzentrierter Lastenleitungen in Brettsperrholzelemente (BSP) lokal hohe Schubbeanspruchungen auf, die für die Bemessung maßgebend werden können. Als effektive Verstärkungsmaßnahme haben sich dabei diagonal angeordnete selbstbohrende Vollgewindeschrauben erwiesen. Da diese Bauweise normativ nicht geregelt ist, wurde in [1] und [2] ein Bemessungskonzept für derartige Konstruktionen erarbeitet. Der vorliegende Beitrag bietet einen Überblick über die Bemessung von Brettsperrholz unter Plattenbeanspruchung und stellt ein Bemessungskonzept für Schubverstärkungen mit Vollgewindeschrauben vor.

1 Einleitung

Durch weiterentwickelte Fertigungstechniken stehen dem modernen Holzbau Verfahren zur Verfügung, die den Einsatz flächenhafter, großformatiger Elemente in tragender und aussteifender Funktion ermöglichen. Das zur Massivholzbauweise zählende Brettsperrholz (Abk.: BSP, engl.: ‚Cross Laminated Timber - CLT‘ oder ‚X-Lam‘) hat neben dem Holzrahmenbau einen zunehmenden Marktanteil gewonnen. Der variable Querschnittsaufbau von Brettsperrholz ist gekennzeichnet durch orthogonal, flächig miteinander verklebte Brettlagen, deren Decklagen parallel zur Haupttragrichtung verlaufen.

Je nach Herstellungsverfahren sind Elementbreiten bis 4,8 m und Längen von bis zu 20 m möglich. Bei Standardanwendungen wird selten eine Gesamtdicke der Elemente von 300 mm überschritten, in Sonderfällen und in Abhängigkeit der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung sind Dicken bis zu 500 mm zulässig. Die Produkte sind gleichsam als tragende Scheiben bzw. Platten einsetzbar. Als Decken eingesetzte Brettsperrholzelemente werden überwiegend linienförmig auf Wänden gelagert und bei der Bemessung wie ein einachsiger in Richtung der Decklamellen spannender Plattenstreifen berechnet. Ihr Querschnittsaufbau aus in Haupt- und Nebentragrichtung verlaufenden Brettlagen und die großformatigen Abmessungen ermöglichen auch die Ausführung von punktuellen Auflagerkonstruktionen (Bild 1).



Bild 1: Punktgestütztes Dachtragwerk, Mensa der Universität Bamberg

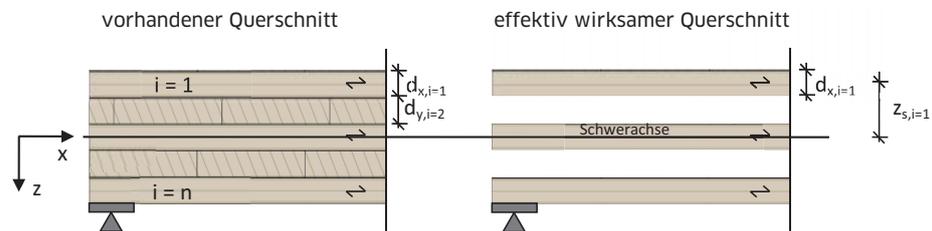


Bild 2: Ermittlung der effektiven Querschnittskenngrößen

2 Steifigkeitskennwerte

Generell sind die Berechnungsgrundlagen von BSP-Elementen im EC 5 [3] in Verbindung mit den jeweiligen allgemeinen bauaufsichtlichen bzw. den Europäischen Technischen Zulassungen geregelt. Das Tragverhalten der Flächenelemente ist durch stoffliche und, bedingt durch die orthogonale Anordnung der einzelnen Lagen, durch konstruktive Anisotropie geprägt. Folglich ist es für die Spannungs- und Verformungsberechnung von entscheidender Bedeutung die korrekten Querschnitts- und Steifigkeitswerte anzusetzen. Da es sich bei Brettspertholz um Flächenelemente handelt, werden diese Werte im weiteren Verlauf für einen Plattenstreifen mit einer Breite von einem Meter angegeben.

2.1 Querschnittskenngrößen

Lasten senkrecht zur Elementebene erzeugen Biegebeanspruchungen, die bei Deckensystemen in erster Linie über die parallel zur Spannrichtung verlaufenden Brettlagen abgetragen werden. Der Brettspertholzbalken kann dabei als einachsig gespannter Plattenstreifen betrachtet werden. Bei symmetrischen Querschnitten mit gleicher Materialgüte in den einzelnen Lagen stimmt die Schwerachse mit der Symmetrieachse des Querschnitts überein. Die geometrischen Zusammenhänge sind in Bild 2 dargestellt. Aufgrund der großen Unterschiede in den Elastizitätsmoduln der einzelnen Lagen können bei der Ermittlung der Querschnittswerte die Querlagen vernachlässigt werden. Für das effektive Trägheitsmoment $I_{ef,x}$ gilt:

$$I_{ef,x} = \sum d_{x,i}^3 / 12 + \sum d_{x,i} \cdot z_{s,i}^2 \quad (1)$$

Analog werden auch Normalkräfte nur über die zur Krafrichtung parallel verlaufenden Längslagen abgetragen. Folglich beträgt der effektive Nettoquerschnitt in x-Richtung:

$$A_{ef,x} = \sum d_{x,i} \quad (2)$$

Für die Schubspannungsberechnung muss zusätzlich das statische Moment ermittelt werden:

$$S_{ef,x} = \sum_{i=1}^{(n-1)/2} d_{x,i} \cdot z_{s,i} \quad (3)$$

2.2 Ersatzschubsteifigkeit

Die Schubverformung stellt aufgrund der kreuzweisen Anordnung der Brettlagen und den damit verbundenen unterschiedlichen Schubmoduln in den einzelnen Schichten einen komplexen Zusammenhang dar. Im Nationalen Anhang [4] des EC 5 [3] wird die Schubverformung durch eine Ersatzschubsteifigkeit berücksichtigt. Diese wird an einem Ersatzquerschnitt ermittelt, der die gleiche Schubverformung aufweist wie der tatsächliche Verbundquerschnitt (Bild 3). Der Schubfluss t wird dabei über die Elementhöhe als konstant angenommen.

Durch Gleichsetzen der Gesamtverformung u ergibt sich folgender Term zur Ermittlung der Ersatzschubsteifigkeit S_{xz} .

$$\frac{1}{S_{xz}} = \frac{1}{a^2} \left\{ \frac{d_1}{2 \cdot G_{xz,1}} + \sum_{i=2}^{n-1} \frac{d_i}{G_{xz,i}} + \frac{d_n}{2 \cdot G_{xz,n}} \right\} \quad (4)$$

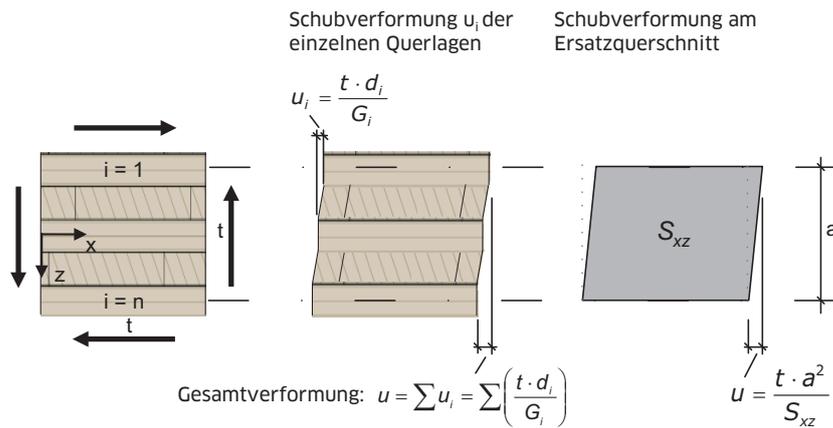
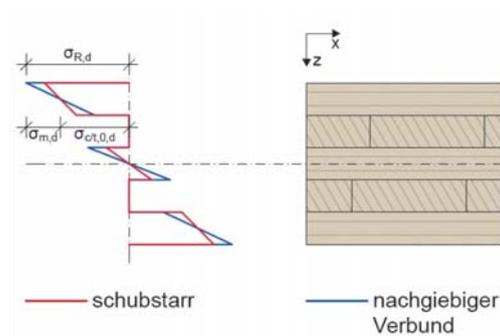
Bild 3: Ermittlung der Ersatzschubsteifigkeit S_{xz} 

Bild 4: Einfluss des nachgiebigen Verbundes auf die Längsspannungen

Für Elemente mit ungerader Schichtanzahl n und symmetrischem Querschnitt, deren Einzelschichten aus Brettware gleicher Dicke und Materialgüte bestehen, kann die Berechnung weiter vereinfacht werden. In den allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen ist in der Regel ein Rollschubmodul G_R der Querlagen mit 50 N/mm^2 angegeben. Da der Rollschubmodul der Querlagen somit weniger als 10% des Schubmoduls der Längslagen beträgt, resultiert das Verformungsbild unter Schubbeanspruchung im Wesentlichen aus der Verformung der Querlagen. Näherungsweise können die Verformungsanteile der Längslagen vernachlässigt werden und die Ersatzschubsteifigkeit des Querschnitts berechnet sich wie folgt:

$$S_{xz} = 2 \cdot (n - 1) \cdot d_{y,i} \cdot G_R \quad (5)$$

3 Deckenelemente - Plattenbeanspruchung

Die Berücksichtigung der Schubverformung bzw. des nachgiebigen Verbundes erfolgt nach dem Verfahren der Schubanalogie und ist im Nationalen Anhang [4] des EC 5 [3] in Abschnitt NCI NA 5.6.3 enthalten. Der geringe Rollschubmodul der Querlagen bewirkt, dass bei gedungenen Elementabmessungen oder Beanspruchungen durch Einzellasten die relativ großen Schubverformungen der Querlagen quasi zu einem nachgiebigen Verbund der zur Haupttragrichtung parallel verlaufenden Lagen führen. Durch die Berücksichtigung des nachgiebigen Verbundes nimmt die Schwerpunktsspannung $\sigma_{c/t,0,d}$ in den einzelnen Lagen ab, während der Anteil der Biegespannungen $\sigma_{m,d}$ zunimmt (Bild 4). Somit ergeben sich größere, für die Bemessung maßgebende Randspannungen $\sigma_{R,d}$. Bei dem betrachteten Element sind die Einzelbretter der Querlagen nicht an den Schmalseiten miteinander verklebt. In diesem Fall ist der E-Modul der Querlagen gleich null zu setzen. Daher ergeben sich in den Querlagen keine Längsspannungen.

3.1 Spannungsermittlung

Bei geklebtem BSP liefert die Spannungsermittlung nach der starren Verbundtheorie gemäß Abschnitt NCI NA 5.6.2 im Nationalen Anhang [4] des EC 5 [3] ausreichend genaue Ergebnisse, sofern ein Einfeldträger unter Gleichlast mit einem Verhältnis aus Spannweite l zu Elementdicke d von $l/d > 20$ vorliegt. Davon abweichende Systeme sind unter

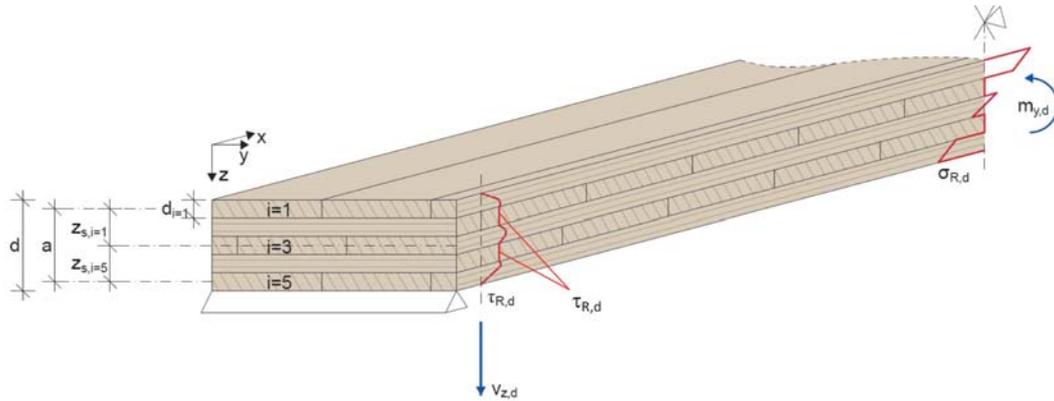


Bild 5: Plattenstreifen einer Brettsperrholzdecke

Beachtung der Schubverformung zu berechnen, um die zuvor gezeigten Auswirkungen auf die Längsspannungsverteilung zu berücksichtigen (vergleiche Abschnitt NCI NA 5.6.3 [4]). Für die Bemessung nach der starren Verbundtheorie ist es ausreichend, nur die Längslagen parallel zur Spannrichtung der Lastabtragung anzusetzen (Bild 5). Bestehen die Längslagen aus Brettlamellen der gleichen Festigkeitsklasse, so gelten für einen Plattenstreifen von einem Meter Breite nachfolgende Zusammenhänge:

$$I_{ef,x} = \sum d_{x,i}^3 / 12 + \sum d_{x,i} \cdot z_{s,i}^2 \quad \text{mit } i = 1, 3, 5, \dots \quad (6)$$

Die Biegerandspannung $\sigma_{R,d}$ der Decklage beträgt somit:

$$\sigma_{R,d} = \frac{m_{x,d}}{I_{ef,x}} \cdot d / 2 \quad (7)$$

Unter der Annahme eines konstanten Schubflusses lässt sich die für die Schubbemessung maßgebende Rollschubspannung aus der vorherrschenden Querkraft $v_{xz,d}$ sowie dem Schwerpunktabstand a der Decklagen abschätzen:

$$\tau_{R,d} = \frac{v_{xz,d}}{a} \quad (8)$$

Für drei- und fünfschichtige Elemente stimmt die Rollschubspannung nach Gl. (8) annähernd mit der exakten Lösung überein. Doch bereits bei einem siebenschichtigen Element liegt die maßgebende Rollschubspannung ca. 20% über dem Wert dieser Abschätzung. Mit zunehmender Anzahl von Schichten nimmt die Abweichung weiter zu und konvergiert gegen den Grenzwert von 50%. Für Elemente mit mehr als fünf Schichten empfiehlt es sich daher die Rollschubspannung nach folgender Gleichung zu bestimmen.

$$\tau_{R,d} = \frac{v_{xz,d} \cdot S_{ef,x}}{I_{ef,x}} \quad (9)$$

3.2 Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Aufgrund der aktuell erteilten 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_I multipliziert werden.

Systembeiwert:

$$k_I = \min \begin{cases} 1 + n \cdot 0,025 \\ 1,1 \end{cases} \quad (10)$$

mit: n = Anzahl der nebeneinander liegenden Bretter in den Decklagen

Folgende Spannungsnachweise sind zu führen:

Biegerandspannung:

$$\frac{\sigma_{R,d}}{k_I \cdot f_{m,d}} \leq 1 \quad (11)$$

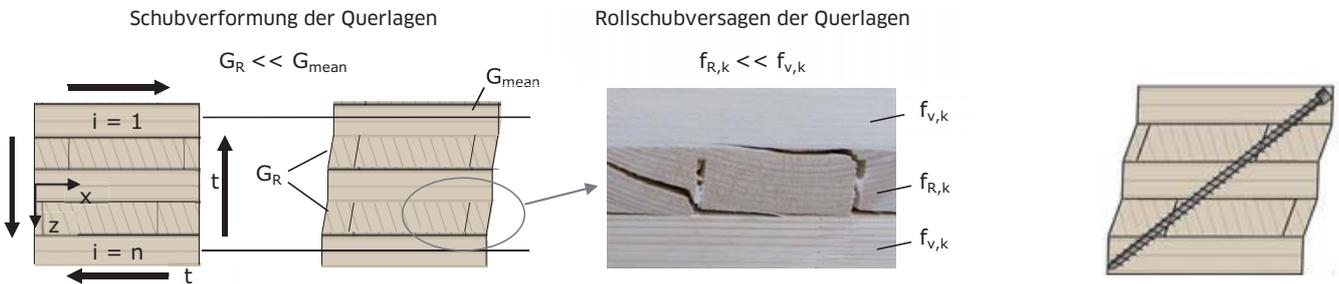


Bild 6: Schubverformung und Rollschubversagen eines Brettsperrholzelementes

Bild 7: Schubverstärkung mit Vollgewindeschraube

Rollschubspannung:

$$\frac{\tau_{R,d}}{f_{R,d}} \leq 1 \tag{12}$$

Die Bemessungswerte der Zug- bzw. Druck- und Biegefestigkeiten sind von der Festigkeitsklasse der verwendeten Brettlamellen abhängig und können aus den charakteristischen Festigkeitswerten nach DIN EN 338:2010-2 [5] bestimmt werden. Für den charakteristischen Wert der Rollschubfestigkeit gelten die in den Zulassungen der jeweiligen Produkte angegebenen Werte. Diese variieren zwischen 0,70 N/mm² und 1,25 N/mm² für Fichtenholz. Für Kiefernholz sind gewöhnlich geringfügig höhere Werte angegeben.

3.3 Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit sind die Verformungs- und Schwingungsnachweise nach Abs. 7.2 und 7.3 des EC 5 [3] zu führen. Bei Verformungsberechnungen sollte der Anteil der Schubverformung in jedem Fall berücksichtigt werden. Die Verformung kann allgemein anhand des Arbeitssatzes bestimmt werden:

$$w = w_m + w_v = \frac{1}{E_{x,mean} \cdot I_{ef,x}} \cdot \int m_x \cdot \bar{m}_x \cdot dx + \frac{1}{S_{xz}} \cdot \int v_{xz} \cdot \bar{v}_{xz} \cdot dx \tag{13}$$

mit $E_{x,mean}$: Mittelwert des Elastizitätsmoduls der Brettlagen in x-Richtung

Bei einem Einfeldträger unter der charakteristischen Gleichlast q_k beträgt die Durchbiegung:

$$w = w_m + w_v = \frac{5 \cdot q_k \cdot l^4}{384 \cdot E_{x,mean} \cdot I_{ef,x}} + \frac{q_k \cdot l^2}{8 \cdot S_{xz}} \tag{14}$$

4 Schubverstärkungen mit Vollgewindeschrauben

4.1 Schubtragverhalten

Die lagenweise wechselnden Materialeigenschaften beeinflussen auch das Schubtragverhalten der Elemente. Der Schubmodul quer zur Faser wird als Rollschubmodul G_R bezeichnet und beträgt nur ca. 10% des Schubmoduls G_{mean} in Faserrichtung. Er bewirkt, dass die Schubverformung fast ausschließlich aus der Verformung der Querlagen resultiert (Bild 6). Auch die Festigkeitswerte der Querlagen sind deutlich niedriger als die der parallel zur Tragrichtung verlaufenden Brettlamellen, mit der Folge, dass Rollschubrisse in den Querlagen zu Schubversagen führen. Im Rahmen der Schubbemessung ist daher in der Regel die Rollschubfestigkeit $f_{R,k}$ maßgebend (Bild 6).

Um die Schubtragfähigkeit der Elemente zu erhöhen, können diagonal angeordnete Vollgewindeschrauben als lokale Verstärkungen verwendet werden (Bild 7). Diese effektive Verstärkungsmaßnahme ist jedoch weder in den allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen der Brettsperrholzprodukte noch im EC 5 [3] enthalten. Um ihre geregelte Anwendung zu ermöglichen, wurden daher Grundlagen für die Schubbemessung unter Berücksichtigung von Verstärkungselementen ermittelt und ein Bemessungskonzept entwickelt [1] und [2].

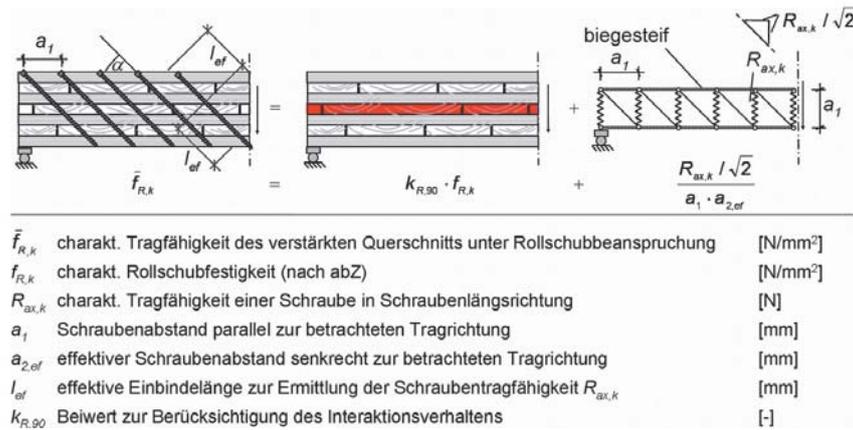


Bild 8: Fachwerkmodell für schubverstärkte Brettsperrelemente

4.2 Bemessungskonzept

Nachfolgend wird das Bemessungskonzept für die einachsige Lastabtragung vorgestellt. Für Systeme mit zweiachsiger Lastabtragung sind in [2] weitere Angaben enthalten. Gemäß dem Bemessungskonzept besteht die Schubtragfähigkeit eines verstärkten Brettsperrelementes aus der Rollschubfestigkeit der Querlage und der anteiligen Schubtragfähigkeit der Schrauben. Die Annahme ihrer gleichzeitigen Tragwirkung ist gerechtfertigt, da aus den Untersuchungen hervorgeht, dass trotz der relativ geringen Schubverformungen des Brettsperrelementquerschnittes in den Schrauben Zugkräfte aktiviert werden. Zur Ermittlung der anteiligen Tragfähigkeit der Schubverstärkung dient das in Bild 8 dargestellte Fachwerkmodell. Parallel zur Scherfläche wirkende Kräfte werden von den Schrauben übertragen, die durch die diagonal angeordneten Fachwerkstäbe symbolisiert sind. Da es sich um ein reines Schubmodell handelt, werden vereinfacht starre Gurte angenommen und somit der Einfluss der Biegung vernachlässigt. Zusätzlich erzeugen die auf Zug beanspruchten Schrauben Querdruckspannungen, die sich positiv auf die Rollschubfestigkeit der Querlagen auswirken. Deren Übertragung ist im Fachwerkmodell anhand von Federelementen symbolisiert. Der Einfluss der Spannungsinteraktion wird durch die Erhöhung der Rollschubfestigkeit mittels des Beiwertes $k_{R,90}$ berücksichtigt.

Die Schubtragfähigkeit der Schrauben ist im Wesentlichen abhängig von deren Herauszieh Widerstand. Allerdings liegen derzeit für den charakteristischen Herauszieh Widerstand von Vollgewindeschrauben in Brettsperrelementen bei einem Neigungswinkel von 45° keine allgemein gültigen Bemessungsgleichungen vor. Wie die Betrachtungen zeigen, kann in Anlehnung an die Untersuchungen in [6] der charakteristische Herauszieh Widerstand $R_{ax,k}$ näherungsweise wie folgt bestimmt werden:

$$R_{ax,k} = \min \left\{ \begin{array}{l} 24,8 \cdot d^{0,8} \cdot l_{ef}^{0,9} \\ R_{t,u,k} \end{array} \right. \quad [\text{N}] \quad (15)$$

d Schraubendurchmesser in mm
 l_{ef} effektive Einbindelänge der Schraube in mm
 $R_{t,u,k}$ charakt. Zugtragfähigkeit (nach abZ)

Die effektive Einbindelänge l_{ef} der Vollgewindeschraube ist abhängig von der Lage der zu bemessenden Schicht und nach Gleichung (16) zu berechnen. Sie ergibt sich aus der minimalen Verankerungslänge der Schraube, ausgehend von der Schwerachse der maßgebenden Querlage. Exemplarisch gelten die in Bild 9 dargestellten Zusammenhänge.

$$l_{ef} = \min \left\{ \begin{array}{l} l_1 \\ l_2 \end{array} \right. \quad (16)$$

Die resultierende Spannung senkrecht zur Faser berechnet sich aus dem vertikal zur Scherfläche wirkenden Anteil der Schraubenkraft und unter Einbeziehung der Verbindungsmittelabstände:

$$\sigma_{c,90} = \frac{R_{ax,k} / \sqrt{2}}{a_1 \cdot a_{2,ef}} \quad \text{mit: } a_{2,ef} = \max \left\{ \begin{array}{l} a_2 \\ b / n_{\perp} \end{array} \right. \quad (17) \text{ und } (18)$$

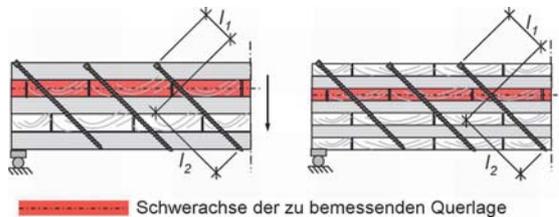


Bild 9: Ermittlung der effektiven Einbindelänge l_{ef}

Der effektive Schraubenabstand $a_{2,ef}$ ergibt sich aus dem Maximum des tatsächlichen Abstandes a_2 und dem Quotienten aus der Elementbreite b und der Anzahl n_{\perp} der vorhandenen Schraubenreihen senkrecht zur betrachteten Tragrichtung. Zur Berücksichtigung des Interaktionsverhaltens ist der in [1] und [2] ermittelte Ansatz für den Beiwert $k_{R,90}$ anzuwenden:

$$k_{R,90} = \min \left\{ \begin{array}{l} 1 + 0,35 \cdot \sigma_{c,90} \quad [-] \quad \text{mit } \sigma_{c,90} \text{ in N/mm}^2 \\ 1,20 \end{array} \right. \quad (19)$$

Die charakteristische Tragfähigkeit eines verstärkten Brettsperrholzquerschnittes unter Rollschubbeanspruchung setzt sich damit wie folgt zusammen:

$$\bar{f}_{R,k} = k_{R,90} \cdot f_{R,k} + \frac{R_{ax,k} / \sqrt{2}}{a_1 \cdot a_{2,ef}} \quad (20)$$

Der Schubspannungsnachweis für schubverstärkte Brettsperrholzelemente lautet somit:

$$\tau_{R,d} \leq k_{mod} \cdot \frac{\bar{f}_{R,k}}{\gamma_M} \quad (21)$$

5 Zusammenfassung

Die Auswirkungen der lagenweise wechselnden Materialeigenschaften auf das Tragverhalten und die Bemessung wurden beschrieben. Für Plattenelemente unter gleichmäßiger Beanspruchung und einem Verhältnis von $l/d < 20$, bei denen die Auswirkungen der Schubverformung auf die Längsspannungsverteilung vernachlässigt werden kann, wurde die Spannungsermittlung nach der starren Verbundtheorie erläutert.

In lokal hoch schubbeanspruchten Bereichen kann die Schubtragfähigkeit der Elemente durch diagonal angeordnete Vollgewindeschrauben deutlich erhöht werden. Für diese effektive Verstärkungsmaßnahme wurde ein Bemessungskonzept basierend auf einem Fachwerkmodell vorgestellt.

6 Literatur

- [1] Mestek, P.; Winter, S.: *Konzentrierte Lasteinleitung in Brettsperrholzkonstruktionen – Verstärkungsmaßnahmen*. Schlussbericht zum AiF-Forschungsvorhaben Nr. 15892, TU München, 2011.
- [2] Mestek, P.: *Punktgestützte Flächentragwerke aus Brettsperrholz (BSP) – Schubmessung unter Berücksichtigung von Schubverstärkungen*. Dissertation, TU München, 2011.
- [3] DIN EN 1995-1-1:2010-12; Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau.
- [4] DIN EN 1995-1-1/NA:2010-12; Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau.
- [5] DIN EN 338:2010-2; Bauholz für tragende Zwecke – Festigkeitsklassen.
- [6] 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



Prof. Dr.-Ing. Thomas Uibel

Professor für Holzbau und Grundlagen konstruktiver Ingenieurbau
FH Aachen | Fachbereich Bauingenieurwesen
Bayernallee 9 | 52066 Aachen
uibel@fh-aachen.de

- seit 2012 Professor für Holzbau und Grundlagen konstruktiver Ingenieurbau an der FH Aachen
- 2012 Promotion zum Dr.-Ing. am Karlsruher Institut für Technologie (KIT), vormals Universität Karlsruhe (TH)
- 2002 - 2012 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Karlsruher Institut für Technologie, Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, Abteilung Holzbau und Baukonstruktionen
- 1997 - 2002 Studium des Bauingenieurwesens an der Universität Hannover
- 1996 - 1997 Wehrdienst
- 1996 Abitur am Jacobson-Gymnasium in Seesen
- 1977 geboren in Goslar

Tragverhalten von Verbindungen für die Brettsperrholzbauweise

Untersuchungen zur Kurzzeit- und Langzeittragfähigkeit von Verbindungen mit stiftförmigen Verbindungsmitteln in Brettsperrholz

Prof. Dr.-Ing. Thomas Uibel, FH Aachen

Die effiziente Verwendung von Bauteilen aus Brettsperrholz erfordert es, diese untereinander und mit anderen Bauteilen zu verbinden. Hierfür eignen sich insbesondere stiftförmige Verbindungsmittel. Die Bauteile können direkt oder mit zusätzlichen Verbindungselementen wie z. B. Stahlblech-Winkel verbunden werden. Auf Grundlage der Ergebnisse eines Forschungsvorhabens am Karlsruher Institut für Technologie (KIT), vormals Universität Karlsruhe (TH), werden Vorschläge für die Bemessung von stiftförmigen Verbindungsmitteln in Brettsperrholz vorgestellt. Des Weiteren wird auf die Ergebnisse von Langzeitversuchen eingegangen.

1 Einleitung

Der Holzwerkstoff Brettsperrholz (BSPH) wird nicht nur als Bestandteil eines Bauteils eingesetzt, wie dies zum Beispiel vornehmlich für Mehrschichtplatten zutrifft, sondern auch als eigenständiges Bauteil. Aus Brettsperrholz in Form von Decken- oder Wandelementen können ganze Gebäude [9] errichtet werden. Des Weiteren wird Brettsperrholz auch bei Brückenbauten verwendet, so hat es sich z. B. als Fahrbahnplatte der Brücke Ruderting bewährt.

Der effiziente Einsatz von Brettsperrholzbauteilen erfordert die Verbindung dieser untereinander oder mit anderen Bauteilen. Hierzu können stiftförmige Verbindungsmittel wie u. a. Stabdübel, Passbolzen, Schrauben oder Nägel verwendet werden. Es ist möglich, die Verbindungsmittel sowohl in den Seitenflächen als auch in den Schmalflächen von Brettsperrholzplatten anzuordnen. 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 Bild 1 sind die Flächen entsprechend ihrer Definition gekennzeichnet.

Brettsperrholzprodukte und ihre Bemessung sowie die Ausführung von Verbindungen werden durch nationale oder europäische Zulassungen geregelt. Neben den Regelungen, die für die Bemessung in nationalen bzw. europäisch-technischen Zulassungen für BSPH angegeben werden, sind für zugelassene Verbindungsmittel ggf. die jeweiligen zusätzlichen Regelungen zu beachten. Insgesamt hat die Massivholzbauweise in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen. Während Ende der 1990er Jahre lediglich zwei Produkte mit dickeren Brettlagen und Plattendicken bauaufsichtlich zugelassen waren, hat sich die Anzahl der Zulassungen zwischenzeitlich ungefähr verzehnfacht, vgl. [6]. Seit Ende 2011 liegt auch der Entwurf einer europäischen Norm für Brettsperrholz (prEN 16531) vor [19].

Im Rahmen eines Forschungsvorhabens wurde zwischen 2004 und 2007 das Tragverhalten von stiftförmigen Verbindungsmitteln in BSPH am Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) untersucht [4], [12], [13], [14]. Das Forschungsvorhaben umfasste zahlreiche experimentelle Untersuchungen, auf deren Grundlage neue Bemessungsvorschläge für Verbindungen in den Seiten- und Schmalflächen von Brettsperrholz entwickelt wurden [3], [5], [10], [11]. Des Weiteren wurden zwischen 2007 und 2012 Langzeitversuche mit faserparallel in den Schmalflächen von BSPH angeordneten selbstbohrenden Holzschrauben durchgeführt.

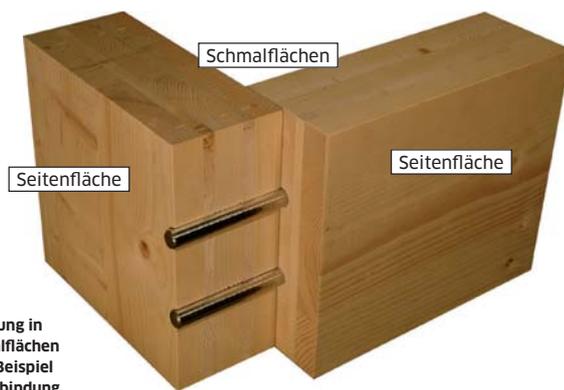
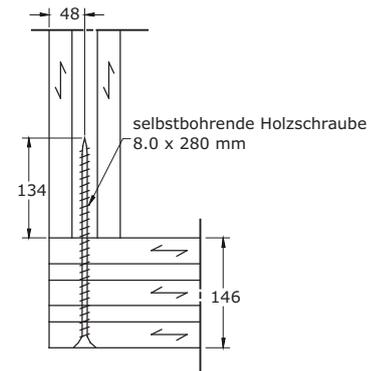


Bild 1: Geöffnete Stabdübelverbindung in Seiten- und Schmalflächen von BSPH (links), Beispiel einer direkten Verbindung mit selbstbohrenden Holzschrauben (rechts)



2 Materialeigenschaften

Brettsperrholz besteht aus kreuzweise mit Klebstoff oder mechanische Verbindungsmitteln verbundenen Brettlagen, wobei hier nur geklebte Produkte betrachtet werden. Eine Brettlage wird aus mehreren, nebeneinander liegenden Brettern gebildet. 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 durch die Zulassungen zumeist auf einen Maximalwert von 6 mm beschränkt. Eine Untersuchung der Fugen an Brettsperrholzplatten dreier Hersteller ergab einen 95 %-Quantilwert der Fugenbreite von 1 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 Mittelagen festgestellt. Einige Brettsperrholzprodukte verfügen über Entlastungsnuten, die mit einer Breite von rund 2,5 mm in Faserlängsrichtung der Bretter eingesägt werden. Bild 2 zeigt die Ausbildung von Brettstößen und Nuten bei unterschiedlichen Produkten. Eine statistische Auswertung der Fugenbreiten unterschiedlicher Brettsperrholzprodukte ist in Tabelle 1 zusammengefasst.

Zur Bestimmung der charakteristischen Rohdichte wurden 2299 Rohdichteproben von Brettsperrholzplatten unterschiedlicher Hersteller und Aufbauten untersucht. In Tabelle 2 sind die wesentlichen statistischen Kennwerte der Rohdichte bei Normklima (20° C, 65 % RH) dargestellt. Auf Grundlage dieser Untersuchung kann für BSPH 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 Herauszieh Widerstand beruhen auf dieser Anforderung an die charakteristische Rohdichte. Tabelle 3 zeigt eine statistische Zusammenfassung der Rohdichte der Prüfkörper von Herausziehversuchen mit selbstbohrenden Holzschrauben in den Seitenflächen und Schmalflächen. In Tabelle 4 sind diese Daten für Lochleibungsversuche in den Schmalflächen aufgeführt.



Bild 2: Unterschiedliche Ausbildung von Brettstößen und Anordnung von Entlastungsnuten

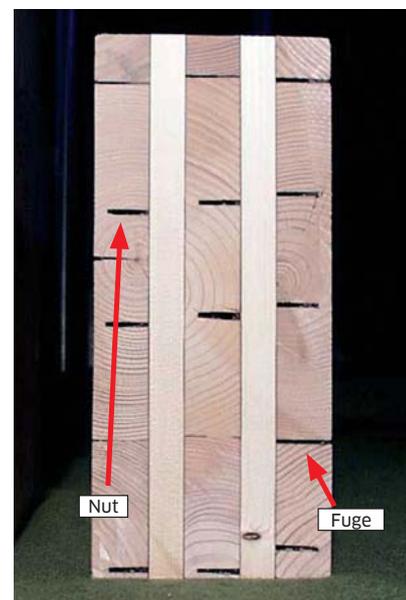


Tabelle 1: Ermittelte Fugenbreiten für drei unterschiedliche Brettsperrholzprodukte

Hersteller	Aufbau	Fugenbreite in mm								
		Außenlagen			Zwischenlagen			Mittellage		
		Mittelwert	Max.	95%-Quantil	Mittelwert	Max.	95%-Quantil	Mittelwert	Max.	95%-Quantil
1	17-17-17-17-17	0,6	2,1	1,6	1,6	7,3	3,4	1,0	3,0	2,3
2	19-22-19	0,4	2,0	1,3	-	-	-	0,5	2,2	1,8
2	34-13-34-13-34	0,2	1,0	1,0	1,4	6,8	3,3	2,0	6,7	4,5
4	9,5-6,8-9,5-6,8-9,5	0	0	0	0,6	5,4	3,5	0	0	0

Tabelle 2: Rohdichte von vier unterschiedlichen Brettsperrholzprodukten, $n_{ges} = 2299$

Hersteller/Produkt	n	ρ_{mean} kg/m ³	ρ_{min} kg/m ³	ρ_{max} kg/m ³	Variationskoeffizient	$\rho_{0,05}$ kg/m ³
1	515	470	415	630	5,11%	430
2	906	437	372	578	6,02%	400
3	208	458	406	507	5,18%	423
4	670	459	397	558	5,75%	419

Tabelle 3: Rohdichte der Prüfkörper der Herausziehversuche mit Schrauben

Hersteller/Produkt	Rohdichte der Prüfkörper für Herausziehversuche aus							
	Seitenfläche (Gesamtquerschnitt)				Schmalfläche (maßgebende Brettlage)			
	n	ρ_{mean} kg/m ³	Variationskoeffizient	$\rho_{0,05}$ kg/m ³	n	ρ_{mean} kg/m ³	Variationskoeffizient	$\rho_{0,05}$ kg/m ³
1	24	454	4,48%	423	57	448	8,21%	374
2	73	426	5,44%	384	159	404	11,90%	335
3, 4	22	445	3,34%	420	52	435	8,29%	382

Tabelle 4: Rohdichte der Prüfkörper bei den Lochleibungsversuchen in den Schmalflächen

Hersteller/Produkt	n	Rohdichte des Gesamtquerschnitts			Rohdichte der maßgebenden Brettlage		
		ρ_{mean} kg/m ³	Variationskoeffizient	$\rho_{0,05}$ kg/m ³	ρ_{mean} kg/m ³	Variationskoeffizient	$\rho_{0,05}$ kg/m ³
		1	184	474	5,76%	434	481
2	292	439	7,65%	391	417	12,20%	345
3, 4	233	452	5,55%	413	461	9,89%	401

Die verwendeten Brettsperrholzprodukte bestanden aus europäischer Fichte (picea abies) und wurden überwiegend unter Verwendung von Seitenware hergestellt. Unter Berücksichtigung der Produktionszunahme in den letzten Jahren trifft daher die festgestellte Rohdichteverteilung inzwischen nicht mehr bzw. nicht mehr auf alle Produkte zu, so dass für eine allgemeingültige Regelung im Rahmen einer europäischen Norm der Wert der charakteristischen Rohdichte wie für Brettschichtholz ($\rho_k = 380 \text{ kg/m}^3$) in Erwägung gezogen wird.

3 Beanspruchung in Richtung der Stiftachse

3.1 Allgemeines

Die Tragfähigkeit axial belasteter Schrauben und Nägel ist abhängig von ihrer Tragfähigkeit auf Herausziehen, ihrer Zugtragfähigkeit und ggf. der Tragfähigkeit bei Beanspruchung auf Kopfdurchziehen. Bei einigen Brettsperrprodukten wird die Herausziehtragfähigkeit der Verbindungsmittel von ihrer Anordnung im Hinblick auf Fugen und Nuten beeinflusst. Auch bei einer ungünstigen Positionierung eines Verbindungsmittels innerhalb einer Fuge

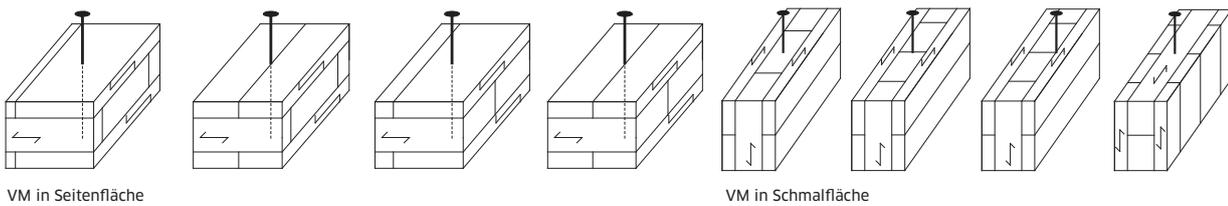


Bild 3: Mögliche Anordnungen von Verbindungsmitteln in den Seiten- und Schmalflächen von Brettsperrholz

oder Nut ist eine zuverlässige Übertragung der Kräfte durch einen Anschluss zu gewährleisten. Daher sollten innerhalb eines Anschlusses die Verbindungsmittel in mindestens zwei Verbindungsmittelreihen zu jeweils mindestens zwei Verbindungsmitteln angeordnet werden. Die Eindringtiefe ist bei Verbindungen in den Seitenflächen so zu wählen, 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 Bild 3 sind die möglichen Anordnungen von Verbindungsmitteln in den Seiten- und Schmalflächen dargestellt. Hierbei wurde auch ihre Lage hinsichtlich von Fugen bzw. Nuten berücksichtigt.

3.2 Herausziehtragfähigkeit von selbstbohrenden Holzschrauben

Zur Ermittlung der Herausziehtragfähigkeit von selbstbohrenden Holzschrauben in den Seitenflächen und Schmalflächen wurden insgesamt 387 Herausziehversuche in Anlehnung an DIN EN 1382 [16] durchgeführt. Die unterschiedlichen Anordnungen der Schrauben auch in den Fugen wurden gemäß Bild 3 berücksichtigt. Auf der Grundlage multipler Regressionsanalysen konnten Modelle zur Ermittlung von Erwartungswerten der Herausziehtragfähigkeit sowie zur Berechnung charakteristischer Werte hergeleitet werden. Bild 4 (links) zeigt einen Vergleich zwischen den Versuchsergebnissen und den Vorhersagewerten der Herausziehtragfähigkeit. Der Korrelationskoeffizient beträgt $R = 0,91$. In Bild 4 (rechts) sind die Versuchsergebnisse in Abhängigkeit von den berechneten charakteristischen Werten dargestellt.

Der charakteristische Wert $R_{ax,s,k}$ des Herausziehwiderstandes von selbstbohrenden Holzschrauben kann nach Gleichung (1) bzw. (2) 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 (Festigkeitsklasse C24) mindestens die Anforderungen an die Tragfähigkeitsklasse 3 nach DIN 1052 [15] bzw. wiesen einen Mindestwert der charakteristischen Ausziehfestigkeit von $f_{ax} = 9,8 \text{ N/mm}^2$ auf.

Gleichung (1) erlaubt die allgemeine Ermittlung des Herausziehwiderstandes ohne Kenntnis der genauen Schraubenposition in der Schmalfläche. Vereinfachend wird angenommen, dass die Schraubenachse parallel zur Faserrichtung angeordnet ist ($\varepsilon = 0^\circ$). Gleichzeitig wird die charakteristische Rohdichte der Brettlage ($\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$) 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 ($\varepsilon = 90^\circ$) wird implizit die charakteristische Rohdichte des Gesamtquerschnitts ($\rho_k = 400 \text{ kg/m}^3$) berücksichtigt.

$$R_{ax,s,k} = \frac{31 \cdot d^{0,8} \cdot \rho_{ef}^{0,9}}{1,5 \cdot \cos^2 \varepsilon + \sin^2 \varepsilon} \quad \text{in N} \quad (1)$$

mit

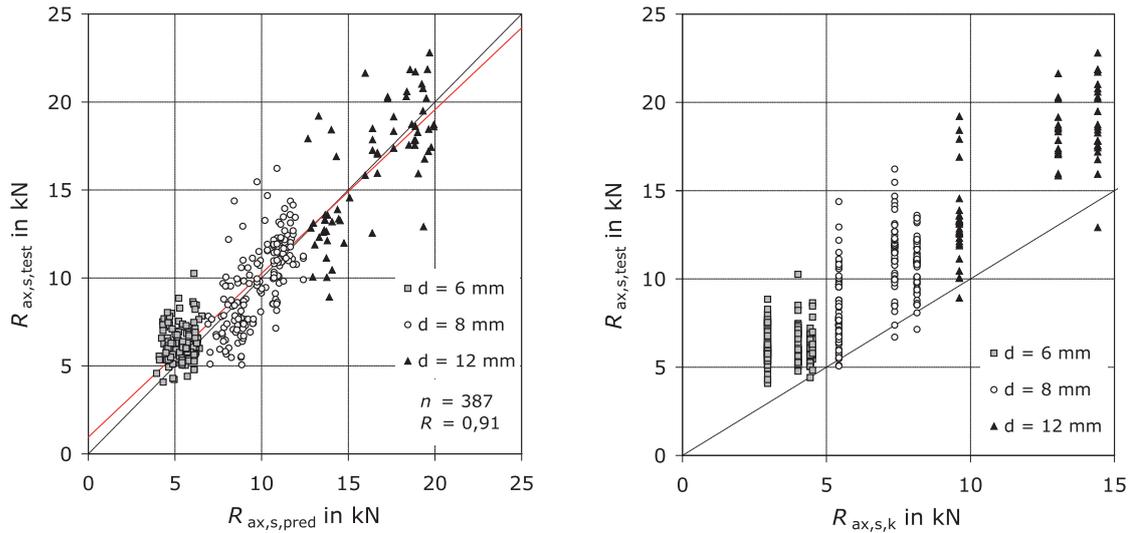
- d Nenndurchmesser der Schraube in mm
- ρ_{ef} wirksame Einschraubtiefe in mm
- ε für Verbindungen in den Seitenflächen: $\varepsilon = 90^\circ$
für Verbindungen in den Schmalflächen: $\varepsilon = 0^\circ$

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 (2) berechnet werden. Es ist sicherzustellen, dass die Schrauben jeweils in der Mitte der Brettlage angeordnet werden.

$$R_{ax,s,k} = 28 \cdot d^{0,8} \cdot \rho_{ef}^{0,9} \quad \text{in N} \quad (2)$$

mit

- d Nenndurchmesser der Schraube in mm
- ρ_{ef} wirksame Einschraubtiefe in mm



Ergänzend sind folgende Regelungen zu beachten:

- > Bei Schraubenverbindungen dürfen Einschraubtiefen $\ell_{ef} < 4 \cdot d$ 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

Bild 4: Gegenüberstellung von Ergebnissen der Herausziehversuche und Vorhersagewerten (links) bzw. charakteristischen Werten (rechts)

Bei Abschluss des Forschungsvorhabens am KIT [4] lagen über das Langzeitverhalten von faserparallel eingedrehten Schrauben nur wenige Erkenntnisse vor. Ergebnisse von Versuchen mit Prüfkörpern aus Vollholz ließen vermuten, dass bei einer dauerhaften Beanspruchung mit deutlich geringeren Tragfähigkeiten zu rechnen war. Daher wurde zur Übertragung von axialen Kräften in den Schmalflächen empfohlen, die Schrauben in die Brettlagen einzudrehen, deren Faserrichtung rechtwinklig zur Schraubenachse verläuft, vgl. [3], [5], [10], [11], [14].

2007 wurden am Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) Langzeitversuche mit faserparallel in den Schmalflächen von BSPH angeordneten Holzschrauben aufgebaut. Die Versuche wurden 2012 entlastet und die verbleibenden Prüfkörper nach einer Konditionierung im Normalklima im Kurzzeitversuch geprüft, siehe auch Abschnitt 6. Die Ergebnisse der Langzeitversuche bestätigten die Annahme einer sehr geringen Tragfähigkeit von faserparallel eingedrehten Schrauben unter Herausziehbeanspruchung. Daher sollten diese möglichst nicht ausgeführt oder nur bei sehr kurzen Beanspruchungsdauern angesetzt werden. Alternativ dazu können die Schrauben unter einem Winkel zur Faserrichtung eingedreht werden bzw. in entsprechende Brettlagen positioniert werden.

3.3 Herausziehtragfähigkeit von Sondernägeln

Der charakteristische Wert $R_{ax,n,k}$ des Herausziehwiderstandes von Sondernägeln (Rillennägel, Kammnägel, Schraubnägel) der Tragfähigkeitsklasse 3 gemäß DIN 1052:2008-12 [15] bzw. Tabelle NA.16 des Nationalen Anhangs zum Eurocode 5 [18] in den Seitenflächen von Brettsperrholz kann mit Gleichung (3) berechnet werden.

$$R_{ax,n,k} = 14 \cdot d^{0,6} \cdot \ell_{ef} \quad \text{in N} \quad (3)$$

mit

- d Nenndurchmesser des Sondernagels in mm
- ℓ_{ef} wirksame Einschlagtiefe in 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 (3) 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.

4 Beanspruchung rechtwinklig zur Stiftachse

4.1 Allgemeines zur Berechnung der Tragfähigkeit

Bei Beanspruchung auf Abscheren kann die Tragfähigkeit stiftförmiger Verbindungsmittel im Holzbau sehr zutreffend nach der Theorie von Johansen berechnet werden [7], [8]. Hierbei wird ein starr-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 1052:2008-12 [15] oder in Abschnitt 8.2 f. des Eurocode 5 [17] bzw. im Nationalen Anhang [18] angegeben. Für Verbindungsmittel, die auch 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 Einhängeneffektes erhöht werden [18]. Auch die Tragfähigkeit von Verbindungsmitteln in BSPH kann mit der Johansen-Theorie und unter Ausnutzung des Einhängeneffektes ermittelt werden. Die benötigten Lochleibungsfestigkeiten sowie die Besonderheiten bei der Berechnung der Tragfähigkeit werden folgend für Verbindungen in den Schmal- und Seitenflächen von Brettspertholz 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. In umfangreichen experimentellen Untersuchungen [4] wurde die Lochleibungsfestigkeit für die Schmalflächen von Brettspertholz untersucht. Hierbei mussten auch möglichen Positionen von Verbindungsmitteln bezüglich von Fugen und Nuten berücksichtigt werden. Die untersuchten Belastungsrichtungen sowie die möglichen Anordnungen von Verbindungsmitteln in den Schmalflächen sind in Bild 5 bis Bild 7 schematisch dargestellt.

Die Ergebnisse der Lochleibungsversuche zeigten, dass die maßgebende Lochleibungsfestigkeit bei parallel zur Faserrichtung eingebrachten Verbindungsmitteln erreicht wird, vgl. Bild 8 bis Bild 10. Dies entspricht der Prüfanordnung A1 (gem. Bild 6, 1.), Belastungsrichtung A), wobei Fugen gem. Bild 7 Berücksichtigung finden.

Unabhängig von der Anordnung des Verbindungsmittels in der Schmalfläche kann daher ein konservativer, charakteristischer Wert der Lochleibungsfestigkeit für Verbindungsmittel in nicht vorgebohrten BSPH gemäß Gleichung (4) berechnet werden.

$$f_{n,k} = 20 \cdot d^{-0,5} \quad \text{in N/mm}^2 \quad (4)$$

mit

d Nenndurchmesser des Verbindungsmittels in mm

Die Lochleibungsfestigkeit in den Schmalflächen von Brettspertholz bei Verbindungen mit Stabdübeln, Passbolzen und Bolzen kann mit Gleichung (5) ermittelt werden.

$$f_{n,k} = 9 \cdot (1 - 0,017 \cdot d) \quad \text{in N/mm}^2 \quad (5)$$

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.

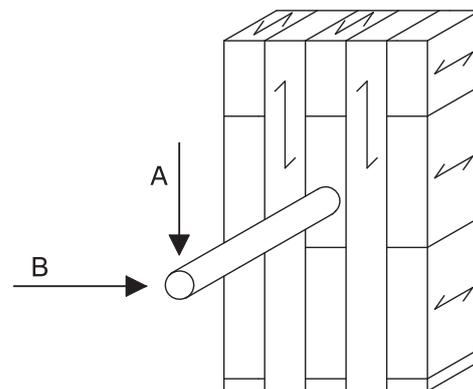


Bild 5: Belastungsrichtungen bei den Lochleibungsversuchen in den Schmalflächen

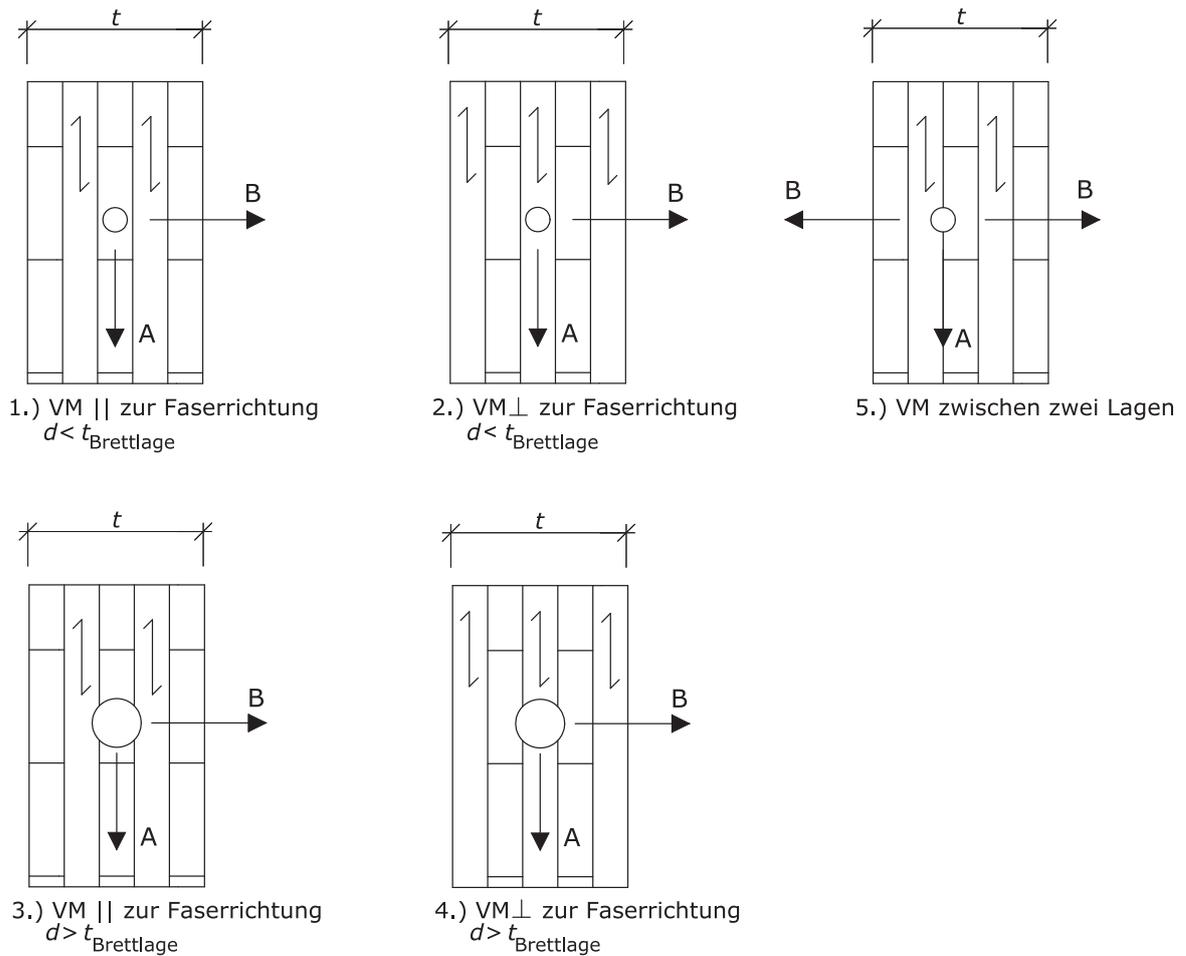


Bild 6: Anordnung der Verbindungsmittel bei den Lochleibungsversuchen in den Schmalflächen

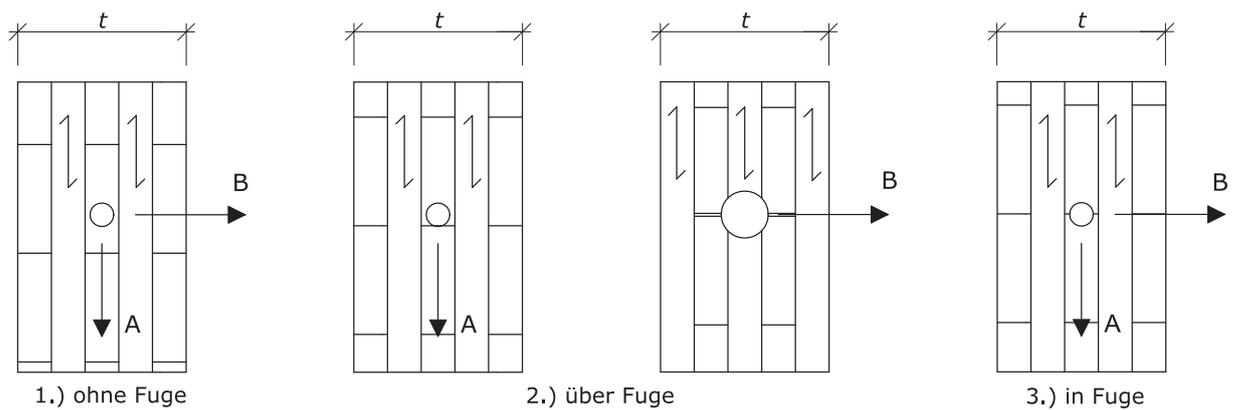


Bild 7: Berücksichtigung von Fugen bei den Lochleibungsversuchen in den Schmalflächen

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 1052:2008-12 [15] bzw. Absatz 8.5.1.1 (4) in DIN EN 1995-1-1:2010-12 [17].

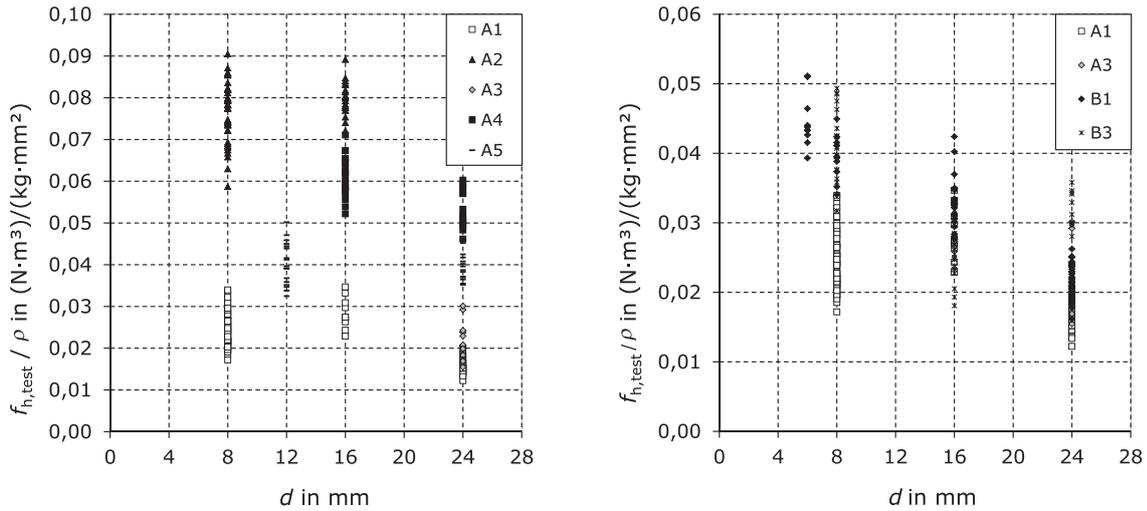


Bild 8: Normierte Lochleibungsfestigkeit ($f_{h, \text{test}} / \rho$) für Stabdübel in Abhängigkeit vom Durchmesser für die unterschiedlichen Anordnungen und Belastungsrichtungen

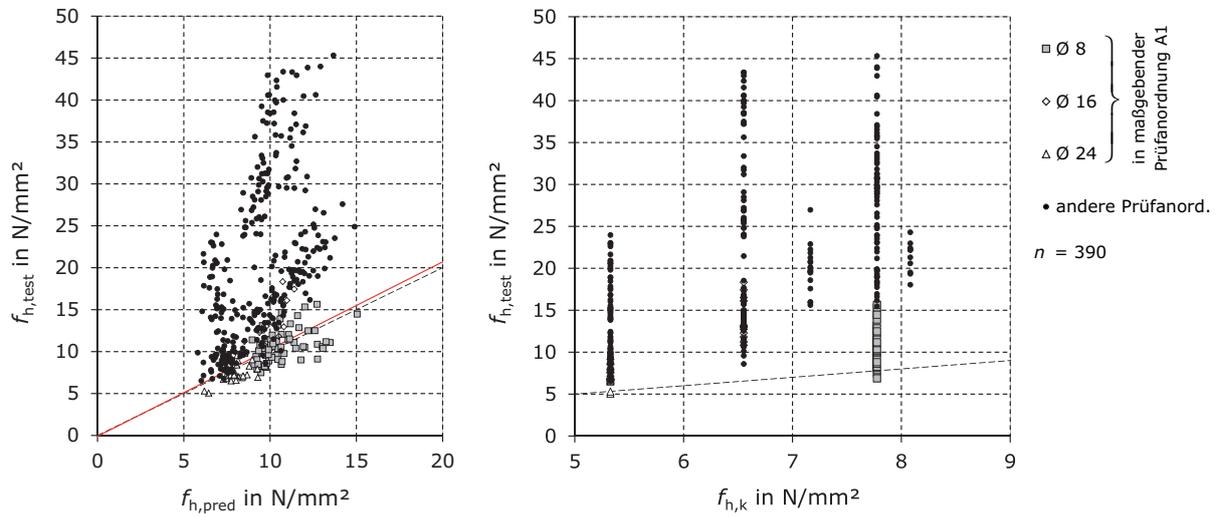


Bild 9: Lochleibungsfestigkeit für Stabdübel in den Schmalfläche, Gegenüberstellung von Versuchsergebnissen und Vorhersagewerten (links) sowie von Versuchsergebnissen und charakteristischen Werten (rechts)

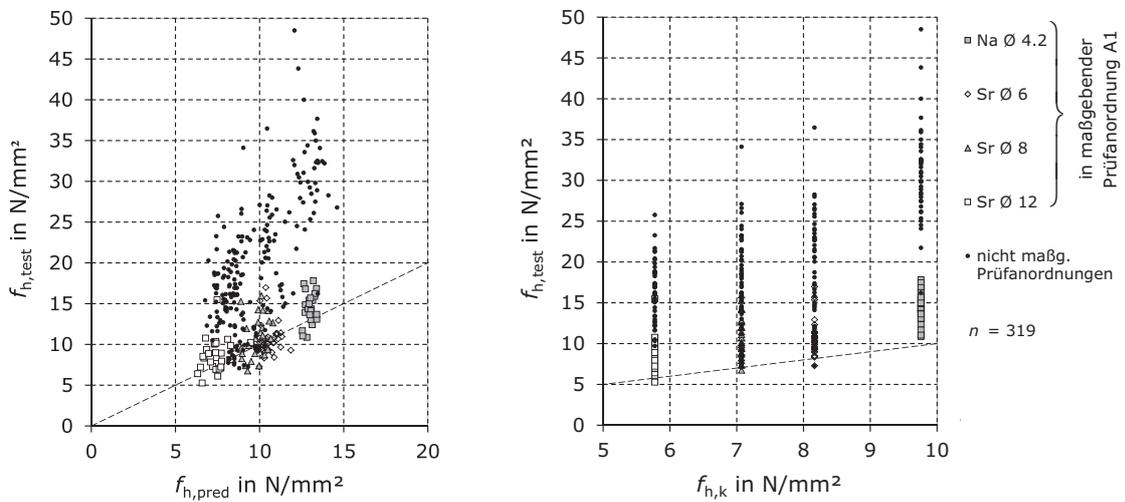


Bild 10: Lochleibungsfestigkeit für Verbindungsmittel in nicht vorgebohrten BSPH-Schmalflächen, Gegenüberstellung von Versuchsergebnissen und Vorhersagewerten (links) sowie von Versuchsergebnissen und charakteristischen Werten (rechts)

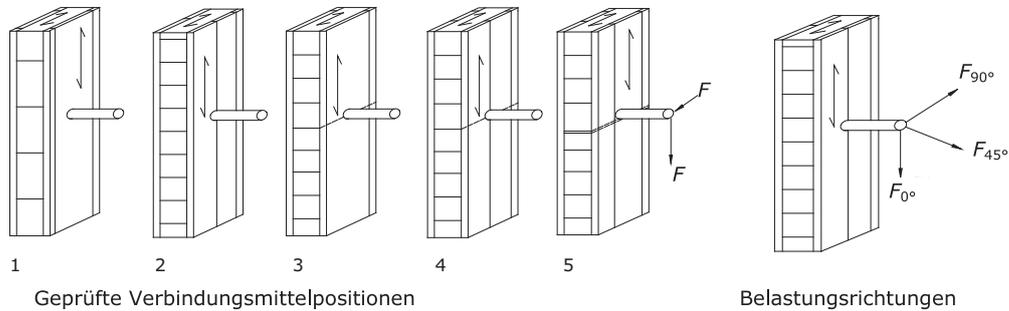


Bild 11: Versuchsanordnungen und Belastungsrichtungen für Lochleibungsversuche in den Seitenflächen

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 Krafrichtung 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. Bei der empirischen Herleitung dieser Lochleibungsfestigkeiten wurden ebenfalls die verschiedenen möglichen Positionen der Verbindungsmittel in Hinblick auf Brettstöße bzw. Fugen untersucht, vgl. Bild 11.

Die Lochleibungsfestigkeit für Schrauben und Nägel in den Seitenflächen von Brettsperrholz mit Brettlagendicken $t_i \leq 9$ mm kann mit Gleichung (6) ermittelt werden.

$$f_{h,k} = 60 \cdot d^{-0,5} \quad \text{in N/mm}^2 \quad (6)$$

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 1052:2008-12 [15] bzw. nach Abschnitt 8.3.1.1 in DIN EN 1995-1-1:2010-12 [17]). Für die Rohdichte ist hierbei der charakteristische Wert des Ausgangsmaterials einzusetzen. Ggf. ist der Winkel zwischen Krafrichtung 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:

$$f_{h,VgSr,k} = 0,019 \cdot \rho_{B,k}^{1,24} \cdot d^{-0,3} \quad \text{in N/mm}^2 \quad (7)$$

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 Krafrichtung 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. In Bild 12 sind exemplarisch die neun Versagensmechanismen für eine Stahlblech-BSPH-Verbindung bei einem dreilagigen BSPH-Aufbau dargestellt.

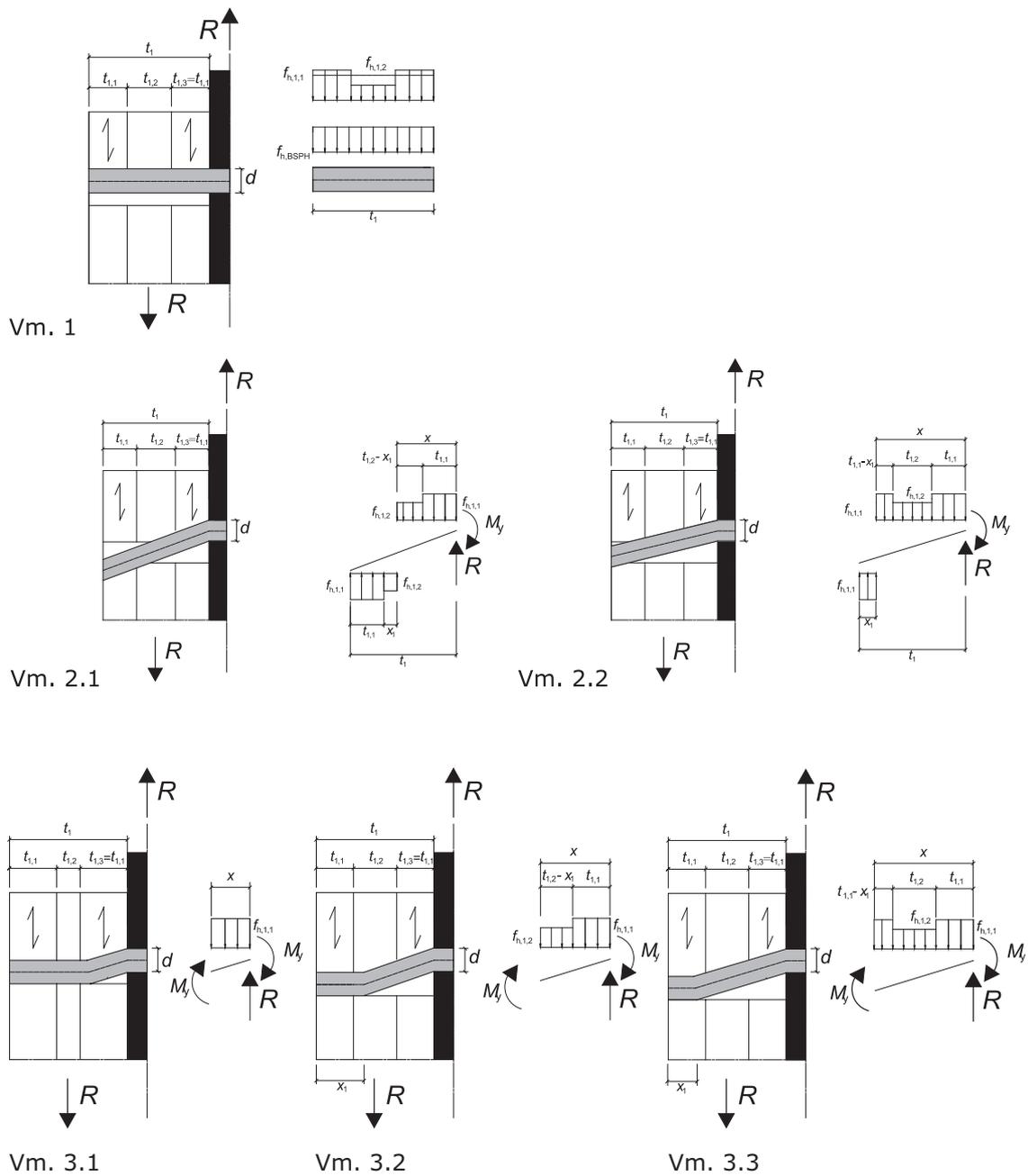


Bild 12: Versagensmechanismen 1, 2.1, 2.2 und 3.1 bis 3.3 der erweiterten Johansen-Theorie für eine Stahlblech-BSPH-Verbindung mit einem dreilagigen BSPH-Aufbau

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.

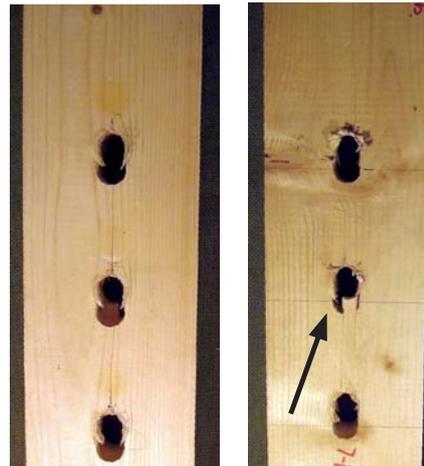
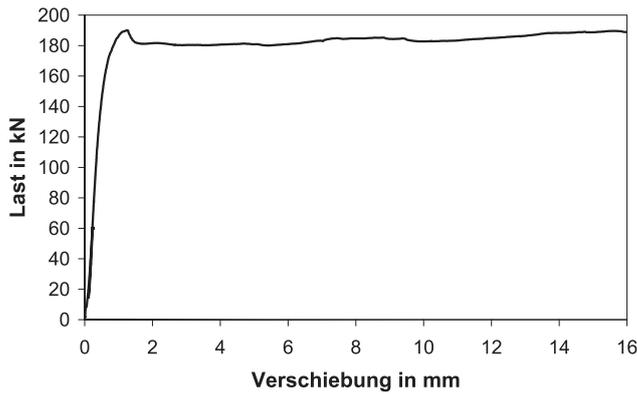


Bild 13: Last-Verschiebungsdiagramm für eine Stabdübelverbindung in den Seitenflächen (links), Versuchsbeobachtung: Blockscheren in der Decklage (rechts)

$$f_{h,k} = \frac{32 \cdot (1 - 0,015 \cdot d)}{1,1 \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad \text{in N/mm}^2 \quad (8)$$

mit

d Nenn Durchmesser 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

Alternativ kann ein konservativer Wert der Lochleibungsfestigkeit für Stabdübel mit $d < 20$ mm für viele der üblichen Brettsperrholzaufbauten ermittelt werden, indem die Lochleibungsfestigkeit der Decklagen verwendet wird. Diese kann wie für Vollholz nach 8.5.1.1 der EN 1995-1-1:2010-12 bestimmt werden. Hierbei ist die charakteristische Rohdichte des Ausgangsmaterials anzusetzen (i. d. R. 350 kg/m^3). Des Weiteren ist die Abminderung der Lochleibungsfestigkeit in Abhängigkeit des Winkels zwischen Kraft- und Faserrichtung der Decklagen zu berücksichtigen.

Durch die kreuzweise verklebten Brettlagen darf für Verbindungen in den Seitenflächen von Brettsperrholz von einer Querkraftverstärkung ausgegangen werden. Eine Tragfähigkeitsreduzierung aufgrund eines frühzeitigen, spröden Versagens durch Aufspalten tritt in der Regel nicht auf. Daher ist es nicht erforderlich die Anzahl hintereinander liegender Verbindungsmittel zu reduzieren, so dass für die wirksame Anzahl n_{ef} gilt:

$$n_{ef} = n \quad (10)$$

Bei Versuchen mit Stabdübelverbindungen in den Seitenflächen konnte teilweise ein Blockscheren in einzelnen Brettlagen beobachtet werden, siehe Bild 13. 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 Bild 13 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.

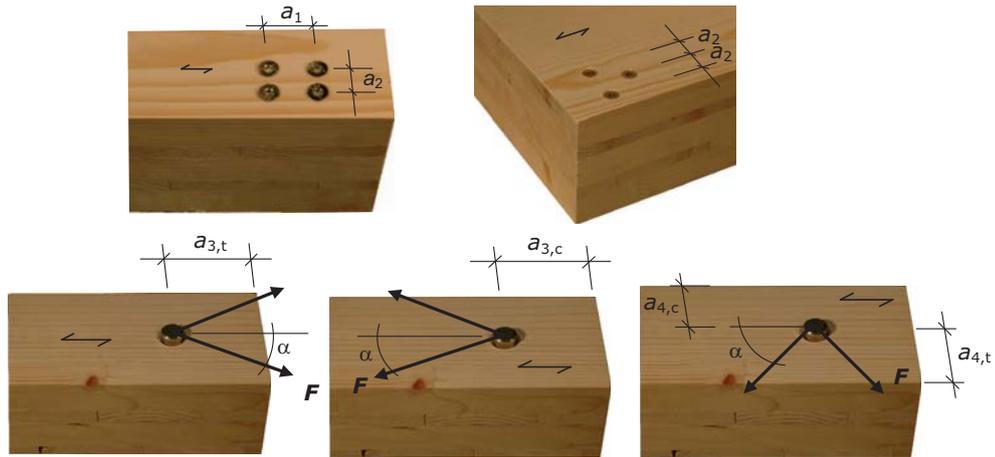


Bild 14: Definition der Abstände von Verbindungsmitteln in den Seitenflächen

5 Ausbildung von Anschlüssen

Für Herausziehbeanspruchungen sind bereits im 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 Tabelle 5 angegeben. Eine Definition der Abstände zeigt Bild 14. In Bild 15 sind die Abstände von Verbindungsmitteln in den Schmalflächen definiert. Die zugehörigen Mindestabstände sind in

Tabelle 5: Mindestabstände von Verbindungsmitteln (VM) in den Seitenflächen

VM	$a_{3,t}$	$a_{3,c}$	a_1	$a_{4,t}$	$a_{4,c}$	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	$(7 + 3 \cos \alpha) \cdot d$	$6 \cdot d$	$(3 + 3 \cos \alpha) \cdot d$	$(3 + 4 \sin \alpha) \cdot d$	$3 \cdot d$	$3 \cdot d$
Stabdübel Passbolzen	$5 \cdot d$	$4 \cdot d \cdot \sin \alpha$ (min. $3 \cdot d$)	$(3 + 2 \cos \alpha) \cdot d$	$3 \cdot d$	$3 \cdot d$	$3 \cdot d$
Bolzen	$5 \cdot d$	$4 \cdot d$	$(3 + 2 \cos \alpha) \cdot d$ (min. $4 \cdot d$)	$3 \cdot d$	$3 \cdot d$	$4 \cdot d$

α Winkel zwischen Krafrichtung und Faserrichtung der Decklagen

1) selbstbohrende Holzschrauben

Tabelle 6: Mindestabstände von Verbindungsmitteln in den Schmalflächen

VM	$a_{3,t}$	$a_{3,c}$	a_1 (in Plattenebene)	$a_{4,c}$	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

Tabelle 7: Mindestbrettlagendicken, Mindestdicken und Mindesteinbindetiefen für Verbindungen in den Schmalflächen

Verbindungsmittel	Mindestdicke der maßgebenden Brettlage t_j in mm	Mindestdicke des Brettsperrholzes t_{BSPH} in mm	Mindestholzdicke / Mindesteinbindetiefe der VM t_1, t_2 in mm
Schrauben	$d > 8$ mm: $3 \cdot d$ $d \leq 8$ mm: $2 \cdot d$	$10 \cdot d$	$10 \cdot d$
SDÜ, PBo, Bo	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

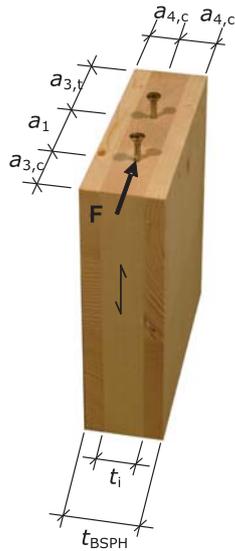


Bild 15: Definition der Abstände von Verbindungsmitteln in den Schmalflächen

Tabelle 6 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 Tabelle 7 zusammengestellt. Bei Belastung rechtwinklig zur Plattenebene ist darüber hinaus ein Aufspalten der Schmalflächen bzw. die Querzugbeanspruchung zu berücksichtigen.

6 Untersuchungen zum 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. Dies ist bei Anordnung der Verbindungsmittel in Brettlagen mit rechtwinklig zur Stiftachse orientierter Faserrichtung unproblematisch, soweit die erforderlichen Randbedingungen (Mindestabstände, Brettlagendicken, etc.) eingehalten sind.

Für faserparallel in Brettsperrholz angeordnete Verbindungsmittel waren bisher keine Untersuchungen zum Langzeitverhalten durchgeführt worden. Daher wurden im Rahmen des Forschungsprojekts 2007 Dauerstandversuche mit Schraubenverbindungen in den Schmalflächen von BSPH am Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen des KIT begonnen. Es wurden sowohl Herausziehversuche als auch Zug-Scherverversuche mit faserparallel in eine Brettlage eingedrehten, selbstbohrenden Holzschrauben durchgeführt, siehe Bild 16. Im Jahr 2012 wurden diese Prüfkörper entlastet und die

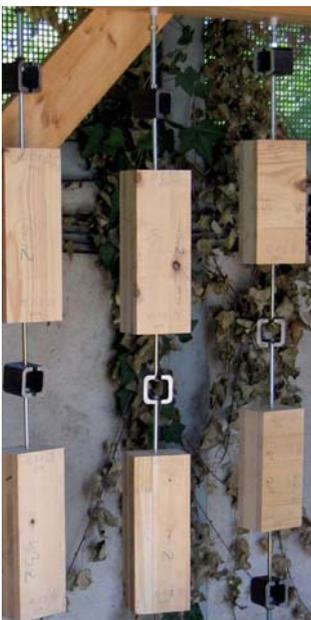
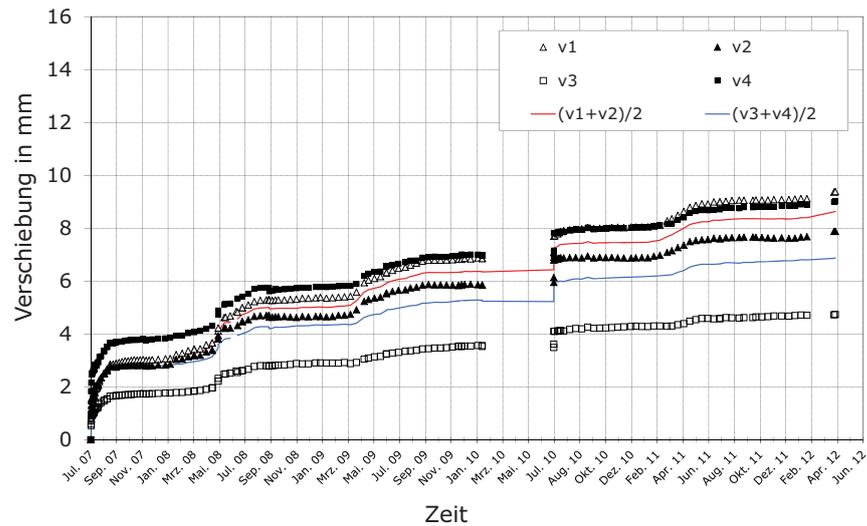


Bild 16: Langzeitversuche mit auf Herausziehen und mit auf Abscheren beanspruchten selbstbohrenden Holzschrauben

Bild 17: Relativverschiebungen zw. Seiten- und Mittelhölzern eines Prüfkörpers der Langzeitversuche mit faserparallel eingedrehten Schrauben in den Schmalflächen unter Abscherbeanspruchung (vier Messpunkte)



Resttragfähigkeit im Kurzzeitversuch ermittelt werden. Die Klimadaten wurden über den Versuchszeitraum von fünf Jahren kontinuierlich erfasst.

Die Versuche wurden im Freien unter einer Überdachung durchgeführt. Eine Bewitterung der Prüfkörper war somit ausgeschlossen, so dass die klimatischen Verhältnisse der Nutzungsklasse 2 gemäß DIN 1052:2008-12 [15] bzw. DIN EN 1995-1-1 [17] entsprachen. 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 war somit höher als für die Klasse der Lasteinwirkungsdauer ständig ($k_{mod} = 0,6$). Bezogen auf die Versuchsdauer von fünf Jahren kann so ein konservativer Wert für die Tragfähigkeit unter Langzeitbeanspruchung ermittelt werden. Die Relativverschiebungen zwischen Seiten- und Mittelhölzern der Zug-Scher-Prüfkörper wurden regelmäßig im Versuchszeitraum gemessen, wie es beispielhaft für einen Prüfkörper im Verschiebungs-Zeit-Diagramm in Bild 17 abgebildet ist.

Bei den auf Herausziehen beanspruchten Schrauben wurde die Belastung auf 70% des Bemessungswertes der Tragfähigkeit für einen Modifikationsbeiwert von $k_{mod} = 0,8$ reduziert. Im Versuchszeitraum wurde bei 19 der insgesamt 48 Prüfkörper ein Versagen durch Herausziehen der Schrauben beobachtet. Bei den verbleibenden Prüfkörpern zeigten sich im abschließenden Kurzzeitversuch überwiegend keine signifikanten Einflüsse auf die Tragfähigkeit. Die Beobachtungen in den Langzeitversuchen bestätigen die vermutete geringe Herausziehtragfähigkeit bei faserparallel angeordneten Schrauben bei längerer Lasteinwirkungsdauer.

Nach Abschluss der umfassenden Auswertung aller Dauerstandversuche werden die Ergebnisse der Langzeitversuche veröffentlicht.

7 Zusammenfassung und Schlussfolgerung

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 angegebenen Gleichungen berechnet werden.

Die Ergebnisse der Langzeitversuche bestätigen die eingeschränkte Verwendbarkeit von faserparallel eingedrehten Schrauben. Es wird weiterhin empfohlen, Schrauben in den Schmalflächen unter einem Winkel von deutlich mehr als 0° zur Faserrichtung anzuordnen (vgl. jeweilige Zulassung der Schraube) oder diese in Brettlagen einzubringen, deren Faserrichtung rechtwinklig zur Verbindungsmittelachse orientiert ist.

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 Querszugverstärkung 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. 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 Brettstärke 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 Querszugtragfähigkeit.

8 Literatur

- [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.; Schickhofer, G.; Traetta, G.; Uibel, T., *Verbindungstechnik – Tragfähigkeitsnachweise von stiftförmigen Verbindungsmitteln in BSP* (Kapitel E 4), BSPHandbuch, Holz-Massivbauweise in Brettsperrholz. G. Schickhofer (Hrsg.), Verlag d. Tech. Univ. Graz, Graz 2009, p. E-7 - E-22
- [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] Blaß, H. J.; Uibel, T.: *Bemessungsvorschläge für Verbindungsmittel in Brettsperrholz*. In: Bauen mit Holz, Band: 111, Heft: 2, Bruderverlag, Köln, 2009, S. 46 – 53
- [6] Brandner, R.: *Production and Technology of Cross Laminated Timber (CLT): A state-of-the-art Report*, Focus Solid Timber Solutions - European Conference on Cross Laminated Timber (CLT), 21./22.05.2013, TU Graz, COST Action FP1004, Tagungsband, R. Harris, A. Ringhofer, G. Schickhofer (Hrsg.), Published by The University of Bath, 2013, Seiten 3 - 36
- [7] 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
- [8] Johansen, K. W.: *Theory of timber connections*. International Association of bridge and structural Engineering, Bern, 1949, Seiten 249 - 262
- [9] Schickhofer, G.: *Brettsperrholz – Anwendungen und Konstruktionsdetails im mehrgeschossigen Wohn- und Kommunalbau*. In: Tagungsband: Ingenieurholzbau - Karlsruher Tage, Bruderverlag, Karlsruhe, 2002
- [10] Uibel, T.: *Brettsperrholz – Verbindungen mit mechanischen Verbindungsmitteln*, Tagungsband: Ingenieurholzbau - Karlsruher Tage 2007, Bruderverlag, Köln, 2007
- [11] Uibel, T.: *Bemessung stiftförmiger Verbindungsmittel in Brettsperrholz – Anwendung aktueller Forschungsergebnisse*, In: Praktische Anwendung von Massivholzplatten, 39. Fortbildungskurs der Schweizerischen Arbeitsgemeinschaft für Holzforschung (SAH) 2007. Tagungsband, SAH, Dübendorf, Schweiz, 2007, S. 183 – 192
- [12] 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
- [13] 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
- [14] Uibel, T.; Blaß, H. J.: *Joints with dowel Type Fasteners in CLT Structures*, Focus Solid Timber Solutions - European Conference on Cross Laminated Timber (CLT), 21./22.05.2013, TU Graz, COST Action FP1004, Tagungsband, R. Harris, A. Ringhofer, G. Schickhofer (Hrsg.), Published by The University of Bath, 2013, Seiten 119 - 134

- [15] DIN 1052:2008-12: Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken - Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau
- [16] DIN EN 1382:2000-03: Holzbauwerke - Prüfverfahren - Ausziehtragfähigkeit von Holzverbindungsmitteln; Deutsche Fassung EN 1382:1999
- [17] DIN EN 1995-1-1:2010-12: 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 + AC:2006 + A1:2008
- [18] DIN EN 1995-1-1/NA:2013-08: Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten - Teil 1-1: Allgemeines - Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau
- [19] DIN EN 16351 (Entwurf):2011-12: Holzbauwerke - Brettsper Holz - Anforderungen; Deutsche Fassung prEN 16351:2011



Dipl.-Ing. Michael Steilner

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Holzbau und Baukonstruktionen
Reinhard-Baumeister-Platz 1 | 76131 Karlsruhe
michael.steilner@kit.edu

- seit 2009 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktionen am Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
- 2009 Abschluss des Studiums Bauingenieurwesen an der Universität Karlsruhe (TH)
- 1975 geboren in Tübingen

Querdruckvorspannung von Holz mit Vollgewindeschrauben

Dipl.-Ing. Michael Steilner, Univ.-Prof. Dr.-Ing. Hans Joachim Blaß
Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Holzbau und Baukonstruktionen

Eine wirksame Methode zur Verstärkung von Bauteilen aus Brettschichtholz stellen selbstbohrende Holzschrauben mit Vollgewinde dar. In Bereichen mit großer Querkzugbeanspruchung, zum Beispiel bei Ausklinkungen und Durchbrüchen, werden die Querkzugkräfte durch die Schrauben aufgenommen. Die vollständige Verstärkungswirkung kann aber erst nach der Ausbildung kleiner Risse erreicht werden, da Schraube und Holz quer zur Faser gleichzeitig gedehnt werden. Werden die querkzuggefährdeten Bereiche durch eine Querdruckvorspannung überdrückt, können Risse minimiert oder sogar vollständig vermieden werden.

In einem Forschungsvorhaben wurden in Zusammenarbeit mit einem Schraubenhersteller Schrauben mit veränderlicher Gewindesteigung entwickelt, mit denen beim Einschrauben planmäßig Querdruckspannungen im Holz erzeugt werden können.

Am Beispiel eines gekrümmten Trägers aus Brettschichtholz kann gezeigt werden, dass durch Schrauben mit veränderlicher Gewindesteigung einerseits die Verstärkungswirkung von Vollgewindeschrauben verbessert werden kann und andererseits die Querkzugspannungen bei Schwindvorgängen reduziert werden können.

1 Einleitung

Seit einigen Jahren sind Querkzugverstärkungen von Holzbauteilen mit selbstbohrenden Holzschrauben Stand der Technik. Die Querkzugkräfte, die z.B. bei Ausklinkungen auftreten, werden zuverlässig durch Schrauben aufgenommen und verhindern damit ein unkontrolliertes Risswachstum im Holzbauteil. Die Wirkung einer Schraube kann dabei wie diejenige einer schlaffen Bewehrung im Beton betrachtet werden. Die Tragwirkung wird erst aktiviert, wenn ein kleiner Riss entstanden ist (vgl.[1]). Des Weiteren treten in hohen Querschnitten aus Brettschichtholz bei einer Änderung der Holzfeuchte große Verformungen quer zur Faserrichtung durch Quellen oder Schwinden auf. Diese führen auf Grund der hohen Steifigkeit der Schrauben zu Zwängungen. Problematisch im Hinblick auf die Rissbildung ist vor allem das Schwinden des Holzes, das in beheizten Hallen oder Räumen zwangsläufig stattfindet. Dabei entstehen entlang der Schraubenachse Querkzugspannungen im Holz, die zu Rissen führen können.

Eine Querdruckvorspannung soll die Tragwirkung der Schraube verbessern sowie die Entstehung von Schwindrissen verhindern, bzw. die Rissentstehung minimieren. Die durch die Schwindbehinderung auftretenden Querkzugspannungen werden im Bereich der Schraube durch die Vorspannung reduziert oder sogar überdrückt. Somit wird auch das Risiko der Rissbildung bei klimatischen Beanspruchungen verringert.

2 Vorspannen mit Schrauben

2.1 Allgemeines

Die Querdruckfestigkeit von Holz ist gering. Daher ist die potentielle Presskraft begrenzt, die zur Vorspannung des Querschnittes von außen aufgebracht werden kann. Des Weiteren breitet sich bei Teilflächenbelastungen die Spannung unter der Lasteinleitungsstelle aus und führt somit in der Mitte des Querschnittes zu wesentlich geringeren Spannungen als unter der Lasteinleitungsstelle.

Auf Grund dessen ist in einem Forschungsvorhaben zusammen mit einem Schraubenhersteller eine Schraube mit veränderlicher Gewindesteigung entwickelt worden. Die veränderliche Gewindesteigung erzeugt eine planmäßige Querdruckvorspannung im Holzquerschnitt.

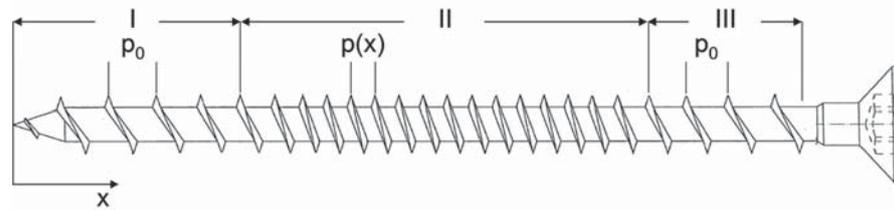


Bild 1: Schematische Darstellung einer Spanschraube mit veränderlicher Gewindesteigung. Bereich I und Bereich III mit konstanter Gewindesteigung p_0 . Bereich II mit veränderlicher Steigung $p(x)$

2.2 Schrauben mit veränderlicher Gewindesteigung

Bild 1 zeigt schematisch die Schraubengeometrie der Spanschraube. In Bereich I und III weist die Schraube eine konstante Gewindesteigung p_0 auf. Im Bereich II wird die Gewindesteigung funktional verändert. Das Gewinde hat im gesamten Bereich II eine geringere Steigung als im Bereich I und III.

Die Gewindesteigung entspricht der Strecke, die die Schraube bei einer Umdrehung in Achsrichtung zurücklegt. Wird eine Schraube mit konstanter Gewindesteigung eingedreht, legt jeder Bereich der Schraube bei einer Umdrehung denselben Weg zurück. Die Gewindesteigung bestimmt somit die Eindringgeschwindigkeit der Schraube. Wird eine Schraube mit unterschiedlichen Gewindesteigungen eingeschraubt, so erhält man unterschiedliche Eindringgeschwindigkeiten entlang der Schraubenachse. Dadurch entstehen Zwängungen im Holz und Relativverschiebungen zwischen Holz und Schraube. Diese führen zu einer Querdruckvorspannung im Holz. Die erzeugte Querdruckvorspannung ist dabei in erster Linie von der Veränderung der Gewindesteigung abhängig.

Die auftretenden Zwängungen im Holz dürfen einen kritischen Wert nicht überschreiten, da ansonsten die Holzmatrix zerstört wird und keine Kraftübertragung zwischen Schraube und Holz mehr möglich ist. Diese hängen von der Gewindegeometrie, der Rohdichte des Holzes und der Schraubenlage ab (vgl. [2]).

2.3 Querdruckvorspannung

Mit der Methode der Finiten Elemente kann die Vorspannungsverteilung im Holzquerschnitt in Folge einer Schraube mit veränderlicher Gewindesteigung in Abhängigkeit der Gewindegeometrie berechnet werden. In Bild 2 ist die Querdruckspannungsverteilung in einem Holzquerschnitt aufgrund einer Schraube mit veränderlicher Gewindesteigung abgebildet.

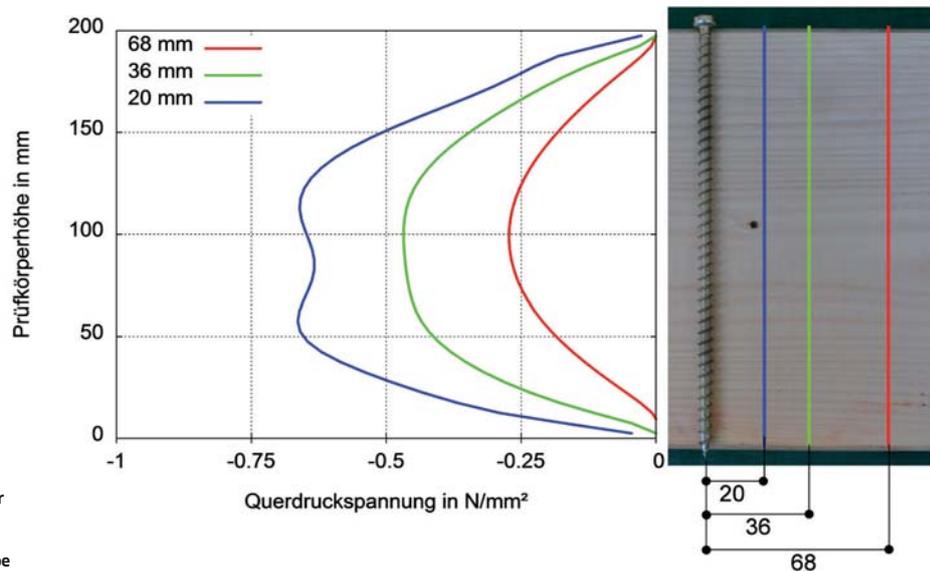


Bild 2: Berechnete Druckspannungen über die Prüfkörperhöhe in Abhängigkeit des Abstandes zur Schraube in Faserrichtung

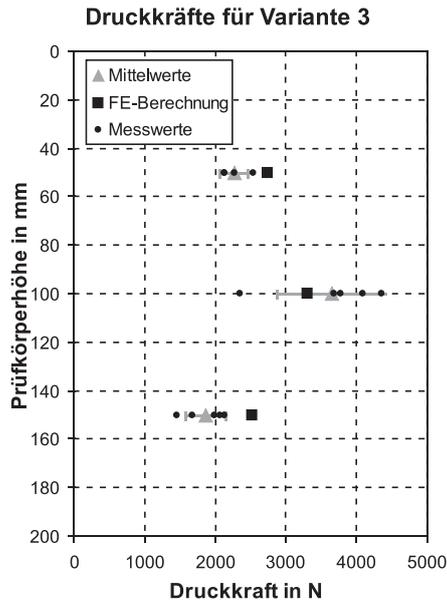


Bild 3: Ergebnisse einer Versuchsreihe

Zur Überprüfung der berechneten Querdruckspannungen wurden Versuche durchgeführt, bei in denen die erzeugten Querdruckkräfte in unterschiedlichen Prüfkörperschnitten gemessen wurden (vgl. [2]). Bild 3 zeigt die gute Übereinstimmung der berechneten und gemessenen Querdruckkräfte. Das Modell kann somit zu weiteren numerischen Untersuchungen verwendet werden.

3 Anwendungsbeispiel bei gekrümmten Trägern aus Brettschichtholz

3.1 Querzugverstärkung

In Bild 4 ist ein zweidimensionales Halbmodell eines gekrümmten, mit Vollgewindeschrauben verstärkten Brettschichtholzträgers abgebildet. Das Modell wurde in dem FEM-Programm ANSYS erstellt und als Verstärkungsmittel wurden Vollgewindeschrauben mit konstanter und mit veränderlicher Gewindesteigung verwendet.

Der modellierte Träger wird durch die Kraft F belastet. Die Kraft wird schrittweise erhöht bis in einem Holzelement die Querzugfestigkeit erreicht wird. Dieses Element wird als zerstört definiert und die Steifigkeiten auf einen sehr kleinen Wert gesetzt. Die Kraft wird anschließend weiter gesteigert bis bei insgesamt drei Elementen die Querzugfestigkeit erreicht wird. Dies bedeutet, dass ein Querzugriss entsteht.

Die Versagensstelle für beide Gewindearten liegt hierbei immer zwischen den Verbindungsmitteln. Die erreichten Maximalkräfte bei den durchgeführten Simulationen lagen für den Träger mit Schrauben mit konstanter Gewindesteigung bei ca. 210 kN und

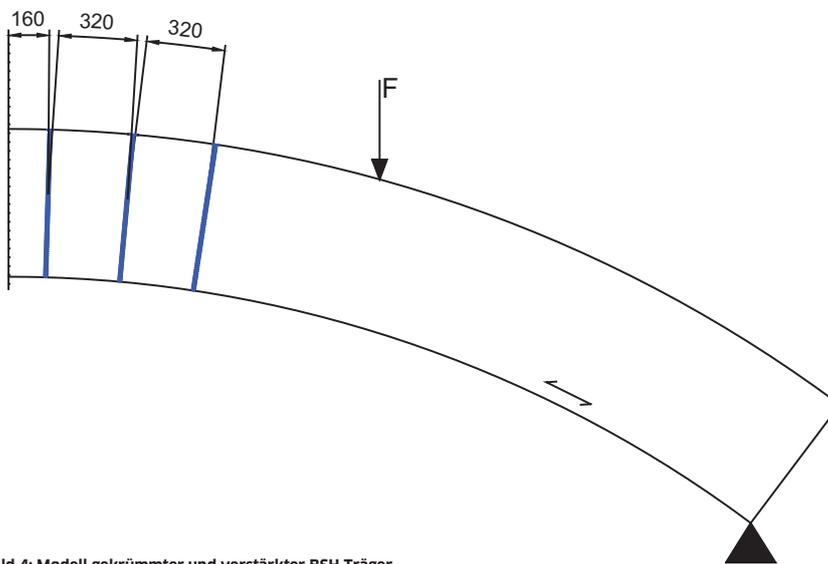
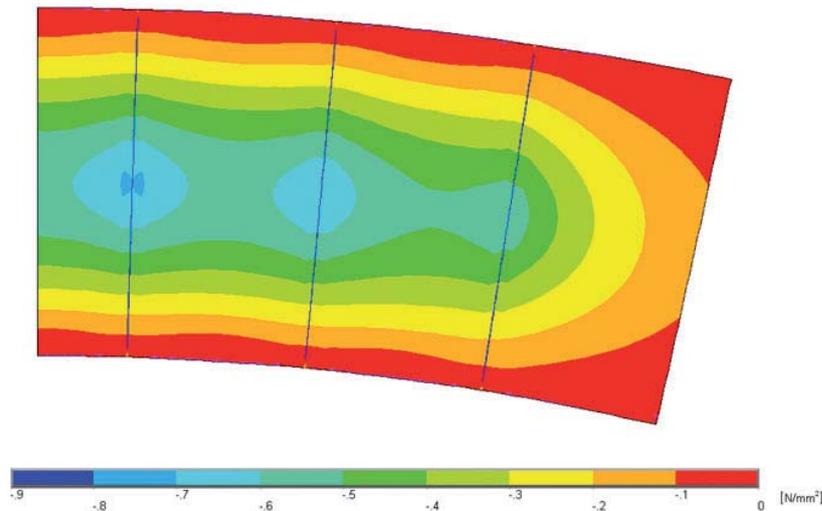


Bild 4: Modell gekrümmter und verstärkter BSH-Träger

Bild 5: Querdruckspannungsverteilung durch Schrauben mit veränderlicher Gewindesteigung



für den Träger mit Schrauben mit veränderlicher Gewindesteigung bei ca. 340 kN. Dies bedeutet eine rechnerische Laststeigerung von 62%.

3.2 Querzug durch Schwinden

In beheizten Innenräumen können im Winter durchaus Ausgleichsfeuchten von 8% Holzfeuchte auftreten. Geht man von einer Einbaufeuchte der Träger von 12% aus, dann entstehen in entsprechend hohen Querschnitten signifikante Schwindverformungen.

Die stählernen Verstärkungsmittel erfahren keine Schwindverformungen und die sehr viel höhere Steifigkeit der Verstärkungsmittel führt zu Querzugspannungen im Holz. Bei dem Modell des verstärkten Trägers mit Vollgewindeschrauben mit konstantem Gewinde treten bei einer Holzfeuchteänderung von 5% schon Querzugspannungen von 0,7 N/mm² auf.

In Bild 5 ist die Querdruckspannungsverteilung durch die Schrauben mit veränderlicher Gewindesteigung im unbelasteten Träger dargestellt. Die vorhandene Querdruckspannung wird beim Schwinden zuerst abgebaut, bevor Querzugspannungen entstehen können. So entsteht bei einer Holzfeuchteänderung von 5% eine Querzugspannung von deutlich unter 0,2 N/mm².

In Bild 6 ist die Querzugspannung über den Trägerquerschnitt bei einer Holzfeuchteänderung von 5% dargestellt. Deutlich ist der Unterschied der Querzugspannungen im Holzquerschnitt zu erkennen.

4 Zusammenfassung

Schrauben mit veränderlicher Gewindesteigung können im Holz Querdruckspannungen erzeugen, dadurch kann das Auftreten von Rissen bei querzugbeanspruchten Bauteilen reduziert werden. Des Weiteren können die Querdruckvorspannungen die Entstehung von Rissen aufgrund klimatischer Veränderungen verringern oder sogar ganz verhindern.

Liegen die Gewindeänderungen unterhalb der kritischen Grenze, bei der die Holzmatrix zerstört wird, ist die axiale Tragfähigkeit der Schraube kaum beeinträchtigt. Daher sind Schrauben mit veränderlicher Gewindesteigung sehr gut als Verstärkungsmittel für Brett-schichtholzträger mit Querzugbeanspruchung geeignet.

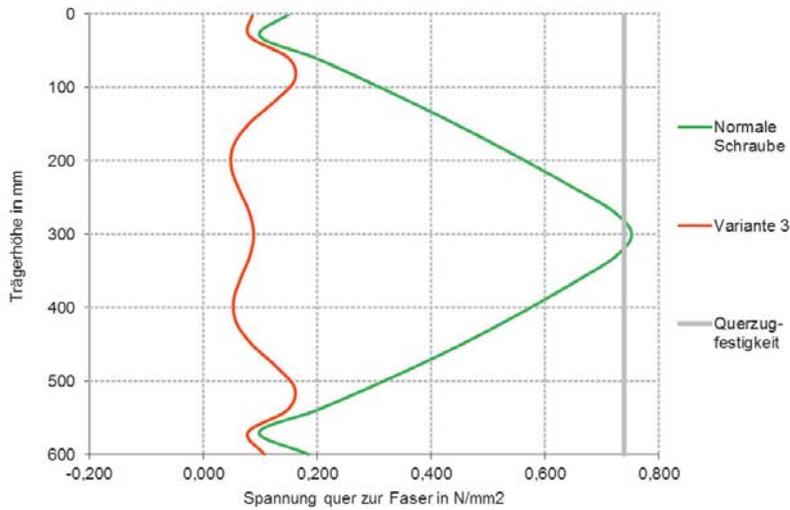


Bild 6: Querzugspannungen entlang des Verstärkungsmittels für Schrauben mit konstanter Gewindesteigung und veränderlicher Gewindesteigung bei einer Holzfeuchteänderung um 5%

5 Literatur

- [1] Bejtka, I.: *Verstärkungen von Bauteilen aus Holz mit Vollgewindeschrauben*. Karlsruher Berichte zum Ingenieurholzbau, Band 2, Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen (Hrsg.), Universitätsverlag Karlsruhe, 2005
- [2] Steilner, M.: *Selbstbohrende Holzschrauben mit veränderlicher Gewindesteigung*, Doktorandenkolloquium, Holzbau Forschung und Praxis, Institut für Konstruktion und Entwurf (Hrsg.), Universität Stuttgart, 2012, S 53-60



Dipl.-Ing. (FH) Tobias Götz

Geschäftsführer

Pirmin Jung Deutschland GmbH
Entenweiherweg 12 | 53489 Sinzig
tgoetz@pirminjung.de

- seit 2010 Geschäftsführer und Mitinhaber der Pirmin Jung Deutschland GmbH
- 2006 - 2010 Projektingenieur Pirmin Jung AG (CH - Rain)
- 2005 - 2006 Kompetenzzentrum Biberach
- 2001 - 2005 Ingenieursstudium des Bauingenieurwesens mit der Fachrichtung Holzbau an der FH Hildesheim
- 1998 - 2001 Wanderschaft als Zimmermann
- 1996 - 1998 Ausbildung zum Zimmermann
- 1995 - 1996 Zivildienst Caritas Fulda
- 1995 Abitur am Domgymnasium in Fulda
- 1975 Geboren in Fulda

Moderner Holzbau – auf dem Weg nach oben!

Dipl.-Ing. (FH) Tobias Götz, Pirmin Jung Deutschland GmbH

Der mehrgeschossige Holzbau hat in den letzten 20 Jahren seine Renaissance erlebt. In den alpenländischen Republiken Österreich und Schweiz werden seit vielen Jahren bemerkenswerte mehrgeschossige Holzbauten in den Schwerpunktbereichen des Wohnungsbaus, des Industrie- und Gewerbebaus sowie des Verwaltungs- und Schulbaus errichtet.

Wenngleich in Deutschland diese Selbstverständlichkeit mit dem Baustoff Holz noch lange nicht so weit verbreitet ist, gibt es mittlerweile auch hierzulande beachtenswerte Beispiele für außergewöhnliche, mehrgeschossige Bauwerke.

1 Einleitung

Der mehrgeschossige Holzbau ist auf dem Weg nach oben. Wurden in den letzten Jahrzehnten fast ausschließlich Einfamilienhäuser mit maximal zwei Geschossen erstellt, so sind in den letzten Jahren Holzgebäude bis zur Gebäudeklasse 5 mit bis zu 8 Geschossen entstanden. Ich zeige Ihnen Projekte, die in unserem Büro mitgestaltet wurden und alle Anforderungen an modernes Bauen erfüllen im Hinblick auf Statik, Bauphysik und Kosten.

Der Holzbau hat viele Kackpunkte – bei richtiger Organisation und bei Beauftragung eines erfahrenen Holzbauingenieurs werden diese Punkte sinnvoll und kosteneffizient gelöst.

2 Projektierung von Holzbauten

2.1 Anforderungen

Heutige Holzbauten müssen analog zum Massivbau alle Anforderungen gemäß Norm im Hinblick auf die Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit sowie im Hinblick auf die Bauphysik erfüllen:

- > Steife Geschossdecken, die beim Gehen nicht Schwingen.
- > Wände, die sehr gut wärme- und luftdicht sind.
- > Luft- und Trittschalldämmwerte analog des Massivbaus.
- > Rissfreie Wand- und Deckenkonstruktionen.
- > Dauerhafte Fassaden und Anschlussbauteile.

Zur Erfüllung dieser Anforderungen ist die zweckmäßige Organisation des Planerteams absolut entscheidend.

2.2 Vorgehensweise

Die Dienstleistung des Holzbauingenieurs hat wenig mit der Definition der Leistung des Tragwerkplaners gemäß HOAI zu tun. Holzbauten verlangen in der Planung ein anderes Vorgehen, als es bei Massivbauten üblich ist.

Neben der Statik werden seitens des Holzbauingenieurs nach unserer Definition auch alle konstruktiven Belange bearbeitet. Er ist für die wärme-, schall- und brandschutzoptimierten Elementaufbauten und Detaillösungen verantwortlich. Der Bauphysiker und der Brandschutzingenieur bestätigen, dass die vom Holzbauingenieur geplanten Konstruktionen in Ordnung sind. Ein mehrgeschossiger Holzbau verlangt, dass der Holzbauingenieur auch für die Qualitätssicherung in der Ausführung auf der Baustelle verantwortlich ist.

Bevor mit der Planung begonnen wird, müssen die Anforderungen an den Holzbau klar definiert sein. Um dies für alle Beteiligten (Bauherr, Architekt, Fachplaner und

Projekttablauf mehrgeschossiger Holzbauten

Projekt-Merkblatt intern und extern

- Diese Merkblatt soll dazu beitragen, dass die Planung von Mehrfamilienhäusern möglichst reibungslos und koordiniert abgewickelt werden kann. Im Folgenden ist der Idealbalauf dargestellt. Je nach Projekt kann es sinnvoll sein, davon abzuweichen.

	Bauherr	Architekt	Bauleiter	BS-Ingenieur	Holzbauingenieur	Massbauingenieur	Elektro-Planer	HLK-Planer	Prüfingenieur	Bauphysiker	Holzbauer	Dokument	
LP 1/2: Vorbereitung + Planung													
												Projektstudie (Grundrisse / Ansichten / Schnitt)	Projektpläne
												Kontaktaufnahme mit Holzbaug: Tel. / Mail / Schriftlich	
												Grundsatzabklärungen: Holzbau sinnvoll/ nicht sinnvoll bzw. möglich/ unmöglich Kriterien: Normen, Vorschriften, Kosten, Nutzung, ... Schallschutz - Lärmschutz Erdbebengefährdung (Baugrund, Zone, Bauwerksklasse)	
												Besichtigen Referenzobjekte / Kommunikation der Möglichkeiten	
												Entscheid: Objekt in Holz bauen	
												Submission und Vergabe Fachplaner	Vertrag
												Kostenschätzung nach DIN 276	vorläufige Kostenschätzung
LP 3: Entwurfsplanung													
												Entwurfspläne Architekt	Pläne 1:100
												Organisation Planungsteam: Meetingzyklus, Datenaustausch, Termine,...	
												Terminplan	
												Toleranzen im Massivbau festlegen	Betonbau analog DIN 18203-1
												Provisorische Nutzungsvereinbarung Holzbau	prov. Nutzungsvereinbarung
												Brandschutzkonzeptpläne / evtl. objektspezifisches Konzept	prov. Brandschutzkonzept
												Information der beteiligten Fachplaner zum Holzsystembau	Details und Merkblätter: HBV, Installationen,
												Grundkonzept kontrollierte Lüftung und Installationen	Lüftungskonzepte
												Tragwerkskonzept / Vorstatik / Lastenübergabeplan	prov. Lastenübergabeplan
												Berücksichtigung d. Anforderungen d. Erdbebensicherheit: Belastungen, Baugrundverhältnisse, Aussteifungskonzept	prov. Lastenübergabeplan Details Entwurfsplanung
												Elementaufbauten / Details	Details Entwurfsplanung
												Kostenberechnung Holzbau	Kostenberechnung
												Konzept und Art der Fassadenbekleidung erarbeiten	prov. Fassadenkonzept
												Kostenberechnung gesamt	Kostenberechnung
												Bereinigen Architektenpläne (für Genehmigungsplanung)	Pläne 1:100
												Terminplan Bauablauf erstellen	Terminplanung
LP 4: Genehmigungsplanung													
												Genehmigungspläne Architekt	Pläne 1:100
												Nutzungsvereinbarung bereinigen	Nutzungsvereinbarung
												Tragwerkskonzept / Elementaufbauten / Details	Details Genehmigungsplanung
												Lastübergabeplan für Massivbauingenieur	Lastübergabeplan
												Definitive Brandschutzkonzeptpläne	Brandschutzbericht
												Überprüfung Schallschutz/Akustik durch Bauphysiker	Schallschutzbericht
												Prüffähige statische Bemessung: holzbaurelevante Details eventuelle Bauzustände	prüffähige Statik inkl. Lastübergabeplan
												Erdbebensicherung, falls Nachweise erforderlich: vereinfachter, rechnerischer Nachweis oder genauer rechnerischer Nachweis	
												Provisorische Ausführungspläne Haustechnik	Aussparungs- und Einlagepläne
												Material und Ausführung der Fassadenbekleidung festlegen	Fassadenkonzept
												Bereinigen relevanten Holzbaudetails	Detailkatalog
												Provisorische Ausführungspläne Architekt (1:50)	Pläne 1:50
												Ausarbeitung des provisorischen Terminplanes	Terminplan
												Kontroll- und Unterhaltsplan Fassade ausarbeiten	Kontroll- u. Unterhaltsplan Fassade
												Kontrollplan für die Ausführung des Holzbaues ausarbeiten	Kontrollplan Ausführung
												Freigabe Statistik	1. Prüfbericht Prüfstatiker

Bild 1: Organisatorische Vorgehensweise

Holzbauingenieur) zu klären, wird im Rahmen der Entwurfsplanung eine Nutzungsvereinbarung erarbeitet. Darin werden Aussagen getroffen zu:

- > Einwirkungen (Nutzlasten).
- > Schallschutz (Erhöhte Anforderungen).
- > Wärmeschutz (Passivhaus, KfW, ...).
- > Organisation Brandschutz (Ersteller Brandschutzkonzept; Verantwortlichkeit Baustelle).

Das Tragsystem und die Grundsatz-Elementaufbauten mit den dazugehörigen Details sind im Rahmen der Vor-/Entwurfsplanung ausführlich zu definieren.

Um dies zu erarbeiten, müssen die Grundkonzepte der Haustechnik (Art der Heizverteilung, Lüftungskonzept, Lage der Sanitärinstallationen und der Sanitärelemente) vorliegen!

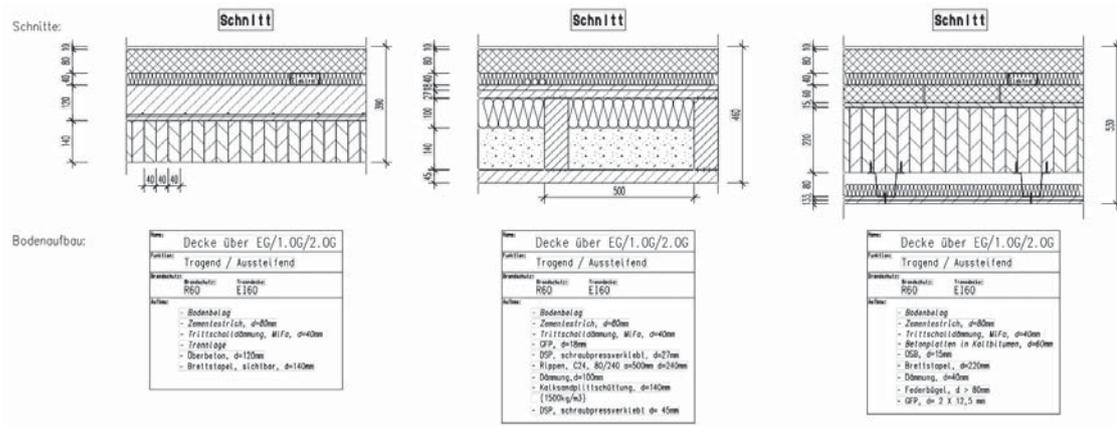


Bild 2: Verschiedene Deckenaufbauten

2.2.1 Statik / Tragwerkskonzept / Detailplanung

Das Grundkonzept entscheidet über die Einfachheit und über die Kosten des Holzbaues.

Der mehrgeschossige Holzbau sollte folgenden Grundsätzen folgen:

- > Nach Möglichkeit alle tragenden Stützen übereinander stellen
- > Gleichmäßige Tragachsen (auf Innen- und Aussenwänden)
- > Spannweiten der Decken eher größer; Spannweiten der Unterzüge eher kleiner
- > In etwa einheitliche Spannweiten innerhalb der Decken und der Unterzüge
- > Frühzeitiges Definieren der Leitdetails im Mst.1:10 im Rahmen der Vorplanung

Dank solcher frühzeitigen Konzeptarbeiten und Konzeptentscheiden sind mehrgeschossige Holzbau-Projekte in wirtschaftlicher Art und Weise für Architekten und Bauherren möglich.

2.2.2 Brandschutz

Durch die Einführung der Musterbauordnung und Muster-Holzbaurichtlinie wurden die gesetzlichen Grundlagen des mehrgeschossigen Bauens mit Holz gelegt.

Durch die Erstellung eines professionellen Brandschutzkonzeptes können unter Zuhilfenahme geeigneter Kompensationsmaßnahmen holzbautechnisch wirtschaftliche Wand- und Deckenaufbauten erzielt werden.

Erst wenn die Anforderungen an den Brandschutz geklärt sind, kann die wirkliche Konzeptarbeit erledigt werden.

2.2.3 Schallschutz

Hinsichtlich des Schallschutzes können heute Luft- und Trittschalldämm-Werte erreicht werden, wie sie bisher nur vom Massivbau bekannt waren. Für diesen Aspekt sind die Zuständigkeiten und insbesondere die Anforderungen frühzeitig zu regeln. Die Elementaufbauten können erst genau definiert werden, wenn die Anforderungen geklärt sind. Neben der Planung ist auch die Sicherstellung der Qualität der Ausführung für den Erfolg bezüglich des Schallschutzes entscheidend. Kleinigkeiten entscheiden an dieser Stelle über die erreichbaren Schalldämm-Werte. Als Beispiel sei an dieser Stelle der Einsatz der „richtigen“ Trittschalldämmung bei Wohnungstrenndecken genannt. Der Holzbau benötigt anders als der Massivbau sehr weiche Trittschalldämmungen mit einer maximalen dynamischen Steifigkeit $S' \leq 10 \text{ MN/m}^3$.

3 Konstruktive Aufbauten

3.1 Decken

Folgende Deckensysteme haben sich bezüglich Schallschutz (insbesondere bezüglich der Schalldämmung im Tieftonbereich) und der Kosten im mehrgeschossigen Holzbau bewährt:

- > Holz-Beton-Verbunddecken: Vollflächige Holzschicht mit mindestens 120 mm Überbeton.
- > Hohlkasten mit mindestens 100 mm Kalksplitt als Kammerfüllung.
- > Massivholzdecke mit aufgelegter Beschwerung aus Zementplatten.

In ca. 90% aller von uns projektierten mehrgeschossigen Holzbauten wurden Holz-Beton-Verbunddecken eingesetzt. Der Einsatz von Beton bietet aus brandschutz- und schalltechnischer Sicht hervorragende Eigenschaften und ist sehr wirtschaftlich.



Bild 3: WK 65b
Berlin – Architektur
Kaden&Klingbeil

3.2 Außenwände

Die Mehrzahl der von uns projektierten mehrgeschossigen Holzbauten sind konventionelle Holztafelbauwerke. Bis zur Gebäudeklasse 4 lassen sich Holztafeln kostengünstig als hochfeuerhemmende Bauteile herstellen und bieten vor allem unseren handwerklich aufgestellten Zimmereibetrieben eine gute Möglichkeit der Wertschöpfung.

Für die Gebäude in der Gebäudeklasse 5 und darüber hinaus ist der Einsatz von Brettsperrholz- oder Vollholzelementen aus brandschutztechnischer Sicht zwingend notwendig. Holztafelelemente lassen sich wegen möglichen Hohlraumbränden nicht mehr einsetzen. Die Brettsperrholzbauweise bietet aufgrund der massiven Wände ausgezeichnete Tragfähigkeiten und ermöglicht außergewöhnliche Bauwerke.

Unseren Erfahrungen nach zeigt sich beim Einsatz von Brettsperrholz- oder Vollholzwänden im Vergleich mit Holztafelwänden fast immer ein Preisvorteil für den konventionellen Holztafelbau.

Die Entscheidung, welches System eingesetzt werden soll, muss frühzeitig zwischen dem Holzbauingenieur und dem Architekten abgeklärt werden und steht in engem Zusammenhang der gestellten Bauaufgabe.

4 Zusammenfassung

Die Zukunft wird zeigen, welchen Stellenwert und welche Akzeptanz der mehrgeschossige Holzbau in Deutschland erreichen wird. Die Vorzeichen und das Bewusstsein für „nachhaltiges“ Bauen sind sehr gut, eine breite Masse möchte mit dem „Öko-Baustoff“ Holz bauen. Aus unserer Sicht ist das Marktpotenzial im mehrgeschossigen Bauen groß. Vor allem im urbanen Bereich steigt die Nachfrage nach drei- bis fünfgeschossigen Gebäuden an. Ferner bietet der Markt der Sanierungen und Aufstockungen in unseren Städten ein ideales Feld für den Holzbau.

Die Herausforderungen des Holzbaus liegen in der Beschaffung des Rohstoffes Holz selbst sowie in der Rekrutierung geeigneter Fachkräfte. Sollten beide Rahmenbedingungen geschaffen werden können, steht die Holzbaubranche vor einer guten Zukunft!



**Bild 4: C 13 Berlin
- Architektur
Kaden&Klingbeil**

Echte Werte schaffen. III



III DFH

Deutsche Fertighaus Holding AG

massahaus.
Entdecke dich neu ■ ■ ■

OKAL
Zuhause MIT
SYSTEM

allkauf 
DAS HAUS ZUM LEBEN.

**MEIN
STEIN
HAUS**
Maximale Qualität.

Hauskonzepte für alle Ansprüche. Ob modernes Ausbauhaus oder schlüsselfertige Villa – energieeffizientes und nachhaltiges Wohnen ist bei den vier starken Marken von Deutschlands größtem Fertighaushersteller garantiert. Als solide Unternehmensgruppe bietet die DFH ihren Kunden maximale Sicherheit und eine gleichbleibende hohe Qualität.

www.dfhag.de



**Holzkompetenzzentrum
Rheinland**

Landesbetrieb Wald und Holz
Nordrhein-Westfalen



gefördert durch:



Die Landesregierung
Nordrhein-Westfalen



EUROPÄISCHE UNION
Investition in unsere Zukunft
Europäischer Fonds
für regionale Entwicklung

AGEPAN[®] SYSTEM



CONRADS
KOMPETENT FÜR HALLEN

HOLZLEIMBAU
DERIX

Dietrich's



HECO
SCHRAUBEN

Hundegger
Innovationen für den Holzbau

LIGNO TREND[®]
Für eine nachhaltige Holz-Baukultur.

MetsäWood



SIMPSON
Strong-Tie[®]

SFS intec

SPAX[®]

WÜRTH

Impressum

Tagungsband der Aachener Holzbautagung 2013
am 5. und 6. September an der FH Aachen

Herausgeber

Prof. Dr.-Ing. Thomas Uibel
Prof. Dr.-Ing. Leif Arne Peterson

Druck | printproduction, Aachen

Auflage | 150 Exemplare

ISSN 2197-4489

Gestaltung und Satz | Susanne Hellebrand
Stabsstelle für Presse-, Öffentlichkeitsarbeit und
Marketing

Bildnachweis

Foto Deckblatt | FH Aachen,
Prof. Dr.-Ing. Leif Arne Peterson

Weitere Bilder und Grafiken wurden jeweils von
den Autoren der Exposés selbst bereitgestellt. Die
Verantwortung für die Inhalte sowie die bereit-
gestellten Bilder und Grafiken liegt bei den Autoren
der einzelnen Beiträge.

Aachen, August 2013



HAWtech
HochschulAllianz für
Angewandte Wissenschaften

ISSN 2197-4489

