



Aachener Holzbautagung 2017 7. und 8. September an der FH Aachen

Tagungsband
Aachener
Holzbautagung 2017
7. und 8. September
an der FH Aachen

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

Inhalt

Programm	7
Vorwort	8
Prof. Dipl.-Bauing. ETH/SIA Hermann Blumer Mit Holz an die Grenze des Machbaren	10
Dipl.-Forstwirtin (Univ.)/Forstassessorin Annette Köhne-Dolcinelli Der Cluster Forst und Holz in NRW	16
Tom Kaden Urbaner Holzbau	26
Prof. Dr.-Ing. Leif A. Peterson, Prof. Dr.-Ing. Thilo Röth, Prof. Dr.-Ing. Thomas Uibel Holzwerkstoffe in Karosseriestrukturen	34
AFH-Studienpreis 2017	
Christian Bedbur, B.Eng. Untersuchungen zur Ermittlung der Spaltkraft beim Eindrehen von selbstbohrenden Holzschrauben	48
Jonas Thull, M.Eng. Statische und ökobilanzielle Untersuchung von Verbindungsmittelvarianten für ein neues Wandsystem	50
Martin Danzer, M.Sc. Exzentrisch positionierte und benachbarte Durchbrüche in BSH-Trägern	62
Dipl.-Ing. Frank Brühl, Univ.-Prof. Dr.-Ing. Ulrike Kuhlmann Bewertung und Modellierung von duktilen Anschlüssen im Holzbau	72
Prof. PD Dr.-Ing. habil. Jörg Schänzlin Bauwerksprüfung bei der historischen König-Ludwig-Brücke	82
Dipl.-Ing. (FH) Jürgen Scheffler Konzepte und Detaillösungen für mehrgeschossige Industriebauten – Neubau der FLEXIM Firmenzentrale Berlin	90
Impressum	101

Programm

Donnerstag, 7. September 2017

Moderation: Prof. Dr.-Ing. Wilfried Moorkamp

- 12.30 Uhr **Registrierung, Ausgabe der Tagungsunterlagen, Begrüßungskaffee**
- 13.00 Uhr **Grußworte des Rektorats der FH Aachen**
Prof. Dr. rer. nat. Doris Samm, Prorektorin für Forschung und Innovation
- 13.15 Uhr **Grußworte des AFH**
Prof. Dr.-Ing. Thomas Uibel, Vorstand Aachener Freundeskreis der Holzingenieure e. V.
- 13.30 Uhr **Mit Holz an die Grenzen des Machbaren**
Prof. Hermann Blumer, FH Aachen, Fachbereich Bauingenieurwesen
- 14.15 Uhr **Cluster Forst und Holz in NRW – Rahmenbedingungen für den Holzbau und aktuelle Entwicklungen**
Dipl. Forstwirtin Annette Köhne-Dolcinelli, HKZR, Nettersheim
- 15.00 Uhr **Kaffeepause**
- 15.45 Uhr **Urbaner Holzbau**
Geschäftsführer Tom Kaden, Kaden+Lager GmbH, Berlin
- 16.30 Uhr **Holzwerkstoffe in Karosseriestrukturen**
Prof. Dr.-Ing. Thilo Röth und Prof. Dr.-Ing. Leif A. Peterson, FH Aachen
- 17.15 Uhr **Vergabe des AFH-Studienpreises**
Vorstellung der prämierten Abschlussarbeiten
- 19.00 Uhr **Erfahrungsaustausch im Ratskeller Aachen**

Freitag, 8. September 2017

Moderation: Prof. Dr.-Ing. Thomas Uibel

- 08.30 Uhr **Begrüßungskaffee**
- 09.00 Uhr **Exzentrisch positionierte und benachbarte Durchbrüche in BSH-Trägern**
M. Sc. Martin Danzer, TU München, Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion
- 09.45 Uhr **Bewertung und Modellierung von duktilen Anschlüssen im Holzbau**
Dipl.-Ing. Frank Brühl, WIEHAG GmbH, Altheim, Österreich
- 10.30 Uhr **Kaffeepause**
- 11.15 Uhr **Bauwerksprüfung der König-Ludwig-Brücke in Kempten**
Prof. Dr.-Ing. habil. Jörg Schänzlin, Hochschule Biberach, Institut für Holzbau
- 12.00 Uhr **Konzepte und Detaillösungen für mehrgeschossige Industriebauten – Neubau FLEXIM Firmenzentrale Berlin**
Dipl.-Ing. Jürgen Scheffler, ZÜBLIN Timber – STEPHAN HOLZBAU GmbH, Gaildorf
- 12.45 Uhr **Schlussworte**
Prof. Dr.-Ing. Leif A. Peterson und Prof. Dr.-Ing. Wilfried Moorkamp, FH Aachen

Vorwort

Im September 2015 wurde beim UNO-Nachhaltigkeitsgipfel die Agenda 2030 für Nachhaltige Entwicklung verabschiedet. Sie manifestiert globale Ziele, um ein Leben in Würde für alle Menschen im 21. Jahrhundert zu erreichen und zu sichern. Der Umgang mit dem Klimawandel bzw. dessen Eindämmung zählt hierbei zu den großen globalen, gesellschaftlichen Herausforderungen der nächsten Jahrzehnte. Die internationale Staatengemeinschaft hat sich diesem im Klimaabkommen von Paris, seinerzeit noch unter Beteiligung der USA, angenommen.

Als Grundlage für nationale Maßnahmen hat die Bundesregierung den Klimaschutzplan 2050 mit dem Ziel einer weitgehenden Treibhausgasneutralität Deutschlands beschlossen. Ein Meilenstein zur Erreichung der Klimaschutzziele stellt die „Charta für Holz 2.0“ dar, welche in diesem Jahr vorgestellt wurde. In dieser ist das „Bauen mit Holz in Stadt und Land“ eines von sechs Handlungsfeldern zur Steigerung der Holznutzung aus nachhaltiger Forstwirtschaft zugunsten des Klimaschutzes und der Schonung endlicher Ressourcen.

Der Erfolg des Holzbaus wird oft durch die Holzbauquote ausgedrückt. Dies ist der Anteil der genehmigten Neubauten mit überwiegender Verwendung von Holz in Bezug zur Gesamtanzahl der Baugenehmigungen. Für den Wohnungsbau beträgt die Holzbauquote 2016 im Bundesdurchschnitt 16,2%. Damit erreicht die Verbreitung des Holzbaus zumindest relativ einen neuen Höchstwert. Bezüglich der Errichtung von Nichtwohngebäuden war die bundesweite Holzbauquote zwischen 2009 und 2015 rückläufig und erholte sich im letzten Jahr mit 19,3% auf dem Niveau von 2010.

Traditionell erreichen die südlichen Bundesländer Spitzenplatzierungen bei der Holzbauquote, z. B. 2016 Baden-Württemberg mit 27,6% für Wohngebäude und 36,9% für Nichtwohngebäude. Für Nordrhein-Westfalen dagegen beträgt für den gleichen Zeitraum die Holzbauquote für Wohnbauten 10,5% und hat somit in den vergangenen sechs Jahren kaum zugelegt (2007: 9,0%). Nichtwohngebäude wurden 2016 in NRW nur zu 7,6% in Holzbauweise errichtet. Dieses ausgeprägte Gefälle zeigt, dass im Norden Deutschlands und insbesondere im industriell und städtisch geprägten NRW durchaus noch viel Potential besteht, die Holzverwendung im Bauwesen zu steigern.

Die Akteure des Holzbaus gerade im Nordwesten Deutschlands zusammenzubringen, ist die Motivation der Aachener Holzbautagung. Die Tagung wird bereits zum dritten Mal vom Fachbereich Bauingenieurwesen der FH Aachen unter Förderung durch den Aachener Freundeskreis der Holzingenieure e. V. (AFH) veranstaltet. Unser Dank gilt den Referentinnen und den Referenten sowie allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der FH Aachen, die durch ihr Engagement diese Tagung erst ermöglichen.

Die Grundlage für den Diskurs mit den Referenten sowie die fachlichen Diskussionen aller Teilnehmer bilden die Vorträge, die Ihnen durch diesen Tagungsband zusammengefasst zur Verfügung gestellt werden.

Eröffnet wird die Aachener Holzbautagung 2017 vom Holzbauvisionär Hermann Blumer, der seit letztem Jahr Honorarprofessor der FH Aachen ist. In seinem Referat diskutiert er die Grenzen der Machbarkeit und zeigt damit auf, was noch alles im Holzbau möglich ist. Anschließend berichtet Dipl. Forstwirtin Annette Köhne-Dolcinelli, Leiterin des Holzkompetenzzentrums Rheinland und Lehrbeauftragte der FH Aachen, aus der Sicht der Forst- und Holzwirtschaft über die aktuellen Rahmenbedingungen für den Holzbau und stellt die Entwicklungen im Cluster Forst und Holz in NRW vor. Es folgt ein Vortrag vom Berliner Architekten Tom Kaden, der sich dem urbanen Bauen und somit der Entwicklung des mehrgeschossigen Holzbaus widmet. Die Professoren der FH Aachen Dr.-Ing. Thilo Röth und Dr.-Ing. Leif Arne Peterson blicken in ihrem Beitrag zu einem interdisziplinären Forschungsvorhaben über den Tellerrand des konstruktiven Holzbaus hinaus. Der Holzeinsatz im Fahrzeugbau birgt gerade durch die höheren Stückzahlen interessante Möglichkeiten.

Am zweiten Veranstaltungstag berichtet M.Sc. Martin Danzer, wissenschaftlicher Mitarbeiter an der TU München, von seinen Forschungsergebnissen zu Durchbrüchen in Brettschichtholzbindern. Insbesondere geht er auf die Berechnung und Verstärkung von exzentrisch positionierten und benachbarten Durchbrüchen ein. Anschließend stellt Dipl.-Ing. Frank Brühl mit seinen Ausführungen zur Duktilität ein erweitertes Beurteilungssystem vor. Dieses soll differenziertere Berechnungen auch unter dynamischen Belastungen ermöglichen. Prof. Dr.-Ing. habil. Jörg Schänzlin bereichert die Tagung mit seinem Beitrag über die historische König-Ludwig-Brücke in Kempten. Die eingehende Bauwerksprüfung, in diesem Fall unter Einsatz von Industriekletterern, ist die Grundlage für die Erarbeitung von Instandsetzungskonzepten für diese denkmalgeschützte Konstruktion in Howe'scher Trägerbauweise. Am Beispiel des Neubaus der Flexim Firmenzentrale in Berlin erläutert Diplom-Ingenieur Jürgen Scheffler, Züblin Timber, Konzepte und Detaillösungen für mehrgeschossige Industriebauten sowie deren Umsetzung in die Praxis.

Es ist uns ein großes Anliegen, mit der Aachener Holzbautagung auch dem dringend benötigten Ingenieurnachwuchs in Praxis und Forschung ein Forum zu geben. Daher nutzt der Aachener Freundeskreis der Holzingenieure auch in diesem Jahr die Gelegenheit zur Verleihung seines Studienpreises. Die Preisträger, B.Eng. Christian Bedbur und M.Eng. Jonas Thull, fassen in Kurzvorträgen den Inhalt ihrer prämierten Abschlussarbeiten zusammen.

Wir hoffen, Ihnen mit dem thematisch breitgefächerten Programm der Aachener Holzbautagung und diesem Tagungsband neue Impulse für Ihre tägliche Arbeit geben zu können und wünschen Ihnen zwei interessante und gewinnbringende Tage an der FH Aachen.

Thomas Uibel

Leif A. Peterson



Prof. Dipl.-Bauing. ETH/SIA Hermann Blumer

FH Aachen
Fachbereich Bauingenieurwesen
Bayernallee 9
52066 Aachen
mail@hermann-blumer.ch

- seit 2016 Honorarprofessor an der FH Aachen
- 2003 – 2013 Geschäftsleitung Création Holz Herisau
- 1997 – 2001 Geschäftsleitung Bois Vision Biel/Bienne
- 1971 – 1997 Geschäftsleitung und Inhaber Blumer AG Waldstatt
- 1969 – 1971 Wissenschaftlicher Assistent an der Universität Karlsruhe
- 1969 Abschluss Dipl.-Bauingenieur ETH Zürich
- 1964 Matura Kantonsschule St. Gallen
- 1959 – 1962 Berufslehre als Zimmermann
- 1943 Geboren in Waldstatt CH

Mit Holz an die Grenze des Machbaren

Prof. Dipl.-Ing. ETH Hermann Blumer, FH Aachen, Fachbereich Bauingenieurwesen

Kurzfassung

Seit wenigen Jahren ist das Bauen mit Holz in einem beachtlichen Aufschwungstrend. Mehrgeschossige Wohnungsbauten entstehen mitten in der Stadt, ein eigentlicher Wettbewerb, das höchste Holzhochhaus zu bauen, ist global in vollem Gange. Doch wo sind die Grenzen des Machbaren bzw. des Abgesicherten oder des Verantwortbaren?

Es geht ja beim Bauen mit Holz nicht nur um statische Spannweiten und erdbebensichere Höhen, sondern auch um Fragen des Brandschutzes, der Langlebigkeit, des Schallschutzes und des Wohnklimas. Im Referat werden aktuelle Entwicklungen in den verschiedenen Bereichen aufgezeigt. Es werden auch Perspektiven noch möglicher Entwicklungen prognostiziert. An gebauten Objekten wird gezeigt, wie es im letzten Jahrzehnt gelungen ist, die Grenzen zusehends weiter nach außen zu verschieben.

Holzbauten sind meist nicht nur rein mit Holz gebaut, Stahl, Stahlbeton und Glas sind bedeutende Materialpartner. Holz kann mehr leisten und die Grenzen weiter ausweiten, wenn es kluge Partnerschaften mit den anderen Baustoffen eingeht. Es kann gar aus meiner Sicht, ohne sich zu verstecken, die Führerschaft im Wohnungs- und Industriebau übernehmen.

1 Die Grenzen der Bäume in der Natur

Auszug aus dem Buch „Enzyklopädie der Bäume und Sträucher“:

„Ein Größenvergleich zeigt die enorme Variationsmöglichkeit unter den Gehölzpflanzen. Sieht man von den schon angesprochenen Sonderformen mit arttypischem oder erzwungenem Zwergwuchs einmal ab, so sind doch sehr viele Baumarten in der Lage, 30 bis 50 m Wuchshöhe zu erreichen. Bei vielen Arten stellen solche Abmessungen eher einen Durchschnitt, aber längst noch keine Obergrenze dar. Die in Kalifornien beheimateten Mammutbäume erreichen Wuchshöhen von durchweg mehr als 100 m. Absoluter Rekordhalter unter den bisher vermessenen Exemplaren ist ein Riesensmammutbaum (*Sequoiadendron giganteum*), ein Nadelbaum von ziemlich genau 135 m Höhe. Dieser Baum, der heute leider nicht mehr steht, wies am Boden einen Stammdurchmesser von etwas mehr als 12 m auf und verzweigte sich erst in 56 m Höhe, in der die meisten Waldbäume Mitteleuropas längst am Ende sind.“

Der größte unter den heute noch wachsenden Riesen-Mammutbäumen ist der sogenannte „General Sherman Tree“, ein Gigant von 84 m Höhe und rund 1400 m³ Holzinhalt im Sequoia National Park. Noch in Augenhöhe beträgt sein Stammdurchmesser annähernd 9 m. Die höchste Pflanze der Erde ist gegenwärtig ein Exemplar des nahverwandten immergrünen Mammutbaumes (*Sequoia sempervirens*) im kalifornischen Redwood-State-Park. Er erreicht 112 m Höhe und ist somit 12 m länger, als die beiden Torlinien eines durchschnittlichen Fußballfeldes voneinander entfernt sind.

Bei den Laubhölzern kommen die australischen Eukalyptusbäume auf vergleichbare Wuchshöhen im Bereich der 100-m-Marke.

Für die Wuchshöhe der Bäume gibt es zwar keine mechanische, wohl aber eine physiologische Grenze. Höher als 140 m kann nämlich das Wasser vom Leitgewebe der Stämme und Äste nicht transportiert werden, ohne dass das Versorgungssystem zusammenbricht. [1]

Bild 1 (links): Von Waldbränden havarierter Stamm eines Eukalyptusbaumes in Australien



Bild 2 (rechts): Terrace House in Vancouver - ein Beton-Holz-Hybrid



So wird der Trend zu immer größeren Höhen schon allein aufgrund einfacher Naturgesetze in die Schranken verwiesen. Bäume wachsen daher bestimmt nicht in den Himmel, auch wenn es für den erdgebundenen Beobachter mitunter so aussehen mag.

Erstaunen lassen uns die Leistungen aber auch bei der Robustheit gegenüber dem Feuer. Waldbrände in Australien sind häufig, die Eukalypten überstehen diese Brände und schlagen im nächsten Jahr wieder aus. Betreffend Langlebigkeit oder Dauerhaftigkeit sind Bäume gefunden worden, die bis zu 6000 Jahre alt wurden. Erdbeben können diesen Pflanzen nichts antun und verursachen in den Wäldern kaum Schäden.

2 Machbares in Vancouver

In Vancouver wird auf einer letzten Parzelle an der Waterfront ein hybrides Hochhaus aus Stahlbeton und Holz erstellt. Das Design stammt vom weltbekannten Architekten Shigeru Ban. Auf einem Unterteil in Beton – in Berücksichtigung der Bauweise der umliegenden Bauten – ist oben ab der Höhe von 40 m ein dreieckiger Aufbau in Holz vorgesehen. Die Spitze dieses Keils ragt auf 70 m hinauf. Für die Aussteifung, die Erdbebensicherheit und den Brandschutz wird der Treppenkern in Beton bis auf 60 m hinaufgeführt. Vancouver erhält damit attraktive Wohnungen mit direkter Aussicht auf das Meer.

3 Brandschutz auf neuen Wegen im Holzbau

Holz ist ein Baustoff und auch ein Brennstoff zugleich. Das stellt an das Bauen mit Holz spezielle Herausforderungen. Allerdings wissen wir ja, dass Holz dank seiner Verkohlung das Feuer lange zurückhalten kann und hohe Temperaturen seine Festigkeit kaum beeinträchtigt. Die Angst vor Dorfbränden und die in diesem Zusammenhang gemachten schlechten Erfahrungen, haben im vergangenen Jahrhundert zu massiven Einschränkungen beim Bauen mit Holz geführt.

Im Jahr 1949 ist im Vorderrheintal das Dorf Selva fast ganz abgebrannt. Hatte das Dorf damals noch 110 Einwohner, so sind es heute nur noch 8. Feuerwehrkommandant Jakob Hendry erinnert sich: „Die Holzbauten brannten wie Zunder. Wohl standen zwei Hydranten zur Verfügung, aber das Feuer breitete sich in den eng zusammengebauten Häusern so rasch aus, dass nach 1 ½ Stunden das Dorf – 15 Wohnhäuser, 20 Ställe und die Kirche – in Schutt und Asche lagen.“

Bild 3 (links): Holzelement vor dem Einbringen des Betons



Bild 4 (rechts): Abbrand nach 2 Stunden und 20 Minuten





Bild 5: Anschluss von Stahlteilen an einem aufsteigenden Holm des Pyramidenkogels

Bis zum Jahr 2000 durfte man in Zürich nur noch zweigeschossig in Holz bauen. Dank gezielten Anstrengungen in der Forschung und Entwicklung und Anpassungen der Löschzeiten sowie der Vorschriften ist es heute möglich, Wohn- und Bürobauten bis an die Hochhausgrenze von 22 m zu erstellen. Ausnahmen für noch höhere Bauten werden von Fall zu Fall bewilligt.

Mit einer Holz-Beton-Verbunddecke sind an der EMPA in Dübendorf Brandwiderstände bis über zwei Stunden erreicht worden. Danach wurde das Feuer abgestellt, da sonst der Ofen unter der Hitze gelitten hätte. Hochgerechnet kam man mit der Versuchsdecke auf drei Stunden oder REI 180 Brandwiderstand.

Hier die Mitteilung von Herrn Michael Kippel an die am Versuch Beteiligten:

„Geschätzte Kollegen,

Gestern haben wir sehr erfolgreich den ersten Brandversuch an der Holz-Betonverbunddecke (120 mm Holz/120 mm Beton) durchgeführt.

Wir haben den Brandversuch nach einer Branddauer von 2 Stunden und 20 Minuten abgebrochen. Wir mussten den Brandversuch allerdings stoppen, da die lange und hohe Temperatureinwirkung für den Ofen an der EMPA eine sehr grosse Beanspruchung darstellt.“

4 Vom Kunden bestellte Langlebigkeit bei Holzbauten

Man ist es noch nicht so gewohnt, dass der Kunde eine im Voraus definierte Lebensdauer als Aufgabe oder gar Herausforderung bestellt. Beim Turm auf dem Pyramiden-Kogel mussten wir Ingenieure das Tragwerk für eine Nutzungsdauer von 50 Jahren auslegen. Einerseits konnten wir dies mit der Wahl der Holzart Lärche für die aufsteigenden Stützen angehen und andererseits mussten wir die Verbindungstechnik wie neu erfinden. Nirgends darf bei den Anschlüssen Wasser eindringen oder gar liegen bleiben. Ingenieur Markus Lackner und ich meinerseits haben lange gesucht und es scheint uns gelungen zu sein. Jedes Jahr findet eine Kontrolle statt und die Feuchtigkeit wird an delikaten Stellen im Holz gemessen. Dieses Bau-Monitoring ermöglicht eventuelle Schäden früh zu erkennen und Maßnahmen zu ergreifen.

Neuerdings habe ich eine Kundschaft, die ein Blockhaus, das ein Alter von 600 Jahren erreichen soll, bestellte. Da gibt es zum Glück die Möglichkeit auf die Baugeschichte zurückzugreifen. In China wurde im Jahre 1056 die Sakyamuni-Pagode mit 67 m Höhe gebaut sie steht heute noch und wurde in Holz gebaut.

5 Holzdecken sind heute den Betondecken im Schallschutz ebenbürtig

Zeitgemäße Holzbauten erfüllen nicht nur die aktuellen Schallschutznormen, sondern schützen die Bewohner effizient vor unerwünschten Lärmeinwirkungen und schaffen damit die Voraussetzung für eine ruhige Wohnatmosphäre.

Gute Schalldämmwerte lassen sich mit ein- oder mehrschaligen Bauteilen erreichen. Die Schalldämmung bei einschaligen Bauteilen hängt in erster Linie von ihrer Flächenmasse ab (Massegesetz). Da im Holzbau leichte Materialien Anwendung finden und die Flächenmasse der Bauteile im Vergleich zum Massivbau gering ist, erreicht man bei Holzbauteilen hohe Schalldämmungen über zwei- oder mehrschalige Konstruktionen mit biegeweichen Schalen (Masse-Feder-Prinzip). [Text Lignum Schweiz]

**Bild 6: Lignatur silence
Decke mit einer
Tieftön-Schalldämmung**



Es ist das Verdienst der intensiven Forschung und Entwicklung, dass es heute möglich ist, Holzdecken mit hohen bis höchsten Schalldämmwerten einzubauen. Mit auf Federungen positionierte Schalldämmern können auch die Tieftöne unterhalb von 100 Hertz stark abgeschwächt werden. Dies geschieht besonders effizient bei „Lignatur silence“ mit eingelagerten Schalldämmern.

6 Grenzen der Machbarkeit treten auch bei den Ausführungszeiten auf

Holzbauten werden heute mit dem Computer geplant und werden elementweise im Werk vorfabriziert. Die Montage erfolgt danach schnell und präzise. Ich zeige abschließend drei „Holzskulpturen“, bei denen die Ausführungszeiten ab Auftragseingang als für nicht umsetzbar gehalten wurden; man musste Grenzen überschreiten.

28 Wochen als Vorgabe (Bild 7): „Nicht machbar in diesem engen Zeitrahmen“, hieß es in meinem Umfeld.

14 Wochen als Vorgabe (Bild 8): „Das ist aber sehr sportlich“, waren die Kommentare.

7 Wochen als Vorgabe (Bild 9): Dreimal bekam ich von der ausführenden Firma eine Absage.



**Bild 7: Nine Bridge Golf
House in Yeosu, geplant
von Shigeru Ban und
Kevin Yoon**

7 Zusammenfassung

Der Holzbau ist wieder in Fahrt gekommen und kann technische Leistungen vorzeigen, die vergleichbar sind mit denen im Massivbau. Grenzen im Holzbau lassen sich Schritt für Schritt ausweiten, ohne das damit Qualitätseinbußen in Kauf zu nehmen sind. Gemeinsames Schaffen in den Bereichen Forschung, Ausbildung, Planung und Produktion machen dies möglich. Ich wage die Prognose, dass dieses Jahrhundert zum Jahrhundert des Wiederaufstehens des Holzbaues werden wird.

8 Literatur

- [1] Koch, G. W.; Sillett, S. C.; Jennings, G. M.; Davis, S. D.: The limits to tree height, erschienen in: Nature, Bd. 428, Ausgabe vom 22. April 2004, Nature Publishing Group (Hrsg.), Macmillan Publishers Limited/Springer Nature, London, 2004, S. 851-854



Bild 8: Edi der Skifahrer an der Ski-WM in St. Moritz, geplant von Aroma in Zürich



Bild 9: Skulptur Jinhua, geplant von Herzog & de Meuron



Dipl.-Forstwirtin (Univ.)/ Forstassessorin Annette Köhne-Dolcinelli

Landesbetrieb Wald und Holz Nordrhein-Westfalen
Holzkompetenzzentrum Rheinland
Römerplatz 12
53947 Nettersheim
a.koehne-dolcinelli@hkzr.de

- seit 2016 Leiterin des Holzkompetenzzentrums Rheinland (HKZR) beim Landesbetrieb Wald und Holz Nordrhein-Westfalen; Lehrbeauftragte FH Aachen (Holz- und Forstwirtschaft)
- 2003 – 2016 Assistentin der Geschäftsleitung und Exportsachbearbeiterin Team-Timber GmbH, Schmallenberg
- 1997 – 2003 Rundholz-Einkäuferin, Holzkauffrau Landwehrmann-Holz, Schmallenberg
- 1996 – 1997 Ständige Vertreterin des Vorstehers im Bundesforstamt Goldberg bei der Oberfinanzdirektion Rostock, Goldberg (MV)
- 1995 – 1996 Fortbildung Planungs- und Führungstechniken in der Forstwirtschaft, Göttingen
- 1993 – 1995 Forst-Referendariat und 2. Staatsexamen in NRW
- 1992 – 1993 Wissenschaftliche Mitarbeiterin im Waldbau-Institut, Albert-Ludwigs-Universität, Freiburg i. Br.
- 1987 – 1992 Studium der Forstwissenschaft an der Albert-Ludwig-Universität, Freiburg i. Br.
- 1986 Abitur Städtisches Gymnasium Schmallenberg
- 1967 geboren in Schmallenberg

Der Cluster Forst und Holz in NRW

Rahmenbedingungen für den Holzbau und aktuelle Entwicklungen

Diplomforstwirtin und Forstassessorin Annette Köhne-Dolcinelli,
Landesbetrieb Wald und Holz NRW/Holzkompetenzzentrum Rheinland

Kurzfassung

Ausgehend von der Frage, ob sich angesichts der relativ niedrigen Holzbauquote in NRW Chancen auf Verbesserungen in der Zukunft abzeichnen, werden die wichtigsten Rahmenbedingungen und Entwicklungen betrachtet, die den Holzbau im Cluster Forst und Holz NRW betreffen. Die betrieblichen Kapazitäten und Möglichkeiten im Holzbau entwickeln sich positiv. Holzressourcen aus regionaler, nachhaltiger Forstwirtschaft sind vorhanden, allerdings beim Nadelholz in geringerer Menge als in vergangenen Perioden. Für die zusätzlichen Nutzungspotentiale des Laubholzes sind die baulichen Einsatzmöglichkeiten noch begrenzt, weshalb die Entwicklung innovativer Laubholzprodukte weiterhin eine sehr wichtige Aufgabe bleibt. Die Charta für Holz 2.0 zeigt, dass die zentrale Funktion des Clusters Forst und Holz bei der Transformation der Wirtschaft zu einer nachhaltigen Bioökonomie inzwischen in der Politik erkannt ist. In Kombination mit den Änderungen in der Landesbauordnung, einem gleichzeitig hohen Bedarf an zusätzlichem Wohnraum und weiteren Maßnahmen zur Unterstützung des Holzbaus sind die Rahmenbedingungen und Entwicklungen für den Holzbau in NRW und somit die Perspektiven für eine Erhöhung der Holzbauquote insgesamt als positiv einzuschätzen. Es besteht aber noch weiterer Handlungsbedarf.

1 Einleitung

Betrachtet man die Holzbauquote in NRW im Vergleich mit dem Bundesdurchschnitt und anderen, besonders südlicher gelegenen Bundesländern, so ist diese nach wie vor niedrig. Auch die Entwicklung verläuft bisher nicht dem Bundestrend entsprechend: Während auf das gesamte Bundesgebiet bezogen der Anteil der genehmigten Wohngebäude in Holzbauweise von 16,0 in 2015 auf 16,2 in 2016 geringfügig gesteigert werden konnte, nahm der Anteil in NRW um 0,2% auf 10,5% ab [1]. Im Vergleich mit anderen Bundesländern (Stadtstaaten ausgenommen) liegt NRW im Jahr 2016 an viertletzter Stelle.

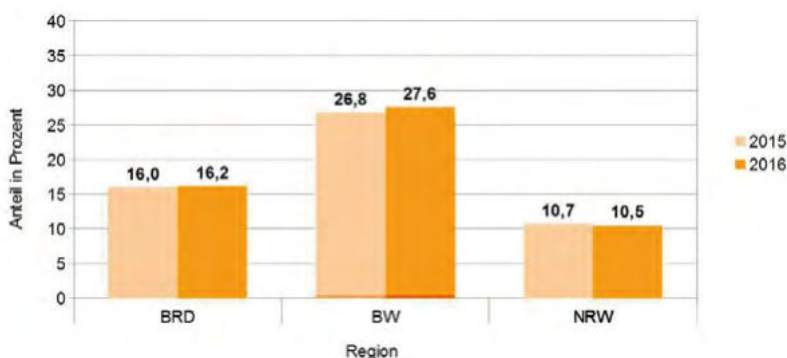
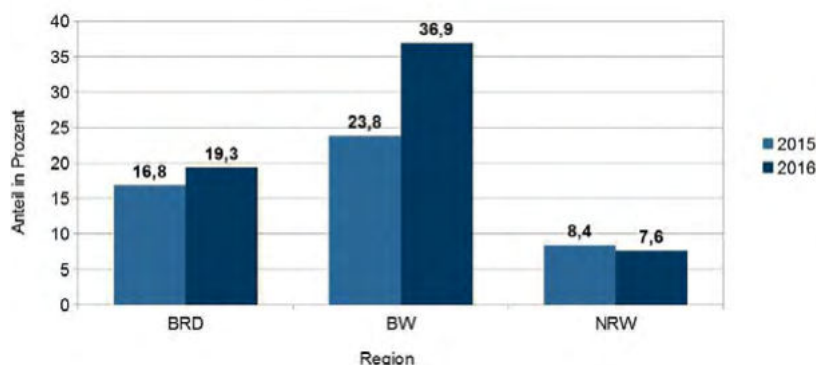


Bild 1: Vergleich der Holzbauquote im Wohnbau (Neubau) 2015/2016 für die Regionen Bundesrepublik Deutschland (BRD), Baden-Württemberg (BW), Nordrhein-Westfalen (NRW); Datenquelle [1]

Bild 2: Vergleich der Holzbauquote im Nichtwohnbau (Neubau) 2015/2016 für die Regionen Bundesrepublik Deutschland (BRD), Baden-Württemberg (BW), Nordrhein-Westfalen (NRW); Datenquelle [1]



Auch den Nichtwohnbau betreffend verlief die Entwicklung in NRW von 2015 bis 2016 negativ (-0,8%), während der Anteil im Bundestrend zugenommen hat (+2,5%). Die Abweichung des NRW-Anteils in 2016 vom Bundesdurchschnittswert ist mit -11,7% im Nichtwohnbau noch deutlich größer als im Wohnbau.

Ursache für abweichende Anteile sind einerseits unterschiedliche Bautraditionen, die im süddeutschen Raum besonders stark zu Gunsten des Holzes ausgeprägt sind. Andererseits unterscheiden sich die Bundesländer aber auch hinsichtlich weiterer Bedingungen. Es stellt sich die Frage, ob und inwieweit es Rahmenbedingungen und aktuelle Entwicklungen gibt, die dem Holzbau in NRW für die Zukunft eine positivere Perspektive eröffnen können.

Da der Holzbau als ein wichtiger Bestandteil in das Cluster Forst und Holz eingebunden ist, soll die Betrachtung nicht separat für den Holzbau, sondern auf Clusterebene erfolgen.

2 Rahmenbedingungen und aktuelle Entwicklungen in NRW

2.1 Holzbau im Cluster Forst und Holz in NRW

Gemeinsam mit dem Holzbau ist eine ganze Gruppe von Wirtschaftsbereichen, die alle miteinander in Beziehung stehen, von der Nutzung des Rohstoffes Holz abhängig. Um die vorher verkannte Bedeutung dieser Branchengruppe mehr in die politische und gesellschaftliche Aufmerksamkeit zu bringen, erfolgte auf Initiative walddreicher europäischer Mitgliedsländer 2001 von Seiten des Europäischen Parlaments eine Definition des Clusters Forst und Holz [2], wonach dieser Cluster folgende Branchen umfasst: Forstwirtschaft/Holz bearbeitendes Gewerbe/Holz im Baugewerbe/Papiergewerbe/Verlags- und Druckereigewerbe/Holzhandel.

Für das Bundesgebiet, aber auch für NRW konnte danach in mehreren Studien mit unterschiedlichem regionalem Bezug eine große sozioökonomische Bedeutung dieses Clusters nachgewiesen werden.

Für NRW sind im Jahr 2015 folgende Zahlen für das Jahr 2013 veröffentlicht worden [3] (die Daten liegen leider z. T. erst mehrere Jahre später vor, siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Cluster Forst und Holz NRW 2013 [3]

	Unternehmen	Umsatz	Beschäftigte
Branchengruppe		Tsd. €	
Forstwirtschaft	3.603	522.629	6.498
Holz bearbeitendes Gewerbe	342	1.819.774	10.454
Holz verarbeitendes Gewerbe	4.961	9.904.692	56.968
Holz im Baugewerbe	5.845	2.570.013	34.205
Papiergewerbe	519	8.995.380	29.815
Verlags- und Druckereigewerbe	4.433	13.997.236	74.521
Holzhandel	588	1.930.306	2.417
Summe	20.291	39.740.029	214.878

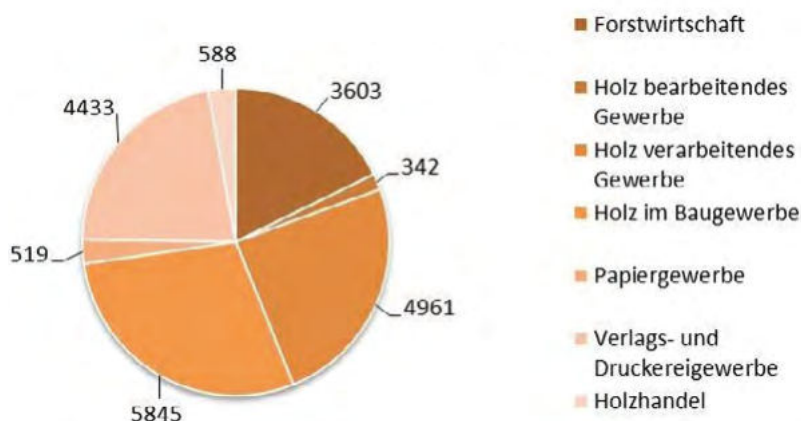


Bild 3: Anzahl Unternehmen im Cluster Forst und Holz NRW in 2013, Datenquelle [3]

Im gesamten Cluster Forst und Holz NRW wurde demnach ein Umsatz von annähernd 40 Mrd. € erwirtschaftet – bei einer Beschäftigtenzahl von fast 215.000. Nach einer Auswertung für 2011 ist der Cluster Forst und Holz NRW hinsichtlich der Beschäftigung vergleichbar mit der chemischen und pharmazeutischen Industrie und deutlich größer als Branchen wie die Computer- und Elektroindustrie [4]. Damit nimmt er in NRW eine mittlere bis vordere Rangposition innerhalb des produzierenden Gewerbes ein. Betrachtet man einzelne, walddreiche ländliche Regionen wie z.B. die Eifel separat, so ist die sozioökonomische Bedeutung dort noch deutlich größer.

Bei der Gesamtzahl von über 20.000 Unternehmen in NRW in 2013 stellen sich die Anteile in den einzelnen Bereichen des Clusters dar, wie in Bild 3 angegeben.

Im Bereich „Holz im Baugewerbe“ mit 5.845 Unternehmen werden Zimmerer, Holzfertigbau und Bautischlerei zusammengefasst. Weitere 1.724 Unternehmen sind im Industriel-Bauwesen tätig, das dem Holzverarbeitenden Gewerbe zugerechnet wird.

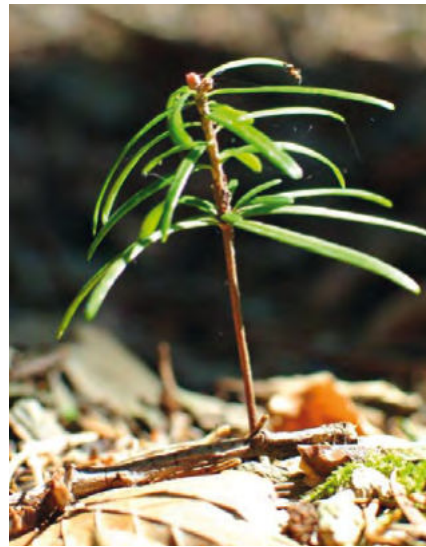
NRW stellt mit seinen Holzbauunternehmen nach Bayern und Baden-Württemberg einen der wichtigsten Konzentrationsstandorte im Bereich des Holzbaus dar. Die Branche ist traditionell klein strukturiert, was sich in den letzten Jahren mit abnehmender Anzahl der Beschäftigten pro Unternehmen verstärkt hat. Bei Zimmerei- und Fertigbaubetrieben steigt nach deutlicher Abnahme in den vorhergehenden Jahren inzwischen die Anzahl der Betriebe und der Beschäftigten wieder an und auch bei der Bruttowertschöpfung ist ein deutlicher Zuwachs festzustellen [3]. Steigende Umsätze weist ebenfalls der Ingenieurholzbau auf [4]. Die Ausrichtung der Holzbaubetriebe ist z.T. handwerklich, z.T. industriell. Auch innovative Holzbauprodukte werden in NRW produziert.

In der holzbearbeitenden Industrie als Lieferant für Produkte, die im Holzbau verwendet werden, sieht die Entwicklung weniger positiv aus. Hier hat von 2001 bis 2011 sowohl der Umsatz als auch die Anzahl der Betriebe und der Beschäftigten deutlich abgenommen [4]. Nur in der Sägeindustrie war ein Anstieg des Umsatzes zu verzeichnen. Die Gründe für die Entwicklung sind vielfältig und stehen u.a. in Zusammenhang mit Rohstoffkosten, globalisierten Märkten, der Notwendigkeit zur Weiterveredelung von Bauprodukten bei mangelnden Investitionsmöglichkeiten und z.T. auch mit mangelnder Kooperationsbereitschaft. Die zu beobachtenden Standortverlagerungen und Konzentrationsprozesse sind – besonders für die ländlichen Regionen – mit Nachteilen verbunden und es sollte geprüft werden, ob nicht ein Entgegensteuern notwendig und möglich ist.

2.2 Rohstoffverfügbarkeit aus Wäldern NRW

Bezüglich der Rohstoffverfügbarkeit sollen die einheimischen Möglichkeiten im Vordergrund stehen, denn mit der Nutzung von in der Region produziertem Holz profitiert die gesamte Wertschöpfungskette. Auch Aspekte wie die gesicherte Nachhaltigkeit der Produktion und Energie- und CO₂-Einsparung durch kurze Transportwege werden voraussichtlich in Zukunft noch an Bedeutung gewinnen.

NRW verfügt auf rund 27% seiner Gesamtfläche über nachhaltig bewirtschaftete Wälder mit hohen Zuwächsen (10,9 m³/ha·a) und großen Holzvorräten (318 m³/ha) [5], in denen Nutz- und Brennholz unter Beachtung hoher Nachhaltigkeitsstandards produziert wird. Als dem am dichtesten besiedelten Flächenland Deutschlands steht jedem Einwohner im Landesdurchschnitt rund 532 m² und damit weniger als halb so viel Wald zur Verfügung wie im Bundesdurchschnitt. Da mehr als 70% der Menschen in NRW in



**Bild 4: Nachwuchs im Wald
für zukünftige Holzbauten,**
Foto: A. Köhne-Dolcinelli

urbanen Zentren leben, wird der Erholungs-, aber auch der Schutzfunktion des Waldes eine besonders große Bedeutung beigemessen.

Mit 63% hat NRW den höchsten Privatwaldanteil der Bundesländer, wobei 90% der rund 150.000 Waldeigentümer Waldflächen besitzen, die nur bis zu 5 ha groß sind. Kleine Flächen und ein z. T. geringes Interesse der Waldbesitzer erschweren die Bewirtschaftung, was der Aufgabe forstfachlicher Beratung und Unterstützung der Waldbesitzer durch den Landesbetrieb Wald und Holz Nordrhein-Westfalens eine besondere Bedeutung verleiht.

Der Anteil der Baumartengruppe Fichte (alle Fichtenarten und sonstige Nadelbäume außer Douglasie, Kiefer, Lärche, Tanne) hat in NRW, stärker als im Bundestrend, von 2002 bis 2012 um rund 6% abgenommen [6]. Ursachen dafür sind der Sturm Kyrill, der 2007 hier die stärksten Schäden verursacht hat, und der forstpolitisch gewollte Waldumbau zu mehr Mischbeständen und Laubwäldern. Die Umbauten erfolgten, um die Wälder an Klimaveränderungen anzupassen und im Zuge der Umsetzung politischer Zielsetzungen im Bereich des Naturschutzes.

Trotz des Flächenverlustes bei der Fichte steht aber aufgrund der ungleichmäßigen Altersverteilung bei dieser Baumart in den nächsten Jahren ein großes Nutzungspotential zur Verfügung. Da viele Fichten in größere Dimensionen einwachsen werden, erprobt man zur Zeit differenzierte Nutzungskonzepte, um einerseits den Anfall von Starkholz zu begrenzen, das für die Sägeindustrie bisher nicht optimal nutzbar ist, und um andererseits die Möglichkeiten für die Nutzung der Vorräte über längere Zeiträume zu strecken.

Hinsichtlich nachfolgender Baum-Generationen wird dafür Sorge getragen, dass geeignete Nadelbaumarten nachwachsen. Im Zuge des Klimawandels ist zu erwarten, dass die Baumart Fichte auf manchen Standorten in Zukunft verstärkt unter Trockenstress und Temperaturextremen leiden wird, was ihre Anfälligkeit gegenüber Schädlingen und Krankheiten erhöht. Auch das Sturmwurfisiko wird mit der Häufigkeit von Wetterextremen voraussichtlich zunehmen. Besser an solche klimatischen Bedingungen angepasste Nadelbaumarten wie z.B. Weißtanne, Küstentanne oder Douglasie sind auf diesen Standorten in Zukunft eine sicherere Wahl. Die Landesforstverwaltung NRWs entwickelt zurzeit waldbauliche Empfehlungen für „klimastabile Wälder“, in die auch Optionen der Beteiligung geeigneter Nadelbaumarten eingearbeitet werden. Ebenfalls geprüft werden Möglichkeiten der gezielten Einbringung von Nadelbäumen in Reinbestände von Laubhölzern für solche Fälle, in denen dies standörtlich passt, waldbaulich sinnvoll und mit naturschutzrechtlichen Vorgaben vereinbar ist.

Aktuelle Daten für NRW zu Stoffströmen beim Nadelrund- und Schnittholz liegen zurzeit nicht vor. Es kann aber von einer bedarfsgerechten Rohstoffversorgung der Sägewerke und Holzwerkstoffproduzenten in NRW ausgegangen werden.

Bei den Laubbäumen in NRW hat eine andere Entwicklung stattgefunden: der Flächenanteil und die Vorräte der Laubbäume haben stärker als im Bundestrend zugenommen [6]. Hieraus ergibt sich ein großes, zusätzliches Nutzungspotential, besonders bei den Baumarten Buche und Eiche.

Diesem stehen bisher noch geringe stoffliche Verwendungsmöglichkeiten im Inland gegenüber, weshalb ein erheblicher Anteil des deutschen Buchenstamm- und Schnitt-

holzes exportiert wird. Zudem ist der Anteil des energetisch genutzten Holzes stetig angewachsen – für NRW wird er für Buchenholz auf ca. 33% geschätzt [7]. Um die Wertschöpfung im Inland zu erhöhen und die regionalen Rohstoffpotentiale ressourceneffizienter nutzen zu können, bleibt es eine wichtige Aufgabe, zusätzliche Möglichkeiten der stofflichen Nutzung von Laubholz zu entwickeln.

Das Nordrhein-Westfälische Umweltministerium hat in diesem Zusammenhang im Jahr 2015 eine Laubholzstudie erstellen lassen zur Auslotung der Möglichkeiten für dessen verstärkte stoffliche Nutzung [7]. Außerdem werden seit 2015 im Rahmen der Richtlinie „Holz 2015“ [8] effizienzsteigernde Maßnahmen in Verarbeitung, Vermarktung und stofflicher Verwendung forst- und holzwirtschaftlicher Produkte bis zur ersten Verarbeitungsstufe mit Schwerpunkt beim Laubholz gefördert. Da die Fördergelder bisher nicht im erwarteten Maße von den Unternehmen genutzt worden sind, soll diese Richtlinie nun überarbeitet werden.

Darüber hinaus ist in Reaktion auf die Entwicklung die Forschungstätigkeit zu neuen Verwendungsmöglichkeiten und Produkten des Laubholzes an den Holzforschungsinstituten intensiviert worden. Einige Produkte konnten bereits zur Marktreife gebracht werden (z. B. Brettschichtholz oder Furnierschichtholz aus Buche), andere befinden sich noch in der Erprobung. Parallel wird, besonders auf Kongressen und Messen, aber auch in Veranstaltungen der regionalen Clusterinitiativen, intensiver über die konstruktive Verwendung von Laubholzprodukten informiert. Es fehlen aber bisher in Nordrhein-Westfalen noch größere Referenzbauten, mit denen Zeichen gesetzt werden könnten. Hier sind besonders die öffentlichen Verwaltungen gefordert.

2.3 Weitere Rahmenbedingungen und Entwicklungen mit Auswirkung auf den Holzbau in NRW

2.3.1 Charta für Holz 2.0

Der Klimawandel hat einerseits Auswirkungen auf die Bereitstellung der Ressource Holz (s.o.), er bietet aber andererseits auch Chancen für die Holzverwendung und hier besonders für den Holzbau, in dem diesbezüglich ein besonders großes Potential steckt. Die große Bedeutung der CO₂-Senkenleistung im Wald und durch die Holznutzung für den Klimaschutz hat inzwischen breite Anerkennung gefunden. Untersuchungen belegen, dass allein in NRW jährlich in Wald und Holzprodukten sowie durch die energetische und stoffliche Substitution 18 Mio. t CO₂ gebunden werden [9]. Das sind ca. 6% der Nordrhein-westfälischen Treibhausgasemissionen (Stand 2010).

In die gleiche Richtung wirken internationale und nationale politische Zielsetzungen und Vereinbarungen, die in Reaktion auf die weltweite Ressourcen- und Energieverknappung getroffen worden sind, denn einheimisches Holz wird unter Einhaltung hoher Standards nachhaltig produziert und seine Herstellung, Bereitstellung und Verwendung sind im Vergleich zu anderen Rohstoffen auch ressourcen- und energieeffizienter möglich.

Vor diesem umweltpolitischen Hintergrund wurde, initiiert und koordiniert durch das BMEL, im Wege eines Dialogprozesses von Experten und Clusterakteuren in einer Bund-Länder-Arbeitsgruppe nach der ersten Charta für Holz von 2004 die neue Charta für Holz 2.0 erarbeitet, die im April 2017 veröffentlicht worden ist [10]. Hiermit soll in erster Linie der Beschluss der Bundesregierung im Klimaschutzplan 2050 umgesetzt werden, den Beitrag nachhaltiger Holzverwendung zur Erreichung der Klimaschutzziele

zu stärken. Es werden aber gleichzeitig auch wichtige Aspekte weiterer Strategien mit einbezogen (Nationale Nachhaltigkeitsstrategie von 2012, Waldstrategie 2020 von 2011, Forschungsagenda Green Economy von 2014, Nationale Politikstrategie Bioökonomie von 2013, Deutsches Ressourceneffizienzprogramm Progress II von 2016, Bündnis für bezahlbares Wohnen von 2014). Die primären Ziele der neuen Charta werden in ihrem Titel genannt [10]: „Klima schützen. Werte schaffen. Ressourcen effizient nutzen.“ Das „Bauen mit Holz in Stadt und Land“ ist eines von sechs prioritären Handlungsfeldern, für die jeweils wichtige Ziele formuliert wurden. Eine koordinierende Steuerungsgruppe und sechs Arbeitsgruppen eingerichtet, die ihre Arbeit bereits aufgenommen haben. Die Charta für Holz 2.0 zeigt, dass die sozioökonomische und umweltwirtschaftliche Bedeutung von Holznutzung und Holzbau inzwischen in der Politik erkannt sind und unterstützt werden. Dies ist eine gute Voraussetzung für die weitere Arbeit an Verbesserungen, z. B. bzgl. des Abbaus bauordnungsrechtlicher Benachteiligungen und der Überarbeitung veralteter Richtlinien, bei der Angleichung der Ländernormen, der Förderung von Forschung und Innovation. Eine positive Entwicklung kann außerdem daraus resultieren, dass im Rahmen der Charta-Maßnahmen die Clusterarbeit in Zukunft besser koordiniert werden soll.

2.3.2 Veränderungen im Bauordnungsrecht in NRW

Eine weitere wichtige Entwicklung betrifft das Bauordnungsrecht in NRW, denn am 28. Dezember 2016 wurde die neue Landesbauordnung für NRW (BauO NRW) verkündet, die Ende 2017 in Kraft treten wird [11]. Die bisherige Regelung der BauO NRW hat eine Errichtung von Gebäuden in Holzbauweise mit mehr als drei Geschossen praktisch ausgeschlossen, da die Regelungen des Brandschutzes die Verwendung von brennbaren Baustoffen als tragendes Bauteil nur für Gebäude geringer Höhe erlaubte. Wesentliche Änderungen betreffen nun die Übernahme der Gebäudeklasseneinteilung aus der aktuellen Musterbauordnung und die Definition einer neuen Feuerwiderstandsklasse „hochfeuerhemmend“. Da Holz als brennbarer Baustoff in Kombination mit anderen Baustoffen den Anforderungen an hochfeuerhemmende Konstruktionen entspricht, können sämtliche Bauteile, für die hinsichtlich des konstruktiven Brandschutzes maximal eine „hochfeuerhemmende“ Bauweise gefordert wird, mit Holzkonstruktionen realisiert werden. Zukünftig können Gebäude der Gebäudeklassen 1 bis 4, also bis zu fünfgeschossige Bauten bis OKF (Oberkante des Fußbodens des höchstgelegenen Geschosses) 13 m als Holzgebäude in voller Übereinstimmung mit der BauO NRW realisiert werden, ohne den genehmigungsrechtlichen Sonderweg über eine Zustimmung im Einzelfall beschreiten zu müssen.

Ein wichtiger Schritt in die richtige Richtung! Allerdings wäre hier mehr möglich gewesen, wenn man einzelne Regelungen mit denjenigen anderer Bundesländer vergleicht. Eine bundesweite Vereinheitlichung der Landesbauordnungen auf einem aktuellen Stand in Konzeption, Gliederung und Inhalt wäre sehr vorteilhaft.

Ebenfalls wichtig ist aber in diesem Zusammenhang auch eine Überarbeitung der Musterrichtlinie für hochfeuerhemmende Konstruktionen in Holzbauweise (M-HFH-HolzR). Verschiedene seit ihrer Veröffentlichung in 2004 entwickelte und erprobte Bauprodukte und Bausysteme eignen sich mit ihren speziellen Eigenschaften besonders für den mehrgeschossigen Holzbau (z. B. Brettsperrholz, Holz-Beton-Verbundbauweise). Wegen der Abweichungen zur bisherigen Richtlinie sind bei der Bauplanung mit diesen Baustoffen oder Systemen aber zurzeit noch individuelle Vereinbarungen

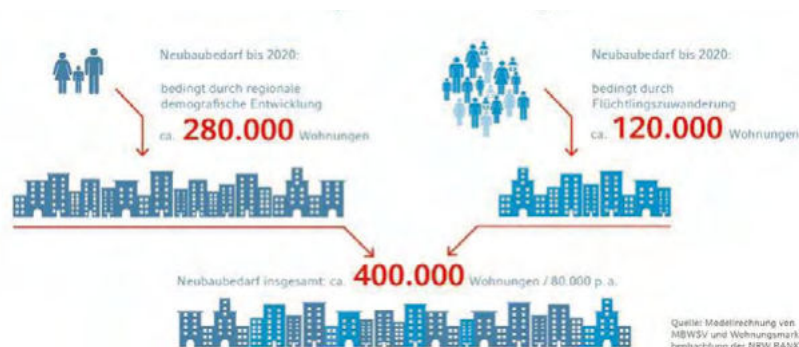


Bild 5: Entwicklung im Wohnungsmarkt, Quelle: NRW.BANK-Prospect 01/2017

im Rahmen des Brandschutzkonzeptes erforderlich, was zusätzlichen planerischen und koordinativen Aufwand verursacht [12]. Eine Anpassung der Richtlinie an die inzwischen gewonnenen Erfahrungen, neue wissenschaftliche Erkenntnisse sowie geänderte Anforderungen an Baustoffe und Bauweisen ist deshalb notwendig. Ende 2017 läuft hierzu ein Forschungsvorhaben im Auftrag der Bauministerkonferenz aus. Die Ergebnisse sollen in die geplante Novellierung eingearbeitet werden.

2.3.3 Entwicklung der Bevölkerung

Die Bevölkerungsentwicklung hat direkten Einfluss auf den zukünftigen Bedarf an Wohnraum und bietet besondere Chancen für den Holzbau. Es ist eine Verstärkung des Trends zu erwarten, dass mehr Menschen in Ballungsgebieten leben als in ländlichen Räumen. Gleichzeitig wird die Bevölkerung in Deutschland im Durchschnitt in den nächsten Jahren deutlich älter, während andererseits die Migration vorwiegend junger Menschen aus Krisengebieten – besonders in die Städte – voraussichtlich weiter zunehmen wird. Eine Studie der NRW.BANK aus dem Jahr 2016 ergab, dass in NRW bis zum Jahr 2020 vorrangig in den Ballungsräumen ein zusätzlicher Wohnraumbedarf von 400.000 Wohnungen besteht [13] – vorhandener Leerstand und sonstige Reserven sind dabei bereits einberechnet. Diese Zahl setzt sich zusammen aus 280.000 Wohnungen, die aufgrund der demografischen Entwicklung, und 120.000 Wohnungen, die aufgrund der Flüchtlingszuwanderung gebraucht werden.

Gleichzeitig besteht aber auch bei der Modernisierung, der altersgerechten Gestaltung und bei der Sanierung von Gebäuden ein sehr großer Nachholbedarf. Nachdem auch für schwierige bauphysikalische Problemstellungen bei städtischen Bauvorhaben inzwischen Lösungen im Holzbau gefunden und erprobt worden sind, bietet der Baustoff Holz für alle baulichen Herausforderungen hervorragend geeignete Lösungen an. Im Zusammenwirken mit den baurechtlichen Erleichterungen und der politischen Weichenstellung hin zu nachhaltigen, klimaschützenden, ressourcen- und energieeinsparenden Entscheidungen ergeben sich aus dem großen Wohnbau- und Modernisierungsbedarf gute Chancen für den Einsatz von Holz.

2.3.4 Zusätzliche Unterstützung für den Holzbau

Um die Förderung von Forschungsvorhaben an Hoch- und Fachhochschulen zur Verbesserung des Wissensstandes über Laub- und Nadelhölzer als Werk- und Baustoffe im Bauwesen zu erleichtern, hat das Umweltministerium in NRW einen Referentenentwurf zur einer Richtlinie „Holz-Wissen“ erarbeitet [14], der zurzeit in den Ressorts abgestimmt werden soll. Außerdem unterstützt das Land Studierendenprojekte in der Holzbaulehre und Vorhaben in den regionalen Clusterinitiativen, die ebenfalls im Bereich Holzbau aktiv sind.

Der Landesbetrieb Wald und Holz Nordrhein-Westfalen bietet mit dem Fachbereich V (Holzwirtschaft, Forschung, Klimaschutz) und seinen Holz-Kompetenzzentren in Olsberg und Nettersheim verschiedene Leistungen zur Unterstützung des Holzbaus an, z.B. die Kooperation mit Forschungseinrichtungen wie der FH Aachen (u.a. Lehrmodul Holz- und Forstwirtschaft), das Portal „Holzbauten für Flüchtlinge“ mit Holzbaufachberatung und einer Veranstaltungsreihe in Kooperation mit den Bezirksregierungen, Informationsbroschüren zum Holzbau [15, 16], Holzbaudatenbanken, Auslobung von

Holzbaupreisen (z. B. Holzbaupreis Eifel [17]), Entwicklung und Einsatz einer mobilen Ausstellung zur modernen Holzverwendung, Koordination und Mitarbeit in regionalen Clustern (z. B. ID Holz e. V., Wald und Holz Eifel e. V.), Fachveranstaltungen für Architekten, Holzbauunternehmen, Investoren, Immobilienwirtschaft; Messe- und Kongressauftritte; Einleitung einer Initiative ProHolz NRW in Zusammenarbeit mit den Clusterakteuren usw..

3 Weiterer Handlungsbedarf

Trotz guter Entwicklungen werden besonders in folgenden Bereichen noch weitere Anstrengungen notwendig sein, um den Holzbau in NRW voran zu bringen (in Anlehnung an [18]):

- > Koordiniertes Arbeiten an weiteren Verbesserungen von Holzbaunormen
- > Gemeinsame Anstrengungen mit stärkerer Vernetzung der Holzbaubranche, um größere Marktanteile beim Bau von Mehrfamilienhäusern sowie Industrie- und Gewerbebauten ausschöpfen zu können
- > Erweiterung der Marktausrichtung vieler Holzbauunternehmen über die regionale oder örtliche Ebene hinaus
- > Weiterführung/Intensivierung der Kommunikation mit der allgemeinen Öffentlichkeit, politischen Entscheidungsträgern, Meinungsmittlern und Multiplikatoren im Bereich der Medien
- > Intensivierung der Marketingmaßnahmen durch den Cluster, dabei Fokussierung von Informationsvermittlung auf Bauherren, Planer, Bau ausführende Unternehmen und Hochschulen
- > Erarbeitung attraktiver und kundenfreundlicher Angebote
- > Verstärkte Forschung und Entwicklung an Produktinnovationen, besonders im Bereich Laubholz
- > Investitionen der öffentlichen Hand in die Errichtung von Referenzbauten mit konstruktiver Laubholzverwendung
- > Verstärktes Marketing für die Verwendung einheimischen Holzes zur Förderung der regionalen Wertschöpfung.

Wenn die Clusterakteure zusammen und koordiniert an diesen Aufgaben arbeiten, sollte es gelingen, die Anstrengungen zum Erfolg zu führen.

4 Fazit

Der Holzbau in NRW hinkt den Entwicklungen in vielen anderen Bundesländern noch hinterher. Es gibt hier hinsichtlich der Rahmenbedingungen einige Hürden, aber auch deutliche positive Entwicklungen, die in Zukunft zu Verbesserungen führen können, wenn notwendige Maßnahmen zur weiteren Entwicklung in koordinierter Zusammenarbeit der Clusterakteure ergriffen werden.

5 Literatur

- [1] Holzbau Deutschland: Statistiken 2017, 2017 (www.holzbau-deutschland.de)
- [2] Bundesrat (Hrsg.): Entschließung des europäischen Parlaments zu der Mitteilung der Kommission über den Stand der Wettbewerbsfähigkeit der Holz verarbeitenden Industrie und verwandter Industriezweige in der EU. Bundesdrucksache 113/01, 2001
- [3] Becher, G.: Clusterstatistik Forst und Holz, Tabellen für das Bundesgebiet und die Länder 2003 bis 2013 in Thünen Working Paper 48; Hamburg, 2015
- [4] Landesregierung NRW: Landeswaldbericht 2012; 2012 (www.umwelt.nrw.de)
- [5] MKULNV NRW: Landeswaldinventur NRW (2012-2014); 2014 (www.bwi.info)
- [6] BMEL: Dritte Bundeswaldinventur (2012); 2014 (www.bwi.info)
- [7] MKULNV NRW: Laubholzstudie NRW – Eine Untersuchung zum Aufkommen und zum Potential der Vermarktung von Laubholz in NRW; 2015
- [8] MKULNV NRW: Richtlinie über die Gewährung von Zuwendungen zur Verbesserung, Gewinnung, Vermarktung und effizienten Verarbeitung forst- und holzwirtschaftlicher Erzeugnisse bis zur ersten Verarbeitungsstufe der Holzwirtschaft, Förderrichtlinie forst- und holzwirtschaftlicher Erzeugnisse (Holz 2015) RdErl des MKULNV – III-2.40.00.00-14 vom 31.8.2015
- [9] MKULNV NRW: Studie Wald und Klimaschutz in NRW – Beitrag des NRW Clusters ForstHolz zum Klimaschutz; 2013
- [10] BMEL: Klima schützen. Werte schaffen. Ressourcen effizient nutzen., Charta für Holz 2.0; 2017
- [11] Land Nordrhein-Westfalen: Bauordnung für das Land NRW (Landesbauordnung – BauO NRW), Gesetz- und Verordnungsblatt (GV.NRW.) Ausgabe 2016 Nr. 45 vom 28.12.2016, S. 1161 bis 1194
- [12] Dederich, L.: Baurechtliche Hemmnisse und Ansatzpunkte zur Überwindung in Thünen Report 9; Hamburg, 2013
- [13] MBWSV NRW, NRW.BANK: Regionale Wohnungsneubaunachfrage und Baulandbedarf infolge der Zuwanderung von Flüchtlingen nach Nordrhein-Westfalen sowie der demografischen Entwicklung bis 2020; 2016
- [14] MKULNV NRW: Richtlinie über die Gewährung von Zuwendungen an Hoch- und Fachhochschulen des Landes Nordrhein-Westfalen zur Verbesserung des „Wissensstandes über Laub- und Nadelhölzer als Werk- und Baustoffe im Bauwesen“ (Holz-Wissen), Referentenentwurf, Stand 27.04.2017
- [15] Wald und Holz Eifel e. V.: Holzbau für die Eifel – Impulse für kommunale Entscheider; 2015
- [16] Wald und Holz Eifel e. V.: Holz – eine attraktive und bewährte Lösung im Wohnungsbau – Eine Entscheidungshilfe für alle, denen Klimaschutz und Wohngesundheit wichtig sind; 2016
- [17] Holzkompetenzzentrum Rheinland: Holzbaupreis Eifel 2016 – Regionale Dokumentation; 2017
- [18] Mantau, U. et al.: Das Bauwesen als Zugpferd der Holzverwendung – Resümee zur Marktstudie Holzverwendung im Bauwesen, in Thünen Report 9; Hamburg, 2013



Tom Kaden

Geschäftsführer Kaden + Lager GmbH

Kaden + Lager Architekten GmbH
Alexanderstraße 7
10178 Berlin
kaden@kadenundlager.de

- 2016 Berufung als Mitglied des Konvents der Bundesstiftung Baukultur
- 2015 Deutscher Holzbaupreis 2015 für c13
Vorarlberger Holzbaupreis 2015 für c13
Kaden + Lager GmbH mit derzeit 25 festangestellten Mitarbeitern
- seit 2014 Lehrauftrag Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde am Fachbereich Holztechnik
- 2012 Personalausstellung Kaden Klingbeil „HolzWerkHolz“ in der Architekturgalerie Aedes am Pfefferberg Berlin
- 2009 Berufung Bund Deutscher Architekten BDA
- 2006 Auftrag Projekt e_3, dieses Projekt war der Einstieg in das mehrgeschossige (GK 5) Bauen mit dem Werkstoff Holz in einer verdichteten städtischen Situation und auch der Einstieg in das sogenannte partizipative Bauen
Preise u. a.: Dt. Ingenieurbaupreis, BDA-Preis, Dt. Holzbaupreis, DETAIL-Preis
- 2002 - 2013 Kaden Klingbeil Architekten

Urbaner Holzbau

Geschäftsführer Tom Kaden, Kaden + Lager GmbH

Seit der Fertigstellung des Projekts e_3 im Mai 2008 in Berlin hat sich im Bereich des urbanen mehrgeschossigen Holzbaus viel getan: Gebaut wurden mittlerweile bis zu 14-geschossige Holzkonstruktionen und in Planung befinden sich über 25-geschossige Gebäude mit einem signifikanten Holzanteil in der Primärkonstruktion.

Diese „Leuchttürme“ sind wichtig für die allgemeine Entwicklung des urbanen Holzbaus. Sie zeigen die mittlerweile vorhandene Leistungsfähigkeit der Architekten, Ingenieure und Holzbaufirmen. Die eigentliche Zukunft liegt jedoch eher in der „Fläche“, also der 4- bis 8-geschossigen Konstruktion.

Unser städtebaulich-architektonisches Verständnis orientiert sich – um mit Julius Posener zu sprechen – an der „Geschichte der neuen Architektur“: Es kommt darauf an zu fragen, „wann die gesellschaftlichen Umstände auch für das Bauen neue Gedanken angeregt haben und in welchen Formen sich solche Gedanken jeweils niederschlagen können“. Eine mögliche Antwort: In Formen „neuer“ Materialien! Der aktuelle Holzbau ist neben seinen altbekannten Komponenten „nachwachsend“ und „kohlenstoffbindend“ insofern eine neue Form des Bauens, als dass er mit den traditionellen europäischen und asiatischen Holzkonstruktionen nur noch wenig zu tun hat. Wir reden heute, sowohl was den Stab und die Stütze (BSH, KVH, FSH) als auch was die Wand (Tafel, Massivholz, CLT, Furnierschichtholz) und die Decke (Brettstapel, CLT, HBV) anbelangt, von industriell gefertigten Halb- oder Fertigprodukten, die auf der Baustelle nur noch montiert werden müssen, aufgrund ihrer ausgeprägten Präfabrikation kurze Bauzeiten ermöglichen und zudem im Vergleich mit den herkömmlichen Materialien Ziegel mindestens 5 % weniger Konstruktionsfläche und insofern mehr Nutzfläche generieren. Gute „Holzarchitektur“ in der Stadt ist durchaus als Ausdruck einer gesellschaftlich determinierten Notwendigkeit zu verstehen: Wir reagieren mit architektonisch-ingenieurtechnisch neuen Lösungsansätzen auf den dramatischen klimatischen Imperativ. Von bestimmten nicht ohne politischen Einfluss agierenden Segmenten der Dämmstoffindustrie abgesehen sind sich alle einig: Es gibt einen riesigen Veränderungsdruck im Baubereich, dem keinesfalls mit immer dickeren Dämmschichten aus geschäumten Heizöl zu begegnen ist! Wenn wir stattdessen den Werkstoff Holz klug in den Primärkonstruktionen der Wohn- und Gewerbebauten einsetzen, können wir zumindest im Baugewerbe den Anteil der grauen Energie erheblich senken.

Den gerade in den Großstädten zunehmenden kapitalistischen Druck auf den Wohnungsmarkt muss man aus stadtsoziologischer Sicht verurteilen, wenn weiterhin so agiert wird wie es derzeit Usus ist: Verdrängung der Einkommensschwachen aus den zentralen und attraktiven Stadtvierteln! Natürlich ist es naiv zu glauben, dass der urbane Holzbau diese Probleme lösen könnte. Wenn es allerdings gelingt, den Anteil am Verdichtungspotential der Städte signifikant mit dem Thema Holzbau zu besetzen, wäre vielen geholfen: den öffentlichen und privaten Waldbesitzern im Sinne einer nachhaltigen Forstwirtschaft, den Sägewerken und Holzverarbeitenden Betrieben, den Zimmereibetrieben, den Besitzern und Nutzern der Gebäude sowie dem Klima. Aber lassen wir uns bitte nicht täuschen vom inflationären Gebrauch der Begrifflichkeit „Nachhaltigkeit“: Produktion und Konsumtion sind immer ressourcenverbrauchend.

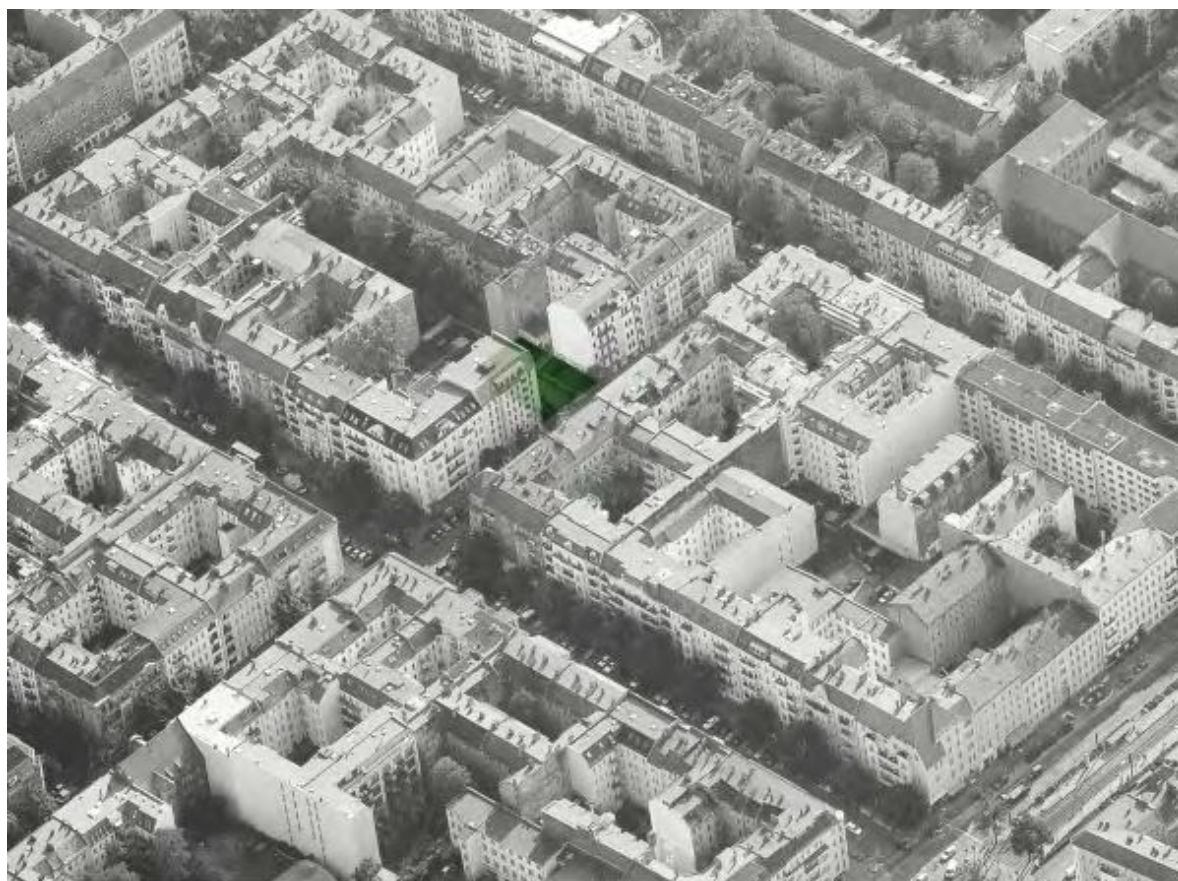
Bild 1: Die wesentlichen drei Holzbausysteme, in denen wir in den Gebäudeklassen 3 bis Hochhaus aktuell planen und bauen (von links: Rahmenbau, Skelettbau, Massivholzbau)



Es steht außer Frage, dass der aktuelle Holzbau in Deutschland allen anstehenden Bauaufgaben gewachsen ist und dass der konsequente Einsatz von Holz einen wesentlichen Beitrag zum Ressourcen schonenden Bauen liefern kann.

Allerdings muss konstatiert werden, dass der deutsche Holzbau im Gegensatz zu unseren Nachbarländern Österreich und Schweiz keine wirtschaftlich starke und mithin politisch prägende Lobby hat. Das wiederum hat zur Konsequenz, dass es im Normungswesen und in der Überarbeitung der Landesbauordnungen (Ausnahme Baden-Württemberg) kaum Fortschritte gibt und wir nach wie vor in vielen Projekten außerhalb der jeweiligen LBO mit Ausnahmeregelungen und Kompensationsmaßnahmen arbeiten müssen, was an der ein der anderen Stelle die Konkurrenzfähigkeit in Frage stellt.

Bild 2: Der durch den urbanen Holzbau zu verdichtende Stadtraum





**Bild 3: e3 in Berlin,
eine Pfosten-Riegel-
Konstruktion**

**Bild 4: e3 in Berlin,
gemeinsam genutzte
Terrassen vor den
privaten Wohnungsein-
gängen**



Bild 5: c13 in Berlin, ein multifunktional genutztes Gebäude in einer Berliner Baulücke



Bild 6: c13 in Berlin, der Rohbau der siebengeschossigen Massivholzkonstruktion





Bild 7: c13 in Berlin, Blick in Richtung Christburger Straße



Bild 8: c13 in Berlin, Blick aus dem DG



**Bild 9: Projekt Pistorius-
platz für eine Baugruppe
mit 48 Familien**



**Bild 10: Projekt Sanierung
und DG-Neubau
Karl-Marx-Straße
Berlin-Neukölln**



**Bild 11: Projekt
Tor-zur-Welt in der
Hafencity Hamburg
für eine Baugruppe
mit 38 Familien**



**Bild 12: Projekt
Bayrischer Bahnhof in
Leipzig mit 200 WE**



Prof. Dr.-Ing. Leif A. Peterson

Professor für Holzbau und Bauphysik

FH Aachen
Fachbereich Bauingenieurwesen
Bayernallee 9
52066 Aachen
peterson@fh-aachen.de

- seit 2012 Professor für Holzbau und Bauphysik am Fachbereich Bauingenieurwesen der FH Aachen
- seit 2005 Freiberufliche Ingenieur Tätigkeit
- 2008 - 2012 Akademischer Rat und Leiter der Abteilung Holzbau am Institut für Bauphysik der Leibniz Universität Hannover
- 2000 - 2007 Promotion zum Dr.-Ing. an der Leibniz Universität Hannover
„Zum Tragverhalten nachgiebig verbundener Biegeträger aus Holz“
- 1994 - 2000 Studium Bauingenieurwesen an der Universität Hannover mit Schwerpunkt Konstruktiver Ingenieurbau
- 1993 Abitur am Gymnasium Walsrode
- 1974 geboren in Rotenburg/Wümme



Prof. Dr.-Ing. Thilo Röth

Professor für Fahrzeugkonzepte/Karosserietechnik

FH Aachen
Fachbereich Luft- und Raumfahrttechnik
Hohenstaufenallee 6
52064 Aachen
roeth@fh-aachen.de

- seit 2015 share2drive GmbH – Leiter Fahrzeugentwicklung/CarSharing
- seit 2006 Leiter des Labors für Automobiltechnik an der FH Aachen
- seit 2001 Professor für Fahrzeugkonzepte/Karosserietechnik am Fachbereich Luft- und Raumfahrttechnik an der FH Aachen
- seit 1998 Imperia Gesellschaft für angewandte Fahrzeugentwicklung mbH:
Gesellschafter Geschäftsführer verantwortlich für die Geschäftsfelder
Fahrzeugkonzepte & Fahrzeugkleinserien, Leichtbau und Simulation & Versuch
- 1992 – 1998 Ford Company USA Dearborn & Ford EU: Diverse Funktionen und Bereiche in
der Karosserieentwicklung und der passiven Fahrzeugsicherheit
- 1995 - 2001 Industrie-Promotion zum Dr.-Ing. an der Ruhruniversität Essen/Duisburg
- 1987 – 1992 Studium der Fertigungstechnik an der Universität Erlangen und
Studium der Fahrzeugtechnik an der RWTH Aachen
- 1985 Abitur am Gregor-Mendel-Gymnasium in Amberg
- 1965 geboren in Amberg i.d. Opf.

Holzwerkstoffe in Karosseriestrukturen

Prof. Dr.-Ing. Leif A. Peterson, Holzbau und Bauphysik, Fachbereich Bauingenieurwesen,
Prof. Dr.-Ing. Thilo Röth, Fahrzeugkonzepte und Karosserietechnik, Fachbereich Luft- und Raumfahrttechnik,
Prof. Dr.-Ing. Thomas Uibel, Holzbau und Grundlagen konstruktiver Ingenieurbau, Fachbereich
Bauingenieurwesen | alle FH Aachen

Kurzfassung

Der Energiebedarf und somit der CO₂-Ausstoß bzw. das CO₂-Äquivalent unserer motorisierten Fortbewegungsmittel (kraftstoff- oder strombasiert gleichermaßen) sind maßgeblich von der insgesamt bewegten Masse abhängig. Die Fahrzeughersteller sind folglich bei der Verbesserung ihrer Produkte sehr an Leichtbaustrukturen interessiert. Dass der bionisch optimierte Werkstoff Holz diesbezüglich eine herausragende Leistungsfähigkeit besitzt, ist bekannt. In der Forschungslandschaft sind daher zunehmend Studien zur Verwendung von Holz im Fahrzeugbau zu beobachten. In einem interdisziplinären Forschungsvorhaben an der FH Aachen werden Untersuchungen durchgeführt, um die Potentiale von Holzwerkstoffen und Holzhybridwerkstoffen im Fahrzeugbau aufzuzeigen, über die im Folgenden ein aktueller Stand präsentiert wird.

1 Motivation

Holz im Fahrzeugbau und besonders im Karosseriebau ist, wie in Bild 1 angedeutet, ein alter Bekannter, der im Zuge der Industrialisierung gemeinsam mit der Berufsgruppe der Stellmacher praktisch in Vergessenheit geriet.

Es ist neben der sehr hohen Nachhaltigkeit der immanenten Leistungsfähigkeit des Holzes zu verdanken, dass in der Fachwelt inzwischen wieder neue Anwendungen von Holz- oder Holzverbundkonstruktionen im Fahrzeugbau diskutiert werden. Als Beispiele können der „Splinter“ der North Carolina State University, das Projekt „Hammer“ vom Wilhelm-Klauditz-Institut, der Volkswagen AG et al., der „NIOS“ der TU Chemnitz et al. oder die Konzeptstudie „Biofore“ der Helsinki Metropolia Fachhochschule erwähnt werden. Die aktuelle Designstudie „Setsuna“ von Toyota in Zusammenarbeit mit „Sumitomo Forestry“ aus Japan (Bild 2) zeigt wie umfassend sich die Fahrzeugindustrie bereits heute mit dem Werkstoff Holz im Fahrzeugbau der Zukunft auseinandersetzt. Die aus 86 Teilen bestehende Elektrofahrzeugstudie verwendet u.a. Birke sowie Zedernholz und verzichtet auf geklebte oder mechanische Verbindungen. Die Holzstruktur und die hölzernen Beplankungselemente werden durch passgenaue Steckverbindungen in Anlehnung an bekannte Holzbauprinzipien miteinander gefügt.

Die Einsatzfähigkeit von Materialien in Karosseriestrukturen ist neben den mechanischen Eigenschaften wesentlich auch durch die Konstruktion und vor allem den Anforderungen bei der Fertigung der Tragstruktur geprägt.

Der Naturfaser-Verbundwerkstoff Holz birgt zahlreiche Vorteile als Konstruktionsmaterial. Sein natürliches Nachwachsen, seine weltweite Verfügbarkeit wie auch seine sehr gute Recycelbarkeit sind ursächlich für einen zweifelsfrei nachhaltigen und ökobilanziell günstigen Umgang mit den Ressourcen unseres Planeten. So kann bei der Substitution einzelner Tragglieder in einer Karosseriestruktur ein geringer Primärener-

Bild 1: Hölzerner Karosseriebau
> 1932 Ford Model B Station Wagon
> 1936 DKW F5 Front Luxus Sport
> 1938 Opel-Blitz Auwärter-Aufbau
Quellen
(von links nach rechts):
i.wheelsage.org,
www.holzkarosserie.de
www.konrad-auwaerter.de





gieaufwand bzgl. der Herstellung erwartet und somit der CO₂-Footprint des gesamten Automobils reduziert werden. Überdies sind Holzbauteile als CO₂-Speicher zu verstehen und somit ist die stoffliche Bindung dieses maßgeblich die Klimaerwärmung befördernden Gases grundsätzlich zu befürworten. Wenn überhaupt bekommen wir den Klimawandel nur mit weltweiter Aufforstung und stofflicher Bindung in Holzprodukten aller Art in den Griff. Auch die kurzen Transportwege im gesamten Bereich der Wertschöpfung bis zur Montage begünstigen den schonenden Verbrauch unserer Ressourcen. Da diese Themen im kollektiven Bewusstsein mit zunehmender Tendenz vorhanden sind, ergeben sich hieraus, wie auch aus dem insgesamt sehr positivem Image des Holzes, zwangsläufig auch strategische Marketingvorteile für mögliche Anwender in der Automobilbranche.

Aus dieser Motivation heraus wurden innerhalb des interdisziplinären Forschungsprojekts „Hoka im Fahrzeugbau“ experimentelle Untersuchungen an verschiedenen Hölzern und Holzwerkstoffen durchgeführt. Die Versuchsergebnisse wurden in Relation zu im Fahrzeugbau gängigen Strukturmaterialien gesetzt. Anschließend wurde am Beispiel einer untergeordneten Teilstruktur, einer neuartigen Fahrzeughecköffnung, die produktionstechnische Machbarkeit untersucht. Die unterschiedlichen Herangehens- und Denkweisen der beiden Ingenieurdisziplinen zeigten sich im Verlauf des Projektes. Beispielshaft zu nennen sind hier die Betrachtungen der mechanischen Materialeigenschaften und der geschwindigkeitsabhängigen Beanspruchungen, deren Abgleich für beide Seiten zu Erkenntnisgewinnen führte.

2 Anforderungen im Karosseriebau

Grundsätzlich lässt sich die Denkweise im industriellen Karosseriebau wie im Bild 3 dargestellt formulieren: Eine Karosseriestruktur hat bestimmte Funktionen (bzw. Eigenschaften) zu erfüllen. Diese sind bei einem Hochleistungsportwagen andere als bei einem kleinen Stadtwagen. Es gilt grundsätzlich, dass die geforderten Aufgaben der Struktur bei geringstem Gewicht und geringsten Kosten zu erfüllen sind. In der konkreten Umsetzung bedeutet dies, dass der gewählte Werkstoff (üblicherweise Stahl, Aluminium oder CFK) in

Bild 2: Aktuelle Konzeptstudie „Setsuna“ von Toyota mit Holzwerkstoffen

Quelle: Toyota
Pressebilder



Bild 3: Strukturlösungen im Spakat der Anforderungen

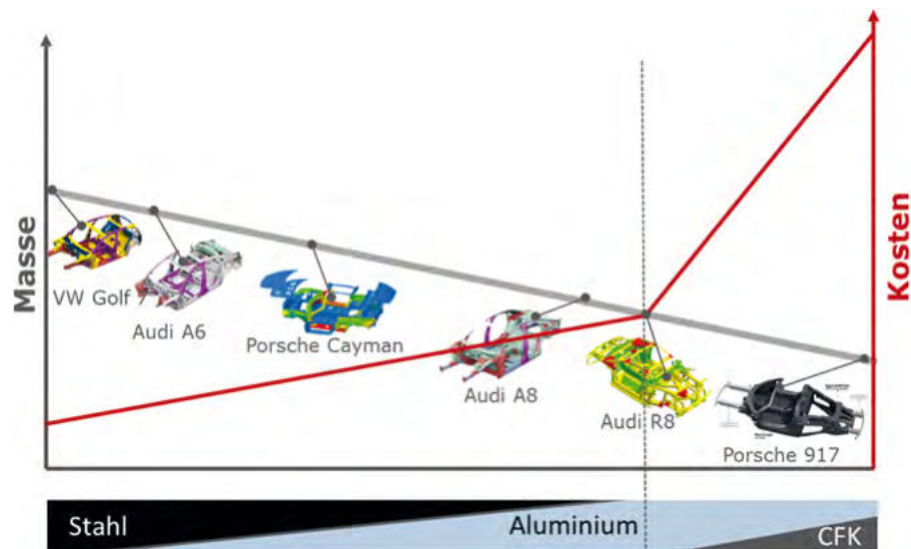


Bild 4: Leichtbau am Beispiel der VW-Gruppe

entsprechender Bauweise (z. B. Differential- oder Integralbauweise) und mit entsprechender Produktionstechnik (z. B. Gießen oder Umformen) hergestellt wird. Fahrzeugstrukturen aus Holz unterliegen derselben Maxime und stehen im harten Wettbewerb mit den heutigen, etablierten Lösungen.

An die Karosseriestrukturen wird eine Vielzahl von Ansprüchen gestellt. Diese erstrecken sich von der Tragfähigkeit bei unterschiedlichsten Betriebszuständen, der Bereitstellung von bestimmten statischen und dynamischen Steifigkeiten, um optimale Fahreigenschaften sicherzustellen, bis hin zu definierte Deformationseigenschaften (hohe Crashfestigkeit versus Energieabsorption), um die Insassen im Crash-Fall zu schützen. In einer modernen Karosserie bilden die einzelnen Längs-/Querträger sowie vertikalen Säulen und deren Verbindungsknoten ein entsprechend multifunktionales Gebilde, welches je nach Fahrzeugtyp auf ein entsprechendes Anforderungsprofil hin mittels modernster FE-Methoden ausgelegt wird.

Die qualitativen Massen und Kosten für die Karosserietragstruktur sind im Bild 4 in Abhängigkeit der gängigen Materialien im Automobilbau am Beispiel der VW-Gruppe dargestellt. Die daraus abzuleitende Frage für einen Einsatz des Werkstoffes Holz in Karosseriebauteilen ist, zu welchen Kosten Strukturen gleichwertig oder besser ersetzt werden können. Hieraus ließe sich eine sinnvolle Positionierung von Holz in der unteren Materialeiste ableiten. Bei einer – in der Fahrzeugindustrie typischen – LCE-Betrachtung (Life Cycle Engineering) kann bei entsprechendem Leichtbaupotential über den gesamte Lebenszyklus eines Fahrzeugs (Herstellung, Betrieb, Wiederverwertung und Deponierung) zusätzlich von einem hohen Vorteil für Karosseriestrukturen aus Holzwerkstoffen ausgegangen werden.

Ein sehr positiver Marketingeffekt für Fahrzeugstrukturen aus Holz kann in jedem Fall vorausgesetzt werden. Trotz aller Sympathien für Holz gilt es, auch den üblichen Ressentiments (altertümlich, gammelt, brennt ...) zu begegnen und die Aspekte Qualität und Langlebigkeit objektiv zu bewerten. Dies erzeugt die Notwendigkeit einer transparenten Herausarbeitung der Vorteile einer solchen Materials substitution. Die großen Stückzahlen in der Serienfertigung rechtfertigen allerdings völlig neuartige und innovative Verfahren im Herstell- und Montageprozess derartiger hölzerner Strukturen, die sich gegenüber den Fragen der Qualität und der Dauerhaftigkeit im Vergleich zu den etablierten Werkstoffen beweisen müssen.

3 Versuchsprogramm

Die Auswahl der untersuchten Werkstoffe war bereits durch die zu erwartenden Anforderungen an die Homogenität, die möglichst verlässliche Dimensionierbarkeit und die Dauerhaftigkeit geleitet. Als Referenz wurde die im Bauwesen übliche und daher gut bekannte Holzart Fichte gewählt. Zugunsten der Dauerhaftigkeit wurde Accoya und Bangkirai untersucht. Die im Leicht- und Modellbau bekannte Holzart Balsa bildet gemeinsam mit der in unseren Regionen heimischen Laubholzart Buche den Abschluss der untersuchten Vollhölzer. Da gerade die strömungsmechanisch relevanten Außenflächen meistens gekrümmte Strukturen erfordern, wurden des weiteren drei Furnierschichtholzarten mit in das Versuchsprogramm aufgenommen.

Art	Rohdichte $\rho_{N,mean}$ in kg/m ³	E-Modul $E_{0,mean}$ in N/mm ²	Prüfkörperkosten netto in EUR/m ³
Fichte VH	430 - 470	10.000 ^[1]	200 - 250
ACCOYA VH	521 ^[3]	11.000 ^[4]	1500 - 1650
Bangkirai VH	940 ^[8]	14.000 ^[2] 15.000 - 20.100 ^[8]	1700
Balsa VH	170 ^[7]	4.500 ^[7]	950
Buche-Kantel VH/BSH	680 ^[5]	14.000 ^[1] 12.100 - 17.000 ^[5]	1500 - 1600
Fichte FSH	550	13.800 ^[9]	1000
Buche FSH	700	11.000 - 16.000	1440
Birke FSH	600	6.000 ^[1]	1750

[1] Neuhaus, H.: Ingenieurholzbau. Vieweg+Teubner, Wiesbaden, 2009

[2] DIN EN 338, Ausgabe Juli 2016. Bauholz für tragende Zwecke - Festigkeitsklassen

[3] Blaß, H.J.; Frese, M.; Kunkel, H.; Schädle, P.: Brettschichtholz aus acetylierter Radiata Kiefer, Karlsruher Berichte zum Ingenieurholzbau, Band 25, KIT Scientific Publishing, Karlsruhe, 2013

[4] Frese, M.; Blaß, H.J.: Dauerhaftes Brettschichtholz aus acetylierter Radiata Kiefer, Bautechnik, Band 91, Heft 1, Ernst & Sohn, Berlin, 2014

[5] Frese, M.: Die Biegefestigkeit von Brettschichtholz aus Buche, Karlsruher Berichte zum Ingenieurholzbau, Band 5, Universitätsverlag Karlsruhe, 2006

[6] Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt) Berlin: Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-9.1-679, 27.10.2014

[7] Kollmann, F.: Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe, Springer Verlag, Berlin/Heidelberg/New York, 1951

[8] Gesamtverband Deutscher Holzhandel e.V.: Merkblattreihe Holzarten - Bangkirai, Blatt 77, Berlin, 2010

[9] Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt) Berlin: Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-9.1-100, 06.06.2011

**Tabelle 1: Unter-
suchte Werkstoffe**

Der in Tabelle 1 aus der Literatur zusammengestellte Überblick der geprüften Werkstoffe offenbart die bekannten Streubreiten von Versuchsergebnissen auch innerhalb einer Holzart. Wie in Bild 5 zu erkennen, wurden ähnliche Probekörperabmessungen wie in der Automobilbranche üblich gewählt.

Insgesamt wurden 91 Versuche durchgeführt. Nach Herstellung der Probekörper wurden die Holzfeuchte, die Rohdichte und der dynamische E-Modul am FB 2 (Fachbereich Bauingenieurwesen) bestimmt. Die Biegeversuche am Laboratorium für Karosserietechnik des FB 6 (Fachbereich Luft- und Raumfahrttechnik) lieferten Biegesteifigkeitswerte, die zwar qualitative Vergleiche erlaubten, aber die zahlenmäßigen Ergebnisse konnten einer Plausibilitätsanalyse nicht standhalten. Die vorab durchgeführten Schwingungsmessungen an allen Probekörpern ergaben deutlich andere - plausiblere - Werte für die Biegeelastizitätsmoduln. Als Ursache hierfür konnten unverträglich hohe Eindrückungen im Bereich der Lasteinleitungen in das Prüfmaterial identifiziert werden. Vergleichende Untersuchungen am Institut für Baustoffe und Baukonstruktionen (IBB), in welchem die Kompetenzen des konstruktiven Ingenieurbaus im Fachbereich Bauingenieurwesen im Bereich Forschung und Entwicklung gebündelt werden, zeigten eine sehr gute Übereinstimmung zu den vorab auf Grundlage von Schwingungsmessungen und Rohdichte-Korrelationsgleichungen prognostizierten Werten.



**Bild 5: Geprüfte
Werkstoffe**

Tabelle 2: Ergebnisse der Versuche zur Biegesteifigkeit am IBB

Probennr.	Rohdichte in kg/m ³	E_{dyn} in N/mm ²	E_{Versuch} in N/mm ²	$E_{\text{dyn}}/E_{\text{Versuch}}$
FICHTE				
1.1	454	9162	9527	0,96
1.2	439	8926	9501	0,94
1.3	449	9271	10137	0,91
BANKIRAI				
2.1	1016	20834	21502	0,97
2.2	944	19490	18666	1,04
2.3	1030	21477	22516	0,95
ACCOYA				
3.1	556	11331	8358	1,36
3.2	526	10490	9565	1,10
3.3	526	10791	10186	1,06
Kerto S				
4.1	532	10333	11113	0,93
4.2	541	10919	12752	0,86
BALSA				
5.1	182	3606	3532	1,02
5.2	194	3862	4801	0,80
5.3	168	3432	3598	0,95

Zur Untersuchung der Steifigkeiten wurden an jeweils drei Probekörpern Versuche mit den im Fahrzeugbau üblichen Konfigurationen für Drei-Punkt-Biegung, axiale Stauchung und Torsion unter quasistatischer Belastung durchgeführt.

Insbesondere die Crash-Versuche, in denen ebenfalls Beanspruchungen bei Drei-Punkt-Biegung bzw. bei axialer Stauchung für eine sehr hohe Aufprallgeschwindigkeit untersucht wurden, stellen für konstruktive Holzingenieure unübliche Untersuchungsformen der Beanspruchbarkeit von Holz dar. Bei diesen Versuchen wird ein 300 kg schweres Gewicht auf ca. 40 km/h beschleunigt und trifft auf den Probekörper, so dass dieser quasi zerschossen wird. Aufnahmen mit einer Hochgeschwindigkeitskamera erlauben gemeinsam mit den gemessenen Höchstlasten im Anschluss des Versuches eine dezidierte Analyse des dynamischen Versagensverhaltens.

4 Versuchsergebnisse

Die quasistatischen Versuche und die Crash-Versuche wurden zunächst getrennt ausgewertet. Das Hauptaugenmerk lag hierbei auf der gewichtsbezogenen, elastischen Steifigkeit und dem Deformationsverhalten.

Eine Betrachtung der gewichtsbezogenen Biege- und Torsionssteifigkeiten in Bild 7 lässt erkennen, dass die Prüfkörper aus Holz bzw. Holzwerkstoffen überwiegend geringere Torsionssteifigkeiten als die üblichen metallischen Karosserieprofile zeigen. Einige Holzwerkstoffe überzeugen durch vergleichsweise hohe gewichtsbezogene Biegesteifigkeiten. Insgesamt ist das Leistungsspektrum der untersuchten Holzarten und Holzwerkstoffen bezüglich der gewichtsbezogenen Steifigkeiten sehr breit. Während der Versuchsdurchführung konnte festgestellt werden, dass typische Versuchsabläufe, wie diese im Fahrzeugbau eingesetzt, werden nicht optimal geeignet sind statische Steifigkeiten zu ermitteln. Tendenziell weiche Oberflächen der Prüfkörper aus Holz liefern ungenaue Steifigkeitswerte. Zukünftig erscheinen hier neue Prüfvorschriften in Anlehnung an Versuche für Holz und Holzwerkstoffe im Bauwesen zielführend.

Bild 6: Versuchseinrichtungen



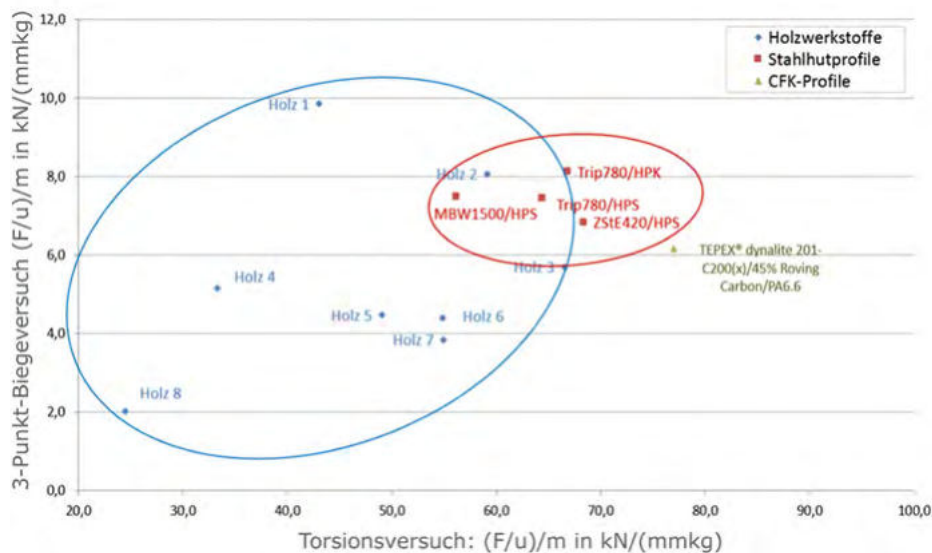


Bild 7: Gewichts-
bezogene Steifigkeiten

Beim Deformationsverhalten wird in der Fahrzeugprüfung vorrangig das Verhältnis der maximalen Belastung zu der absorbierten Energie über den gesamten Versuchsablauf definiert. Je nach Teilstruktur im Fahrzeug und zu betrachtenden Lastfall ist eine hohe maximale Belastung (z. B. axial bei einem Türschweller im Frontalaufprall), eine hohe maximale Energieabsorption (z. B. Vorderwagenlängsträger beim Frontalaufprall) oder eine Kombination (z. B. B-Säule bei einem Seitenaufprall) erstrebenswert.

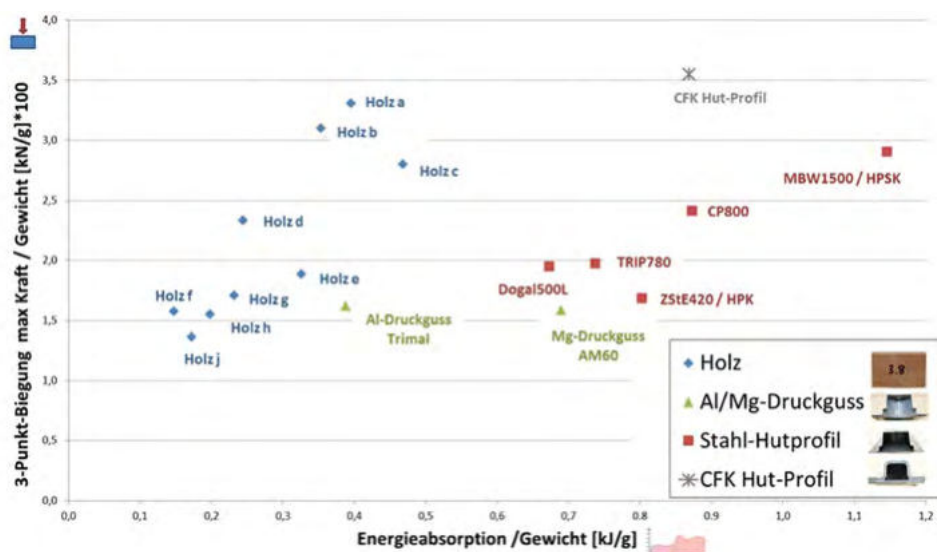


Bild 8: Gewichts-
bezogenes Deformations-
verhalten – Biegung

Einige Holzwerkstoffe erreichen gewichtsbezogen sehr hohe Kraftmaxima (d. h. ausgezeichnete Crashfestigkeiten) unter Biegebelastungen. Bild 8 lässt erkennen, dass durch ein spröderes Versagen (Bruchverhalten) der Hölzer und Holzwerkstoffe das Energieabsorptionsverhalten bei Biegebeanspruchung tendenziell ungünstiger ist als bei den im Karosseriebau typischen Profilen. Diesem Verhalten könnte ggfs. mit „Stützstümpfen“ aus natürlichen Gewebefasern oder neuartige Hybrid-Konstruktionen aus Metall-Holz-Verbund entgegen gewirkt werden. Das gewichtsbezogen Deformationsverhalten unter axialer Stauchung ist für einige Holzwerkstoffe ausgesprochen attraktiv (Bild 9).

Bei axialer Stauchung weisen bestimmte Holzarten bzw. Holzwerkstoffe einerseits ein sehr hohes Kraftniveau, andererseits ein hohes Energieabsorptionsvermögen auf. Ursächlich hierfür ist das gutmütige Deformationsverhalten von Holzwerkstoffen unter dieser Beanspruchung.

Die Hochgeschwindigkeits-Crash-Versuchen mit 40 km/h bestätigen das grundsätzliche Potential von bestimmten Holzwerkstoffen hinsichtlich des Deformationsverhaltens (Bild 10).

Bild 9: Gewichtsbezogenes Deformationsverhalten – Stauchung

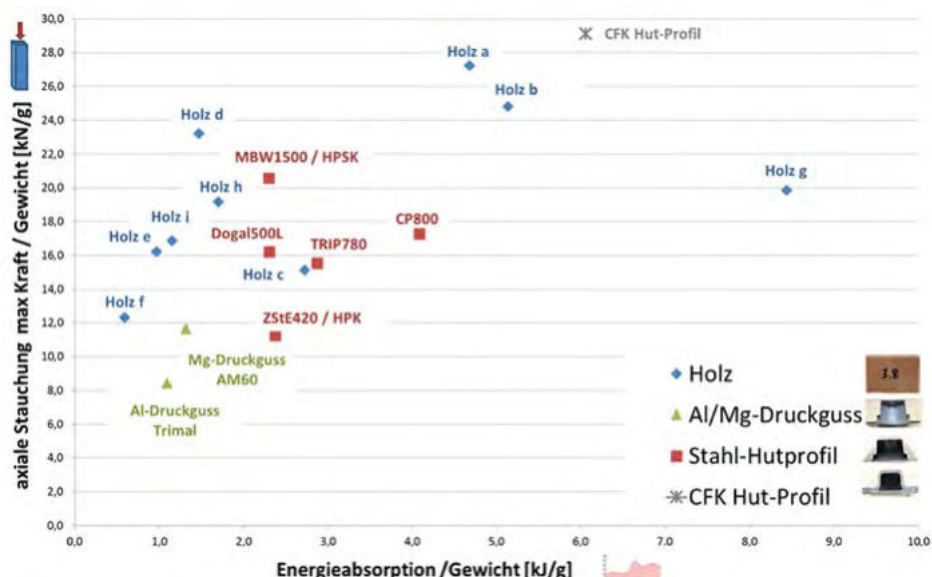
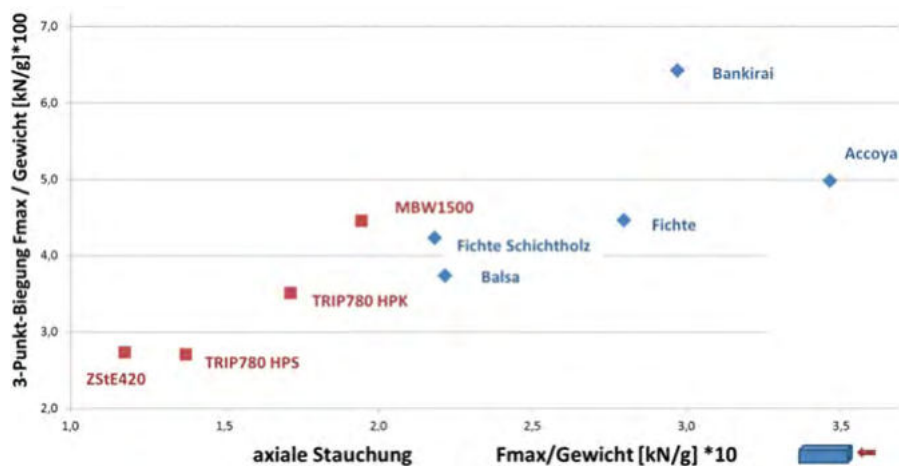


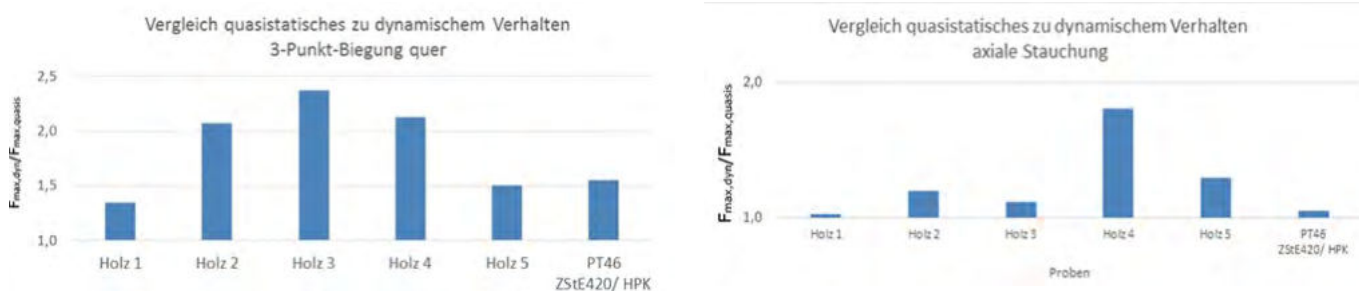
Bild 10: Dynamisches Deformationsverhalten bei 40 km/h

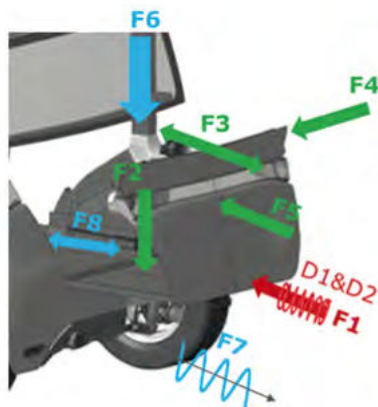


Für crashrelevante Strukturen – rund um die Fahrgastzelle – zeigen einige der untersuchten Holzwerkstoffe insbesondere unter Biegebeanspruchung durchaus ihre Berechtigung. Wie häufig auch im Bauwesen ist ein weiteres hohes Potential bei hybriden Bauweisen, also bei der gemeinsamen Verwendung mehrerer Materialien, zu finden.

Für typische im Fahrzeugbau eingesetzte Werkstoffe ist das dehnratenabhängige Materialverhalten (Veränderung der mechanischen Eigenschaften bei stoßartiger Belastung) hinreichend bekannt. Das auf Versuchen basierende Wissen hierzu findet heute bei der Auslegung von Crashstrukturen entsprechend Anwendung. Im klassischen Holzbau ist die Veränderung von Werkstoffeigenschaften unter Crash-Belastungen bis dato von untergeordneter Bedeutung und daher wenig untersucht. Bild 11 zeigt die sogenannte dynamische Überhöhung einiger Holzarten bzw. Holzwerkstoffe im Vergleich zu einem punktschweißgeklebtem, geschlossenen Hutprofil aus höherfestem Stahl. Es ist eine tendenziell sehr hohe Dehnratenabhängigkeit bei Holzwerkstoffen feststellbar.

Bild 11: Dynamisches Deformationsverhalten bei 40 km/h





Crash

- Heckaufprall (F1) gemäß zwei unterschiedlicher Deformationscharakteristiken (D1 & D2)

Steifigkeit

- Durchbiegung bei max. Belastung (F2 = 800N)
- Öffnen – Zug & Druck (F3 = 500N)
- Lateralsteifigkeit (F4 = 500N)
- Beulsteifigkeit der Außenhaut

Betriebsfestigkeit

- Missbrauch „One-Man-Standing“ (F6 = 1.200N)
- Dauerschwingverhalten geöffnet (F7)
- Schließtest (F8 = 10.000x)

Bild 12: Mechanisches Lastenheft der Fahrzeugteilstruktur Heckschublade

Obwohl ein interessantes Potential hinsichtlich mechanischer Eigenschaften von einigen Holzwerkstoffen bestätigt werden konnte, zeigen diese Untersuchungen auch, dass vor einem zukünftigen Einsatz in realen Fahrzeugstrukturen noch eine Vielzahl an grundlegenden Fragestellungen zu klären sind.

Neben der mechanischen Bewertung von Holzwerkstoffen – im Vergleich zu bekannten Fahrzeugstrukturen – gilt es, eine reale Fahrzeugteilstruktur in Holz zu entwickeln, um sowohl bauweisenspezifische als auch produktionsrelevante Herausforderungen im Fahrzeugbau zu identifizieren.

Für die Umsetzung in einer Fahrzeugteilstruktur ist die Entscheidung auf eine neuartige Hecköffnungsstruktur für ein urbanes Elektrofahrzeug gefallen. Anders als bei einer klassischen Heckklappe wird hier die Hecköffnung ähnlich einer Schublade aus dem Fahrzeug gezogen und kann dann mit Gegenständen (z.B. zwei Getränkekisten) beladen werden oder dient als Halter für bis zu zwei Fahrräder. Neben typischen Crash-Anforderungen gilt es, ein komplexes mechanisches Lastenheft zu berücksichtigen, vgl. Bild 12.

Als Ausgangsbasis dienen numerische Berechnungen mit dem Topologieoptimierer „Optistruct“, welche eine erste Idee für die lastgerechte Materialverteilung auf Basis des zuvor genannten Lasthefts erzeugt (Bild 13).

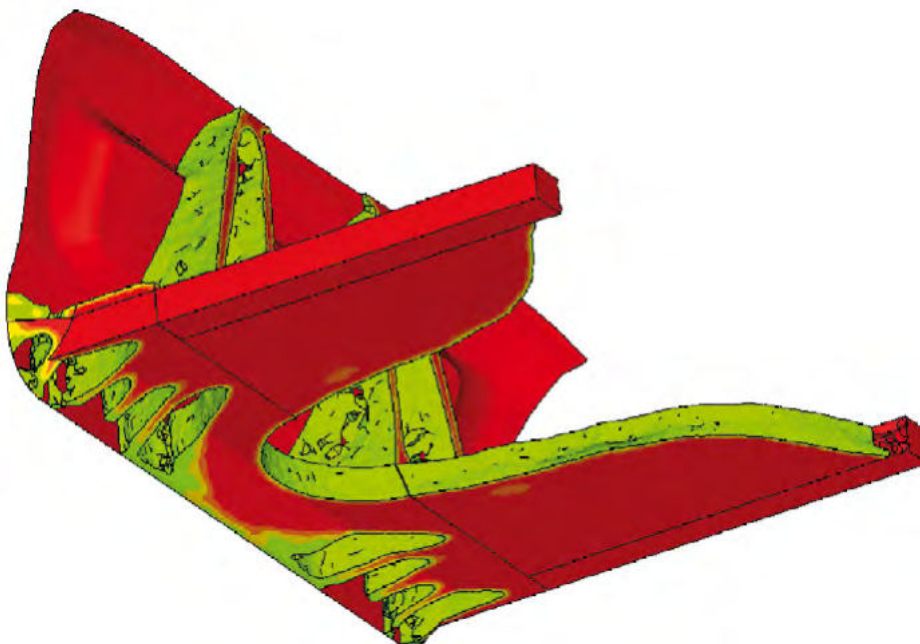


Bild 13: Beanspruchungsadaptive Formoptimierung

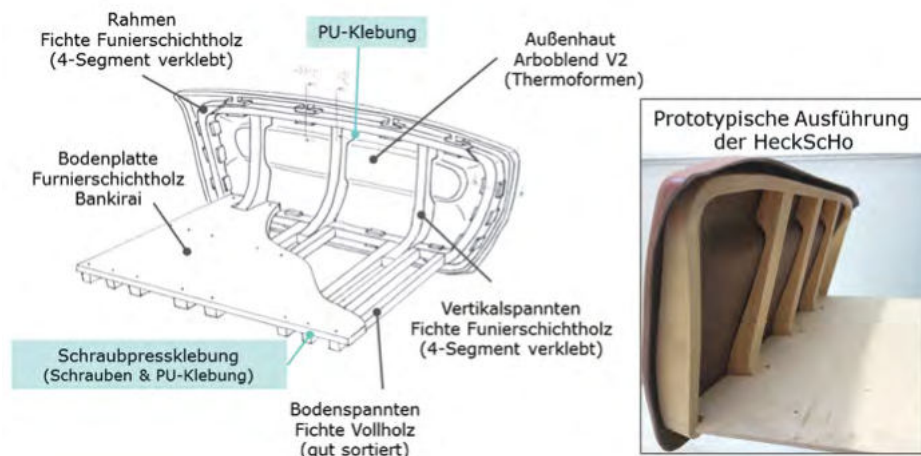


Bild 14: Werkstoff- und Fügekonzept der Heckschublade

Auf Basis des Topologiemodells wird mit dem Fachwissen der Fahrzeug- und Holzkonstruktionsexperten ein Bauweisen-, Füge- und Fertigungskonzept der Heckschublade entworfen (Bild 14). In dieser Phase werden sinnvolle Holzwerkstoffe festgelegt.

Für die Produktionsplanung der Heckschublade werden Variantenszenarien von 30.000 bis 100.000 Fahrzeugen pro Jahr (d. h. kleine bis mittlere Stückzahlen) erstellt. Für diese Teilstruktur werden Produktionsabläufe, wie diese in der Fahrzeugindustrie typisch sind, definiert und entsprechende kaufmännische Anfragen in der Holzverarbeitenden Industrie durchgeführt.

Als wesentliche Erkenntnis kann zusammengefasst werden, dass heutige formgebende Produktionsprozesse aus der Holzindustrie deutlich von den Bedürfnissen der Massenfertigung und den damit verbundenen Kostenstrukturen der Fahrzeugindustrie abweichen. Aber dieser Zustand ist im Fahrzeugbau nicht unbekannt. Erst nachdem sich neue Strukturlösungen als vorteilhaft im Fahrzeugbau herausgestellt haben, hat sich eine neue Zulieferindustrie hierfür entwickelt. Aus Sicht der Autoren ist dies gleichermaßen aus dem Kreise der Zulieferer der Fahrzeugindustrie als auch der Holzverarbeitenden Industrie möglich. Bisher bleibt offen, wer diese Marktchance und das wirtschaftliche Potential nutzt.

4 Potentiale und Ausblick

Das grundsätzliche Potential von Holzwerkstoffen für einen wirtschaftlichen Fahrzeugleichtbau – auch in typischen Rohbaustrukturen – konnte mit den vergleichenden Untersuchungen im Rahmen des hier vorgestellten Forschungsvorhabens aufgezeigt werden. Den natürlichen Werkstoff Holz in absehbarer Zeit in Großserienproduktionsprozessen zu etablieren, wie diese in der Automobilindustrie gefordert werden, stellt eine sehr große Herausforderung für die Holz- und Fahrzeugzulieferindustrie dar.

Eine Vielzahl an grundlegenden und speziellen Fragestellungen (Beschichtung, Brennbarkeit, Reproduzierbarkeit, erreichbare Toleranzen, Simulationsmethoden, Einsatzpotentiale, Crash-Verhalten) aber auch produktionsrelevanter Fragestellungen gilt es in der Zukunft zu klären, bevor Holzwerkstoffe als vollwertige Alternative im Fahrzeugbau von den Vorentwicklungsabteilungen der Fahrzeughersteller berücksichtigt werden können. Weitere Untersuchungen von Holz und Holzwerkstoffen im Rahmen der angewandten Forschung sind geplant, um die Berechenbarkeit mit Materialparametern zu spezifizieren und insgesamt einen serienmäßigen Einsatz des nachhaltigsten Leichtbaumaterials im Fahrzeugbau mit der Vision 2025 zu realisieren.



Studienpreis 2017



Christian Bedbur, B.Eng.

Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Lehr- und Forschungsgebiet Holzbau

FH Aachen
Fachbereich Bauingenieurwesen
Bayernallee 9
52066 Aachen
c.bedbur@fh-aachen.de

- seit 11/2016 Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Fachhochschule Aachen,
Fachbereich Bauingenieurwesen, Lehr- und Forschungsgebiet Holzbau
- seit 04/2016 Masterstudiengang Bauingenieurwesen (konstruktiver Ingenieurbau) an der
Fachhochschule Aachen
- 2012 - 2016 Bachelorstudiengang Holzingenieurwesen an der Fachhochschule Aachen
- 2010 - 2012 Berufsausbildung zum Tischler
 - 2010 Abitur am Erftgymnasium in Bergheim
 - 2007 Fachoberschulreife an der Realschule in Bedburg
 - 1990 geboren in Düren - Birkesdorf

Untersuchungen zur Ermittlung der Spaltkraft beim Eindrehen von selbstbohrenden Holzschrauben

Bachelorarbeit, Christian Bedbur, B.Eng.

Zusammenfassung

Im Holzbau werden zur Erstellung von Verbindungen häufig selbstbohrende Holzschrauben eingesetzt. Ihre Bemessung wird überwiegend durch bauaufsichtliche Zulassungen geregelt. U. a. umfassen diese zur Vermeidung eines Aufspaltens des Holzes beim Eindrehen Regelungen zu den Mindestabständen der Schrauben und zu den Mindestholzdicken. Sollen besonders geringe Mindestabstände in die Zulassung aufgenommen werden, sind hierfür bisher aufwändige experimentelle Untersuchungen notwendig. Blaß und Uibel haben am KIT eine neue Prüfmethode entwickelt, um diesen Aufwand zu reduzieren. Das neue Prüfverfahren ermöglicht es, während des Einschraubvorgangs die Kräfte zu ermitteln, welche rechtwinklig zur Faserrichtung auf das Holz wirken und das Aufspalten hervorrufen.

Im Zuge der Bachelorarbeit wurden insgesamt 101 Einschraubspaltkraftversuche mit sechs verschiedenen Schraubentypen durchgeführt. Hierbei wurde der Einfluss verschiedener spaltreduzierender Schraubenmerkmale auf die Einschraubspaltkraft ermittelt. Ebenfalls wurde der Einfluss der Prüfkörperlagerung bestimmt sowie die Übertragbarkeit der Prüfmethode auf Schrauben kleinerer Durchmesser untersucht.



Bild 1: Versuchseinrichtung zur Ermittlung von Einschraub-Spaltkräften an der FH Aachen

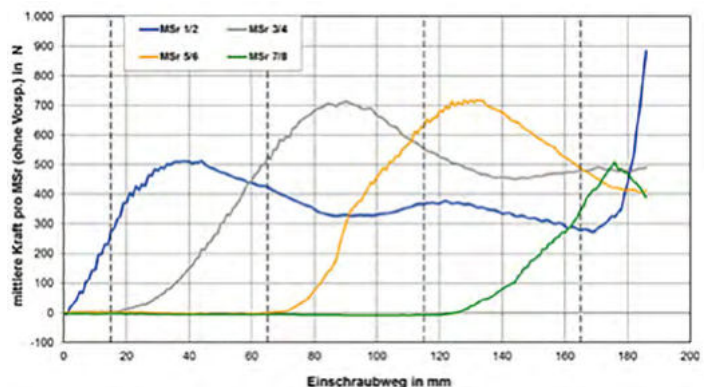
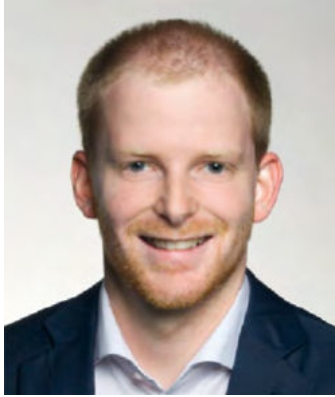


Bild 2: Über die Einschraubtiefe gemessene Kräfte an den Messschraubenpaaren am Beispiel eines Versuches



Jonas Thull, M.Eng.

Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Lehr- und Forschungsgebiet Holzbau

FH Aachen
Fachbereich Bauingenieurwesen
Bayernallee 9
52066 Aachen
jonas.thull@fh-aachen.de

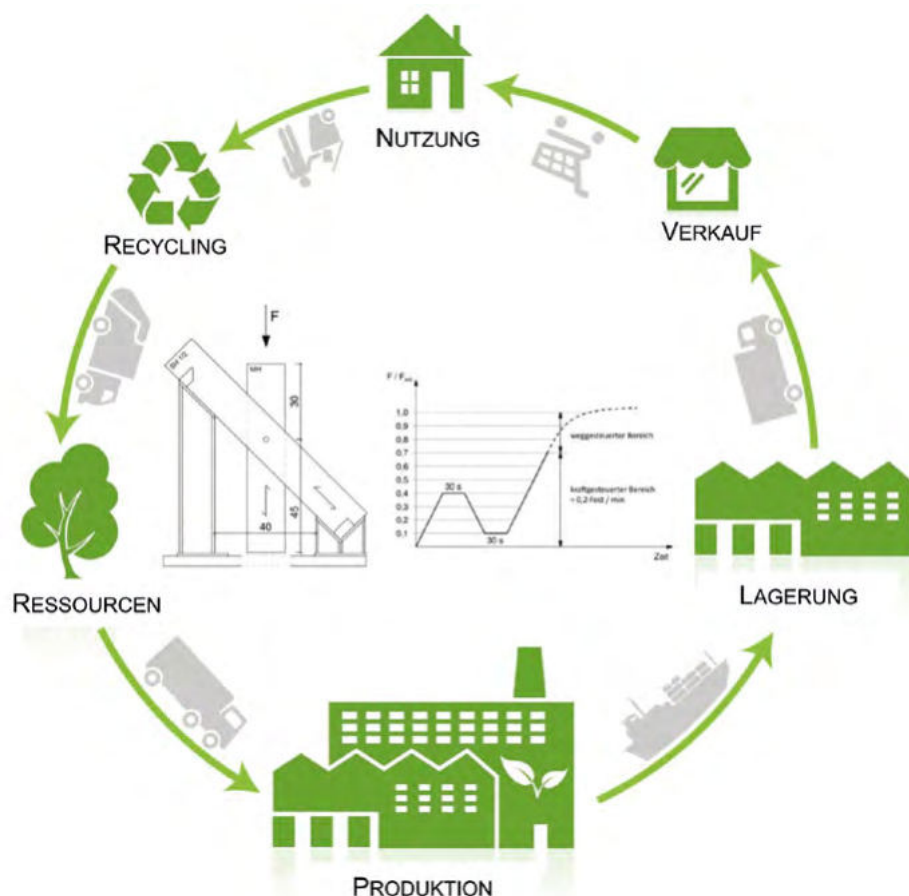
- seit 11/2016 Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Fachhochschule Aachen,
Fachbereich Bauingenieurwesen, Lehr- und Forschungsgebiet Holzbau
- 2013 – 2016 Masterstudium des Bauingenieurwesens an der FH Aachen, Abschluss: M.Eng.
- 2011 – 2015 Studentische Hilfskraft im Bereich Tragwerksplanung und allgemeiner
Holzbau, B. Walter Ingenieurgesellschaft mbH, Aachen
- 2009 – 2013 Bachelorstudium des Bauingenieurwesens an der FH Aachen,
Vertiefung im konstruktiven Ingenieurbau, Abschluss: B.Eng.
- 2008 Abitur an der Viktoriaschule in Aachen
- 1988 geboren in Aachen

Statische und ökobilanzielle Untersuchung von Verbindungsmittelvarianten für ein neues Wandsystem

Masterarbeit, Jonas Thull, M.Eng.

Zusammenfassung

Im Rahmen des Forschungsvorhabens LoCaL, welches durch die DFH Deutsche Fertighaus Holding und die FH Aachen initiiert wurde, wird ein neuartiges Holzbau-Wandsystem entwickelt. Die Masterthesis beschäftigt sich mit der Bestimmung bemessungsrelevanter Kennwerte von innovativen Verbindungstechniken zur Herstellung aussteifender Wände aus Brettern bzw. Bohlen. Im Vergleich zu konventionellen Bauweisen wie Holztafel- und Brettsperrholzwänden wird das neue Wandsystem neben der Beurteilung von Tragfähigkeit und Steifigkeit auch ökobilanziell bewertet. Das Trag- und Verformungsverhalten der Verbindungen wurde in Anlehnung an DIN EN 26891 experimentell untersucht und die Ergebnisse sowohl analytischen Betrachtungen als auch Berechnungen an FE-Modellen gegenübergestellt. Die gewonnenen Erkenntnisse wurden in einem weiteren Schritt auf ein 3-D-Stabwerksmodell übertragen, um die Tragwirkung des gesamten Wandsystems zu bestimmen. Abschließend wurde das Wandsystem vergleichend, auf Basis eines einheitlichen U-Wertes, einer ökobilanziellen Analyse unterzogen.

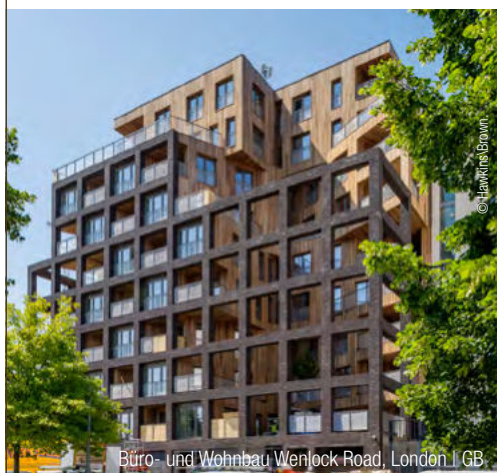


Lebenszyklusbetrachtung
des neuartigen
Wandsystems
(Bildquelle: www.altanova-
energy.com)

natur in architektur ☐

binderholz

tiptop timber



Brettsperrholz BBS



Brettschichtholz



Massivholzplatten



Profilholz



Schnittholz



Biobrennstoffe

binderholz ist ein führendes europäisches Unternehmen für Massivholzprodukte und innovative Baulösungen

Mit unseren Massivholzprodukten und innovativen Baulösungen werden weltweit Gebäude unterschiedlichster Verwendung durch Partnerbetriebe errichtet. Durch modernste CNC-Technologie ist jeglicher Abbund unserer Elemente möglich. Unsere kompetente Technikabteilung unterstützt Sie bei der Erarbeitung verschiedenster Gebäudekonzepte und der technischen Planung. Für durchdachte Massivholzbaulösungen beraten Sie unsere Ingenieure mit fundiertem Fachwissen.

bbs@binderholz.com

www.binderholz.com

 **Wir geben Holz eine neue Dimension.**



Hightech-Holz für Ihre Bauprojekte.

Unsere Stärke liegt in der Produktion von anspruchsvollen Dachkonstruktionen und passgenauem Massivholz (X-LAM).

HOLZLEIMBAU
DERIX

Dam 63
41372 Niederkrüchten
T. (0 21 63) 89 88-0

HOLZLEIMBAU
**POPPENSIEKER
DERIX**

Industriestraße 24
49492 Westerkappeln
T. (0 54 56) 93 03-0



Weitere Informationen
und Referenzen unter:
www.derix.de

HUNDEGGER ROBOT Solo

DIE **SENSATION** IN DER **200.000 €** KLASSE!



Meine Hundegger und ich!
Never change a winning team!



hundegger.de

ABBUNDMASCHINE HUNDEGGER ROBOT Solo

Kaum zu glauben, aber wahr.

Hundegger sorgt mit Oberklassefunktionen in der 200.000 € Kompaktklasse für eine echte Sensation.

Wie z.B. mit 6-Achs-Bearbeitung und bis zu 20 Werkzeugplätzen.

Nutzen Sie jetzt das enorme Bearbeitungsspektrum bei geringem Platzbedarf und schnell amortisiertem Investment.

- **Bearbeitung aller 6 Seiten in einem Durchlauf**
- **Unbegrenzte Bearbeitungsmöglichkeiten durch 6-Achs-Roboter**
- **Höchste Präzision durch patentiertes HMC-Messsystem**
- **Bauteilquerschnitte bis zu 1.250 x 300 mm**

Innovationen für den Holzbau





KERTO® FURNIER-SCHICHTHOLZ

- extrem fest und formstabil
- bis zu 23 m Länge
- bis zu 90 mm Stärke
- mit mehr als 3 Mio cbm Erfahrung

KERTO-RIPA® – DECKEN-UND DACHELEMENTE

- bis zu 23 m Spannweite ohne tragende Zwischenwände oder Stützen
- vorgefertigte Elemente mit und ohne Dämmung

FINNJOIST – I-TRÄGER

- Reduzierung von Wärmebrücken
- geringes Gewicht
- kein Verdrehen oder Verziehen

NEUE ANWENDUNGSZULASSUNG VON KERTO AUF WWW.METSAWOOD.DE ➔

METSÄ WOOD DEUTSCHLAND GMBH

Louis-Krages-Straße 30
D-28237 Bremen
Telefon +49(0) 421-69 11-0
Telefax +49 (0) 421-69 11-300
metsawood.de@metsagroup.com



Nachhaltige
Forstwirtschaft



Erneuerbarer
Rohstoff



Zusammenarbeit
Werte



Produktion
Technologie



Forschung für
neue Ideen



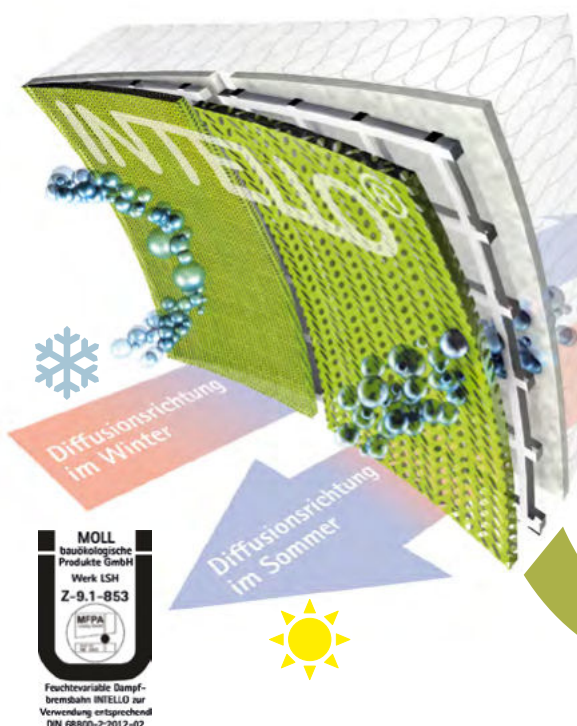
Kontinuierliche
Entwicklung



MetsäWood

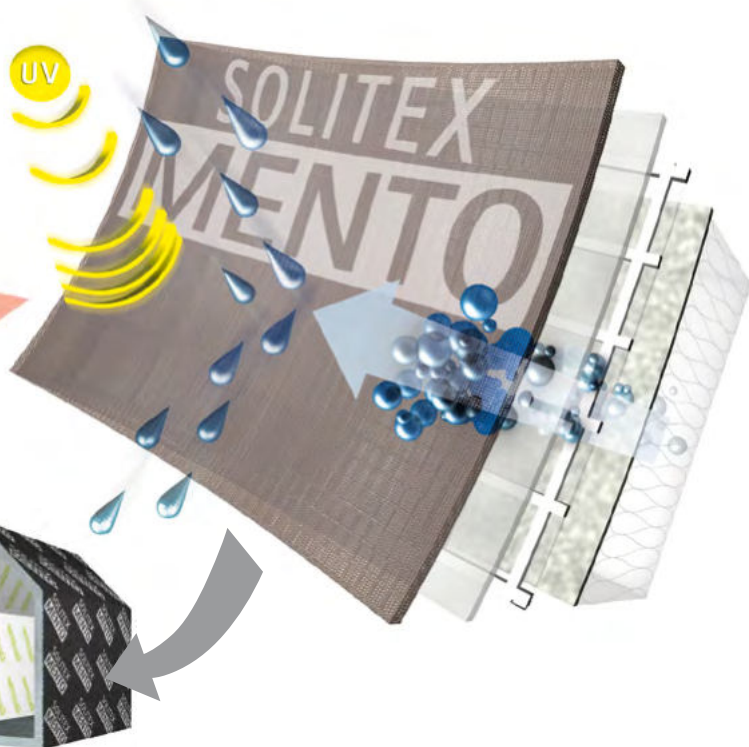
Intelligente Luftdichtung

Feuchtevariable s_d -Wert 0,25 bis >25 m: INTELLO hält die Dämmung trocken und lässt bei Bedarf eine schnelle Rücktrocknung zu.



Feuchteaktive Außendichtung

Schützt besser gegen Wind und Regen. Erhöht die Bauteilsicherheit: Transportiert Feuchte aktiv und schnell nach außen ab.



Dauerhafte Verklebung

Allround-Klebeband TESCON VANA

- Klebt sicher innen und außen – sogar bei Feuchtigkeit: wasserfester SOLID Kleber
- Einfacher weiter arbeiten: Vliesträger direkt überputzbar
- Flexibler weiter arbeiten: 6 Monate UV stabil



pro clima – und die Dämmung ist perfekt

Das komplette Profi-System für die sichere Gebäudedichtung. Über 30 Jahre Erfahrung in Forschung und Entwicklung, Produktion, Vertrieb und Service. Für besten Schutz gegen Bauschäden und Schimmel.



Kostenfrei bestellen:

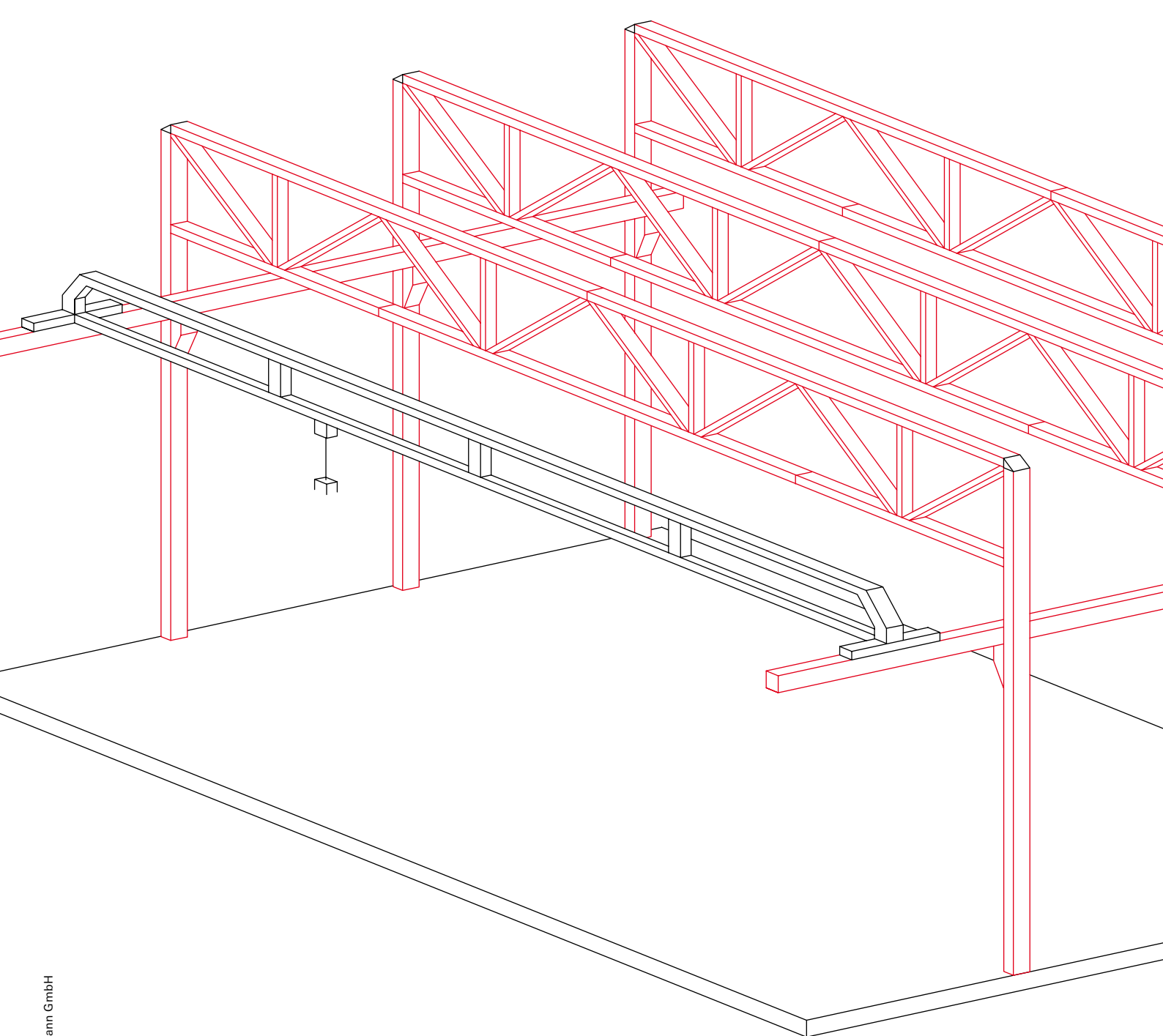
Planungshandbuch pro clima »WISSEN«

mit über 400 Seiten Konstruktionen, Details, Bauphysik, Systemen, Produkten, Service, Magazin u.v.m.

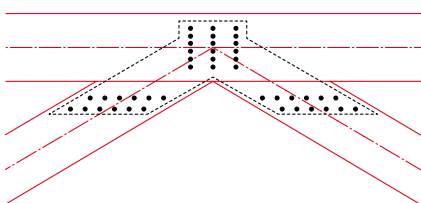
Fon +49 (0) 62 02 - 27 82.0
info@proclima.de

www.proclima.de





BauBuche mit höheren Festigkeitswerten 42% Materialersparnis für die elobau Produktionshalle



- 42% Materialersparnis im Vergleich zu Fichtenbrettschichtholz
- Regionaler Baustoff aus nachhaltiger Forstwirtschaft
- Hohe Oberflächengüte in Laubholzoptik
- Ästhetisches Erscheinungsbild durch schlanke Fachwerkträger

BauBuche ist der erste Hightech-Werkstoff aus regionalem Laubholz mit außergewöhnlichen Festigkeitswerten – für große Spannweiten und ressourceneffizientes Bauen. Daten und Details zum Projekt erhalten Sie auf: my.pollmeier.com/eah

Bestellen Sie Ihr kostenfreies Bemessungshandbuch auf www.pollmeier.com

Wirtschaftlich. Kreativ. Leistungsfähig. **Komplette Befestigungs- sortimente für den Holzbau.**

Jetzt NEU!

Mit den innovativen und nachhaltigen Befestigungssystemen von SFS intec können Sie als Architekt, Ingenieur oder Holzbauer außergewöhnliche Konzepte kostengünstig und effizient umsetzen – ohne dabei Kompromisse in puncto Sicherheit und Ästhetik eingehen zu müssen.

Einen besonderen Service bieten die ausführlichen Planungsunterlagen von SFS intec. Abgestimmt auf die unterschiedlichen Anwendungen ermöglichen sie die einfache und sichere Bemessung zur Realisierung Ihrer Projekte.

Das Angebot von SFS intec umfasst die unterschiedlichsten Befestigungslösungen:

- leistungsstarke Doppelgewindebefestiger
- einzigartige Vollgewindebefestiger
- selbstbohrendes Stabdübelsystem
- große Auswahl an Teilgewindebefestigern
- Schraubanker zur Befestigung von Holz an Beton

Wir beraten Sie gerne.

SFS intec GmbH
Division Construction
In den Schwarzwiesen 2
DE-61440 Oberursel

T +49 6171 7002-0
F +49 6171 7002-55
de.info@sfsintec.biz
www.sfsintec.de

SFS intec
Turn ideas into reality.



Holzbau-
Software

S+S Datentechnik
für den Holzbau GmbH

Seit über **30**
Jahren
erfolgreich.

ABBUND
TOUCH

www.abbund.com
info@abbund.com



05-146-10/14

WIR SIND DA, WO DAS HOLZ GEFORMT WIRD.

Vor allem aber sind wir ganz nah bei Ihnen: Durch den persönlichen Kontakt mit unseren Verkäufern im Außendienst und in über 400 Niederlassungen. Durch ständige Präsenz und Erreichbarkeit per Internet, App und Telefon. Und durch viele Services, die Ihnen die tägliche Arbeit erleichtern. Entdecken Sie 100 % Qualität und 100 % Service – überall und zu jeder Zeit.

Über 1500 mal in Europa und immer in Ihrer Nähe: www.wuerth.de

NAH. NÄHER.
WÜRTH!



Martin Danzer, M.Sc.

TU München
Lehrstuhl für Holzbau & Baukonstruktion
Arcisstraße 21
80333 München
danzer@tum.de

- seit 2014 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Holzbau & Baukonstruktion,
TU München
- 2012 – 2014 Projektingenieur bei Zilch + Müller Ingenieure GmbH
- 2006 – 2011 Studium des Bauingenieurwesens an der TU München

Exzentrisch positionierte und benachbarte Durchbrüche in BSH-Trägern

Martin Danzer, M.Sc., Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion, TU München

Kurzfassung

Der vorliegende Beitrag stellt einen Auszug von experimentellen sowie numerischen Untersuchungen an Brettschichtholzträgern mit runden Durchbrüchen dar. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Darstellung der Einflüsse exzentrischer Anordnungen von Einzeldurchbrüchen sowie Gruppenanordnungen horizontal nebeneinanderliegender bzw. vertikal übereinanderliegender Durchbrüche. Die zugrundeliegenden geometrischen Randbedingungen gehen dabei über die derzeit gültigen normativen Vorgaben hinaus. Neben Betrachtungen im unverstärkten Zustand wird der verstärkte Zustand in Form geneigter, innenliegender Verstärkungselemente untersucht sowie der Effekt dieser Verstärkungsart quantifiziert.

1 Einleitung

Architektonische Gründe oder auch nutzerspezifische Anforderungen an das verfügbare Lichtraumprofil führen häufig dazu, dass Leitungen für Zu-/Abwasser, Lüftung, Heizung etc. in der Ebene der Tragkonstruktion angeordnet werden. Infolgedessen sind in den Trägern Durchbrüche erforderlich, welche das Tragverhalten deutlich beeinflussen. Hinsichtlich der Bemessung derartiger Durchbrüche existieren derzeit auf europäischer Ebene im Eurocode 5 [1] keine normativen Bemessungsregeln. Einzelne Mitgliedsstaaten bieten zwar in den Nationalen Anhängen Bemessungs- und Konstruktionsregeln in Form nicht widersprechender, ergänzender Regelungen (NCI) an, jedoch führen diese Regelungen wie im Fall des Nationalen Anhangs von Deutschland [2] zu nicht unerheblichen Einschränkungen hinsichtlich der Positionierung der Durchbrüche. So sind exzentrische Anordnungen bisher nur in sehr begrenztem Maße zulässig, indem im unverstärkten Zustand Mindestmaße der oberen/unteren Restquerschnitte $h_{ro/ru} \geq 0,35 h$ gefordert werden, im verstärkten Zustand $h_{ro/ru} \geq 0,25 h$.

Gruppenanordnungen horizontal nebeneinanderliegender Durchbrüche sind ohne Verstärkung nur mit lichten Abständen $l_z \geq 1,5 h$ zulässig, mit Verstärkung darf dieses Maß auf $l_z \geq 1,0 h$ verringert werden. Diese geometrischen Einschränkungen waren Anlass für Untersuchungen an Brettschichtholzträgern mit runden Durchbrüchen, insbesondere hinsichtlich der Einflüsse Exzentrizität, gegenseitige Beeinflussung infolge einer Gruppenanordnung sowie Verstärkungseffekt mittels innenliegender Verstärkungselemente.

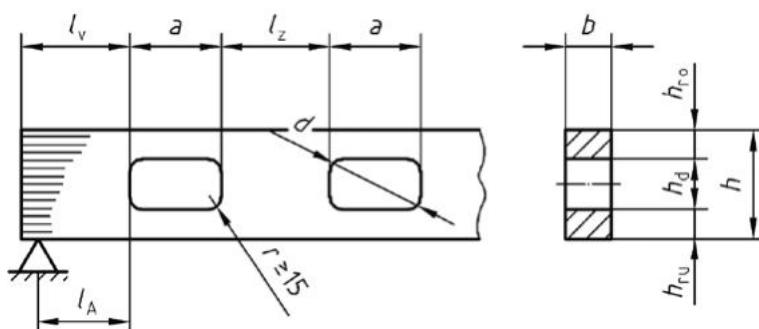


Bild 1: Durchbruch nach Eurocode 5 - NA [2]

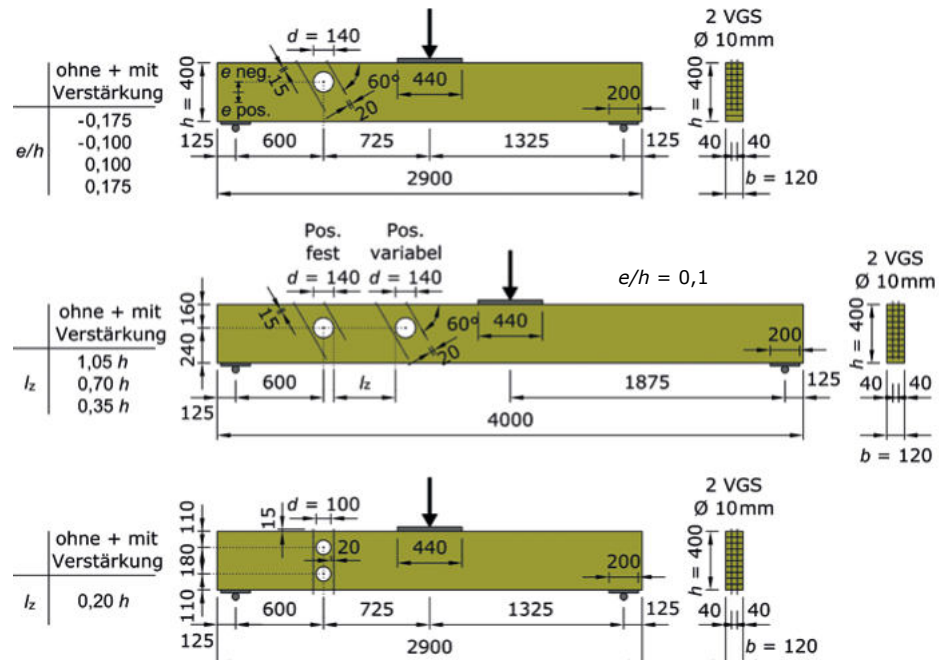


Bild 2: Versuchsprogramm Kleinversuche

2 Experimentelle Untersuchungen

2.1 Allgemeines

Die Grundlage der experimentellen Untersuchungen bildeten zwei Versuchsreihen in unterschiedlichem Maßstab (Kleinversuche $b/h = 120$ mm/400 mm; Großversuche $b/h = 200$ mm/1000 mm).

2.2 Kleinversuche

Bild 2 enthält die wesentlichen Konfigurationen der Kleinversuche.

Hinsichtlich exzentrischer Anordnungen von Einzeldurchbrüchen wurde die Ausmitte e über die Trägerhöhe in vier Stufen variiert ($e/h = \pm 0,175$; $e/h = \pm 0,100$). Die Ausmitte e beschreibt dabei die Lage des Durchbruchszentrums ausgehend von der Schwerachse des Trägers. Gruppenanordnungen zweier Durchbrüche in horizontaler Richtung wurden in Form einer Variation des lichten Abstands in drei Stufen ($l_z = 1,05h$; $0,70h$; $0,35h$) geprüft, wobei die Position des auflagernahen Durchbruchs jeweils unverändert blieb. Um einen Vergleich zwischen den Konfigurationen exzentrischer Einzeldurchbrüche und der horizontalen Gruppen zu ermöglichen, wurde durchgehend eine Durchbruchgröße $d/h = 0,35$ verwendet. Bei vertikaler Anordnung übereinander wurde aufgrund der eingeschränkten Variationsmöglichkeiten infolge der geometrischen Randbedingungen nur eine Konfiguration mit einem kleineren Durchmesser $d/h = 0,25$ geprüft. Zur Prüfung vergleichbarer Einzeldurchbrüche ($e/h = 0$ und $d/h = 0,35$) standen nur zwei neue Prüfkörper zur Verfügung, weshalb diese Konfiguration in Bild 2 nicht extra aufgeführt ist. Als Verstärkungselemente kamen durchgehend über die Querschnittsbreite gesehen zwei Vollgewindeschrauben $d = 10$ mm zum Einsatz. Die Neigung zwischen Schraubenachse und Holzfaserrichtung wurde mit Ausnahme der vertikalen Gruppe ($\alpha = 90^\circ$) zu $\alpha = 60^\circ$ gewählt.

Der Versuchsumfang betrug drei Prüfkörper je Konfiguration. Als Material wurde durchgehend Brettschichtholz der Festigkeitsklasse GL 28h verwendet. Für detailliertere Informationen wird auf [3] verwiesen.

2.3 Großversuche

In Bild 3 sind die geprüften Konfigurationen der Großversuche dargestellt. In Anlehnung an die Kleinversuche wurden zwei Konfigurationen exzentrischer Einzeldurchbrüche ($e/h = \pm 0,175$), eine horizontale Gruppenanordnung (geringster lichter Abstand $l_z = 0,35h$) sowie die vertikale Gruppenanordnung geprüft. Als Verstärkungselemente kamen über

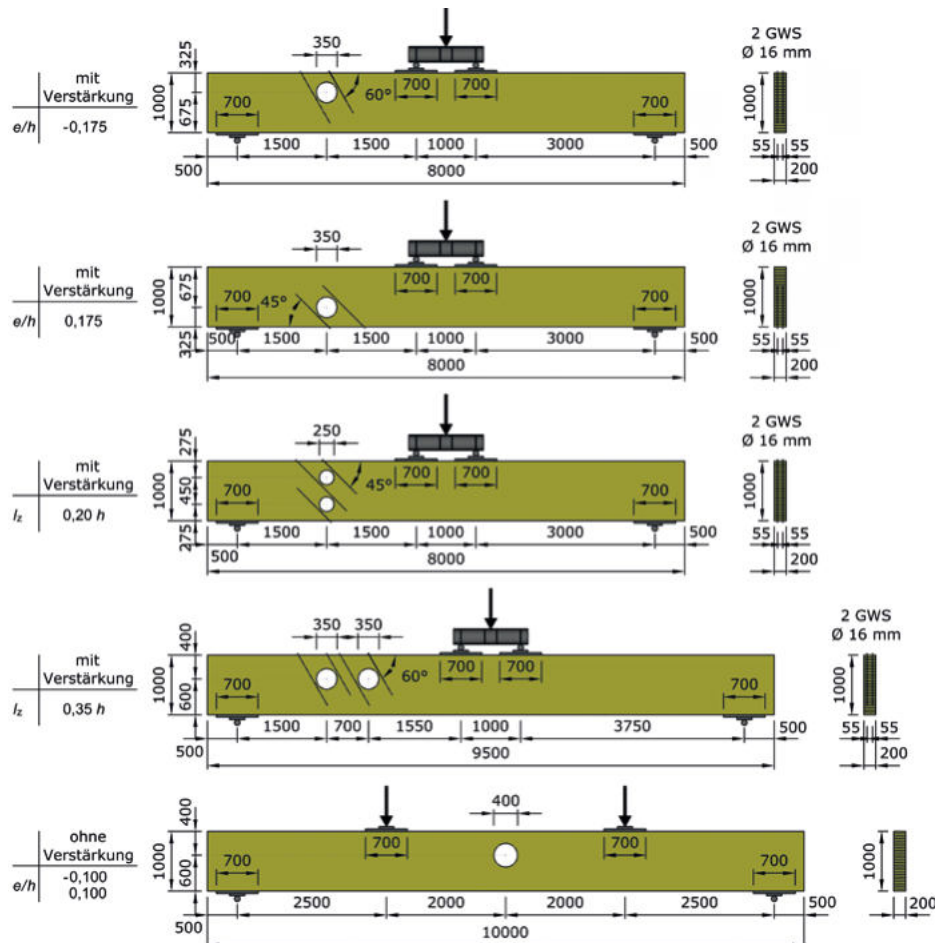


Bild 3: Versuchsprogramm Großversuche

die Querschnittsbreite gesehen jeweils zwei eingedrehte Gewindestangen $d = 16$ mm zum Einsatz. Die Neigung der Verstärkungselemente wurde auf Grundlage numerischer Untersuchungen im Vergleich zu den Kleinversuchen im Fall der exzentrischen Einzeldurchbrüche $e/h = 0,175$ sowie im Fall der vertikalen Gruppe auf $\alpha = 45^\circ$ angepasst.

Zusätzlich wurden zwei unverstärkte Konfigurationen exzentrischer Einzeldurchbrüche ($d/h = 0,40$; $e/h = \pm 0,100$) unter reiner Momentenbeanspruchung geprüft.

Der Versuchsumfang betrug vier Prüfkörper je Konfiguration. Jede Konfiguration bestand dabei aus zwei Prüfkörpern der Festigkeitsklasse GL 24h sowie aus zwei Prüfkörpern der Festigkeitsklasse GL 28h. Für detailliertere Informationen wird wiederum auf [3] verwiesen.

2.4 Ergebnisse

Infolge der sich abzeichnenden Schadenscharakteristik (**Anriss** in Querschnittsmitte, **Durchriss** über die gesamte Querschnittsbreite, Schubversagen bei **Höchstlast**) wurden die Ergebnisse entsprechend dieser drei Stufen differenziert. Eine tabellarische Zusammenstellung der Ergebnisse aller Einzelprüfungen findet sich in [3]. Für die verstärkten Konfigurationen sind die Tragfähigkeiten auf Höchstlastniveau jeweils zusätzlich in Form von auf den Bruttoquerschnitt bezogenen erreichten Schubspannungen (τ) angegeben.

Bild 4: Schädigungsstufen



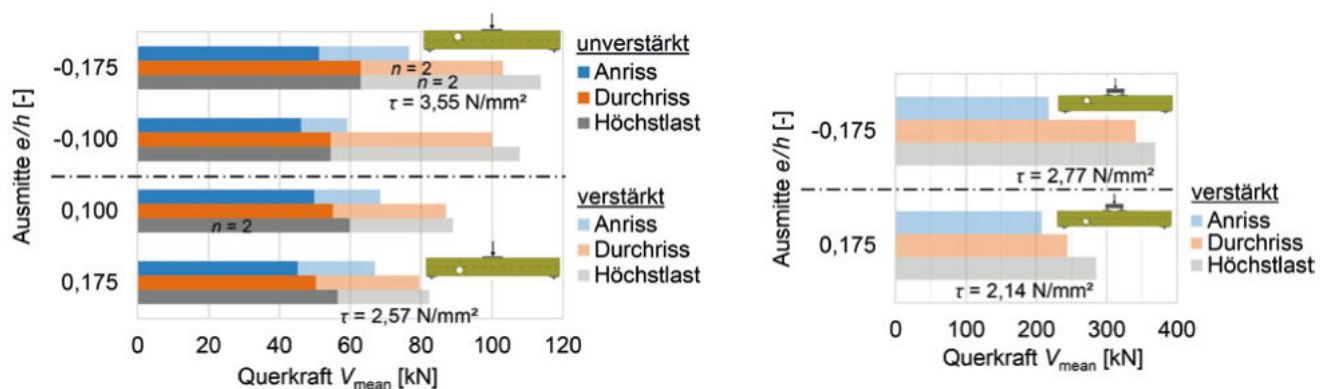


Bild 5: Versuchsergebnisse exzentrische Einzeldurchbrüche $d/h = 0,35$;
links: Kleinversuche;
rechts: Großversuche

Exzentrische Einzeldurchbrüche $d/h = 0,35$

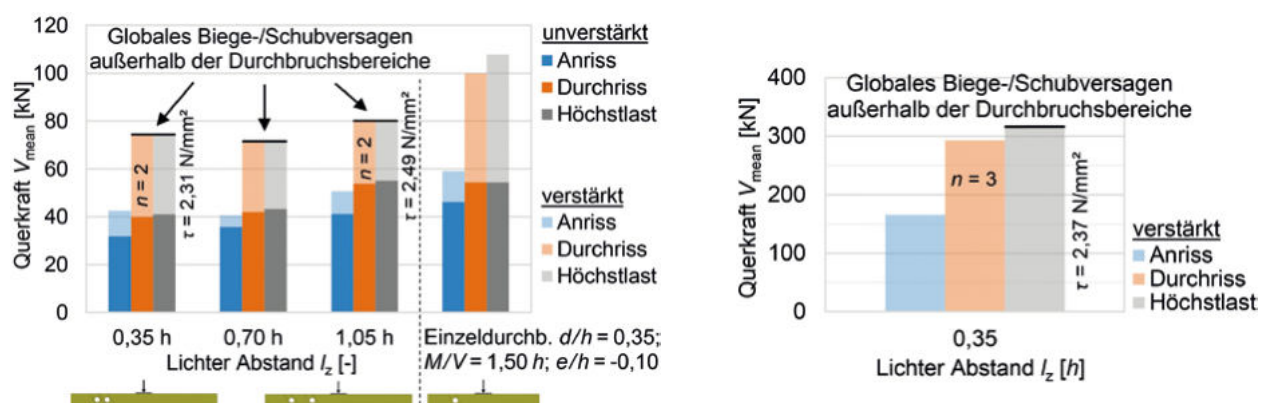
Im Rahmen der Kleinversuche war im unverstärkten Zustand auf allen drei Schädigungsstufen nur ein geringfügiger Einfluss der Ausmitte festzustellen, siehe Bild 5. Aus der Differenz zwischen den erreichten Anriss- und Höchstlasten ergibt sich ein Lastzuwachs von rund 20 %, was einem vergleichsweise spröden Versagensverhalten gleichkommt. Im verstärkten Zustand äußerte sich der Einfluss der Ausmitte ausgeprägter in Form abnehmender Lastwerte bei einer Verlagerung der Position des Durchbruchs vom Biegedruckbereich in Richtung des Biegezugbereichs. Die erreichten Tragfähigkeitssteigerungen infolge unter einem Winkel $\alpha = 60^\circ$ angeordneter Vollgewindeschrauben belaufen sich auf Höchstlastniveau im Vergleich zum unverstärkten Zustand auf bis zu 98 %, abhängig von der exzentrischen Position der Durchbrüche.

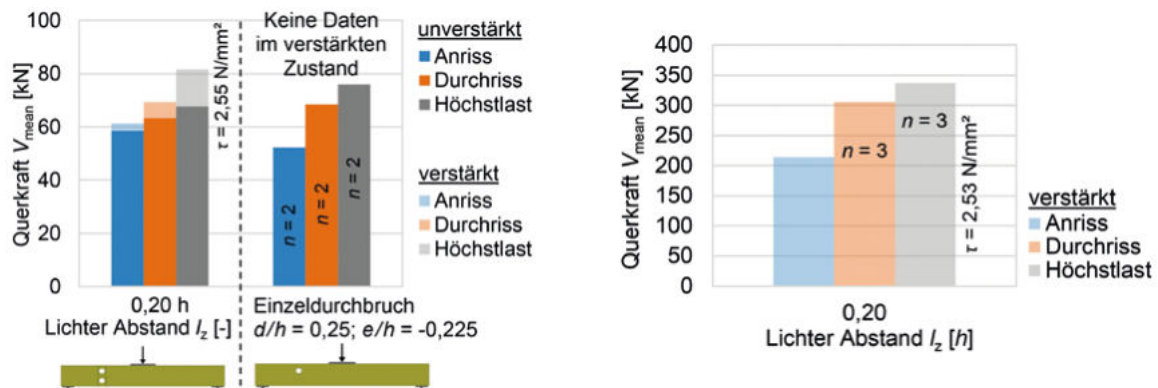
Die Auswertung der beiden exzentrischen Konfigurationen der Großversuche zeigte ein zu den Kleinversuchen ähnliches Verhalten. Infolge des Größeneffekts sind die erreichten Schubtragfähigkeiten im Vergleich zu den Kleinversuchen geringer. Ein relativer Vergleich der Höchstlasten zwischen den beiden Ausmitten ergibt einen Verhältnisswert, der im Vergleich zu den Kleinversuchen geringfügig höher ausfällt (0,77 statt 0,72), d.h. die angepasste Neigung der Verstärkungselemente in den Prüfkörpern mit Durchbruch im Biegezugbereich ($\alpha = 45^\circ$) führte zu einem geringfügig besseren Tragverhalten.

Horizontale Gruppen

Im Fall der Kleinversuche resultierte ein abnehmender lichter Abstand im unverstärkten Zustand auf allen drei Schädigungsstufen in abnehmenden Traglasten, siehe Bild 6. Bei dem geringsten lichten Abstand sank die Tragfähigkeit auf dem Niveau der Durchrisslasten im Vergleich zu einem entsprechenden Einzeldurchbruch an der Position $M/V = 1,5h$ (auflagernah) auf etwa 73 % ab. Im verstärkten Zustand kann weder in den Kleinversuchen noch in den Großversuchen eine Aussage hinsichtlich der gegenseitigen Beeinflussung getroffen werden, da auf Höchstlastniveau an allen Prüfkörpern ein globales Biege-/Schubversagen außerhalb der Durchbruchsbereiche festzustellen war.

Bild 6: Versuchsergebnisse horizontaler Gruppen;
links: Kleinversuche;
rechts: Großversuche





Vertikale Gruppe

In den Kleinversuchen trat ein Versagen der Prüfkörper mit vertikaler Gruppenanordnung im unverstärkten Zustand im Vergleich zu entsprechenden exzentrischen Einzeldurchbrüchen bei geringfügig niedrigeren Lasten auf, siehe Bild 7. Daraus ist unter den gewählten Randbedingungen nur ein geringfügiger gegenseitiger Einfluss der beiden Durchbrüche abzuleiten. Im verstärkten Zustand waren verschiedene Versagensmodi zu beobachten: Schubversagen im Bereich der Durchbrüche, Biegezugversagen im unteren Restquerschnitt im Bereich der Vollgewindeschrauben sowie ein kombiniertes Querzug-Biegezug-Schubversagen. Der Verstärkungseffekt fiel im Vergleich zu den exzentrischen Einzeldurchbrüchen mit geneigter Anordnung der Vollgewindeschrauben gering aus.

Im Fall der Großversuche waren auf Höchstlastniveau ebenfalls ein Biegezugversagen bzw. kombiniertes Versagen im unteren Restquerschnitt festzustellen. Ein Vergleich der auf den Bruttoquerschnitt bezogenen erreichten Schubtragfähigkeiten der Klein- und Großversuche ergibt annähernd gleiche Werte. Angesichts der im Fall der Großversuche deutlich größeren schubbeanspruchten Fläche, gleichbedeutend mit einer im Vergleich zu den Kleinversuchen verhältnismäßig geringeren Schubfestigkeit, zeigt dies den höheren Verstärkungseffekt einer Anordnung der Verstärkungselemente unter $\alpha = 45^\circ$ auf. Jedoch konnte das Potential der geneigten Anordnung infolge der angesprochenen Versagensformen nur zum Teil ausgeschöpft werden. Auf die Bedeutung der Konzentration der Spannungen in Faserrichtung im Restquerschnitt wird im folgenden Abschnitt näher eingegangen.

Bild 7: Versuchsergebnisse vertikaler Gruppen; links: Kleinversuche; rechts: Großversuche

Exzentrische Einzeldurchbrüche $d/h = 0,40$ unter reiner Momentenbeanspruchung

Auf Anriss- und Durchrissniveau ist an den Versuchsergebnissen kaum ein Unterschied zwischen den gewählten Anordnungen in der Biegedruck- sowie Biegezugzone zu erkennen, siehe Bild 8. Das letztendliche Biegezugversagen trat jedoch im Fall $e/h = 0,100$ früher auf, d.h. der Einfluss des Durchbruchs war im Fall einer Anordnung in der Biegezugzone ausgeprägter.

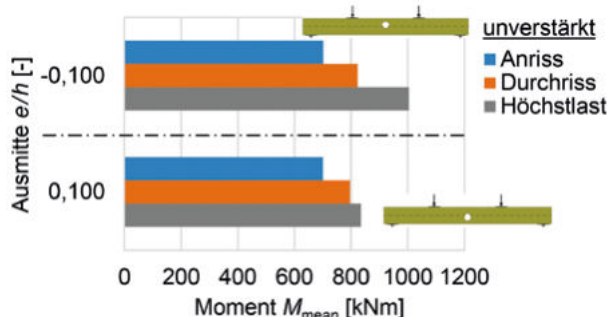


Bild 8: Versuchsergebnisse exzentrische Einzeldurchbrüche $d/h = 0,40$ unter reiner Momentenbeanspruchung

Neben der Querzugproblematik treten infolge einer Momentenbeanspruchung aufgrund des Flusses der Biegespannungen um den Durchbruch maßgebende Spannungsspitzen auf, die ein Vielfaches der Biegespannungen am Durchbruchrand betragen können, siehe Bild 9. Für den Fall des Durchbruchs im Biegedruckbereich sind dort Dehnungsmessungen am Bauteilrand, am Durchbruchrand sowie über eine begrenzte Ausdehnung vom Rand des Durchbruchs ausgehend dargestellt. Ein Vergleich der Werte zwischen Bauteilrand und Durchbruchrand bestätigt die Ergebnisse der numerischen Untersuchungen in Form von deutlich höheren Dehnungswerten am Durchbruchrand. Bis zu einem Moment von etwa $M = 600$ kNm liegt am Durchbruchrand ein annähernd linear elastisches Verhalten vor. Bei weiterer Laststeigerung nehmen die Dehnungen überproportional zu, d.h. das linear elastische Verhalten geht in ein plastisches Verhalten über. Anhand der DMS-Ketten an den Seitenflächen ist gut erkennbar, dass die Dehnungen mit zunehmender Entfernung vom Durchbruchrand rasch abnehmen und sich die plastische

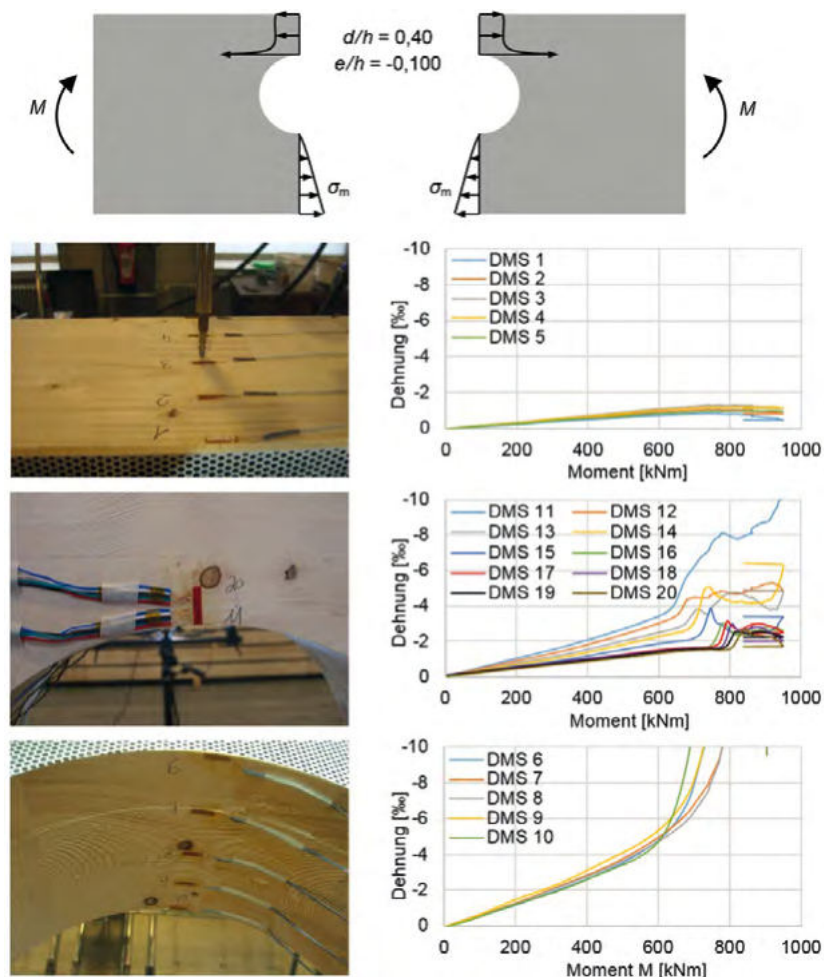


Bild 9: Dehnungsmessungen im Biegedruckbereich; $e/h = -0,100$, Prüfkörper Nr. 1, GL 28h

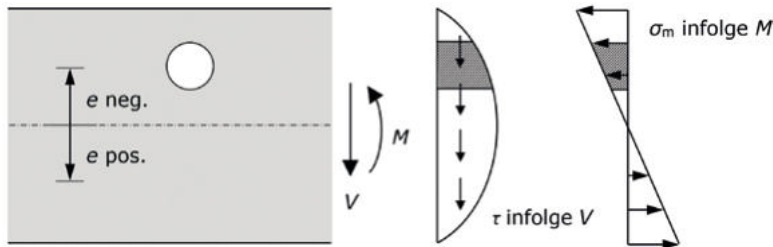


Bild 10: Umzulagernde Spannungsanteile infolge der Anordnung eines Durchbruchs

Zone mit zunehmender Belastung ausgehend vom Durchbruchrand immer weiter ausdehnt. An einem anderen Prüfkörper ohne Dehnungsmessungen konnte die Ausbildung einer Druckfalte beobachtet werden.

Für den Fall einer Anordnung des Durchbruchs in der Biegezugzone zeigten sich ebenfalls deutlich höhere Dehnungen am Durchbruchrand. Hier liegt bis zum endgültigen Versagen ein rein elastisches Verhalten vor. Für nähere Informationen hierzu wird auf [3] verwiesen.

3 Numerische Untersuchungen

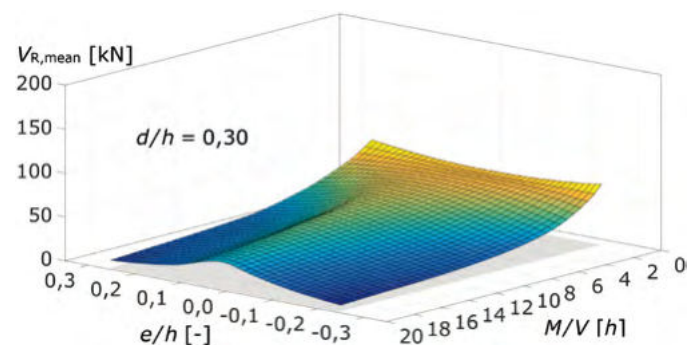
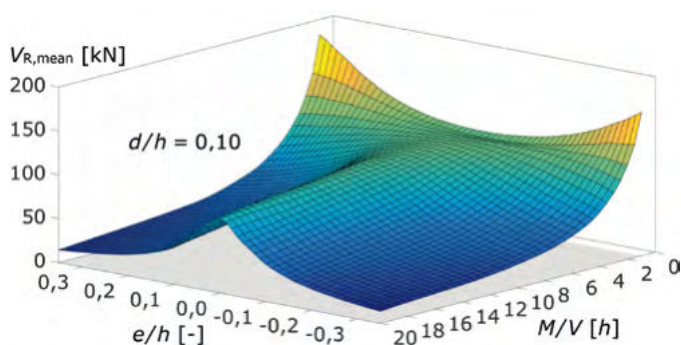
3.1 Exzentrische Anordnung

Mechanisch betrachtet führt die Anordnung eines Durchbruchs dazu, dass die im Bereich der Querschnittsschwächung liegenden Spannungsanteile nicht mehr ungestört übertragen werden können. In der Folge kommt es am Durchbruchrand sowie in der unmittelbaren Umgebung des Durchbruchs zu Spannungsumlagerungen, welche im Vergleich zum ungeschwächten Querschnitt zusätzliche Beanspruchungen in Faserrichtung, quer zur Faserrichtung sowie Schubbeanspruchungen erzeugen. Qualitativ lässt sich der Einfluss der Ausmitte anhand der linearen bzw. parabolischen Verteilungen der Biege- bzw. Schubspannungen eines Biegeträgers in Bild 10 erläutern.

Mit zunehmender Ausmitte verändern sich die beiden umzulagernden Spannungsanteile in der Größe dahingehend, dass diese im Fall der Schubspannungen geringfügig abnehmen sowie im Fall der Biegespannungen deutlich zunehmen. Dementsprechend wirken sich eine zunehmende Ausmitte im Hinblick auf das Tragverhalten im Fall der umzulagernden Schubspannungen günstig sowie im Fall der umzulagernden Biegespannungen ungünstig aus. Für jede Gesamtbetrachtung eines Durchbruchs ist eine Superposition dieser beiden gegenläufigen Effekte erforderlich. Die Position des Durchbruchs im Träger (Ausmitte e/h , Schnittkraftverhältnis M/V) bestimmt dabei, inwieweit daraus ein günstiger/ungünstiger Effekt resultiert.

Exemplarisch wird dieses Verhalten anhand des numerisch abgeschätzten Querkzugversagens exzentrischer Einzeldurchbrüche im unverstärkten Zustand dargestellt. Ein Vergleich numerischer Berechnungen in Kombination mit einem Weibull-basierten Bemessungsansatz und der Versuchsergebnisse unverstärkter Durchbrüche zeigte, dass sich entsprechende Durchrisslasten auf diese Weise recht gut abschätzen lassen. In Bild 11 sind die ermittelten Durchrisslasten am Beispiel der in den Kleinversuchen

Bild 11: Ermittelte Durchrisslasten zweier Durchbruchgrößen in Abhängigkeit der Position des Durchbruchs im Träger



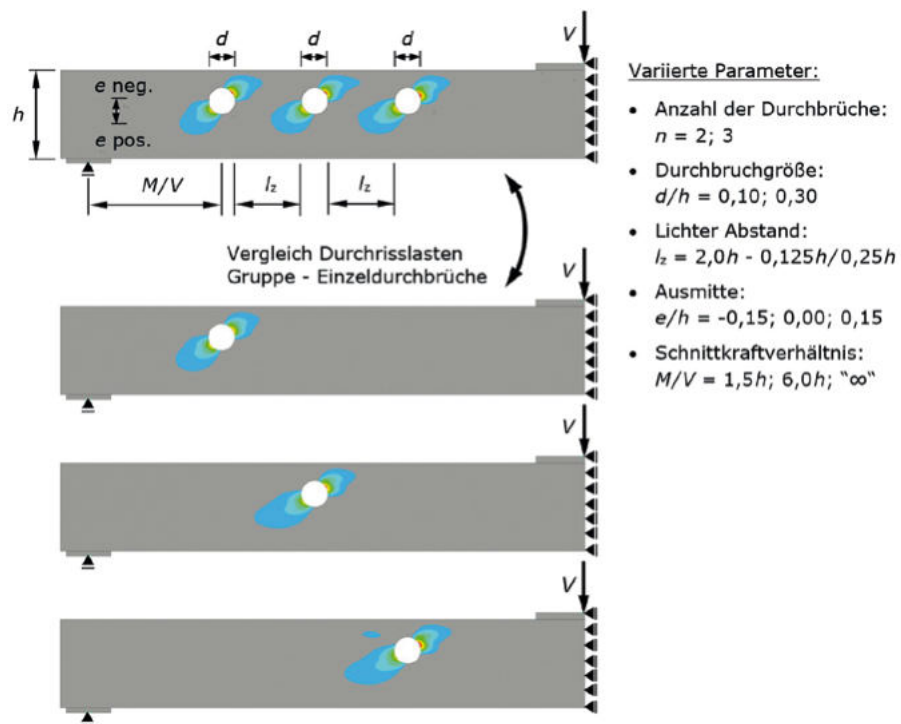


Bild 12: Vorgehen zur Ermittlung des gegenseitigen Einflusses sowie variierte Parameter horizontaler Gruppenanordnungen

zugrundeliegenden Trägergröße $b/h = 120 \text{ mm}/400 \text{ mm}$ und zweier verschiedener Durchbruchgrößen dargestellt. Der zugrundeliegende Mittelwert der Querkzugfestigkeit beträgt $f_{t,90,\text{mean}} = 0,83 \text{ N/mm}^2$. Bei sehr kleinen Schnittkraftverhältnissen (Einfluss des Moments gering) zeigt sich demnach ein geringfügig positiver Effekt der Ausmitte, welcher sich mit zunehmendem Schnittkraftverhältnis (zunehmender Einfluss des Moments) deutlich ins Negative wandelt.

3.2 Gruppenanordnungen

Neben experimentellen Untersuchungen wurde die gegenseitige Beeinflussung von Durchbrüchen einer Gruppenanordnung in numerischen Untersuchungen in Form einer Parameterstudie bestimmt. Für den Fall horizontal nebeneinanderliegender Durchbrüche wurden die lichten Abstände zwischen den Durchbrüchen variiert, bei zusätzlicher Variation der in Bild 12 angegebenen Parameter. Hinsichtlich der Bewertungskenngröße wurde sich an den Ergebnissen der Kleinversuche orientiert, indem die maßgebenden Durchrisslasten von Gruppenanordnungen im unverstärkten Zustand bestimmt und mit denjenigen entsprechender Einzeldurchbrüche verglichen wurden. Die Ermittlung erfolgte dabei unter Berücksichtigung aller in Bild 12 dargestellter querkzugbeanspruchter Bereiche.

Entsprechend diesen Untersuchungen ist das Ausmaß des gegenseitigen Einflusses nicht nur abhängig vom lichten Abstand, sondern auch von der Position im Träger, d.h. der Beanspruchungssituation. Während ein zunehmender Momenteneinfluss einen eher positiven Einfluss hat, tritt der größte tragfähigkeitsmindernde Einfluss im auflagenahen, vorwiegend schubbeanspruchten Bereich auf. Für letzteren Fall ist das Ausmaß der gegenseitigen Beeinflussung am Beispiel einer Gruppe von drei Durchbrüchen in Bild 13 dargestellt. Das Mindestmaß $l_z = 1,5 h$, ab dem gemäß [2] ein gegenseitiger Einfluss vernachlässigt werden darf, erscheint nach diesen Ergebnissen bei der Durchbruchgröße $d/h = 0,10$ eher konservativ, bei der Durchbruchgröße $d/h = 0,30$ passend. Bei noch größeren Durchbrüchen ist zu erwarten, dass sich dieses Mindestmaß vergrößert.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Experimentelle Untersuchungen an exzentrisch angeordneten Durchbrüchen im verstärkten Zustand zeigten bei einer Verlagerung der Durchbruchposition von der Biegedruck- in Richtung der Biegezugzone abnehmende Traglasten. Eine geeignete Anordnung innenliegender Verstärkungselemente führte im auflagenahen, vorwiegend schubbeanspruchten Bereich im Vergleich zu unverstärkten Durchbrüchen auf Höchstlastniveau zu Tragfähigkeitssteigerungen von bis zu 98 %, abhängig von der exzentrischen

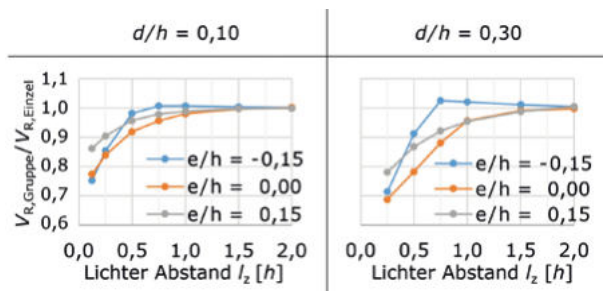


Bild 13: Gegenseitige Beeinflussung einer horizontalen Gruppe von 3 Durchbrüchen im auflagnahen Bereich ($M/V = 1,5h$)

Position der Durchbrüche. Mittels Dehnungsmessungen an Prüfkörpern zweier Konfigurationen unverstärkter, exzentrischer Durchbrüche unter reiner Momentenbeanspruchung konnte das konzentrierte Auftreten von Spannungen in Faserrichtung an den außenliegenden Bereichen der Durchbrüche versuchsstechnisch nachgewiesen werden. Horizontale Gruppenanordnungen von zwei Durchbrüchen resultierten bei Verringerung des lichten Abstands im unverstärkten Zustand in abnehmenden Tragfähigkeiten. Bei dem geringsten lichten Abstand $l_z = 1,0 d$ betrug die Tragfähigkeit auf dem Niveau der Durchrisslasten etwa 73 % der eines vergleichbaren Einzeldurchbruchs. In numerischen Untersuchungen wurde das Verhalten bis zu einer Anzahl von drei Durchbrüchen im Rahmen einer Parameterstudie quantifiziert. Eine vertikale Gruppenanordnung resultierte im unverstärkten Zustand dagegen in einer vergleichsweise geringen gegenseitigen Beeinflussung.

Neben einer Angabe von Abminderungsbeiwerten für Gruppenanordnungen werden in [3] ein Bemessungsvorschlag für exzentrische Anordnungen von Durchbrüchen im unverstärkten Zustand sowie vereinfachte Betrachtungen zur Bestimmung von Kräften in geeigneten Verstärkungselementen dargestellt.

5 Literatur

- [1] DIN EN 1995-1-1:2010-12: 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, DIN, Berlin
- [2] 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, DIN, Berlin
- [3] Danzer, M.; Dietsch, P.; Winter, S.: Einfluss exzentrisch positionierter runder Einzeldurchbrüche und Gruppen von Durchbrüchen auf die Tragfähigkeit von Brett-schichtholzträgern – Entwicklung von Bemessungsverfahren und Konstruktions-regeln für Verstärkungsmaßnahmen. Schlussbericht zum AiF-Forschungsvorhaben Nr. 18048 N, TU München, 2017



Dipl.-Ing. Frank Brühl

Leitung WiEHAG Engineering

WiEHAG GmbH
Linzer Strasse 24
4950 Altheim
Österreich
F.Bruehl@wiehag.com

- seit 2013 WiEHAG GmbH, 4950 Altheim, Österreich
- 2007 – 2013 Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Universität Stuttgart, Institut für Konstruktion und Entwurf
- 2005 – 2007 Projektingenieur Firma WiEHAG GmbH, 4950 Altheim, Österreich
- 1999 – 2005 Studium des Bauingenieurwesens, Universität Stuttgart
- 2002 – 2003 Auslandsaufenthalt, University of Calgary, Kanada
- 2004 – 2005 Auslandsaufenthalt, University of Canterbury, Neuseeland
- 1997 – 1999 Lehrling im Zimmererhandwerk, Holzbau Stahl, Kuchen

Bewertung und Modellierung von duktilen Anschlüssen im Holzbau

Dipl.-Ing. Frank Brühl, WiEHAG GmbH, Altheim, Österreich

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Ulrike Kuhlmann, Universität Stuttgart, Institut für Konstruktion und Entwurf, Stuttgart

1 Einleitung

Im Gegensatz zur Tragwerksbemessung im Verbundbau, Stahlbau und Stahlbetonbau werden Holztragwerke derzeit rein „elastisch-elastisch“ bemessen, obwohl die momentane Normungssituation die Methode nach dem Verfahren „elastisch-plastisch“ im Holzbau zulässt [12, 5.1(3)].

Durch den natürlichen Wuchs besitzt Holz eine starke Anisotropie und dadurch eine große Streuung der Materialeigenschaften. So verfügt Holz unter einer Druckbelastung über ein duktileres Verhalten [15], wobei sich Holz auf Zug spröde verhält, sodass das elastische Verfahren für reine Holzkonstruktionen generell auch zutreffend ist.

Für die Berechnung der Tragfähigkeit von stiftförmigen Verbindungsmitteln im Holzbau entwickelte Johansen [16] im Jahre 1949 ein mechanisches Modell, das von der Ausbildung von plastischen Gelenken innerhalb des Verbindungsmittels ausgeht. Dieses Modell bildet die Bemessungsgrundlage der derzeit gültigen Normungssituation [12, 27].

Es hat sich gezeigt, dass stiftförmige Verbindungsmittel ein beachtliches duktileres Verhalten aufweisen, sofern das Verbindungsmittel über eine gewisse Einbindelänge im Holz verfügt und die Gefahr des Aufspaltens minimiert ist [2, 17].

Die Frage stellt sich also, ob es nicht möglich ist, durch die Duktilität der Verbindungsmittel und die Aktivierung von Holz auf Druck trotz des an sich „spröden“ Verhaltens von Holz in Holztragwerken an der Stelle von Anschlüssen Fließgelenke zu bilden. Gelingt es durch geeignete Maßnahmen Fließgelenke auszubilden, so können dem Holzbau neue Perspektiven eröffnet werden.

Diese sind unter anderem:

- > Spannungsumlagerungen in statisch unbestimmten Systemen, und dadurch eine
 - Laststeigerung
 - Neubewertung hinsichtlich der Robustheit
- > Nutzung des dissipativen Verhaltens unter einer seismischen Belastung

Der gezielte Einsatz von Fließgelenken innerhalb eines Tragwerks setzt jedoch voraus, dass das Verhalten der Anschlüsse zuverlässig beschrieben werden kann. Zuverlässig nicht nur im Hinblick auf die Tragfähigkeit, sondern ebenfalls hinsichtlich der Verformungsfähigkeit.

Im Rahmen dieses Beitrages wird eine Möglichkeit zur Bestimmung der Duktilität im Holzbau vorgestellt, und das duktile Verhalten verschiedener Verbindungsmittel dargestellt und bewertet. Um eine praktische Anwendung zu gewährleisten, ist es von grundlegender Bedeutung das Verformungsverhalten von Verbindungsmitteln beschreiben zu können. Basierend auf experimentellen Untersuchungen an Stabdübelverbindungen wird dazu ein erster Ansatz vorgestellt.

2 Duktileres Verhalten von Verbindungsmitteln

2.1 Ermittlung der Fließverschiebung

Als natürlicher Werkstoff verfügt Holz nur im Druckbereich über ein gewisses plastisches Verhalten. Daher kann ein duktileres Systemverhalten nur über Verbindungsmittel in definierten Anschlüssen erfolgen. Um einen gezielten Einsatz zu ermöglichen, ist es daher wichtig, verschiedene Verbindungsmittel hinsichtlich ihres duktilen Verhaltens zu bewerten.

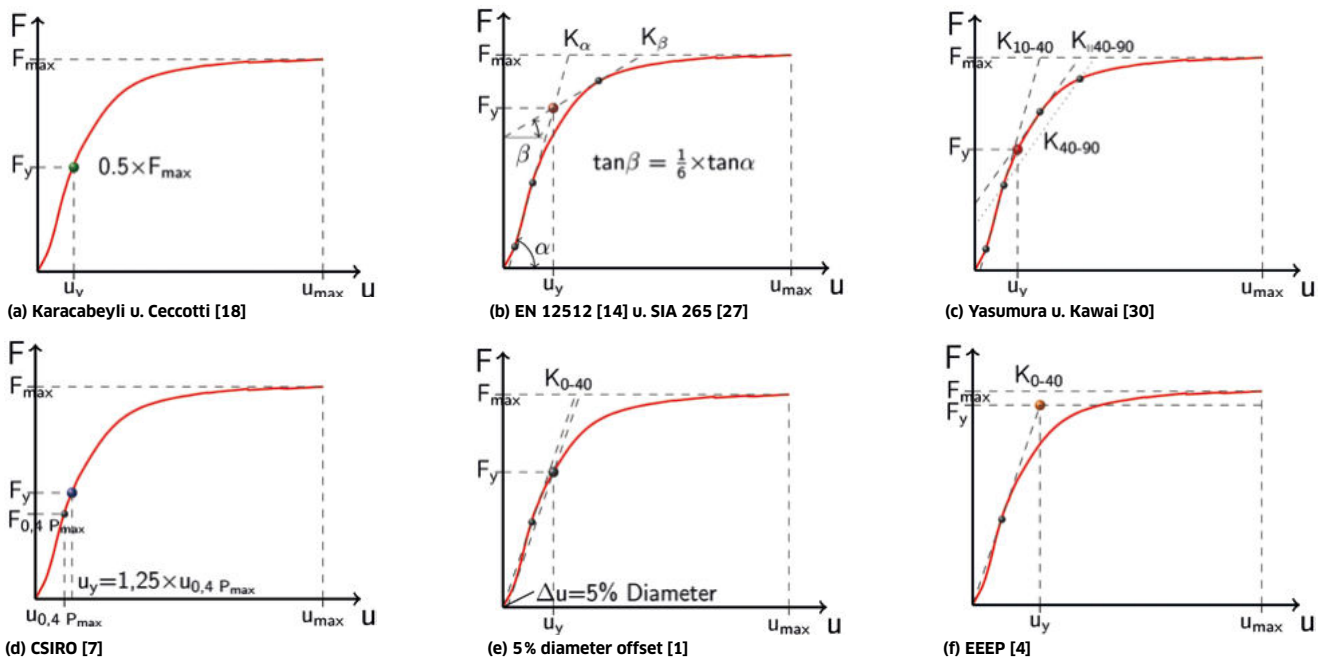


Bild 1: Übersicht über die häufigsten Verfahren zur Bestimmung des Fließpunktes

Die Fließverschiebung (u_y) ist dabei eine bedeutsame Kenngröße. Muñoz et al. [23] zeigen verschiedene Verfahren für die Bestimmung der Fließverschiebung auf, die in Bild 1 erläutert werden.

Hierbei beschreibt Karacabeyli u. Ceccotti [18] die Verschiebung beim Fließen als die Verschiebung die bei 50% der maximalen Last auftritt (vgl. Bild 1(a)). In EN 12512 [14] und SIA 265 [27] wird die Fließverschiebung als der Schnittpunkt der Anfangssteifigkeit, die sich zwischen dem Ursprung [27] respektive 10% der Höchstlast [14] und 40% der Höchstlast bestimmen lässt, und einer Tangente mit einer Steigung von $\frac{1}{6}$ der Anfangssteifigkeit an die Last-Verschiebungskurve bestimmt (vgl. Bild 1(b)). In Anlehnung an das Verfahren nach EN 12512 [14] entwickelten Yasumura und Kawai eine weitere Methode, dabei ergibt sich jedoch die Steigung der zweiten Tangente aus den Kurvenpunkten bei 40% und 90% der Höchstlast. Die horizontale Verschiebung des Schnittpunkts zwischen der Anfangssteifigkeit und der zweiten Geraden auf die Last-Verschiebungskurve bildet die Fließverschiebung (vgl. Bild 1(c)). Ein weiteres Verfahren stellt CSIRO [7] vor. Dabei wird die Fließverschiebung als Punkt definiert, der 1,25-mal der Verschiebung bei einer Last von 40% der Höchstlast entspricht (vgl. Bild 1(d)). In der amerikanischen Normung [1] ist ein weiteres Verfahren verankert. Diese schlägt eine Verschiebung der Anfangssteifigkeit, gemessen vom Nullpunkt bis zu 40% der Höchstlast, um 5% des Verbindungsmitteldurchmessers vor (vgl. Bild 1(e)).

Eine weitere in Nordamerika weit verbreitete Methode ist die Methode der flächengleichen Kurven [4]. Dabei wird eine elastisch-plastische Last-Verschiebungskurve ermittelt, die die gleiche Fläche wie die zu untersuchende Kurve besitzt. Die Anfangssteifigkeit wird ebenfalls zwischen dem Nullpunkt und 40% der Anfangssteigung bestimmt (vgl. Bild 1(f)).

Die einzelnen Verfahren wurden in [6] näher beleuchtet und diskutiert. Es hat sich herausgestellt, dass das Verfahren nach EN 12512 [14] sinnvolle Ergebnisse zur Fließverschiebung erzielt. Daher basieren die im Rahmen dieses Beitrags vorgestellten Ergebnisse auf dem Verfahren nach EN 12512 [14].

Bewertung des Anschlussverhaltens

Um Verbindungsmittel hinsichtlich ihres duktilen Verhaltens zu bewerten, ist es notwendig Kriterien zu schaffen, die die unterschiedlichen Verbindungsmittel kategorisieren. Dies basiert in der Regel auf dem Duktilitätsmaß und beschreibt die Fähigkeit, angreifende Kräfte unter großen irreversiblen Zuwachs der Verformungen weiterzuleiten.

Nach EN 12512 [14] und SIA 265 [27] lässt sich das Duktilitätsmaß als relative Größe aus den ermittelten Kenngrößen durch das Verhältnis der Verschiebung beim Versagen (u_f) zu der Fließverschiebung (u_y) bestimmen, vgl. Gleichung (1) und Bild 2. Dabei wird u_f als die Verschiebung beim Versagen oder die Verschiebung bei einem Lastabfall von 80% der Maximallast definiert.

$$D_f = \frac{u_f}{u_y} \quad (1)$$

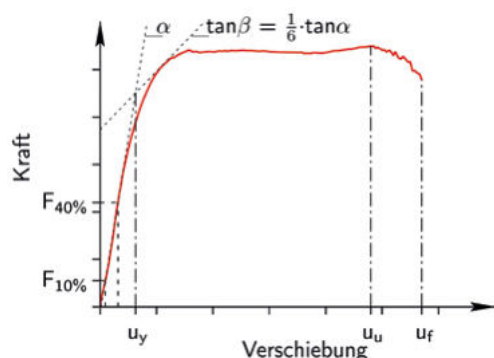


Bild 2: Bestimmung der Fließverschiebung mit den zugehörigen Kenngrößen

mit
 u_y : Fließverschiebung
 u_u : Verschiebung beim Erreichen der Höchstlast
 u_f : Verschiebung beim Versagen, oder bei einem Lastabfall von 80 % der Maximallast

Basierend auf dem Duktilitätsmaß D_f klassifizieren Smith et al. [28] Verbindungen hinsichtlich ihres duktilen Verhalten (vgl. Tab. 1). Sowohl die Verschiebung beim Erreichen der maximalen Kraft (u_u), als auch die Verschiebung beim Versagen (u_f) werden von [28] als Bezugsgrößen herangezogen.

2.3 Klassifizierung von Verbindungsmitteln

Um verschiedene Verbindungsmittel hinsichtlich ihrer Duktilität zu klassifizieren, wurde ihre Last-Verformungskurve bezüglich ihres duktilen Verhaltens untersucht. Dabei kam das Verfahren nach EN 12512 [14] zur Anwendung. Aus der Literatur bekannte Versuchsergebnisse wurden hierzu ausgewertet. Die Mittelwertkurve einer einheitlichen Versuchsreihe bildet hierbei jeweils die Grundlage der Untersuchungen.

Klassifikation	Duktilitätszahl
Spröde	$D_i \leq 2$
Geringe Duktilität	$2 < D_i \leq 4$
Mittlere Duktilität	$4 < D_i \leq 6$
Hohe Duktilität	$D_i > 6$

Tabelle 1: Einordnung von Verbindungsmitteln anhand des Duktilitätsmaßes D_i nach [28]

mit
 $i = u$ oder f

Im Folgenden werden die einzelnen Quellen der verwendeten Versuchsergebnisse kurz vorgestellt:

Unverstärkte Stabdübelverbindungen

Das Tragverhalten von selbstbohrenden Stabdübeln der Firma SFS intec AG wurde im Rahmen eines Forschungsprojekts an der ETH Zürich [22] untersucht. Die Untersuchungen wurden an mehrschnittigen Stahlblech-Holz-Verbindungen geprüft. Dabei wurden unter anderem die Einflüsse der Stabdübelgüte, des Abstands zum Hirnholzende sowie der Holzdicke näher betrachtet.

Jorissen [17] untersuchte das Tragverhalten für mehrere in Faserrichtung angeordnete Holz-Holz-Stabdübelverbindungen als zweischnittige Verbindung. Unter anderem wurde die Holzdicke, der Stabdübelabstand in Faserrichtung (a_1) sowie der Abstand zum belasteten Hirnholzrand ($a_{3,u}$) an einer Vielzahl von Holz-Holz-Verbindungen variiert.

Weitere Untersuchungen zur Tragfähigkeit von Stabdübelverbindungen wurden an der TU Delft durchgeführt [25]. Dabei wurde die Holzart, der Stabdübeldurchmesser, die Stahlgüte der Stabdübel sowie die Anzahl der Stabdübel in Faserrichtung variiert.

Verstärkte Stabdübelverbindungen

Um die Gefahr des Spaltens zu minimieren, wurden am Karlsruher Institut für Technologie (KIT), neben weiteren Einsatzmöglichkeiten, Versuche an verstärkten Anschlüssen mit Vollgewindeschrauben durchgeführt [2]. Die Versuche wurden als zweischnittige Stahlblech-Holz-Verbindungen mit innenliegenden Stahlblechen geprüft. Es wurden jeweils 5 Stabdübel in Faserrichtung eingesetzt; die Stahlgüte der Stabdübel wurde bei allen Versuchen zu S235 gewählt.

Tabelle 2: Erweiterung der Duktilitätsbeurteilung	Duktilitätszahl	
	Klassifikation	D_f
	Spröde	$D_f \leq 2$
	Geringe Duktilität	$2 < D_f \leq 4$
	Mittlere Duktilität	$4 < D_f \leq 6$
	Hohe Duktilität	$D_f > 6$

Dübel besonderer Bauart

Am Karlsruher Institut für Technologie wurden Scherversuche an Dübeln besonderer Bauart durchgeführt [3]. Dabei wurde der Einfluss auf das Trag- und Verformungsverhalten von mehreren Dübeln in Faserrichtung untersucht. Die Versuche wurden zum einen an Scheibendübeln mit Dornen (Typ C10), zum anderen an Ringkeildübeln (Typ A1) durchgeführt. Die dargestellten Versuchsergebnisse basieren auf Prüfungen mit einer Verbindungsmiteleinheit in Faserrichtung.

Neben Versuchen an Ringkeildübeln und Scheibendübeln wurden an der Ruhr-Universität Bochum Versuche an Scheibendübeln mit Zähnen (Typ C2) und Scheibendübeln mit Dornen (Typ C11) durchgeführt [24]. Dabei wurde die Möglichkeit der Übertragung von Scherkräften durch den Passbolzen an derartigen Verbindungen näher beleuchtet.

Nagelplatten

Untersuchungen an Nagelplatten wurden von Kevärimäki [19] durchgeführt. Hierbei wurde das plastische Verhalten von Nagelplatten und damit der Einfluss auf Nagelplattenkonstruktionen untersucht.

- > Die Auswertung der Versuche an Nagelplatten hat gezeigt, dass derartigen Verbindungen nach der Definition von Smith et al. [28] eine hohe Duktilität zugesprochen werden kann. Denn die Fließverschiebung stellt sich hierbei bereits in einem sehr frühen Stadium ein, sodass die Zuordnung „hohe Duktilität“ trotz einer geringen Verschiebung beim Versagen von ca. 3 mm erfolgt.

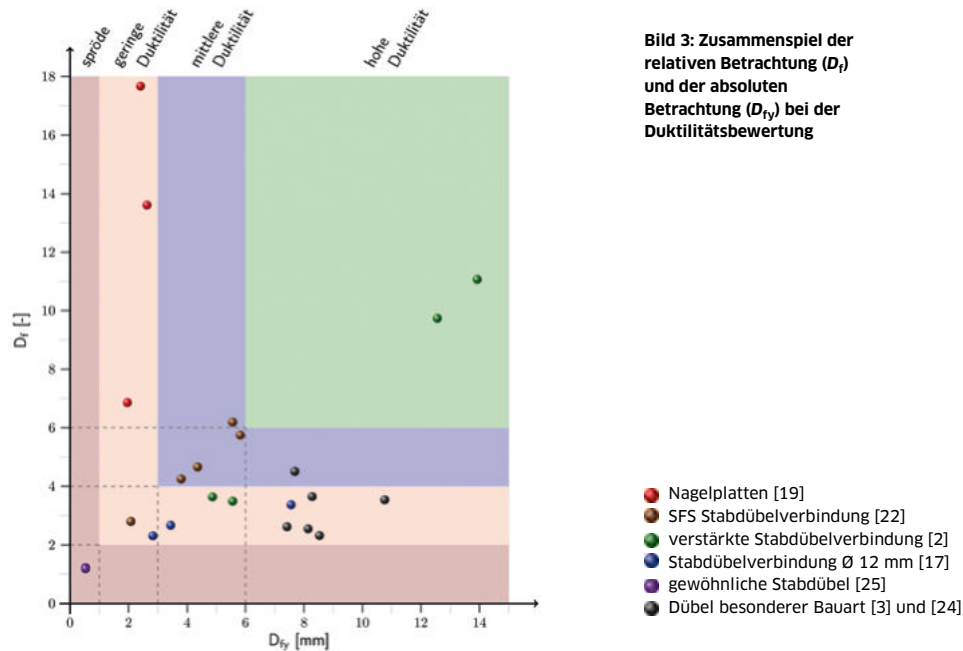
EN 1994-1-1 [11] fordert von einem Verbindungsmittel in 6.6.1.1(5) ein Verformungsvermögen von 6 mm, um als duktil eingestuft zu werden. Aus den gewonnenen Erkenntnissen wird daher vorgeschlagen die Klassifizierung nach Smith et al. [28] ebenfalls um die absolute plastische Verformbarkeit D_{fy} ($D_{fy} = u_f - u_y$) zu erweitern (vgl. Tab. 2) [21]. Bild 3 zeigt den Zusammenhang der relativen und absoluten Bewertung der Duktilität. Nagelplatten würden, basierend auf der Neubewertung, durch die geringe plastische Verformbarkeit mit einer geringen Duktilität bewertet werden, obwohl die relative Betrachtung eine hohe Duktilität ausweist.

Verstärkte Stabdübelverbindungen können dagegen jedoch aufgrund der ausgeprägten plastischen Verformbarkeit mit einer hohen Duktilität eingestuft werden.

Unverstärkte Stabdübelverbindungen weisen hingegen weder eine ausgeprägte plastische Verformbarkeit noch einen signifikanten Unterschied zwischen der Fließverschiebung und der Verschiebung beim Versagen auf. Daher werden derartige Verbindungen als spröde eingestuft.

Stabdübelverbindungen mit selbstbohrenden Stabdübeln der Firma SFS kann eine mittlere Duktilität zugesprochen werden. Dies liegt am geringen Verhältnis des Stabdübeldurchmessers zur Einbindelänge im Holz. Dadurch ist die Gefahr des Spaltens ebenfalls verringert.

Dübel besonderer Bauart verfügen hingegen über ein ausgeprägtes plastisches Verhalten. Aufgrund der geringeren Anfangssteifigkeit tritt die Verschiebung beim Fließen jedoch bei einer späteren Verschiebung ein. Dadurch sinkt das relative Duktilitätsmaß D_f ab, wodurch derartigen Verbindungen über eine geringe Duktilität verfügen.



3 Modellierung des Last-Verschiebungsverhalten von stiftförmigen Verbindungsmitteln

3.1 Einführung

Die Untersuchungen an unterschiedlichen Verbindungsmitteln haben gezeigt, dass verstärkte Stabdübelverbindungen über eine hohe Duktilität verfügen. Im Rahmen von experimentellen Untersuchungen [20, 21] zu duktilen Verbindungen wurden daher ebenfalls verstärkte Stabdübelverbindungen geprüft. Das Versagen wurde dabei als reines Anschlussversagen oder bei einem Lastabfall auf ca. 80% der Maximalkraft definiert [14].

Innerhalb der Versuche wurde der Stabdübeldurchmesser und die Stabdübelanordnung variiert. Die Grundlage für die Abbildung des Last-Verformungsverhalten bildet im Rahmen dieses Beitrags die Versuchsdurchführung an Stabdübel mit einem Durchmesser von 12 mm.

3.2 Kurzdarstellung der zugrunde gelegten Versuche

Um sicherzustellen, dass alle Stabdübelverbindungen planmässig in der gleichen Holzsortierklasse eingebettet sind, wurde zur Versuchsdurchführung die Holzgüte GL 24h gewählt. Die mittlere Rohdichte der verwendeten Lamellen im Anschlussbereich betrug $443,5 \text{ kg/m}^3$ mit einer Standardabweichung von $43,1 \text{ kg/m}^3$. Um eine Aussage über die Bildung des Fließgelenkes innerhalb des Stabstahles treffen zu können, wurden zu Beginn reine Zugversuche an 16 Proben durchgeführt. Die Zugproben wurden aus dem gleichen Rohmaterial hergestellt wie die verwendeten Stabdübel für die geprüften Verbindungen. Dabei konnte eine Zugfestigkeit des Stabstahls für einen Durchmesser

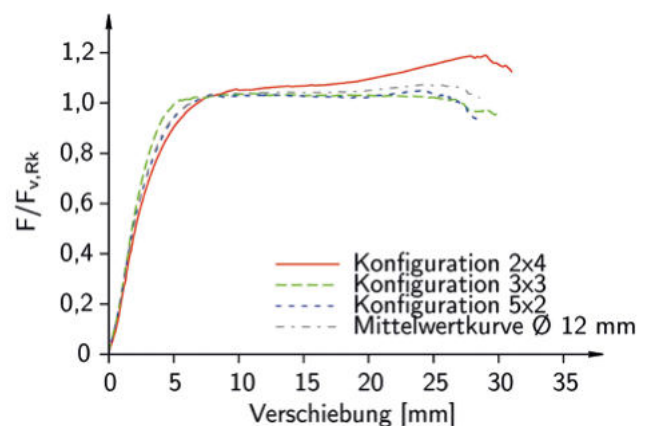


Bild 4: Zugversuche mit Stabdübeln des Ø 12 mm
(a) Versuchsaufbau
(b) Versuchsergebnisse

	Stabdübel- anordnung		Holzabmessungen				Kennzahlen			
	n	m	$a_{3,t}$ [mm]	a_1 [mm]	b [mm]	t_1 [mm]	u_y [mm]	u_f [mm]	D_f	D_{fy}
Stabdübel Ø 12 mm										
12_5x2 [19]	5	2	90	60	180	85	3,15	28,5	9,05	25,4
12_2x4 [19]	2	4	90	60	180	85	3,27	31,0	9,47	27,7
12_3x3 [19]	3	3	90	60	180	85	3,31	30,1	9,09	26,8

**Tabelle 3: Duktilitäts-
untersuchungen an
verstärkten Stabdübel-
verbindungen**

mit: n : Anzahl der Stabdübel in Faserrichtung
 m : Anzahl der Stabdübel rechtwinklig zur Faserrichtung
 b : Bauteilbreite
 t_1 : Dicke des Seitenholzes

von 12 mm von 581 N/mm² ermittelt werden. Die ermittelte Zugfestigkeit der Stabdübel mit einer theoretischen Stahlgüte S235JR lag also über den Werten nach [8]. Dies wurde unter anderem auch von [29] und [26] beobachtet.

Es wurden jeweils vier Versuche pro Versuchsreihe durchgeführt. Bild 4(b) zeigt die Mittelwertkurven der drei durchgeführten Versuchsreihen mit einem Durchmesser von 12 mm. Um eine Vergleichbarkeit der einzelnen Versuche herstellen zu können, wurden die Versuchsergebnisse auf die Tragfähigkeit eines Stabdübels, basierend auf den ermittelten Materialparametern, normiert. Dabei zeigte der Mittelwert der drei Versuchsreihen eine sehr gute Übereinstimmung der Verformungseigenschaften und der Tragfähigkeit. Dies bestätigt, dass bei verstärkten Anschlüssen der Reiheneffekt bei in Faser angeordneten Anschlusskonfigurationen vernachlässigt werden kann [2].

In Anlehnung an EN 12512 [14] wurden die Fließverschiebung und die beiden Bewertungsgrößen zur Klassifizierung des Anschlusses hinsichtlich der Duktilität bestimmt (vgl. Tab. 3). Dabei konnte ein relatives Duktilitätsmaß $D_f > 9$ und ein absolutes Duktilitätsmaß $D_{fy} > 25$ mm ermittelt werden. Daher können die Verbindungen aus Tabelle 3 alle mit „hoher Duktilität“ klassifiziert werden (vgl. Tab. 2).

3.3 Vereinfachte Ermittlung des Last-Verschiebungsverhalten

Der derzeitige Stand der Normung [12, 27] beinhaltet keine Informationen über das nichtlineare Verhalten von Verbindungsmitteln. Um das duktile Verhalten anwendbar zu machen, ist es jedoch unumgänglich das Last-Verschiebungsverhalten vereinfacht zu beschreiben. Ziel war es, ein möglichst bekanntes, praxisnahes Verfahren einzuführen. Basierend auf den bekannten Größen der Anfangssteifigkeit und der Tragfähigkeit, zeigte die Anwendung der Komponentenmethode nach EN 1993-1-8 [10] eine gute trilineare Abbildung des tatsächlichen Verhaltens (vgl. Bild 5).

Der erste Abschnitt des trilinearen Verhaltens kann durch die Anfangssteifigkeit (K_{ser}) beschrieben werden:

$$F_1 = \frac{2}{3} \cdot F_{v,Rk} \quad (2) \quad u_1 = \frac{F_1}{K_1} = \frac{\frac{2}{3} \cdot 23 \cdot F_{v,Rk}}{\rho_k^{1,5} \cdot d} \quad (3)$$

Die Steifigkeit des zweiten Abschnitts wird durch ein Drittel der Anfangssteifigkeit charakterisiert. Der zweite Punkt kann daher durch folgende Beziehung ermittelt werden:

$$F_2 = F_{v,Rk} \quad (4) \quad u_2 = u_1 + \frac{\Delta F}{\frac{1}{3} \cdot K_1} = u_1 + \frac{F_{v,Rk}}{K_1} \quad (5)$$

$$u_2 = \frac{\frac{2}{3} \cdot 23 \cdot F_{v,Rk}}{\rho_k^{1,5} \cdot d} + \frac{23 \cdot F_{v,Rk}}{\rho_k^{1,5} \cdot d} = \frac{5}{3} \cdot \frac{F_{v,Rk}}{K_1}$$

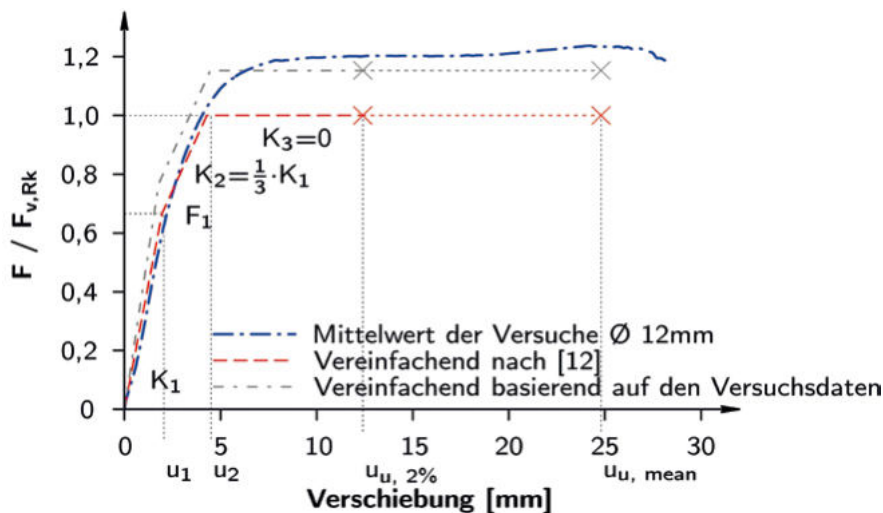


Bild 5: Vereinfachte Darstellung des nicht linearen Anschlussverhaltens (Ø 12mm)

Der dritte Abschnitt zeichnet sich als horizontale Linie mit der ermittelten Tragfähigkeit aus. Bild 5 zeigt die Anwendung des beschriebenen vereinfachten Verfahrens zur Ermittlung des nicht linearen Verhaltens. Dabei wurden zwei unterschiedliche Materialeingangsparameter gewählt, zum einen die ermittelten Versuchswerte, zum anderen die Materialparameter basierend auf der Berechnung nach [12]. Aufgrund der hohen ermittelten Zugfestigkeit wurde eine Stahlgüte von S355 ($f_{u,k} = 510 \text{ N/mm}^2$) bei der Anwendung von [12] angenommen. Des Weiteren wurde der Mittelwert der Rohdichte $\rho_{g,mean} = 420 \text{ kg/m}^3$ [9] zur Bestimmung der Tragfähigkeit angesetzt. Aufgrund der geringen Materialeigenschaften, die in der Norm verankert sind, wird die Tragfähigkeit der Verbindung in diesem Fall unterschätzt. Die Auswertung, basierend auf den gemessenen Materialeigenschaften, zeigt eine gute Übereinstimmung der Verformungseigenschaften und der Tragfähigkeit.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen dieses Beitrages wurden verschiedene Möglichkeiten zur Bestimmung der Duktilität vorgestellt und vorhandene Verfahren zur Bewertung der Duktilität diskutiert und erweitert.

Es konnte gezeigt werden, dass Verbindungsmittel im Holzbau generell über ein gewisses duktiles Verhalten verfügen. Insbesondere zeigten verstärkte Stabdübelverbindungen ein bemerkenswertes duktiles Verhalten. Es wurde eine vereinfachte Methode vorgestellt, die es in der praktischen Anwendung ermöglicht das Last-Verschiebungsverhalten von verstärkten Stabdübelverbindungen zu beschreiben.

In weiterer Folge muss gezeigt werden, inwieweit das duktile Verhalten an momententragfähigen Anschlüssen aktiviert werden kann und wie dieses beschrieben werden kann. Des Weiteren müssen Anwendungskriterien definiert werden, die sicherstellen, dass das duktile Verhalten aktiviert wird, bevor ein sprödes Holzversagen eintritt [5].

Danksagung

Das Forschungsvorhaben (16184 N) des internationalen Vereins für Technische Holzfragen e.V. (ivTH e.V.) wurde im Programm zur Förderung der „Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF)“ vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie über die AiF finanziert. Hierfür möchten wir uns recht herzlich bedanken. Des Weiteren möchten wir uns beim Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) für die Förderung von [20] bedanken. Für die Bereitstellung der Versuchsergebnisse zur Bestimmung der Duktilitätszahl möchten wir uns an dieser Stelle bei allen zitierten Forschungsstellen ebenfalls recht herzlich bedanken.

5 Literatur

- [1] AF & PA: Design Specification (NDS) for Wood Construction – Commentary. American Forest & Paper Association. Washington, DC, USA, 2005.
- [2] Bejtka, I.: Verstärkungen von Bauteilen aus Holz mit Vollgewindeschrauben, Universität Karlsruhe, Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen, Dissertation, 2005.
- [3] Blaß, H.J.; Ehlbeck, J.; Krämer, V.; Werner, H.: Sicherheitsrelevante Untersuchungen zum Trag- und Verformungsverhalten von mehreren in Krafrichtung hintereinander liegenden Dübeln besonderer Bauart/Universität Karlsruhe, Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, Abteilung Ingenieurholzbau. 1997.
- [4] Boudreault, F.A.; Blais, C.; Rogers, C.A.: Seismic force modification factors for light-gauge steel-frame-wood structural panel shear walls. In: Canadian Journal of Civil Engineering 34 (2007), S. 56–65,
- [5] Brühl, F.: Ductility in timber structures – possibilities and requirements, Institut für Konstruktion und Entwurf, Universität Stuttgart, Dissertation, (voraussichtlich 2018)
- [6] Brühl, F.; Kuhlmann, U.; Jorissen, A.: Consideration of plasticity within the design of timber structures due to connection ductility. In: Structural Engineer 33 (2011), S. 3007–3017.
- [7] Commonwealth Scientific And Industrial Research Organization (CSIRO): Timber evaluation of mechanical joint systems/CSIRO, Melbourne, Australia. 1996 (Part 3, Earthquake loading).
- [8] DIN EN 10025-2: Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen – Teil 2: Technische Lieferbedingungen für unlegierte Baustähle; Deutsche Fassung EN 10025-2:2004, 2005
- [9] DIN EN 14080: Holzbauwerke – Brettschichtholz und Balkenschichtholz – Anforderungen; Deutsche Fassung EN 14080:2015, 2015.
- [10] DIN EN 1993-1-8 Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen; mit Nationalem Anhang, 2010.
- [11] DIN EN 1994-1-1: Eurocode 4: Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Anwendungsregeln für den Hochbau; mit Nationalem Anhang, 2010.
- [12] DIN EN 1995-1-1: Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten-Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau, 2010.
- [13] DIN EN 1995-1-1/NA: Nationaler Anhang – Eurocode 5 Bemessung und Konstruktion von Holzbauten-Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau, 2013.
- [14] EN 12512: Timber structures – Test methods – Cyclic testing of joints made with mechanical fasteners. European Committee for Standardization (CEN), Bruxelles, 2005.
- [15] Glos, P.: Zur Modellierung des Festigkeitsverhaltens von Bauholz bei Druck-, Zug- und Biegebeanspruchung/Laboratorium für den konstruktiven Ingenieurbau (LKI), Technische Universität München. 1981 (Heft 61).
- [16] Johansen, K. W.: Theory of timber connections. In: IABSE-International Association for Bridge and Structural Engineering 9 (1949), S. 249–262.

- [17] Jorissen, A.: Double shear timber connections with dowel type fasteners, Delft University of Technology, The Netherlands, Dissertation, 1998.
- [18] Karacabeyli, E.; Ceccotti, A.: Nailed wood-frame shear walls for seismic loads: test results and design considerations. In: Structural Engineering World Wide, Proceedings of the Structural Engineering Congress, San Fransisco, USA, ISBN 0-08-042845-2. Paper ref. T207-6, 19-23 July 1998.
- [19] Kevarinmaki, A.: Semi-rigid behaviour of nail plate joints, Helsinki University of Technology, Dissertation, March 2000.
- [20] Kuhlmann, U.; Brühl, F.: Robuste Holztragwerke durch duktile Anschlüsse mit stiftförmigen Verbindungsmitteln/Institut für Konstruktion und Entwurf, Universität Stuttgart. 2011. – finanziert durch Deutschen Instituts für Bautechnik DIBt.
- [21] Kuhlmann, U.; Brühl, F.: Vorteilhafte Bemessung von Holztragwerken durch duktile, plastische Anschlüsse/Institut für Konstruktion und Entwurf, Universität Stuttgart. Aif/IGF Nr. 16184N mit ivTH e.V., finanziert durch „Industrielle Gemeinschaftsforschung AiF.
- [22] Mischler, A.: Untersuchungen zum Tragverhalten des SFS WS-Verbindungssystem/Eidgenössische Technische Hochschule Zürich. 2001.
- [23] MÜÑOZ, W.; MOHAMMAD, M.; SALENIKOVICH, A.; QUENNEVILLE, P.: Need for a harmonized approach for calculations of ductility of timber assemblies. In: Proceedings of the meeting No. 41 of Working Commission W18 – Timber Structures, CIB, St. Andrews, Canada, August 2008.
- [24] Reyer, E.; Bretländer, Th.; Linzner, P.: Untersuchungen über die mögliche Übertragung von Scher- und Lochleibungskräften durch die Gewindebereiche von Passbolzen bzw. Gewindestangen/Lehrstuhl für Baukonstruktionen, Ingenieurholzbau und Bauphysik, Ruhr-Universität Bochum. 1993.
- [25] Sandhaas, C.: Mechanical behaviour of timber joints with slotted-in steel plates, Delft University of Technology, The Netherlands, Dissertation, 2012.
- [26] Schickhofer, G.; Augustin, M.; Jeitler, G.: Einführung in die Verbindungstechnik mit Stabdübeln, Schrauben und eingeklebten Stahlstangen. In: 6. Grazer Holzbau-Fachtagung, 2007
- [27] SIA 265: Holzbau. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, 8039 Zürich, Schweiz, 2003.
- [28] Smith, I.; Asiz, A.; Snow, M.; Chui, I.H.: Possible Canadian/ISO approach to deriving design values from test data. In: Proceedings of the Meeting No. 39 of Working Commission W18 – Timber Structures, CIB, Florence, Italy, August 2006.
- [29] Werner, H.: Tragfähigkeit von Holz-Verbindungen mit stiftförmigen Verbindungsmitteln unter Berücksichtigung streuender Einflussgrößen, Universität Fridericiana zu Karlsruhe, Dissertation, Dezember 1993.
- [30] Yasumura, M.; Kawai, N.: Estimating seismic performance of wood-framed structures. In: Proceedings of I.W.E.C. Switzerland Bd. 2, 1998, S. 564–571.



Prof. PD Dr.-Ing. habil. Jörg Schänzlin

Hochschule Biberach | Institut für Holzbau
Karlstraße 8 | 88400 Biberach a.d.R.
www.hochschule-bc.de | schaenzlin@hochschule-bc.de

Konstruktionsgruppe Bauen AG, Kempten, Ingenieurbüro für Bauwesen
Bahnhofplatz 1 | 87435 Kempten | www.kb-ke.de

- seit 2015 Professur für Holzbau an der Hochschule Biberach und Institutsleiter des Instituts für Holzbau
- seit 2014 Bereichsleiter F&E bei der Konstruktionsgruppe Bauen AG, Kempten
- seit 2010 Privatdozent an der Universität Stuttgart im Bereich Holzbau
 - 2010 Abschluss der Habilitation zum Thema „Modeling the long-term behavior of structural timber for typical serviceclass-II-conditions in South-West Germany“
- 2009 – 2014 Tragwerksplaner bei der Konstruktionsgruppe Bauen AG, Kempten
- 2003 – 2009 Wissenschaftlicher Assistent am Institut für Konstruktion und Entwurf, Prof. Dr.-Ing. Kuhlmann
 - 2003 Promotion zum Thema „Zum Langzeitverhalten von Brettstapel-Beton-Verbundkonstruktionen“ an der Universität Stuttgart
- 1998 – 2003 Wissenschaftlicher Angestellter am Institut für Konstruktion und Entwurf, Prof. Dr.-Ing. Kuhlmann
 - 1998 Abschluss des Bauingenieurstudiums an der Universität Stuttgart

Bauwerksprüfung bei der historischen König-Ludwig-Brücke

Prof. Dr.-Ing. habil. Jörg Schänzlin, Hochschule Biberach & Konstruktionsgruppe Bauen AG

Kurzfassung

Von Bauwerken wird erwartet, dass sie über eine lange Zeit funktionieren. Als Zieldefinition wird dabei verstanden, dass sowohl die Gebrauchstauglichkeit als auch die Standsicherheit eingehalten ist. Um die Funktionalität von Bauwerken zu überprüfen, sind daher Bauwerksprüfungen unerlässlich.

Im Folgenden wird das Konzept der Bauwerksprüfung bei der von 1849 bis 1851 erbauten König-Ludwig-Brücke dargestellt. Die Ergebnisse dieser Bauwerksprüfung bilden die Basis zur Beurteilung der Standsicherheit und der heutigen Tragfähigkeit dieses historischen Bauwerks.

1 Bauwerk

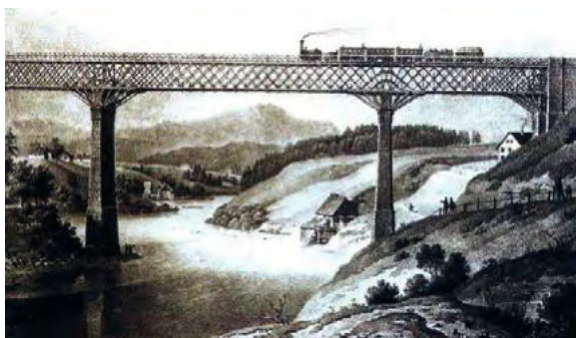
1.1 Geschichte

Im Rahmen der zwischen 1843 und 1854 durchgeführten Erweiterung des Streckennetzes der Ludwig-Süd-Nordbahn von Lindau nach Hof musste in Kempten die Iller überbrückt werden (siehe [12]). Für diese Überquerung der Iller wurde zwischen 1848 und 1851 eine damals zweigleisige Brücke als Howe'scher Träger für eine Lokomotive mit 14 t hergestellt (siehe Bild 1 und [11]).

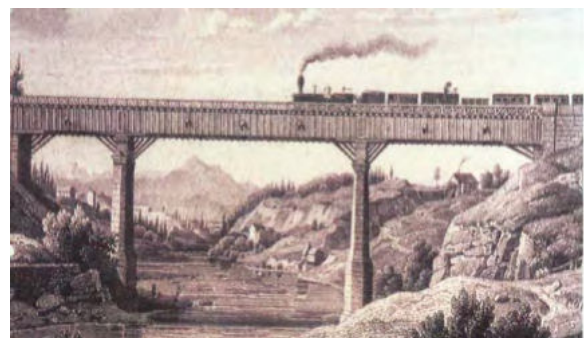
Erste Darstellungen zeigen diese Brücke unverkleidet (siehe Bild 2), wobei nach heutiger Einschätzung diese Darstellungen nicht die Realität, sondern die technische Ausführung der Brücke darstellen sollten.



Bild 1 (links): König-Ludwig-Brücke in Kempten/Allgäu



(a) Unverkleidet



(b) Verkleidet

Bild 2 (unten): Brücke vor 1879 (siehe [1])

Bild 3: Gesprengtes östliches Feld, ab Mai 1945 als Stahl-Beton-Verbundbrücke wiederhergestellt (siehe [5])



Bild 4: Ausheben der Brückenträger (siehe [6])



(a) Abräumen der Fahrbahn



(b) Ausheben der Träger

Spätestens 1879 war die Brücke jedoch verkleidet. Ob dies aus Gründen der Erhöhung der Dauerhaftigkeit oder aus Gründen des Brandschutzes infolge des Funkenflugs der Lokomotiven erfolgte, kann nicht eindeutig geklärt werden. Allerdings deutet der in [9] erwähnte und an den Brückenenden angebrachte Hinweis, dass es den Heizern der Lokomotiven verboten war, auf der Brücke Kohle nachzuschüren, eher darauf hin, dass der maßgebende Grund für die Verkleidung die Befürchtung eines Brands der Brücke war.

Aufgrund der immer größer werdenden Lokomotiven und der damit verbundenen Lasten wurde 1879 das Mittelfeld der Brücke durch ein noch heute erhaltenes Sprengwerk verstärkt, so dass als Bemessungslast 3 Lokomotiven mit je 42 t angesetzt wurden. Aufgrund der weiteren Lasterhöhung der Züge wurden 1906 zwei Stampfbetonbrücken errichtet, auf die der Zugverkehr geleitet wurde. Die König-Ludwig-Brücke wurde daher in eine Straßenbrücke umgewandelt.

In den Wirren des Kriegsendes des zweiten Weltkriegs wurden die östlichen Felder sowohl der Stampfbetonbrücken als auch der König-Ludwig-Brücke gesprengt. Diese Felder wurden im Mai 1945 wieder aufgebaut, wobei bei der König-Ludwig-Brücke das gesprengte Feld durch einen Stahlträger überbrückt wurde (siehe Bild 3).

1970 wurde der Kopfbahnhof in Kempten an den Stadtrand verlegt, so dass für den Schienenverkehr nur eine der beiden Stampfbetonbrücken notwendig wurde. Daher wurde der Straßenverkehr von der König-Ludwig-Brücke auf die frei werdende Stampfbetonbrücke verlegt.

1986 wurde die König-Ludwig-Brücke in eine Fußgängerbrücke umgewandelt. Um eine reine Holzbrücke zu erhalten, wurden dabei die beiden parallel laufenden Brückenträger auf einen Brückenträger reduziert und der gesprengte Teil mit einem ausgehobenen Brückenträger ersetzt (siehe Bild 4).

Im Jahr 2012 wurde sie zum Denkmal der Ingenieurbaukunst ernannt (siehe [11]).

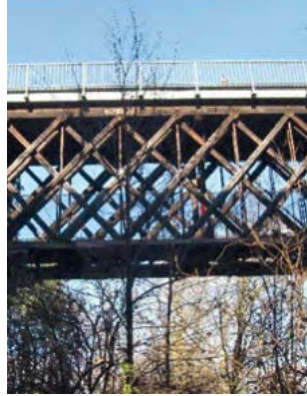
1.2 System

Das Tragwerk der König-Ludwig-Brücke wurde als Fachwerkträger in der sog. Howe'scher Trägerbauweise ausgeführt (siehe Bild 1). Bei dieser Bauweise werden zwei Fachwerkträger ineinander gestellt, so dass die Belastungen in zwei voneinander getrennten Systemen übertragen werden können.

Diese Bauweise wurde von William Howe für die Erschließung Nordamerikas entwickelt, mit dem Ziel, Eisenbahnbrücken mit den vorhandenen Ressourcen und den vorhandenen Fähigkeiten der Arbeiter zu realisieren (siehe auch [13] und [9]). Da die Arbeiter oft nicht ausgebildete Zimmerleute waren, musste also ein einfaches, sich aus wiederholenden Bauteile bestehendes System verwendet werden, da durch eine Serienfertigung der einzelnen Bauteile der Einarbeitungsaufwand und damit die Anforderungen an die Fähigkeiten der Arbeiter gering gehalten werden konnten. Aus gleichem Grund mussten die Anschlüsse möglichst einfach gehalten werden. Damit ergeben sich für das Howe'sche System an der König-Ludwig-Brücke folgende wesentlichen Bauteile (siehe Tab. 1)



(a) Diagonale



(b) Ansicht mit diagonalen und Hängern



(c) Anschluss der Diagonale



(d) Schwelle und Untergurt

- > Diagonalen: Die Diagonalen sind zu den Auflagern hin als Doppeldiagonale mit einer Länge von etwa 6 m ausgeführt. Von den Auflagern weg werden diese als Einzeldiagonale realisiert (siehe Bild 5 (a) und (b)).
- > Unter- bzw. Obergurt: Der Ober- bzw. Untergurt besteht aus 3 Gurten aus Lärche. Die Länge der einzelnen Bauteile dieses Gurts beträgt etwa 11,5 m. Der Stoß erfolgt durch seitlich angebrachte Laschen aus Metall (siehe Bild 5 (d)).
- > Schwellen: Um die Schwellen mit dem Untergurt zu verbinden, ist der Untergurt mit der Schwelle verblattet. Die Diagonalen wurden stumpf ohne Verbindung auf den Schwellen aufgestellt (siehe Bild 5 (d)).
- > Hänger: Um die vertikalen Zugkräfte im Fachwerk zu übernehmen, werden vertikal Zugelemente aus Metall eingebaut, die durch Platten an der Oberseite des Obergurts bzw. der Unterseite des Untergurts aufgelegt werden. Diese Hänger konnten bei Bedarf nachgespannt werden (siehe Bild 5 (b)).
- > Schirrbalken und Büge: Im Bereich der Auflagern wurde der Untergurt auf die sog. Schirrbalken aufgelegt, die wiederum auf Büge aufgelagert werden.

Bild 5: Bauteile der Brücke

Spannweite	37,0 m/54,8 m/28,6 m
Höhe über Iller	≈ 30 m
Achsmaß zwischen Ober- und Untergurt	5,02 m
Achsmaß zwischen den Howe'schen Träger	3,07 m
Untergurt & Obergurt	b/h = 3 × 24/24 cm
Diagonale	b/h = 20/20 cm
Hänger	D = 5 cm
Kopfbänder	b/h = 30/30 cm
Holz	Lärche und Eiche
Metall	Schmiedeeisen
Gesamtlänge der einzelnen Holzbauteile (ohne Schwelle)	≈ 3,5 km

Tabelle 1: Wesentliche Abmessungen der Brücke

2 Bauwerksprüfung

2.1 Allgemeines

Bauwerke unterliegen einer ständigen Belastung in unterschiedlicher Höhe wie z.B. infolge

- > Eigengewicht
- > Verkehrsbelastung
- > Witterungseinflüsse

Rein statistisch betrachtet nimmt dabei das Risiko eines Versagens mit zunehmendem Alter zu, da mit zunehmender Standzeit das Risiko einer Beanspruchung über den normativen Ansätzen steigt. Dies zeigt sich auch in [4], wo die Versagenswahrscheinlichkeit im Bauwesen für Versagen innerhalb eines Jahres von $\approx 1:1.000.000$ akzeptiert wird. Wird auf dieses Versagen bemessen, zeigt sich, dass innerhalb von 50 Jahren, die Versagenswahrscheinlichkeit auf $\approx 1:14.000$ innerhalb der Lebensdauer des Bauwerks sinkt. Dies zeigt auch [7], wo die Zeitpunkte des Versagens von Tragwerken in Skandinavien und Finnland ausgewertet worden sind. Somit machen regelmäßige Überwachungen durchaus auch dann Sinn, wenn der Baustoff keiner Alterung unterworfen ist und Witterungseinflüsse ebenfalls keine Auswirkungen haben können. Hinzu kommt, dass die Normen die Realität immer genauer abbilden. So nimmt z.B. die Zugfestigkeit des Holzes über die einzelnen Normengenerationen ab, während die Schneelast eher steigt. So hat sich z.B. für eine Stadt im Allgäu die Schneelast im Jahr 1926 von $0,75 \text{ kN/m}^2$ bis 2012 auf $1,61 \text{ kN/m}^2$ mehr als verdoppelt. Parallel dazu ist die Zugfestigkeit von Holz seit 1926 von $10\text{--}12 \text{ N/mm}^2$ auf die zulässige Zugspannung von etwa $6,6 \text{ N/mm}^2$ gesunken. Somit können kritische Zustände entstehen, die eine Überprüfung des Tragwerks notwendig machen (auch wenn eigentlich Bestandsschutz gilt). Ziel dieser Bauwerksprüfung ist es also, Schäden rechtzeitig zu erkennen und dadurch den Werterhalt der Bauwerke sicher zu stellen.

Für die Auswahl der Untersuchungen wurde die Zusammenstellung der Untersuchungsmethoden im Holzbau in [3] gesichtet und auf die Anwendbarkeit überprüft.

2.2 Visuelle Prüfung

Die handnahe Betrachtung der einzelnen Bauteile ist die grundlegende Voraussetzung für die Beurteilung der Standsicherheit. Bei dieser Brücke stellt sich allerdings das Problem, dass infolge der begrenzten Breite und der unbekannten Belastbarkeit nur wenige Untersichtsgeräte verwendet werden können. Trotz intensiver Suche konnte kein Gerät gefunden werden, dass die Brücke bei einer vernünftigen Belastung befahren kann und zeitgleich den Korb auf über 6 m unterhalb der Fahrbahn absenken kann.

Alternativ hätte ein Rollgerüst aufgebaut werden können, mit dem die Untersicht der Fachwerkträger begutachtet werden kann. Aufgrund der dabei entstehenden Kosten wurde jedoch entschlossen, die Begutachtung durch für das Industrieklettern ausgebildete Mitarbeiter der Konstruktionsgruppe Bauen AG, Kempten durchzuführen (siehe Bild 6). Zusätzlich wurde ein „reiner“ Industriekletterer herangezogen, dessen Aufgabe darin bestand, die Seilsicherungen aufzubauen, zu versetzen und wieder abzubauen. Hintergrund ist, dass durch diese Aufteilung gesichert ist, dass eine Trennung der Aufgabenbereiche zwischen Begutachtung und Seilsicherung vorhanden ist, um Flüchtigkeitsfehler insbesondere bei der Seilsicherung zu verhindern. Auch wird dem begutachtenden Ingenieur ermöglicht, sich auf die eigentliche Begutachtung zu konzentrieren. Die Sicherung erfolgte entsprechend den Standards für Höhenarbeiten, die sich in wesentlichen Punkten von der Sportklettern unterscheidet. So ist z.B. die Ausrüstung des Sportbereichs im Industriebereich nicht uneingeschränkt nutzbar.

Durch diese Methode ist es möglich, handnah auch die Untergurte der Brücke zu begutachten. So wurden im Rahmen dieses Punkts Abweichungen vom Sollzustand systematisch erfasst, katalogisiert und bewertet.



Bild 6: Bauwerksprüfung durch Klettertechnik

2.3 Bohrwiderstandsmessungen

Bei der Bohrwiderstandsmessung wird die notwendige Leistung eines definierten Bohrers aufgezeichnet. Je höher die Leistungsaufnahme des Bohrwiderstandsmessgeräts ist, desto größer ist der Widerstand gegen das Eindringen und desto höher ist die Rohdichte des Holzes (siehe [10] und [14]). Da die Rohdichte mit der Festigkeit korreliert, können gewisse Aussagen über den Zustand des Holzes getroffen werden.

Diese Methode bietet sich dann an, wenn die visuelle Begutachtung der Bauteile nur eingeschränkt möglich ist. Dies trifft insbesondere auf die Kopfbänder in den Auflagertaschen zu (siehe Bild 7).

Somit konnte der Zustand der Kopfbänder in den Auflagertaschen beurteilt werden, so dass Rückschlüsse auf deren Mitwirkung am Lastabtrag der Brücke gezogen werden können.

Neben der binären Bewertung des Zustands von Bauteilen anhand der Bohrwiderstandsmessungen wurden weitere grundlegende Untersuchungen zur weiteren Auswertung der Daten der Bohrwiderstandsmessung durchgeführt. Dabei wurde einerseits der Zusammenhang zwischen Rohdichte und Bohrwiderstandsmessung bestimmt (siehe [8]) andererseits auch die Ermittlung von Jahrringbreiten untersucht (siehe [2]). Mit Hilfe dieser beiden Auswertungsmethoden konnte die visuelle Sortierung der Bauteile besser durchgeführt werden. Damit gelang es, an ausgewählten Stellen die Bauteile auch in die visuelle Sortierklasse S13 einzustufen, so dass durch diese höhere Sortierklasse eine zusätzliche Maßnahme zur Erhöhung der Tragfähigkeit verzichtet werden konnte.

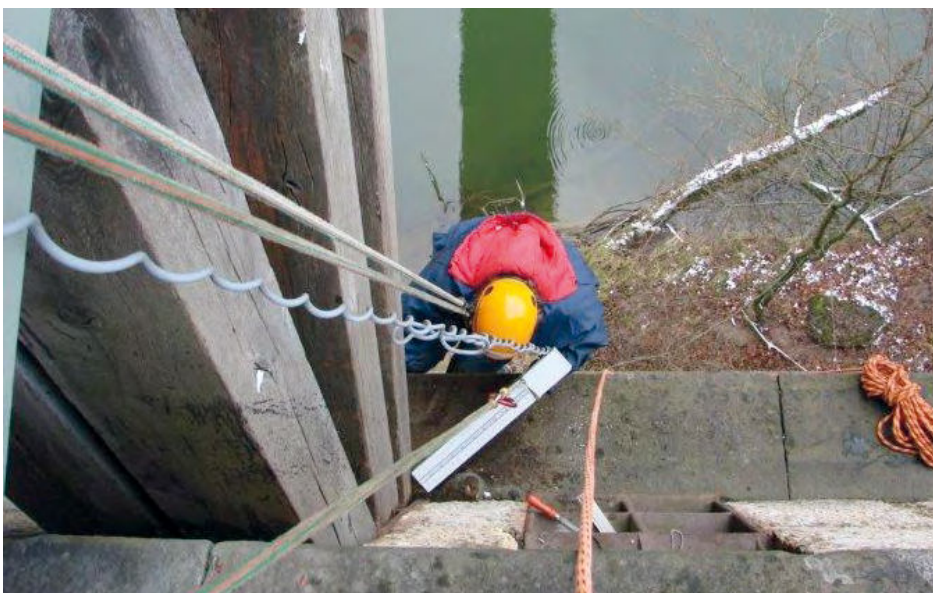


Bild 7: Bohrwiderstandsmessung an den Kopfbändern

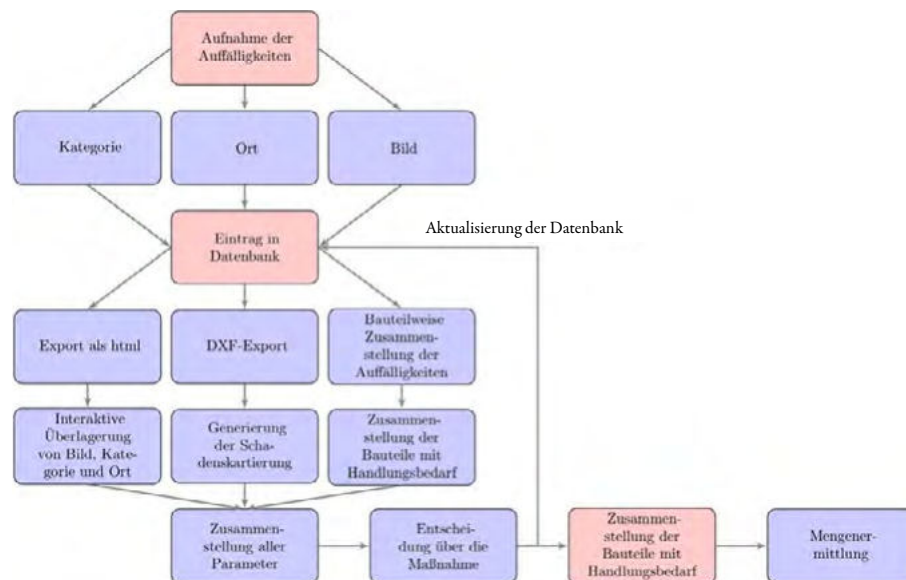


Bild 8: Ablauf der Aufnahme der Daten

2.4 Datenverwaltung

Bei diesem Bauwerk sind Bauteile mit einer gesamten Länge von etwa 3,5 km zu untersuchen. Diese Menge an Bauteilen und auch die unterschiedlichen Methoden führen zu einer recht großen Datenmenge, die im Laufe der Bearbeitung bewältigt werden muss. Hinzu kommt, dass durch die unterschiedlichen Methoden die Ergebnisse der einzelnen Beurteilungen übereinander gelegt werden müssen, um eine Entscheidung über eventuell notwendige Maßnahmen zu treffen.

Daher wurde für die Bauwerksprüfung eine Datenbank aufgebaut (siehe Bild 8), in der die notwendigen Parameter abgelegt werden können. Durch die Auswertung dieser Datenbank können damit sowohl die kritischen Bauteile als auch der Umfang der Bauteile mit Handlungsbedarf ermittelt werden. Für eine weitere Verarbeitung der Daten wurden Exportfilter entwickelt, anhand derer nach den einzelnen Bauteilen gefiltert werden konnte.

3 Zusammenfassung und Ausblick

Die 1848 bis 1851 erbaute König-Ludwig-Brücke ist eine der wenigen noch existierenden Brücken, die als Howe'scher Träger ausgeführt wurden. Dabei war sie sowohl Eisenbahnbrücke als auch Straßenbrücke. Nach ihrem Umbau 1986 dient sie als Fußgängerbrücke. Um den Zustand dieses Bauwerks zu ermitteln und eine weitere Nutzung sicherzustellen, wurde durch die Konstruktionsgruppe Bauen AG, Kempten eine umfassende Bauwerksprüfung durchgeführt. Dabei wurde in einem ersten Schritt die Möglichkeiten der Bauwerksuntersuchungen sondiert und ein Untersuchungskonzept entwickelt. Bei der Umsetzung dieses Untersuchungskonzepts stellte sich allerdings heraus, dass viele Daten erzeugt werden, die am Ende ausgewertet werden müssen. Diese Daten wurden in eine Datenbank eingetragen, mit deren Hilfe verschiedene Auswertungen durchgeführt werden konnten, um die Bauteile mit der Notwendigkeit einer Maßnahme zu bestimmen. Basierend auf diesen vorgestellten Untersuchungen zur Bestimmung des Zustands der König-Ludwig-Brücke wird in den Jahren 2017 bis 2018 dieses Bauwerk instand gesetzt, so dass sie 2018 wieder dem Verkehr übergeben werden kann.

4 Danksagung

Der Autor möchte sich bei der Stadt Kempten, insbesondere bei Herrn Markus Wiedemann, Herrn Michael Kral und Herrn Reimund Schwarz für die Möglichkeit der Untersuchung der König-Ludwig-Brücke und dem großen Engagement für den Erhalt und der weiteren Nutzung dieses außergewöhnlichen Bauwerks bedanken.

5 Literatur

- [1] Stadtarchiv Kempten
- [2] Altmann, F.: Ermittlung der Jahrringbreite durch die Bohrwiderstandsmessung, Hochschule Biberach, Bachelorarbeit, 2017
- [3] Brünninghoff, H. ; Kreuzinger, H. ; Srpcic, J. ; Steiger, R. ; Köhler, J. ; Tannert, T. ; Dietsch, P. ; Hösl, M. ; Fink, G. ; Dietsch, P. (Hrsg.) ; Köhler, J. (Hrsg.): Assessment of Timber Structures. COST E55, 2010
- [4] DIN EN1990: Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung. 2002
- [5] Dubbert, F. ; WIEGAND, K.: Obere Illerbrücke I in Kempten. Konstruktionsgruppe Bauen Kempten, Bahnhofplatz 1, Kempten, www.kb-ke.de, Umbaustudie, 1984
- [6] Dubbert, F. ; WIEGAND, K.: Dokumentation des Umbaus der oberen Illerbrücke I in Kempten. Konstruktionsgruppe Bauen Kempten, Bahnhofplatz 1, Kempten, www.kb-ke.de, 1987
- [7] Frühwald, E. ; Serrano, E. ; Toratti, T. ; Emilsson, A. ; Thelandersson, S.: Design of safe timber structures – How can we learn from structural failures in concrete, steel and timber? TVBK-3053, ISSN 0349-4969, ISNR:LUTVDG/TVBK-3053-SE. Division of Structural Engineering, Lund University, 2007
- [8] Geiger, K.: Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen Bohrwiderstand und Rohdichte von Vollholz, Hochschule Rosenheim; durchgeführt bei der Konstruktionsgruppe Bauen AG, Kempten mit Betreuung durch PD Dr.-Ing. habil. J. Schänzlin, Bachelorarbeit, 2014
- [9] Gerold, M.: Holzbrücken am Weg. Bruderverlag, 2001. – ISBN 3871041262/3-87104-126-2
- [10] Görlacher, R. ; Hättich, R.: Untersuchung von altem Konstruktionsholz. Die Bohrwiderstandsmethode. In: Bauen mit Holz 6 (1990)
- [11] Holzer, S. M.: Die König-Ludwig-Brücke Kempten. Historische Wahrzeichen der Ingenieurbaukunst in Deutschland. Bundesingenieurkammer. Bundesingenieurkammer, 2012. – ISBN ISBN 978-3-941867-09-3
- [12] NN: Die Geschichte der König-Ludwig-Brücke. Webseite der Stadt Kempten. http://www.kempten.de/de/Geschichte_KLB.php. Version: 06 2017
- [13] NN: William Howe (Ingenieur). Wikipedia-Eintrag. http://de.wikipedia.org/wiki/William_Howe_Ingenieur. Version: 06 2017
- [14] Rinn, F.: Chancen und Grenzen bei der Untersuchung von Konstruktionshölzern mit der Bohrwiderstandsmethode. In: Bauen mit Holz 9 (1992)



Dipl.-Ing. (FH) Jürgen Scheffler

Züblin Timber – Stephan Holzbau GmbH
Technisches Büro
Gartenstraße 40-52
74405 Gaildorf
Juergen.scheffler@zueblin.de

- seit 2012 Leiter des Technischen Büros der Stephan Holzbau GmbH in Gaildorf
- 2009 – 2012 Projektleiter im Technischen Büro der Strabag SE in Wien
- 2006 – 2009 Projektingenieur in der Zentralen Technik, Abteilung Technisches Büro
Konstruktiver Ingenieurbau der Ed. Züblin AG in Stuttgart
- 2001 – 2006 Studium des Bauingenieurwesens mit der Fachrichtung Konstruktiver
Ingenieurbau an der Fachhochschule Kaiserslautern
- 1998 – 2001 Ausbildung zum Bauzeichner im Konstruktiven Ingenieurbau
- 1997 – 1998 Zivildienst
- 1997 Abitur Gymnasium a. d. Burgstraße in Kaiserslautern
- 1977 geboren in Kaiserslautern

Konzepte und Detaillösungen für mehrgeschossige Industriebauten – Neubau der FLEXIM Firmenzentrale Berlin

Dipl.-Ing. (FH) Jürgen Scheffler, Züblin Timber – Stephan Holzbau GmbH

Kurzfassung

Ein mehrgeschossiges Firmengebäude in Berlin-Marzahn wurde in Stahlbeton-, Holz- und Holz-Beton-Verbundbauweise errichtet. Die sichtbare Konstruktion aus Brettschichtholz erstreckt sich teilweise über vier Etagen und erforderte eine Auslegung nach der Brandschutzklasse R90. Entworfen wurde das Gebäude durch die Roswag Architekten, die Ausführungsplanung für die Holzkonstruktion und die Holz-Beton-Verbunddecken erfolgte durch das Technische Büro der Stephan Holzbau GmbH. Eine besondere Herausforderung stellten die Knotenpunkte der Holzkonstruktion dar, bei denen hohe Stützenlasten durch die Durchlaufträger aus Brettschichtholz hindurchzuleiten waren. Hierfür kam eine Sonderlösung mit Polymerverguss zum Einsatz. Der vorliegende Beitrag bietet einen Überblick über die statisch-konstruktive Gestaltung des Baukörpers sowie die Entwicklung der Knotenlösung im Detail.

1 Einleitung

Der FLEXIM Neubau ist in zwei Teilgebäude errichtet, die jeweils als Vierflügelanlage einen Innenhof umgeben. Das Tragwerk besteht aus Holz-Beton-Verbunddecken (HBV-Decken), welche auf Stahlbetonunterzügen bzw. in einem Teilgebäude auf Unterzügen aus Brettschichtholz (BSH) aufgelagert sind. In Ergänzung mit eingespannten Stahlbetonstützen, Treppenhauskernen und Stahlbetonwandscheiben bildet die HBV-Decke die globale Gebäudeaussteifung. Im Innenhofbereich des zweiten Gebäudes wurden lastabtragende BSH-Stützen und BSH-Unterzüge als Durchlaufträger zwischen den Stützen verlaufend geplant.

2.1 Holz-Beton-Verbunddecken

Rund 7500 m² HBV-Decken wurden durch die Firma Stephan Holzbau als BSH-Rippendecken im Einfeldträgersystem mit einer maximalen Spannweite von 6,30 m konzipiert. Die Verlegung der BSH-Balken ($b/h = 18\text{-}22/24\text{ cm}$) erfolgte in regelmäßigen Abständen



Bild 1: Montage Holzkonstruktion und HBV-Decken im Innenhofbereich

Bild 2: Montage der HBV-Decken



Bild 3 (unten): Positionierung der Verbundmittel für die HBV-Decke



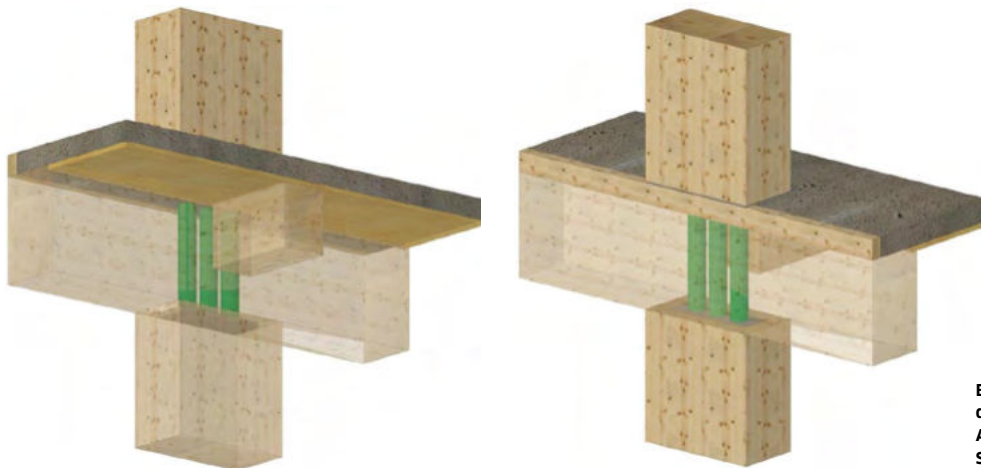
von 1,0 m, wobei die Holzschalung als verlorene Schalung für die statisch mitwirkende Ortbetonschicht ($d = 8 \text{ cm}$) diente. Die Auflagerung der BSH-Balken erfolgte auf Stahlbeton-Fertigteilunterzügen und BSH-Unterzügen. Im Anschlussbereich der Decken an die BSH-Randunterzüge wurde die Stahlbetondecke bis zur Vorderkante der Unterzüge geführt. Mittels der Polymervergussknoten in den BSH-Unterzügen konnte so eine ungestörte Lastdurchleitung aus den Holzstützen durch die HBV-Decke und durch die Holzunterzüge hindurch gewährleistet werden.

Bereits in der Angebotsphase erfolgten Überlegungen hinsichtlich der Wahl der Verbundmittel für die HBV Decke. Schließlich entschied man sich für das System der FT-Verbinder der Fa. Würth/SWG, wodurch eine deutliche Reduzierung der Montagezeiten möglich war. Großer Wert lag bei der Montage der Holzkonstruktion auch auf der sorgfältigen Ausführung der notwendigen Abdichtungsarbeiten, um Verschmutzungen der BSH-Sichtkonstruktion durch das Restwasser des Betons möglichst zu verhindern. Relativ kurze Montagezeiten wurden durch die standardisierte Anordnung der Schraubenbilder und die Anwendung von Bleischablonen zur genauen Positionierung der FT-Verbinder ermöglicht.

2.2 Vergussknoten

2.2.1 Konzept

Die BSH-Randunterzüge sind aus statischer Sicht vorteilhaft als Durchlaufträger konzipiert und ermöglichen einen effektiven und wirtschaftlichen Materialeinsatz. Die Stützen, welche über die Geschosse hinweg axial übereinander angeordnet sind, stehen orthogonal zu den durchlaufenden Riegeln. Bedingt durch große Spannweiten, die weiteren aufstehenden Geschosse und die Ausführung eines Gründachs leiten die Stützen sehr große konzentrierte Lasten in die Riegelquerschnitte ein. Derartige Kreuzungspunkte können auch mittels Stahlprofilverbindungen realisiert werden. Solche Passverbindungen



**Bild 4: 3-D-Animation
des Knotenpunkts im
Anschlussbereich der
Stütze an den Unterzug**

sind aufwendig herzustellen und nicht montagefreundlich. Für das FLEXIM Gebäude, mit den Anforderungen an die Brandschutzklasse R90, wurde bereits in der Vorplanung im Jahr 2013 ein spezielles Knotenkonzept entwickelt. In Zusammenarbeit mit der Professur Holz- und Mauerwerksbau der Bauhaus Universität Weimar und der Firma Bennert GmbH entstand ein Konzept zur Verwendung des Polymervergussystems COMPONO. Die Lasten aus den Stützen des jeweiligen Geschosses werden dabei durch im Holzträger integrierte Vergussäulen in die Holzstützen des darunterliegenden Geschosses weitergeleitet.

Diese Lösung erlaubte eine kurze Bearbeitungszeit und einen hohen Vorfertigungsgrad, was eine schnelle Montage mit Toleranzausgleich ermöglicht. Im Vergleich zu bisher üblichen Verbindungen mit durchgehenden Stahlteilen wird der für den Lastabtrag und die Übertragung der Stützmomente notwendige Holzquerschnitt deutlich weniger reduziert. Ebenfalls limitiert werden dadurch die Einflüsse aus den quer zur Holzfaser anzuordnenden Verbindungsmitteln sowie hygrothermischen Einflüsse aus Kriechen und Schwinden, die häufig zu Quersugrissbildungen im Holz an den Verbindungsmitteln und damit zu einer Tragfähigkeitsminderung führen. An den Hauptunterzügen endet die Schalung der HBV-Decke so, dass die Stahlbetonplatte direkt auf dem Brettschichtholz aufliegt und mithilfe von Verbundschrauben mit diesen befestigt ist. Aus den Stützen, Decken und Hauptunterzügen resultierende Lasten werden über die Vergussknoten in die direkt darunter angeordnete Stütze eingeleitet.

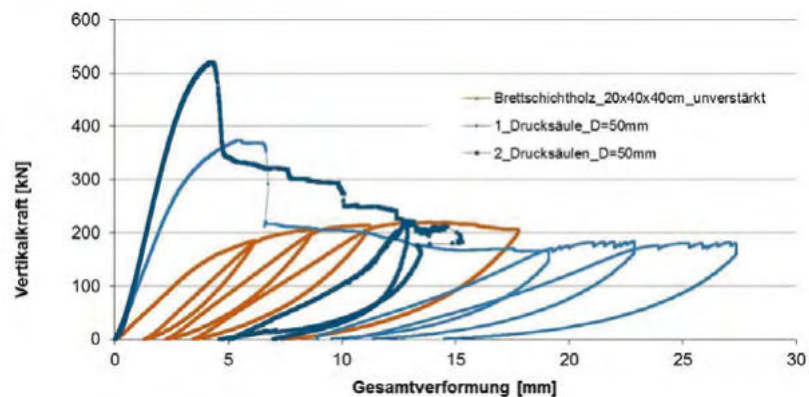
2.2.2 Entwicklung

Das für den Knotenpunkt eingesetzte Vergussmaterial COMPONO setzt die Firma Bennert GmbH seit einigen Jahren erfolgreich für die Verstärkung der Druckzone von Biegeträgern im Rahmen der bestehenden allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung [1] und weiterhin mit Zustimmung im Einzelfall auch für Anschlussdetails in der Sanierung ein. Vorausgegangen waren mehrere Verbundforschungsprojekte der Professur Holz- und Mauerwerksbau zur Entwicklung des „Polymerverguss-Klebens“ mit dem speziellen mineralisch gefüllten Epoxidharzsystems im Holzbau.



**Bild 5: Scherfläche der
Vergussäule im Versuch**

Bild 6: Last-Verformungs-kurve für unverstärktes BSH (braun) und BSH mit gleicher Abmessung mit ein (hellblau) oder zwei (dunkelblau) durchgängigen Vergussäulen mit $d = 50 \text{ mm}$



Die Bemessung der Drucksäulen erfolgte in der Erstanwendung konservativ und enthält noch deutliche Tragreserven, wie weitere experimentelle und numerische Untersuchungen an der Bauhaus Universität Weimar zeigen. In numerischen Parameterstudien wurde hier der Einfluss des Bohrungsdurchmessers sowie der Anordnung der Vergussäulen im Holz auf das Gesamttragverhalten des verstärkten Bauteils untersucht. Hierzu erfolgten eine nichtlineare anisotrope 3-D-Holzmodellierung unter Berücksichtigung der Holzstruktureigenschaften sowie die Erstellung eines speziellen 3-D-Modells des polymeren Baustoffs zur Berücksichtigung des Querdehnungs- und Nachbruchverhaltens [2]. Die im Vergleich zum Holz hohe Festigkeit und Steifigkeit des Vergussmaterials führt zur überwiegenden Konzentration der Querbelastung in den Polymersäulen, sodass diese den Hauptanteil der im Kontaktbereich eingeleiteten Lasten abtragen. Mit Erreichen des postkritischen Bereichs bildet sich unmittelbar unterhalb des Lasteinleitungsbereichs im Polymerverguss zunächst ein als „crushing“ bezeichnetes lokales Materialversagen aus. Der eigentliche Versagensvorgang tritt dagegen im mittleren Bereich der Holzkörperhöhe infolge eines Schubbruchs in der Polymersäule auf. Eine Schubgleitfläche entsteht (Bild 5) und führt im Bereich der Versagenszone zu einem duktil verlaufenden örtlichen Aufspalten des Holzkörpers. Der Versagensvorgang tritt bei ca. 380% der beim Bauvorhaben FLEXIM angesetzten Bemessungslast für eine Säule ein. Dieses Schubversagen der Vergussäulen bildet sich infolge der in Richtung längs zur Faser höheren Holzsteifigkeit stets quer zur Faserrichtung aus, sodass die Vergussäulen auch für Endauflager relativ nah am Trägerende angeordnet werden können.

Am Beispiel eines Probekörpers aus BSH GL 24h, $b \times h = 20 \times 40 \text{ cm}^2$ und integrierter Polymersäule ($d = 50 \text{ mm}$) konnten gute Übereinstimmungen von Simulations- und Versuchsergebnissen gezeigt werden. Im Versuch wurde über eine Stahl-Last-einleitungsplatte mit den Abmessungen $a \times b = 20 \times 20 \text{ cm}^2$ die lokale Querbelastung in den Holzversuchskörper eingeleitet und die Wirkung zwischen unverstärktem und verstärktem Querschnitt untersucht. Das zuvor für das Simulationsmodell beschriebene Nachbruchverhalten, initiiert durch das Zusammenspiel des Abscherens der Polymersäulen, das lokale Aufsplitten des Holzes und die Supportwirkung der Längsfasern, sind auch im Versuch gut zu erkennen. Als finale Versagensform im postkritischen Traglastbereich kann damit das Querzugversagen des Probekörpers identifiziert werden. Der Bauteilversuch zeigt zudem die bisher noch nicht angesetzten Traglastreserven der im Pilotprojekt konservativ ausgelegten Lastdurchleitungselemente sowie ein sehr duktiles Nachbruchverhalten mit erkennbarer Vorankündigung. An der unverstärkten Holzprobe oder nach dem Versagen der Verstärkung entstehen direkt neben der Lasteinleitung deutliche, scharf abgegrenzte plastische Verformungen, die nicht dem üblicherweise angenommenen „Einhängeneffekt“ entsprechen. Durch die integrierte Verstärkung nehmen die Proben sofort und schlupffrei die Lasten auf und bilden einen sehr steifen und verformungsarmen Anschluss.

Im vorliegenden Objekt gewährleistet die planmäßige zentrische Anordnung der Vergussäulen eine kraftrichtungstreue Lastweiterleitung durch die Riegel. Bemessen wurden die Säulen auf Druckversagen des Polymervergusses, sodass sich bei konstantem Querschnitt die jeweils erforderliche Anzahl von 1-3 Säulen ergab. Ein Stabilitätsversagen ist bei einem Durchmesser von $d = 65 \text{ mm}$ und einer von Höhe $h = 400 \text{ mm}$ nicht zu erwarten. Die Bettung durch das umgebende Holz, welche eine Tragfähigkeitssteigerung bewirkt wurde bei der Bemessung nicht einbezogen, somit sind weitere Tragreserven vorhanden, wie im folgenden Abschnitt gezeigt wird.

2.2.3 Bemessungsansatz

Zur näherungsweisen Ermittlung des Querlastabtrags des aus dem Holzträger und der Polymervergussäule gebildeten Verbundquerschnitts wird der nachfolgende, stark vereinfachte Ansatz, vorgeschlagen. Aufgrund der Annahme des starren Klebeverbunds zwischen der Mantelfläche der Vergussäule und dem umgebenden Holz kann unter Ansatz einer linearen Dehnungsverteilung im Umfeld des Querlasteinleitungsbereichs zum Zeitpunkt $t = 0$ zunächst näherungsweise von einem ideellen Verbundquerschnitt A_i ausgegangen werden, sodass die Lastaufteilung bei der Durchleitung der Querlast, im Wesentlichen aus den Flächenanteilen der beteiligten Teilquerschnitte gewichtet, mit dem Verhältnis n der Materialsteifigkeiten ermittelt werden kann.

Verhältnis der Materialsteifigkeiten:

$$n = \frac{E_{\text{Verguss,mean}}}{E_{\text{Holz,90,mean}}} \quad (1)$$

Bei dem verwendeten Polymerverguss und Holz quer zur Faser kann näherungsweise $n = 30$ angesetzt werden.

Geometrische Lasteinleitungsfläche:

$$A_{\text{Kontakt}} = A_{\text{Holz}} + A_{\text{Verguss}} \quad (2)$$

Ideelle Lasteinleitungsfläche:

$$A_i = A_{\text{Kontakt}} + (n - 1) \cdot A_{\text{Verguss}} \quad (3)$$

Aus der eingeleiteten Vertikalkraft N ergeben sich die anteiligen Spannungen ($t = 0$) damit zu

$$\sigma_{\text{Holz,90}} = \frac{N}{A_i} \quad \sigma_{\text{Verguss}} = n \cdot \sigma_{\text{Holz,90}} \quad (4)$$

Für die Tragfähigkeit der Vergussäulen innerhalb eines Holzquerschnitts kann die Druckfestigkeit des Materials durch den Ansatz einer Verbundwirkung um 25 % erhöht werden, sofern die entsprechenden Bettungsbedingungen nach [2] durch das umgebende Material und die Abmessungen gegeben sind.

2.2.4 Anwendung

Bei der Stephan Holzbau GmbH erhielten die BSH-Unterzüge im Bereich der Stützen Durchgangsbohrungen mit $d = 65$ mm, diese wurden mit der polymergebundenen, hochdruckfesten Vergussmasse verfüllt. Durch entsprechend geschultes Personal wird der Verguss werkseitig aus einem Zwei-Komponenten-Epoxidharz mit mineralischem Zuschlagstoff hergestellt und in die Bohrungen eingefüllt.



Bild 7: Herstellung der Drucksäulen im Werk

Die für die Kopfseite der unteren Stützen erforderliche Stahlplatte diente hierbei als Schalung für den zähflüssigen Polymerverguss. Damit konnte in Kraftrichtung eine robuste und vollständig schlupffreie Lastdurchleitung realisiert werden. Die Vergussmasse erreicht bereits in wenigen Stunden die Bemessungsfestigkeit, so dass eine Verweildauer der Träger in der Fertigung über Nacht ausreichend ist. Für die Montage erhielten die Knotenpunkte eine Lagesicherung mittels Vollgewindeschrauben. Die bauseits erstellte Stahlbetondecke bot die Möglichkeit des notwendigen Montage-Toleranzausgleichs. Die vollständig in den Holzquerschnitt integrierten Säulen ermöglichen, dass sowohl der geforderte Brandschutz als auch die optische Wirkung nicht beeinträchtigt wird.

3 Zusammenfassung

Die Ingenieurholzbauweise gewinnt auch im Industriebau zunehmend an Bedeutung und kann so einen Beitrag zum ökologischen und nachhaltigen Umgang mit den in Deutschland für die Nutzung im Bauwesen zur Verfügung stehenden Ressourcen leisten. Darüber hinaus entstehen bei der im Holzbau üblichen Montagebauweise mit hohem Vorfertigungsgrad weitere ökonomische Vorteile sowohl bei der Bauwerkserstellung als auch durch die damit einhergehenden flexibleren Nutzungsmöglichkeiten des Objekts. In dem neu errichteten Firmengebäude ermöglichten HBV-Decken eine großzügige Gestaltung der Nutzflächen mit hohen Ansprüchen an die Optik und den Brandschutz. Dabei erlaubten die Vergussknoten zwischen den Geschoßbauteilen eine kostengünstige Umsetzung der notwendigen Lastdurchleitung. Zusammenfassend konnten die hier realisierten Kombinationen verschiedener Baumaterialien insgesamt zur Ausbildung einer leistungsfähigen Holz-Hybridkonstruktion und damit effizienten Lösung dieser Bauaufgabe beitragen.

4 Literatur

- [1] Bennert GmbH: Z-10.7-282, Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung, Bauart zur Verstärkung von Holzbauteilen durch Reaktionsharzbeton. DIBT Berlin, 17.08.2014.
- [2] Scheu, M., Scheffler, J., Jahreis, M., Oppel, M., Rautenstrauch, K.: Ingenieurholzbau für mehrgeschossige Industriebauten – Konzept und Detaillösungen. DOI: 10.1002/bate.201600063

**Holzkompetenzzentrum
Rheinland**

Landesbetrieb Wald und Holz
Nordrhein-Westfalen



BAUEN  HOLZ



Beuth
publishing DIN

[beck]
FASTENER GROUP



CONRADS
KOMPETENT FÜR HALLEN

HOLZLEIMBAU
DERIX

 **Dietrich's**

fischer 
innovative solutions


HECO
SCHRAUBEN

 **Hundegger**

 **MetsäWood**

 **Pollmeier**



 **rothoblaas**

SFS intec

SIMPSON
Strong-Tie

SPAX
Die Schraube



WIEHAG
TIMBER CONSTRUCTION

 **WÜRTH**

ZÜBLIN

SHERPA 

AFH 

Aachener Holzbautagung 2019

12. und 13. September

gefördert vom



Impressum

Tagungsband der Aachener Holzbautagung 2017
am 7. und 8. September an der FH Aachen

Herausgeber

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

Rektor der FH Aachen,
Prof. Dr. rer. nat. Marcus Baumann

Druck | printproduction

Auflage | 220 Exemplare

ISSN 2197-4489

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

Bildnachweis

Foto Deckblatt | FH Aachen

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 2017

