



# Aachener Holzbautagung 2015

3. und 4. September  
an der FH Aachen



Tagungsband  
Aachener  
Holzbautagung 2015  
3. und 4. September  
an der FH Aachen

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



# Inhalt

Programm	7
Vorwort	8
Dipl.-Bauing. ETH/SIA Hermann Blumer Perspektiven des Holzeinsatzes im Bauwesen	10
Dipl.-Forstwirt (Univ.) / Forstassessor Axel Krähenbrink Die Wertschöpfungskette Wald und Holz – Schlüssel für Herausforderungen der Zukunft	16
Thomas Kröger, Architekt Konstruktion + Typologie	24
Prof. Jörg Wollenweber, Prof. Dr.-Ing. Wilfried Moorkamp Architektur und Tragwerk im Zusammenspiel	30
Dr.-Ing. Marcus Flaig Brettspertholz – Mehr als Platte und Scheibe	38
Dipl.-Ing. Markus Derix Erweiterungsbauten für den Flughafen Oslo-Gardermoen	52
Dipl.-Ing. (FH) Frank Miebach Holzbrücken Neue Hybridbauweisen mit Potential	62
Dombaumeister Helmut Maintz Dom zu Aachen – Sanierung der barocken Holzdachstühle von nach 1656	70
AFH-Studienpreis	80
Aljoscha Ritter, M.Eng. Aussteifung von Holzbauwerken mittels Scheiben und Entwick- lung von Bemessungstabellen für Dach- und Deckenscheiben	82
Stefan Eberhard, B.Eng. (FH) Tragwerksplanung einer Werkhalle mit Variantenuntersuchung zur Stützeinspannung	84
Impressum	89



# Programm

Donnerstag, 3. September 2015

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

- 12.30 Uhr **Registrierung, Ausgabe der Tagungsunterlagen, Begrüßungskaffee**
- 13.00 Uhr **Grußworte des Rektorats der FH Aachen** | Prof. Dr.-Ing. Michael Wulf,  
*Prorektor für Hochschulentwicklung*
- 13.15 Uhr **Grußworte des AFH** | Prof. Dr.-Ing. Thomas Uibel, Vorstand Aachener  
*Freundeskreis der Holzingenieure e.V.*
- 13.30 Uhr **Perspektiven des Holzeinsatzes im Bauwesen**  
*Dipl.-Ing. (ETH) Hermann Blumer, Création Holz, Herisau*
- 14.15 Uhr **Die Wertschöpfungskette Wald und Holz –  
Schlüssel für Herausforderungen der Zukunft**  
*Dipl. Forstwirt Axel Krähenbrink, HKZR, Nettersheim*
- 15.00 Uhr **Kaffeepause**
- 15.30 Uhr **Konstruktion und Typologie**  
*Thomas Kröger, TKA Thomas Kröger Architekt, Berlin*
- 16.15 Uhr **Architektur und Tragwerk im Zusammenspiel – Das Seebadgebäude  
Zülpich aus Sicht der Architektur und der Tragwerksplanung**  
*Prof. Jörg Wollenweber und Prof. Dr.-Ing. Wilfried Moorkamp, FH Aachen*
- 17.00 Uhr **Vergabe des AFH-Studienpreises  
Vorstellung der prämierten Abschlussarbeiten**
- 19.00 Uhr **Erfahrungsaustausch im Ratskeller Aachen**

Freitag, 4. September 2015

Moderation: Prof. Dr.-Ing. Wilfried Moorkamp

- 08.30 Uhr **Begrüßungskaffee**
- 09.00 Uhr **Brettsperrholz – Mehr als Platte und Scheibe**  
*Dr.-Ing. Marcus Flaig, Blaß & Eberhart GmbH, Karlsruhe*
- 09.45 Uhr **Erweiterungsbauten für den Flughafen Oslo-Gardermoen**  
*Dipl.-Ing. Markus Derix, W. u. J. Derix GmbH & Co., Niederkrüchten*
- 10.30 Uhr **Kaffeepause**
- 11.00 Uhr **Holzbrücken – neue Hybridbauweisen mit Potential**  
*Dipl.-Ing. (FH) Frank Miebach, Ingenieurbüro Miebach, Lohmar*
- 11.45 Uhr **Dom zu Aachen – Sanierung der barocken Holzdachstühle von nach 1656  
– Erhaltung / Ertüchtigung / Erneuerung / Schädlingsbekämpfung**  
*Dombaumeister Helmut Maintz, Domkapitel Aachen*
- 12.30 Uhr **Schlussworte**  
*Prof. Dr.-Ing. Leif A. Peterson und Prof. Dr.-Ing. Thomas Uibel, FH Aachen*

# Vorwort

Den Baustoff Holz und damit seine ihm eigene Nachhaltigkeit wieder vermehrt in die Bauwerke unserer Zeit einziehen zu lassen, beherrscht den Zeitgeist in den gut entwickelten Industrienationen. Die Holzbranche zeigt aktuell, wie auch in den letzten beiden Jahrzehnten, ein überdurchschnittliches Innovationspotential. Dies führt zu einer Vielzahl neuer Produkte vorallem im Bereich der Holzwerkstoffe, der Verbinder und Verbindungsmittel sowie der Holzbausysteme. Ein deutlicher Indikator für Innovationen im Bauwesen ist die Anzahl der bauaufsichtlichen Zulassungen, die als Verwendbarkeitsnachweis für nicht genormte Bauprodukte notwendig sind. Insbesondere auf den genannten Gebieten hat die Anzahl bauaufsichtlich zugelassener Bauprodukte für den Holzbau deutlich zugenommen.

Die Geschwindigkeit, mit der sich das kollektive Bewusstsein im Hinblick auf eine generationenübergreifende Verantwortung gegenüber unserer Umwelt entwickelt, hängt sicher von der Zusammenarbeit aller Akteure ab; sei es in der Holzproduktion sowie der Holzverarbeitung als auch in der Planung und Entwicklung von Bauwerken oder anderen Produkten aus Holz. Intention unserer regelmäßigen Aachener Holzbautagung ist es, diese Akteure näher zusammenzubringen und sich mit der Faszination für den ganzheitlichen Holzbau einschließlich seiner evolutionären Trag- und Wirkprinzipien auseinanderzusetzen. Das breite Themenspektrum der Veranstaltung richtet sich daher an Architekten, Tragwerksplaner, Holzbauingenieure, Unternehmen aus den Bereichen Hochbau bzw. Holzbau, Forst- und Holzwirtschaft sowie an Studierende, Forscher und Lehrende aus den Bereichen Holzingenieurwesen, Bauingenieurwesen und Architektur. Aber auch Teilnehmer aus anderen Disziplinen werden sicherlich Anregungen finden und daraus neue Ideen entwickeln können, wo und wie Holz zukünftig energieaufwendig produzierte Materialien sinnvoll ersetzen oder ergänzen kann.

Die fachlichen Grundlagen für vertiefende Gespräche bilden die Vorträge, die Ihnen durch diesen Tagungsband zusammengefasst zur Verfügung gestellt werden.

Eröffnet wird die Aachener Holzbautagung 2015 durch einen Vortrag des international bekannten und anerkannten Baumeister des Holzbaus Dipl.-Ing. Hermann Blumer. Er wird auf der Grundlage seiner jahrelangen visionären Schaffenskraft seine Perspektiven für den Holzbau aufzeigen. Der Leiter des Holzkompetenzzentrums Rheinland und Lehrbeauftragte der FH Aachen Dipl.-Forstwirt Axel Krähenbrink erläutert die Wertschöpfungskette Wald und Holz als Lösungsansatz für die zukünftigen gesellschaftlichen Herausforderungen. Anschließend zeigt der Berliner Architekt Thomas Kröger anhand ausgewählter Projekte die modernen gestalterischen Möglichkeiten bei der Realisierung von Entwürfen in Holzbauweise. Dass für eine gelungene Projektabwicklung das Zusammenspiel der Disziplinen der Architektur und des Ingenieurwesens einen zentrale Rolle

spielt und wie wichtig dabei auch die frühzeitige Abstimmung mit den ausführenden Unternehmen ist, werden Prof. Jörg Wollenweber und Prof. Dr.-Ing. Wilfried Moorkamp am Beispiel des Seebadgebäudes Zülpich präsentieren.

Der zweite Tag wird von Dr.-Ing. Marcus Flaig vom Ingenieurbüro Blaß & Eberhart eröffnet. Er stellt auf der Grundlage umfangreicher wissenschaftlicher Untersuchungen neue Perspektiven für die Anwendung von Brettsperrholz als stabförmiges Tragelement vor und gibt hierfür praxisgerechte Bemessungsvorschläge an. Es zeigt sich, dass Brettsperrholz bei dieser aus bisheriger Sicht außergewöhnlichen Anwendung signifikante Vorteile gegenüber Voll- oder Brettschichtholz aufweist. Dipl.-Ing. Markus Derix stellt mit den Arbeiten seines Unternehmens am Osloer Flughafen ein Leuchtturmprojekt bezüglich der Spannweiten und Formen von Tragwerken vor. Es wird deutlich, welche Möglichkeiten der moderne CNC-gesteuerte Abbund in Verbindung mit einer optimalen Arbeitsvorbereitung bietet. Über das Potential von Werkstoffverbänden für die Zukunft des Holzbrückenbaus berichtet Dipl.-Ing. (FH) Frank Miebach, der Inhaber eines auf den Brückenbau spezialisierten Ingenieurbüros und Vorstandsmitglied der Qualitätsgemeinschaft Holzbrückenbau ist. Den Abschlussvortrag des zweiten Tages hält Dombaumeister Helmut Maintz. An ausgewählten Bauabschnitten des Aachener Doms, dem ersten deutschen Denkmal in der Liste des UNESCO-Weltkulturerbes, erläutert er die Methoden und Vorgehensweisen zur Konservierung von historisch bedeutenden Konstruktionen.

Ein Novum der diesjährigen Veranstaltung ist die Übergabe des AFH-Studienpreises, den der Aachener Freundeskreis der Holzingenieure (AFH) e. V. in diesem Jahr erstmals für herausragende Abschlussarbeiten zu Themen des Holzbaus ausgelobt hat. Die diesjährigen Preisträger, B.Eng. Stefan Eberhard und M.Eng. Aljoscha Ritter, stellen in Kurzvorträgen die wesentlichen Ergebnisse ihrer prämierten Arbeiten dar.

Das Programm der Aachener Holzbautagung bietet somit einem breiten Publikum fachspezifische Vorträge und schafft darüber hinaus interessante Einblicke „über den eigenen Tellerrand“. Dies eröffnet sicherlich die Möglichkeit zu einem lebhaften interdisziplinären Diskurs mit den Referenten und Tagungsteilnehmern über die aktuellen Fragen unseres Baustoffes Holz.

Wir sind gespannt auf Ihre Anregungen für künftige anwendungsbezogene Forschungs- und Entwicklungsvorhaben und wünschen Ihnen – auch im Namen unserer Kollegen Wilfried Moorkamp und Jörg Wollenweber – eine gewinnbringende Veranstaltung.

Thomas Uibel

Leif A. Peterson



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

Oberschwendi 40 | CH 9104 Waldstatt  
mail@hermann-blumer.ch

- 2003 Gründung und Geschäftsführungsmitglied Création Holz
- 2001 Aufbau und Leitung Kompetenzzentrum HWZ-Leibstadt
- 1997 - 2001 Leiter Boisvision 2001 im Auftrag der Schweizerischen Holzwirtschaft speziell für die Expo02
- 1985 Gründer und Partner der Firma \*BSB\*-Holzkonstruktionen AG
- 1978 Gründer und Partner SJB und Partner, Ingenieurbüro für Hoch- und Tiefbau-Partner
- 1971 - 1997 Geschäftsleitung und Inhaber Blumer AG Waldstatt
- 1969 - 1971 Wissenschaftlicher Assistent an der Universität Karlsruhe
- 1964 - 1969 ETH Zürich - Studium Bauingenieur - Diplom 1969
- 1962 - 1964 Kantonsschule St. Gallen mit Matura Typ C
- 1959 - 1962 Berufslehre als Zimmermann in Villars VD
- 1950 - 1959 Primar- und Sekundarschule in Waldstatt
- 1943 geboren in Waldstatt

# Perspektiven des Holzeinsatzes im Bauwesen

Hermann Blumer, Dipl.-Bauing. ETH/SIA

## Brandaktuell

Ausschnitt Mail vom 27. Mai 2015 von Michael Klippel, ETH Zürich:

Geschätzte Kollegen,

Gestern haben wir sehr erfolgreich den zweiten Brandversuch an der Holz-Betonverbunddecke (80 mm Holz / 160 mm Beton) durchgeführt.

Folgende Punkte sind zusammenzufassen:

- > Wir haben den Brandversuch nach einer Branddauer von 2 Stunden und 10 Minuten abgebrochen. (Brandversuch 1 wurde nach 2:20 (h:min) gestoppt, mit Aufbau 120 mm Holz / 120 mm Beton)
- > Die Decke konnte zu diesem Zeitpunkt noch die volle Belastung (berechnet nach SIA für den Brandfall) aufnehmen.
- > Zu diesem Zeitpunkt hatten wir leichte lokale Abplatzungen des Betons beobachtet. Die Durchbiegung in Feldmitte hat sehr schnell zugenommen und war bereits so gross, dass die Abdichtung des Ofenraumes durch die Isolation schwierig wurde.
- > Nach dem Abbruch des Brandversuches haben wir wieder die Resttragfähigkeit der Decke bestimmt.

Wir sind sehr zufrieden mit dem ganzen Ablauf. Wieder ein sehr erfolgreicher Brandversuch! Der Verbund durch die Dübel aus Holz ist für den Brandfall sehr interessant. Zudem hat sich wieder gezeigt, dass die Verwendung von BSH mit vertikalen Lamellen dazu führt, dass kaum Holzkohle frühzeitig abfällt. Die Holzkohle schützt somit sehr lange den Betonquerschnitt!

Der erste Versuch dieser Holz-Beton-Decke (120 mm Holz – 120 mm Beton) hat gezeigt, dass in Zukunft Brandwiderstände von REI180 bei ungeschützten Geschossdecken erreicht werden können.



**Bild 1:** Die beiden Prüfkörper vor dem Verguss mit Beton: Holzstärke links 80 mm, rechts 120 mm, Beton füllend auf 240 mm



**Bild 2:** Ein Prüfkörper ausbetoniert beim Einbau in den Ofen



**Bild 3:** Anordnung Belastung auf der Decke



**Bild 4:** Abbrand am Versuchskörper  
120 mm Holz-120 mm Beton - Untersicht  
nach 2h 20min.



**Bild 5:** Der unversehrte Beton und die  
freigelegte Holzdübel nach 2h 20min.  
(Brandabruch)



**Bild 6:** Gelenkiger Anschluss in einer  
Rahmenkonstruktion.

Mit dem zweiten Versuch (80 mm Holz - 160 mm Beton) ist REI150 absehbar. Nachdem die 80 mm Holz abgebrannt sind, beginnt sich der Versuchskörper unter der Belastung rasch zu verformen, Beton platzt ab und damit auch zu versagen.

*Perspektive* | *Hybride Decken aus Holz im Verbund mit Beton könnten sich in naher Zukunft zur Nummer eins bei den Brandwiderstandswerten etablieren.*

#### Einstofflich

Noch vor 20 Jahren verband man Holzbalken fast ausschliesslich mit Holzdübeln, Holznägeln, Überblattungen, Schwalbenschwänzen, Versätzen, Schlössern usw.. Stahlverbinder übernahmen erst nach und nach die Oberhand im modernen Holzbau. Nun ist wieder eine Entwicklung zu diesen Ursprüngen absehbar. Architekten möchten in ihren Entwürfen Holz-Holz-Verbindungen. Geeignet als „neue“ Verbindungsmittel sind Schichthölzer mit konfektionierten Eigenschaften. Höchste Festigkeiten erreicht man mit Buchen-Pressholz z. B. Delignit oder Dehonit und kommt fast auf Augenhöhe mit Stahl.

Mikado schreibt im Heft 1-2 2013: Ein siebengeschossiges Bürogebäude in Holzbauweise im Herzen Zürichs ist an sich schon berichtenswert, doch hier handelt es sich um eine holzbautechnische Sensation: Die Holzkonstruktion kommt ganz ohne Schrauben, Nägel und sonstige Stahlverbinder aus! Sie ist nur zusammengesteckt- und im Inneren überall sichtbar. Die Entwurfsidee stammt vom japanischen Architekten Shigeru Ban und lehnt sich an die traditionelle japanische Holzbaukunst an. Über die Realisierung zerbrach sich Hermann Blumer den Kopf. Die beiden kannten sich von anderen gemeinsamen Projekten, die sie zusammen meisterten.

*Perspektive* | *Verbindungen mit Holzdübeln und Überblattungen werden dem Holzbau neue Märkte erschliessen und das Design bereichern.*



**Bild 7:** Biegesteifer Anschluss Zangen-  
Stütze



**Bild 8:** Entwurf eines Knotens ganz in Holz



**Bild 9:** Überblattungen kreuzender Stäbe

### Baumhoch

Ein eigentlicher Wettkampf zum Thema Holz im Hochhausbau hat über alle Kontinente eingesetzt. Es geht um die Frage: Wer baut das nächste noch höhere Hochhaus? Bevorstehend ist die Errichtung eines Wolkenkratzers mit 84 m Höhe in Wien. In Stockholm soll ein ganzer Stadtteil mit Holz multigeschossig gebaut werden. Immer noch sind die Mammutbäume mit ihren bis 120 m Höhe um Nasenlängen voraus. Aber nicht nur die Höhe dieser Bäume ist bemerkenswert auch ihr erreichbares Alter von bis 5000 Jahren lässt uns ehrfürchtig werden.

Ein Text aus der Appenzeller Zeitung vom 10. Juni 2006: „Unsere Vision ist ein Hochhaus aus Holz“, betont Christoph Frommelt seinen Beweggrund, Holz als Baustoff der Zukunft zu propagieren. Kein Hirngespinnst und auch kein unmögliches Unterfangen, meint der Holzbauingenieur, denn ein Blick in die Vergangenheit beweise, dass eine solche Vision nicht nur realisiert werden könne, sondern auch eine beispiellose Dauerhaftigkeit besitze. Frommelt verweist auf die hundert Jahre alte Holzbrücke Vaduz-Sevelen: einerseits als Beispiel für den Pioniergeist der Vorfahren, andererseits als Vision für Bauwerke der Zukunft.

*Perspektive* | Gebäude in aller Welt werden bald bis hundert Meter Höhe oder gar darüber geplant.

### Geschwungen

Die Werkzeuge der digitalen Kette haben im Holzbau Fuss gefasst und erlauben sphärischen Geometrien über alle Planungs- und Produktionsstufen in den Griff zu bekommen. Digitale Ketten unterstützen die Architekten in der Formfindung, sie helfen dem Ingenieur die hochgradig statisch unbestimmten Systeme zuverlässig zu analysieren, sie ermöglichen in der Produktion die 5-achsigen Fertigungsautomaten anzusteuern. Immer schon haben neue Werkzeuge und Verfahren die Entwicklung einer Branche angetrieben.

*Perspektive* | Die architektonischen Entwürfe werden bionischer und freier geformt. Holz lässt sich gut bearbeiten und kann mit intelligenten Maschinen kostengünstig und hochpräzise in die gewünschte Gestalt gebracht werden.

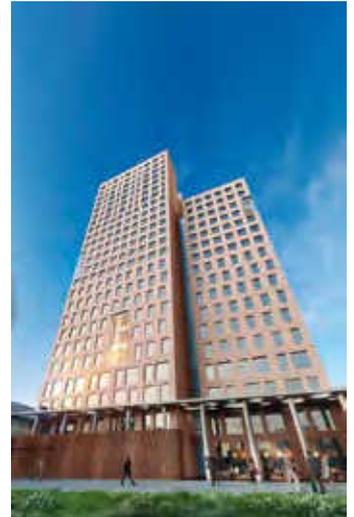


Bild 10 (oben): Projekt des Wiener Hochhauses in Holz

Bild 11 (unten): Riesen-Mammutbaum mit bis 120 Meter Höhe



Bild 12: Swatch Wettbewerbsprojekt von Shigeru Ban



Bild 13: Bearbeitung eines geschwungen Balkens mit einer 5-achs-CNC-Anlage



**Bild 14 (links):** Aussenansicht des OMPI Kongressgebäudes mitten in der Stadt Genf, Holzschindeln als Fassadenverkleidung

**Bild 15 (rechts):** Innenansicht OMPI mit hervorragender Akustik



**Bild 16:** Das Bürohaus Tamedia mitten in der Stadt Zürich. Das Holzskelett ist von aussen gut wahrnehmbar

### Städtisch

Bericht Holzbau Aktuell Mai 2010:

„Nicht in den Himmel wachsen, aber auch nicht brav am Boden bleiben“ unter diesem Motto veranstaltete der Verein Vorarlberger-Holzbau-Kunst am 17 Juni ein Symposium zum Thema „Urbanes Bauen mit Holz“ im Bregenzer Festspielhaus.

Eine hochkarätige Expertenrunde, darunter Professor Dr. Friedrich Schmidt-Bleek, Professor Hermann Kaufmann, der Schweizer Holzbaupionier Hermann Blumer sowie der Bregenzer Bauunternehmer Hubert Rhomberg, thematisierte Fragen zu Nachhaltigkeit sowie Ressourceneffizienz im Bauwesen sowie die Möglichkeiten und Chancen von Holz als Baustoff im urbanen Raum. Herbert Brunner, Obmann des Vereins Vorarlberger-Holzbau-Kunst, zeigte sich überzeugt, dass mit dem Symposium wichtige Impulse für mehr Verwendung von Holz in den Städten gegeben werden konnten.

Holzbauten sind reif für die Innenstädte. Die Hälfte der Weltbevölkerung wohnt bereits heute in Städten, Tendenz steigend. In Folge wird auch der Energie- und Ressourcenverbrauch sowie das Abfallaufkommen und der CO<sub>2</sub>-Ausstoß weiter ansteigen. Die Bauwirtschaft muss auf diese Rahmenbedingungen reagieren, zeigte sich Hubert Rhomberg, Geschäftsführer des gleichnamigen Bauunternehmens, am Beginn seines Vortrags überzeugt. Das soll durch Lösungen mit geringerem Platzbedarf und andererseits durch ressourcenschonende, energieeffiziente Konzepte erreicht werden. Das Projekt "LifeCycle Tower"; das Rhomberg auf dem Symposium präsentierte, soll genau diesen Anforderungen Rechnung tragen.

*Perspektive | Holz wird im Zusammengehen mit Beton und Stahl im städtischen Bauen einen starken Aufschwung erleben. Auch in der Stadt schätzen die Bewohner ihr Wohlbefinden in Holzhüllen.*

### Kurativ

Das Haus der Zukunft 1999 in Biel

Anstelle einer technischen Lüftung wurde eine kontrollierte Fensterflügel Lüftung entwickelt. In seitlichen schmalen Lüftungsflügeln sind zwischen zwei Glasscheiben Holz-nuggets eingebaut. Sie wirken als Kollektor, Wärmetauscher und Filter. Die Luft strömt durch das Längsholz in das Innere. Sie gibt die Inhaltstoffe der eingesetzten Holzarten dosiert ab. Die Holz-nuggets sind auswechselbar. Eine Vielzahl von Holzarten steht mit ihren ätherischen Ölen für kurative Unterstützung des menschlichen Wohlbefindens zur Verfügung. Das bei diesem Haus benutzte Thuja-Holz enthält Monoterpene mit antiseptischer und stimulierender Wirkung.

*Perspektive | Ein wachsendes Bewusstsein, dass mit Holz gesundheitsförderndes Wohnen möglich ist, wird zur Hinwendung zum Holz führen. Ärzte werden vielleicht bald Rezepte für die Wahl des Holzes im Innenausbau empfehlen.*



**Bild 17 (links):** In sieben Stunden war das Vorzeigehaus montiert und bezugsbereit  
**Bild 18 (rechts):** Der Lüftungsflügel auf der rechten Fensterseite wirkt auch kurativ

### Verändernd

Teilweiser Auszug aus der Biographie: Holz kann die Welt verändern.  
 Zwei Drittel aller Ressourcen auf unserem Planeten „saugt“ die Bauwirtschaft auf. Die nicht auf dem Prinzip der Nachhaltigkeit basierende Ausbeutung der Rohstoffe ist unklug, ja gar verantwortungslos sagt der weltweit vernetzte Bauingenieur.

Als Folge der absehbaren Verknappung vieler Rohstoffe steigt der Druck zum ressourcenoptimierten Bauen. Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz werden gewissermassen zum Muss. Auch Holz wird knapp werden. Werkstoffhybride ermöglichen effizientere Bausysteme und erweitern die Anwendungsbereiche im Holzmischbau. Ein grösstmöglicher Einsatz ökologisch unbedenklicher Stoffe muss zur Norm auf einem globalen Baumarkt werden. Betrachtungen des kompletten Baustoffzyklus in der Planung und Bauausführung haben bereits Fuss gefasst. Die Gesetzgeber werden die Kaskadennutzungen der Stoffe, die Mehrfachverwendung inklusive Recycling vorschreiben.



**Bild 19:** Das Buch „Holz kann die Welt verändern“ von Ralf Brühwiler



## Dipl.-Forstwirt (Univ.) / Forstassessor Axel Krähenbrink

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

- seit 2014 Leiter Holzkompetenzzentrum Rheinland (HKZR) beim Landesbetrieb Wald und Holz NRW; Lehrbeauftragter FH Aachen
- 2012 – 2013 Geschäftsführer German Softwood Network GmbH (GSN) – Netzwerk mittelständischer Sägewerke und Holzbauunternehmen
- 2010 – 2011 Geschäftsführer Waldbauernverband NRW e.V. (WBV) – politische Interessenvertretung des privaten Waldbesitzes
- 2007 – 2009 Projektmanager Rohholzmobilisierung beim Holzabsatzfonds (HAF) – Absatzförderungsfonds der deutschen Forst- und Holzwirtschaft
- 2006 – 2007 Wissenschaftlicher Mitarbeiter Bundesinstitut für Berufliche Bildung
- 2003 – 2006 SAP-Consultant Hessisches Ministerium der Finanzen
- 2000 – 2002 Referendariat für den höheren forstwissenschaftlich-technischen Dienst -> Forstassessor
- 1993 – 1999 Studium der Forstwissenschaft an der Georg-August-Universität Göttingen – Schwerpunkt Forstnutzung/-technik
- 1992 – 1993 Wehrdienst Bundesmarine
- 1992 Abitur Gymnasium Fallersleben
- 1973 geboren in Wolfsburg

# Die Wertschöpfungskette Wald und Holz – Schlüssel für Herausforderungen der Zukunft

Dipl.-Forstwirt (Univ.) / Forstassessor Axel Krähenbrink, Landesbetrieb Wald und Holz Nordrhein-Westfalen, Holzkompetenzzentrum Rheinland

## 1 Einleitung

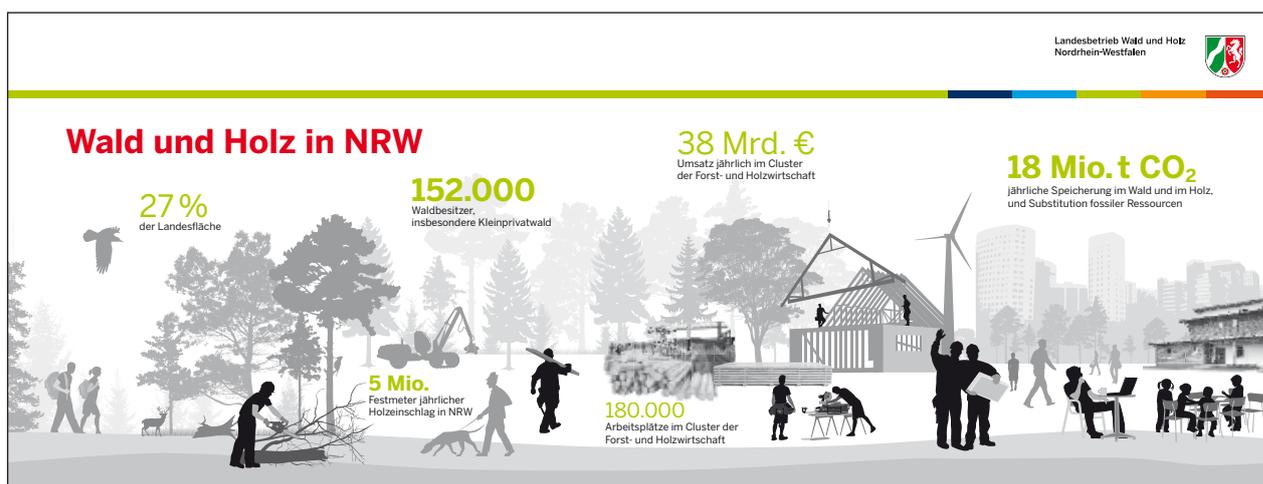
Nicht nur im Sinne des Klimawandels und der Rohstoffverknappung gibt es die globalisierten Auswirkungen unseres weltweiten wirtschaftlichen Handelns schon lange vor der derzeit überstrapazierten und gelegentlich sinnentleerten Verwendung des Begriffs Nachhaltigkeit. Betrachtet man darüber hinaus die in den Industrieländern und weltweit weitgehend ähnlichen Folgen der oftmals „sklavischen“ Unterordnung politischen und wirtschaftlichen Handelns unter das Primat des quantitativen Wirtschaftswachstums, so wird die notwendige Suche nach alternativen, effizienteren Formen der Ressourcennutzung für unsere Gesellschaft immer drängender.

Aktuellen ökologischen und sozioökonomischen Herausforderungen kann man zumindest teilweise mit den Leistungen der Branche Wald und Holz begegnen. Die Branche füllt den Begriff der Green-Economy vorbildlich. So werden durch kompetente und konsequente Umsetzung der Wertschöpfungskette (WSK) Wald und Holz – bei gleichzeitig induziertem qualitativem Wirtschaftswachstum – Ressourcen geschont, die Energiewende unterstützt, gesellschaftliche Anforderungen erfüllt und Lebensgrundlagen gesichert.

Der ursprünglich forstliche Begriff der Nachhaltigkeit ist beispielgebend für weitere Wirtschaftsfelder. Er findet in der modernen multifunktionalen Waldwirtschaft seine Entsprechung mit der Bereitstellung eines modernen Zukunftsrohstoffs, dessen Verarbeitung im günstigsten Falle in den modernen Holzbau mündet. Der wertige hochflexible Holzbau gibt Antworten auf sich im Lebenszyklus der Nutzer und der Gebäude verändernden Anforderungen an Wohn- und Arbeitsräume. Mithin lassen sich so integrierte Wohnkonzepte entwickeln, die vielgestaltige Nutzungsansprüchen vereinen und die dem demographischen Wandel hin zu einer alternden Gesellschaft begegnen. In Reaktion auf (Sub-)Urbanisierung und auf einen differenzierten Qualitätsbegriff potentieller Bauherren begegnen Holzbaulösungen den nicht allein in der Stadt zunehmenden, „urbanen“ Ansprüchen an die Funktionalität von Bauwerken in besonderem Maße.

Nicht zuletzt: Im Kielwasser der Umsetzung eines anzustrebenden Bewusstseinswandels hin zu mehr stofflicher Verwertung des Rohstoffs Holz im Klimapositiven, energieeffizienten, beschäftigungsrelevanten und zudem wertschöpfenden Holzbau, werden alle Akteure der Branche gleichrangig bedient.

**Bild 1: Wertschöpfungskette der Branche Wald und Holz NRW: Weg des Holzes, Tätigkeitsfelder, Leistungen/Daten zur ökologischen bzw. ökonomischen Bedeutung**  
© Holzkompetenzzentrum Rheinland,  
03/2014





**Bild 2: Multifunktionale Waldwirtschaft - Leistungen**  
© Holzkompetenzzentrum Rheinland

## 2 Multifunktionale Waldwirtschaft: Grundlage der Branche Wald und Holz

Bezüglich der Balance ökologischer, ökonomischer und sozio-kultureller Aspekte im Rahmen forstlichen Handelns gibt es im internationalen Vergleich der Forstwirtschaft starke Unterschiede. Kennzeichen der in Mitteleuropa umgesetzten Multifunktionalen Waldwirtschaft ist demgegenüber die gleichzeitige und gleichrangige Beachtung aller drei Dimensionen der Nachhaltigkeit auf allen bewirtschafteten Waldflächen, bei jedweden forstlichen Vorgehen.

Moderne Waldwirtschaft hat nicht die Maximierung einer Dimension zum Ziel – ebenso wenig die Aufteilung verschiedener Ansprüche an den Wald auf unterschiedliche Flächen. Dieser segregative Ansatz würde die Balance der Nachhaltigkeit stören (Bild 2) und das System, die jeweilige Fläche, anfällig für Krisen werden lassen. Stete Sensibilität für die drei Dimensionen forstlichen Handelns, sprich: die vielfältigen interdependenten Wirkungen von Bewirtschaftung, sichert die Erfüllung vielfältiger gesellschaftlicher Ansprüche an den Wald. Dieser querschnittsorientierte, umfassende Ansatz kann mithin Beispiel für andere Wirtschaftsfelder sein.

Dabei ist zu beachten, dass der Wald gewissermaßen auch weitgehend ohne eine Bewirtschaftung „multifunktional“ ist. Ein nicht bewirtschafteter Wald ist in der Lage, Leistungen zur Artenvielfalt, Wasserhaushalt, Luftreinheit und Erholung zu erbringen. Im Synergiefeld der nur scheinbar widerstreitenden und letztlich gleichberechtigten Interessen von Naturschutz, Wirtschaft und gesellschaftlicher Nutzung gilt jedoch: die erhöhte Quantität und Qualität der kompletten Bandbreite der gleichzeitig möglichen Leistungen eines Waldes für unsere Gesellschaft erwächst nur aus kompetenter integrativer Bewirtschaftung und somit direkter Einflussnahme.

Die häufig geführte Diskussion, ob der totale Nutzungsverzicht oder aber die gezielte Nutzung des Waldes, zudem bezogen auf jeweils einen isoliert betrachteten Leistungsaspekt, wie z. B. die Artenvielfalt oder Zuwachs, zu bevorzugen sei, ist demgemäß nahezu müßig.

Die Produktionszeiträume in der Forstwirtschaft sind lang, zukünftige Wirkparameter in ihrer Wahrscheinlichkeit und Relevanz nicht immer exakt einschätzbar. Demzufolge kann nur die ganzheitliche Betrachtung sowohl die Krisenresistenz des Ökosystems Wald angesichts schwer exakt zu prognostizierender sozioökonomischer und ökologischer Entwicklungen, als auch die Bereitstellung eines dringend benötigten, hochwertigen und insbesondere nachwachsenden Rohstoffs sichern.

Dieser Rohstoff ist zudem essentielle Grundlage für weitere Verarbeitungs- und Veredelungsschritte bis zum modernen Holzbau. Hierdurch werden, neben einer erheblichen ökonomischen Wertschöpfung, zusätzliche Leistungen für die Gesellschaft auf dem notwendigen Weg zu vermehrter Energie- und Ressourceneffizienz und dem Schutz des Klimas erbracht.

### 3 Klimaschutzwirkung der Wertschöpfungskette Wald und Holz

Globaler Herausforderungen bezüglich des Klimawandels rücken im Sinne umwelt- und klimafreundlicher Produktion und entsprechenden Konsums den Zukunftsrohstoff Holz vermehrt in den Fokus. Hohe Nachhaltigkeitsstandards, zudem international gültig (FSC oder PEFC) zertifiziert und äußerst positive CO<sub>2</sub>- und Energie-Bilanzen führen derzeit zu einer Renaissance der nachwachsenden Ressource. Nicht zuletzt, weil zunehmend mündige Verbraucher in ihren Ansprüchen bezüglich umweltadäquatem Verhalten sensibler geworden sind und echte Alternativen einfordern.

Holz spart gegenüber energieintensiven Alternativmaterialien Energie – in der Produktion und durch hervorragende Dämmeigenschaften. Heimische Produktion und Verwendung mit vergleichsweise kurzen Transportwegen tragen ebenfalls zu einer guten Energiebilanz bei. Mehr noch: Holz ist Plus-Energie-Baustoff. Die Natur liefert zum Wachstum Energie und speichert diese in der Biomasse. Am Ende eines möglichst langen Lebenszyklus entsteht ein signifikant positives Delta zwischen der für Herstellung und ggf. Recycling im Nutzungsverlauf aufgewendeter und letztlich aus der thermischer Verwendung erwachsener Energie.

Die CO<sub>2</sub>-bilanzielle Betrachtung der Speicher-Eigenschaften von Holz festigt die Rolle des Holzes als ein Schlüssel für die Energiewende bzw. die Begegnung des (anthropogen induzierten) Klimawandels. Die Photosynthese entzieht der Atmosphäre mit dem CO<sub>2</sub> ein klimarelevantes Treibhausgas. Die Kohlenstoffsенke Wald bzw. seine Bäume werden jedoch nur über die Verwendung im modernen Holzbau zum dauerhaften Kohlestoffspeicher. Die Entnahme von Bäumen schafft Raum für Zuwachs. Der verbleibende Bestand ist erneut in der Lage weiteres CO<sub>2</sub> aufzunehmen. Der Holz-Speicher besteht – bilanziell relevant – über die gesamte Nutzungsdauer des Holzes hinweg. Eine Kaskadennutzung mit wiederholter unterschiedlicher stofflicher Nutzung durch effiziente Rezyklierung und erst am Ende der Möglichkeiten zur Wiederverwendung einer thermischen Verwendung, verlängert die Speicherwirkung von Holz und Holzwerkstoffen.

Der klimapositive Effekt wird darüber hinaus durch einen Substitutionseffekt verstärkt. Die energetisch und CO<sub>2</sub>-bilanziell günstigere stoffliche Verwendung von Holz anstelle alternativer, diesbezüglich ungünstiger Materialien erspart Energieaufwand und Emissionen.

Den Anspruch an eine nachhaltigere Gesellschaft erfüllt Holz im Rahmen der angestrebten Energiewende somit durch seine erhebliche Energieeinsparung und CO<sub>2</sub>-Vermeidung. Die schwierige Suche nach quantitativ gleichwertigen und ökologisch günstigeren, neuen Alternativen der Energiebereitstellung wird so zumindest teilweise von vornherein obsolet bzw. in ihrer Dramatik gedämpft – und das mit aktuell bestehenden Produktions- und Verarbeitungsstrukturen, umfassender Rohstoffgrundlagen und Know-How.

Der moderne Holzbau bedient so ganz direkt ein drängendes ökologisches Thema unsere Zeit. Zieht man die wirtschaftlichen Folgen von Klimaextremen mit ins Kalkül, so wird ein weiteres, indirektes ökonomisches Potential des Bewusstseinswandels hin zu vermehrtem Holzbau deutlich.



**Bild 3: C13 – Christburger Strasse, Berlin**  
© Pirmin Jung, Deutschland



**Bild 4 (rechts): Holzbau-Mustersiedlung, Eifel**  
© Holzkompetenzzentrum Rheinland

#### 4 Holzbau und aktuelle Lebensansprüche

Unsere Gesellschaft ist zunehmend „urban“ geprägt. Es gibt – auch auf dem Land – zunehmend konkrete Vorstellungen bezüglich der möglichst vielfältigen Funktionalität von Wohn- und Arbeitsumgebungen. Planer sind mit Parametern, wie z. B. zur Materialität, flexiblen Raumaufteilung, Energieeffizienz, Wohngesundheit durch Naturmaterialien, Individualität oder zum baulichen Umfeld konfrontiert. Diese berechtigten Ansprüche erwachsen aus verschiedenen gesellschaftlichen Entwicklungen gepaart mit vielfältigem Informationszugang.

Erhöhter Zuzug in die Städte erfordert Verdichtung von Strukturen z. B. durch Bebauung unzugänglicher Grundstücke. Aufstockungen sowie soziale Nachverdichtungen im Bestand sind aufgrund günstiger Materialeigenschaften oftmals nur mit hölzernen (Tragwerks-)Strukturen realisierbar. Hoher Vorfertigungsgrad verkürzt Bauzeiten erheblich und verringert Baukosten – Argumente nicht nur für kommunale Bauentscheider.

Demographischer Wandel führt zu veränderten Vorstellungen bei der Daseinsvorsorge und bezüglich des Komforts des Lebensumfeldes. Volatile Arbeitsverhältnisse und die Möglichkeiten der Digitalisierung verändern den Anspruch an den Arbeits- und an den, bzw. versus dem Lebensmittelpunkt.

Holz trägt hier zur Lösung bei: Durch die Eigenschaft des Holzbaus das Tragwerk problemlos in die Gebäudehülle zu integrieren, ist der innere Zuschnitt zur Nutzung adaptiv. Jeweils angepasst an individuelle Lebensabschnittsbedingungen, sind die Grundrisse frei wählbar, bzw. im Nutzungsverlauf bei beruflichen, familiären, gesundheitlichen oder ökonomischen Veränderungen leicht anzupassen.

Der C13 mitten in Berlin dokumentiert diese Flexibilität in seiner holzbaulichen Umsetzung und der architektonisch sensiblen Einbettung in Bestandgebäude. Das mehrstöckige Gebäude vereint unterschiedlichste Nutzungen und bleibt zugleich offen für Veränderungen. Mit Kita, Arztpraxis, bis hin zu Cafés und (altersgerechten) Wohnungen steht es für die neuen Anforderungen an das Lebensumfeld als Folge bzw. mit wiederholt temporär veränderten sozialen Strukturen – ein Kennzeichen unserer Zeit.

Eine weitere zu beobachtende Entwicklung ist der Wunsch nach Individualität. Zugleich gibt es die allgemeine Suche nach Identifikation bzw. nach Verbundenheit mit einem Viertel, einem Milieu oder einer Region. Dabei geht es um einen spezifischen Wiedererkennungswert von Architektur vor dem Hintergrund gesichtsloser, allerorten stets gleicher „ästhetischer“ Standards des zeitgenössischen Bauens.

All diesen Anforderungen kommt als Beispiel der Entwurf einer Holzbau-Mustersiedlung in der ländlichen Eifel nach. Hier werden Identität stiftende tradierte Stilelemente alter Bestandgebäude zitiert und in einen modernen holzbaulichen Entwurf übertragen.

Der typischen Eifeler Baukultur nachzukommen, ist schon aus historischen Gründen und der Allgegenwart dieses Baustoffs nur mit Holz möglich. Diese Kultur modern zu interpretieren, weiter zu entwickeln und gleichzeitig die grundsätzlichen Vorzüge des heutigen Ingenieurholzbaus zu realisieren, schafft ein Alleinstellungsmerkmal.

Dem zunehmenden Leerstand auf dem Land als Folge der Urbanisierung kann so mit attraktiven baulichen Lösungen begegnet werden.

Vermehrter Holzbau, in der Stadt und auf dem Land, schafft darüber hinaus erhebliche Wertschöpfung und volkswirtschaftliche Wirkungen entlang einer bedeutenden Verarbeitungskette. Arbeitsmarktpolitische Effekte entstehen hauptsächlich im ländlichen Raum, mit seinen dort verorteten Betrieben.



Politischen und wirtschaftlichen Entscheidungsträgern sind die sozioökonomischen und ökologischen Möglichkeiten des Holzbaus darzustellen.

Erleb- und erfahrbare Leuchtturmprojekte im öffentlichen Raum erreichen Multiplikatoren und schaffen gute Beispiele.

Holzbaufachberatung, Weiterbildung, fachübergreifende Allianzen in der Branche für und mit der zentral bedeutsamen Zielgruppe der Architekten und Bauingenieure bauen holzbauliche Kompetenz und Branchenwissen aus. Entscheidungen potentieller Bauherren pro Holz werden bereits im Entwurf und im Planungsprozess unterstützt.

Politischen Absichtserklärungen bezüglich des Klimaschutzes müssen, falls von tatsächlicher fachlicher Einsicht getragen, konkrete Umsetzungen folgen. Gute Beispiele im öffentlichen Holzbau könnten hier erste Schritte sein. Der ordnungspolitische Rahmen, der den Holzbau derzeit noch vielerorts in der Umsetzung einschränkt, muss den technischen Möglichkeiten angepasst werden.

## 6 Fakten zu Forst und Holz (Bund):

(Daten: Bundeswaldinventur BWI III von 2012; Lagebericht Holzbau Deutschland; CO<sub>2</sub>-Gesamtbilanz der Wald- und Holzwirtschaft Deutschland)

- > 32% der Landesfläche ist bewaldet: 11,4 Mio. ha -> + 0,4% in  $\Sigma^*$
- > 48% der Waldfläche Privatwald; 13% größer als 1000 ha; 2 Mio. Waldbesitzer
- > Fichte auf 25% der Fläche; insgesamt 57% Nadel-, 43% Laubwald, + 7%\*; Buchenfläche + 6%\*
- > 76% der Fläche des Waldes sind Mischwald, + 5%\*
- > 68% der Wälder zwei- oder mehrschichtig aufgebaut; + 28%\*; ¼ der Fläche mit Jungbestockung/Verjüngung -> zukünftige Generation
- > naturnahe (36%) > als kulturbestimmte Wälder; Naturnähe: Vegetation, die sich ohne anthropogenen Einfluss einstellen würde -> potentiell natürliche Vegetation
- > Ø 20,6 m<sup>3</sup> Totholz pro Hektar; insgesamt 224 Mio. m<sup>3</sup>, + 18%\*
- > 17% der Waldfläche Flora-Fauna-Habitat-Gebiete -> europäisches Schutzgebietsnetzwerk
- > Holzvorrat 336 m<sup>3</sup>/ha, + 7%\* ; 3,7 Mrd. m<sup>3</sup> Gesamtvorrat
- > Holzzuwachs: 11,2 m<sup>3</sup>/ha/a; 121,6 Mio m<sup>3</sup>/a
- > Holznutzung (Ø 76 Mio. m<sup>3</sup>/a\*) + natürliches Absterben v. Bäumen = 87% d. Zuwachses. 13% Vorratsaufbau
- > Eingeschränkte Holznutzung auf 450.000 ha ≈ 4% des Holzbodens; insges. zunehmender Holznutzungsverzicht: Naturschutz, Biotope, Schutz- und Erholungswald, mangelnde Nutzungsaffinität
- > 1.169 Mio. t C in Bäumen und Totholz, 850 Mio. t C in Boden und Streu gebunden; Kohlenstoff-Senke Wald: jährlich + 52 Mio. t CO<sub>2</sub> Entzug aus der Atmosphäre ≈ 6% jährliche Emissionen

---

\* seit BWI II

- > Stoffliche Verwertung Holz -> Einsparung Klima-Gas: 18 Mio. t CO<sub>2</sub>/a, zzgl. 57 Mio. t CO<sub>2</sub>/a durch Substitution: Nutzung Holz, statt energieintensiver, alternativer Baustoffe.
- > Holzbauquote (2014): 15,2 % Wohn-, 18,6 % Nichtwohngebäude; Potential: mehrgeschossiger Bau
- > Cluster Wald und Holz: 127.000 Unternehmen, 1,1 Mio. Beschäftigte, 142 Mrd. € Umsatz

## 7 Literaturempfehlungen

- > Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (Hrsg.), Berlin, 2014: *Der Wald in Deutschland. Ausgewählte Ergebnisse der dritten Bundeswaldinventur.*
- > Ministerium f. Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.), Düsseldorf, 2013: *Wald und Klimaschutz in NRW. Beitrag des NRW Clusters ForstHolz zum Klimaschutz – Kurzfassung der Studie*
- > Ministerium f. Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.), Düsseldorf, 2015: *Wald und Waldmanagement im Klimawandel – Anpassungsstrategie für Nordrhein-Westfalen.*
- > Redman, M., Ossig, B., Winking, A. – Auftraggeber: MKULNV NRW, Freiburg, 2015: *Laubholzstudie Nordrhein-Westfalen – Eine Untersuchung zum Aufkommen und Potenzial der Vermarktung von Laubholz in Nordrhein-Westfalen;*
- > HolzCluster.Eifel, Holzkompetenzzentrum Rheinland (Hrsg.), Nettersheim, 2015: *Jahresbericht 2014 – Nachhaltiges Wirtschaftswachstum und Klimaschutz durch moderne Holzverwendung*
- > Mantau, U.: *Holzrohstoffbilanz Deutschland, Entwicklungen und Szenarien des Holzaufkommens und der Holzverwendung von 1987 bis 2015.* Informationssysteme für Rohstoffe und Universität Hamburg / Zentrum Holzwirtschaft, Arbeitsbereich Ökonomie der Holz- und Forstwirtschaft, Hamburg, 2012
- > Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (Hrsg.), Berlin, 2004: *Verstärkte Holznutzung. Zugunsten von Klima, Lebensqualität, Innovation und Arbeitsplätzen (Charta für Holz)*



# Thomas Kröger Architekt

TKA Thomas Kröger Architekt  
Schöneberger Ufer 59  
10785 Berlin  
mail@thomaskroeger.net

- Seit 2001 Selbständig Thomas Kröger Architekt, Berlin
- 2014 Gastprofessur: HFT Stuttgart
- 2011 Dozent: Northeastern University School of Architecture, Berlin
- 1997 - 2001 Projektleitung: Max Dudler, Berlin
- 1991 - 1992 Mitarbeit: Foster & Partners, London
- 1994 - 1996 Studium der Architektur: Universität der Künste, Berlin, Diplom
- 1992 - 1993 Studium der Architektur: Bartlett School of Architecture, London
- 1987 - 1990 Studium der Architektur: Technische Universität Braunschweig

# Konstruktion + Typologie

Thomas Kröger, TKA Thomas Kröger Architekt

## La città ideale

Marokko, 2010, irgendwo zwischen Ouarzazate und der Sahara, lag sie, die ideale Stadtlandschaft, als scheinbar perfekte Szenerie einer Renaissancebühne.

Die in den Wüstensand gesetzten Baukörper und Elemente erinnern tatsächlich auf erstaunliche Weise an die bekannten, auf den Grundsätzen Albertis basierenden Bilder la città ideale.

Im Grundriss gedacht, ist man im nächsten Schritt im Stadtzentrum Pienzas auf der Piazza Pia II mit ihren vier bedeutenden Bauten, dem Dom, dem Palast des Papstes, dem Palast des Bischofs und dem Palazzo Comunale ... und unversehens verstrickt man sich unter sengender Sonne immer mehr mit der Renaissance und Alberti.

Mit dessen hierarchischen Ordnungsanspruch von Stadtbild, Gebäuden und ihren Funktionen, deren Identität in den Unterschieden von Lage, Größe, Grundriss, Raumaufteilung, Formgebung und Dekoration eindeutig zum Ausdruck kamen.

Das irritierende an dem Wüstenrummel ist die in ihrer kontextfreien Künstlichkeit isolierte Szenerie. Die Natur, in Form der Wolke, arrangiert perfekt den die Situation überhöhenden Hintergrund.

Dieses Bildhafte wiederum ist es, was eine subjektive Lesbarkeit im Kontext der eigenen gemachten Erfahrungen, des angeeigneten Wissens und des Interesses erlaubt.

In diesem Sinne lässt sich das Bild nicht nur methodisch durch subjektives Abtasten abstrahieren, sondern es löst eine emotionale Kraft aus, aus der im besten Falle eine Idee, der erste Schritt zum entwürflichen Gedanken entsteht.

Auf der Suche nach Bildern und Zusammenhängen, also Archiv und Werkzeug, ob nun Gebäude, Details oder Stadträume eingebettet in ihren jeweiligen Kontext, das faszinierende ist der auslösende Moment für die Entwicklung der Idee.



Bild 1  
© T. Kröger



**Bild 2: Werkhaus -  
Uckermark**  
© T. Heimann

### 1 Werkhaus - Uckermark

Das Gebäude wurde 1987 als Schlosserei und Schmiede mit angrenzendem Verwaltungsbereich für die LPG Gerswalde errichtet und wurde nunmehr für den Produktentwickler und Tischler Gerhard Schütze zum Teil umgebaut und zum Teil durch Neubauten ersetzt.

Das gesamte Gebäude wurde mit einer neuen Haut aus grünem Wellblech bekleidet, die sich an der Traufkante abgerundet, weich über Dach und Außenwände zieht, und sich so sanft in die flache Hügellandschaft der Uckermark einfügt. Fenster und Werkstore verschwinden fast vollkommen hinter perforierten Paneelen. An den Giebelseiten prägt eine den umliegenden Scheunen entlehene unbesäumte Stülpchalung aus Lärchenholz das Erscheinungsbild des Gebäudes.

Im Inneren gliedert sich das Gebäude entsprechend seiner volumetrischen Außenform in drei Einheiten: Werkstatt, Wohn- und Wirtschaftsteil. Bei letzterem, mittlerem Teil wurde die vorhandene Konstruktion vollkommen abgerissen und eine neue Holzkonstruktion errichtet, die in Höhe und Form zwischen ehemaligen Flachbau und Werkstatt vermittelt. Hier gewährt der großzügig verglaste Showroom den Blick in die Landschaft. Im zweigeschossigen Teil befinden sich Büro- und Aufenthaltsräume. Die drei Bereiche bilden jeweils Taschen aus, sodass einzelne Funktionsbereiche der Gebäudeteile in den jeweiligen Nachbarteil greifen - die großen Räume bleiben so klar gegliedert und die kleinteiligen Ausbaubereiche rücken zusammen.

Die Werkstatt wurde während der Bauzeit bereits in Betrieb genommen - Teile der Holzkonstruktion, die hölzernen Giebelfassaden, sowie der Innenausbau wurden vor Ort gefertigt.

Die Neukonstruktion ist im Inneren nur im Showroom sichtbar. Hier wurden in Anlehnung an die Bestandskonstruktion der Dächer aus heimischer Kiefer Nagelbrettbinder gefertigt, die in der Tischlerei vor Ort von Hand genagelt und zur Montage vorbereitet wurden. Was im Bestandsgebäude eher auf sparsamen Materialverbrauch ausgerichtete Zweckkonstruktion war, wird hier zum raumbildenden Element. Die konstruktiven Binder bilden hier gleichzeitig die Rahmen für die Verglasung des Showrooms, und tragen die schwarz gebeizte Sperrholzdecke, welche zusammen mit dem roh belassenen Gussasphaltboden einen höhlenartigen Raum bildet. Den Charakter des Rohen ergänzt die mitten im Showroom in den Boden eingelassene, offene Feuerstelle, sowie der felsartige Treppeneinstieg zu den Kammern im Obergeschoss. Hier befindet sich auch die ‚Felsendusche‘ welche mittels Wasserspeier und offen zum Raum aus dem darüber liegenden Badebereich gespeist wird.

Der Kontrast zwischen rohen Materialien und feinen Oberflächen und Details durchzieht den gesamten Innenausbau. Am prominentesten beim Schlafalcoven der Einliegerwohnung, der im Inneren komplett mit massiven Kiefern Brettern ausgekleidet ist, welche mit minimalen Fugen mittels Holznägeln auf der Unterkonstruktion befestigt sind. Die Einfassung des dem Alcoven gegenüberliegenden Fensters in der Wohnung ist analog ausgeführt. Kiefer findet sich auch in den furnierten Paneelen, die den Aufenthaltsraum einkleiden, deren edle Oberfläche alle Funktionen wie Schränke, Teeküche sowie Zugänge zu der Wohnung und Nebenräumen verbirgt.



**Bild 3: Das Schwarze Haus  
- Uckermark**  
© Ina Steiner

## 2 Das Schwarze Haus - Uckermark

Das in Pinnow/Gerswalde in der Uckermark gelegene Wohn- und Ferienhaus liegt mit seinem gläsernen Erdgeschoss offen in die Landschaft eingebettet, typologisch an die umliegenden Siedlerhäuser angelehnt. Der Sockel springt unten ein, um den Baukörper quasi über der Wiese schweben zu lassen. Im Inneren ist die Holzkonstruktion komplett schwarz gebeizt und ein schwarzer Gussasphaltboden zieht sich durch das Gebäude.

Der schlanke Grundriss spannt sich zwischen Wohn- und Speiseraum an dem einen und Bibliothek an dem anderen Gebäudeende. Diese beiden Raumvolumen reichen bis in die Dachspitze. Dazwischen liegt an den verglasten Korridoren ein langgestreckter Kern, der Bad und Schlafkoben beherbergt, jeweils mit Schiebetüren zur Fassade untereinander abtrennbar und immer weit in die Landschaft geöffnet. Im Wohnbereich senkt sich der Boden zum hausbreiten offenen Kamin hin ab. Im Obergeschoss befinden sich die Kinderzimmer so wie ein weiteres Bad, die in hellen Holztönen gehalten sind und über Gauben belichtet werden.

## 3 Landhaus - Uckermark

In dem kleinen Dorf Fergitz inmitten der Uckermark - nördlich von Berlin wurde ein großer Stall in einen Landsitz mit einer separat zu nutzenden Ferienwohnung umgewandelt.

Der Stall wurde vor 140 Jahren in einer Mischkonstruktion aus Ziegelsteinmauerwerk und Holzgebände errichtet. Zu seiner Zeit ein hochmoderner Funktionsbau. Nachdem der Junker vertrieben und das Land zerteilt war, wurde die Anlage baulich für zwei Siedlerfamilien samt Vieh in eine Doppelhaushälfte umgenutzt.

Die eine Hälfte wurde nun von Thomas Kröger Architekt für eine junge Familie so umgestaltet, dass die Sprache des Hauses adaptiert wurde, um es mit seinen eigenen Mitteln und Regeln neu zu erfinden.

Dieser ehemalige Kuhstall mitsamt der Scheune ist ein äußerst stabiles Gebäude mit dicken Steinmauern, kleinen Fenstern im Obergeschoss und einem großen Holztor



**Bild 4: Landhaus -  
Uckermark**  
© T. Heimann

unten. Die eigene Schönheit des rohen Tragwerks und die Großräumigkeit des Raumes wurden jedoch erst durch die Entkernung wieder erlebbar.

Das Zentrum des Hauses bildet eine doppelhohe Wohnhalle mit Feuerstelle. Drei große neue Bogenöffnungen, die sich durch massive Holztore verschließen lassen, geben von dort den Blick ins grüne Land mit den vielen Obstbäumen frei.

Das Haus ist so konzipiert, dass die große Halle unbeheizt ist und von einem geschlossenen beheizten Raumkörper umfasst wird. So können zu kalten Jahreszeiten nur die kleineren und geselligeren Bereiche des Hauses ähnlich wie Vogelnester genutzt werden.

Direkt neben der Halle befinden sich leicht erhöht der Wohnraum nebst freistehender Küche. Der Essplatz daneben wird von einer Holzpyramide gekrönt. Im Obergeschoss wird die Halle wie eine Klammer von drei Schlafzimmern, zwei Badezimmern, zwei Studierzimmern und einer Loggia umfasst.

Für Gäste befindet sich an der Giebelseite eine Ferienhaus. Die Wohnung ist separat erschlossen und zusätzlich an die zentrale Halle angebunden. Im Erdgeschoss ist der Wohn- und Essbereich untergebracht im Obergeschoss zwei Schlafräume und ein Badezimmer.

Auch an der Gebäudehülle fand eine Verwandlung statt. Der Eingriff in die Struktur ist straßenseitig kaum ablesbar. Die repräsentative Geste zeigt sich mit neuen Öffnungen zum privaten Garten hin und bringt erst die gewünschte Verzahnung von Innen- und Außenraum mit sich.

Das gesamte Gebäude wurde bei dieser behutsamen Sanierung auch energetisch ertüchtigt. Die Wände der beheizten Räume wurden innen gedämmt und mit einer Wandheizung und Lehmputz versehen. Alle Räume weisen, ob beheizt oder unbeheizt, die gleiche Oberflächenqualitäten auf.

#### 4 Pinnow See - Uckermark

In Pinnow sind auf einem großen Seegrundstück zwei Häuser geplant: Ein Turm am höchsten Punkt und ein Pavillon auf der Wiese zum See.

Das Grundstück beinhaltet in Miniaturform alle Elemente der Uckermark: Hügel, Wald, See auch gehören eine Kirschplantage und Gewächshäuser mit dazu.

Dieses Projekt behandelt das Motiv des erzählerischen, ähnlich der Romantik eines englischen Landschaftsgartens. Es sind halb Lust- halb Wohnbauten die in ihrem Maßstab und ihrer Position der Umgebung angepasst sind, um gleichzeitig ihr artifizielles Kleid hervorzuheben.

Der Pavillon als Sechseck bietet Ausblicke sowohl in die Kirschbäume als auch zum See. Die Grundrissgeometrie ermöglicht die Anordnung der Nebenräume um den zentralen Wohnraum herum.

Im Obergeschoss gibt ein großes Oberlicht vom Schlafzimmer aus den Blick in den Sternenhimmel frei.

Das Dach legt sich ähnlich einer Haube aus schillernden Metallschindeln darüber und spendet durch die großen Dachüberstände im Sommer Schatten auf der Veranda.



Bild 5: Pinnow See - Uckermark

Fast monolithisch hingegen sitzt unweit davon und leicht versetzt der Turm auf einer Anhöhe. Er ist mit Holzschindeln bekleidet. Öffnungen drücken sich aus dem Volumen heraus und hinein.

Sein Inneres ist durch einen Raumplan gebildet, der das Erd- und Obergeschoss mit ineinandergreifenden Raumhöhen organisiert. Die Gesellschaftsräume befinden sich im Erdgeschoss und Schlaf- und Studioräume im Obergeschoss. Die Fensteröffnungen sind in Größe und Proportion so bemessen, dass sie die jeweiligen Ausblicke rahmen.

## 5 Erweiterung des Serlachius Museums – Gösta Finnland

Die Gösta Serlachius Stiftung ist eine der bedeutendsten privaten Kunstsammlungen der nordischen Länder.

Der Sitz der Sammlung, ein Herrenhaus liegt auf einem prominenten Ort leicht von Land als auch vom See sichtbar entfernt. Es ist eine Dominante in der Landschaft. Neben dem Herrenhaus versammeln sich noch einzelne Gebäude in dem großen Landschaftspark.

Die Sifterfamilie zugleich Forstindustrieanbieter führen unweit entfernt das Werk in Mänttä. Aus dieser Historie heraus sollte der erforderliche Erweiterungsbau vis-à-vis zum klassizistischen Bestandsgebäude ein Holzbau sein.

Das Volumen der Erweiterung bezieht sich sowohl auf den Maßstab des Geländes als auch auf den des Besuchers: Die Räume sind von unten nach oben in aufsteigender Größe gestapelt. Das Prinzip der nordischen Stabkirchen ist als hölzernes Raumtragwerk umgedreht und dabei ein kleinstmöglicher Fußabdruck auf dem Grundstück entstanden.

Man betritt das Erweiterungsmuseum durch das gläserne Erdgeschoss, von wo aus sich die Ausstellungsräume sukzessive vertikal erschließen, um an der Spitze das Restaurant zu erreichen. Dort kann man die Aussicht weit über die Bauwipfel erleben. Unterirdisch ist das Gebäude mit dem Bestandsmuseum verbunden, das auch von hier erschlossen wird, und so quasi als Baum unter Bäumen mit dem Gelände verwurzelt.

Die unterirdische Anbindung der Erweiterung an die ziegelsteinerne Villa ermöglicht zudem einen aus übereinandergesetzten Volumen klaren Baukörper, der die vorhandenen Strukturen respektiert und fortführt und ein reduziertes aber selbstbewusstes und hölzernes Pendant zum Bestand bildet.



Bild 6: Erweiterung des Serlachius Museums – Gösta Finnland



# Prof. Jörg Wollenweber

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

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



# Prof. Dr.-Ing. Wilfried Moorkamp

Professor für Holzbau und Nachhaltiges Bauen  
FH Aachen | Fachbereich Bauingenieurwesen  
Bayernallee 9 | 52066 Aachen  
moorkamp@fh-aachen.de

- seit 2010 Professor für Holzbau und Nachhaltiges Bauen an der FH Aachen
- 2002 – 2010 selbstständig tätig als Bauingenieur
  - 2002 Promotion zum Dr.-Ing am Institut für Bautechnik und Holzbau der Universität Hannover
- 1997 – 2002 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Bautechnik und Holzbau der Universität Hannover
- 1991 – 1997 Studium des Bauingenieurwesens an der Universität Hannover
- 1989 – 1990 Wehrdienst
  - 1989 Abitur am Gymnasium Lönigen
- 1969 geboren in Lönigen

# Architektur und Tragwerk im Zusammenspiel

## Das Seebadgebäude Zülpich aus Sicht der Architektur und der Tragwerksplanung

Prof. Jörg Wollenweber, FH Aachen, Fachbereich Architektur

Prof. Dr.-Ing. Wilfried Moorkamp, FH Aachen, Fachbereich Bauingenieurwesen

### Kurzfassung

Auf dem Gelände der nordrhein-westfälischen Landesgartenschau in Zülpich, südwestlich von Köln hat das Büro WOLLENWEBERARCHITEKTUR in Zusammenarbeit mit dem Büro Oltmanns und Partner, ein Ausstellungsgebäude und ein Gastronomiegebäude realisiert. In diesem Beitrag wird dargestellt, welche Wechselwirkungen Nutzervorgaben, architektonischer Anspruch im Zusammenspiel mit der Tragwerksplanung haben und wie diese konstruktiv sinnfälliger und konsequent umgesetzt wurden.

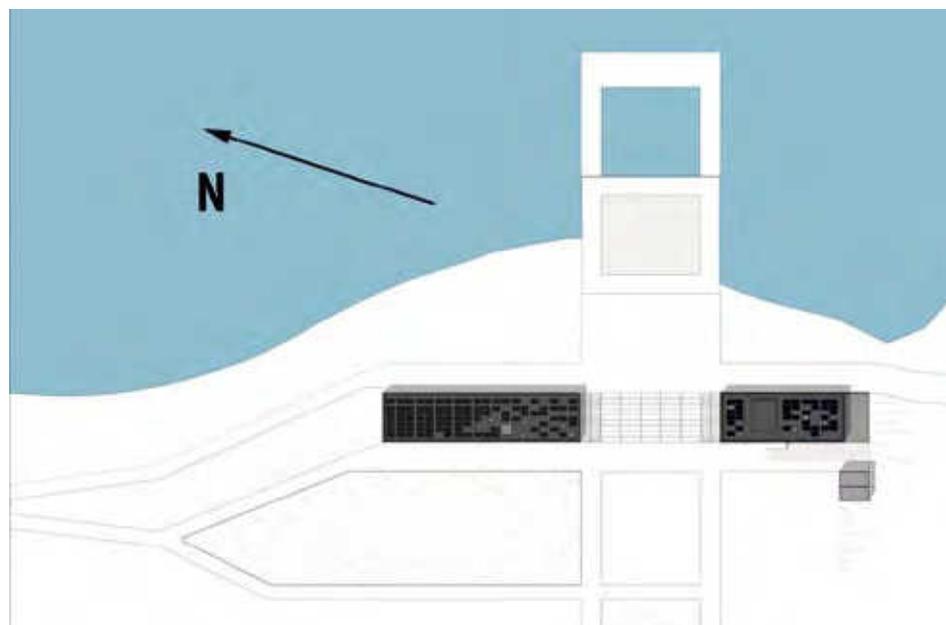
### 1 Einleitung

Der Neubau des Seebadgebäudes liegt mitten in einer Gartenlandschaft und direkt am Ufer und Strandbereich des Wassersportsees Zülpich. Das Gebäude ist Teil eines Gebäudeensembles, welches während der Landesgartenschau Raum für Ausstellungen und Vorträge bot, sowie die gastronomische Versorgung sicherstellte.

Das zweigeschossige Ausstellungsgebäude bietet nicht nur Raum für Veranstaltungen, sondern auch Umkleidebereiche und Duschen für die Badegäste des Seefreibades. Der Gastronomiebereich bietet im Obergeschoss gehobene Küche und das dem See zugewandte Sockelgeschoss einen Imbiss- und Lounge-Bereich.

Wichtiges gestalterisches und funktionelles Element in der Außenraumgestaltung ist die breite Freitreppe aus Sichtbeton, die zwischen den beiden Gebäuden das Nord-Süd-Gefälle ausgleicht. Mit ihren breiten Sitzstufen dient diese als Tribüne für die Seebühne. Sie bietet aber auch einen Aufenthaltsort für Besucher der Gartenausstellung. Unter den Sichtbetonstufen befindet sich die Technikzentrale der energetisch anspruchsvollen Gebäude, deren Versorgung auf den örtlichen Umweltressourcen basiert und somit einen vorbildlichen Beitrag zur umweltgerechten und ressourcenschonenden Bauweise darstellt.

Bild 1: Lageplan mit Gebäudeaufsicht und Seebühne





**2 Energie**

Für die erforderliche Energietechnik wird auf vorhandene Umweltressourcen zurückgegriffen. Die Grundversorgung der Gebäude wird durch eine Wärmepumpe und eine Lüftungsanlage gedeckt. Hierfür wird das Seewasser als Medium genutzt. Durch die Installation der Wärmepumpe kann die sonst erforderliche Abgasanlage entfallen. Dies wirkt sich optisch vorteilhaft auf die Gebäude und den Landschaftsbereich aus. Die erforderliche Zuluft wird über Ansaugkästen hinter den Fassaden gewonnen, die Abluft wird in den Hohlraum hinter den Fertigteilstufen der Treppenanlage geblasen. „Wir haben die technischen Komponenten so weit es möglich war zurück genommen, um den Besuchern den freien Blick auf die Gartenausstellung und die Gebäude zu gewährleisten.“

Für den erforderlichen Strombedarf sorgt eine Photovoltaikanlage auf dem Dach, die so angeordnet ist, dass das Erscheinungsbild der Gebäude intelligent und wie selbstverständlich ergänzt wird. Es wurde ein Gebäude konzipiert, das die Ressourcen des Ortes nutzt.

**3 Freitreppengebäude**

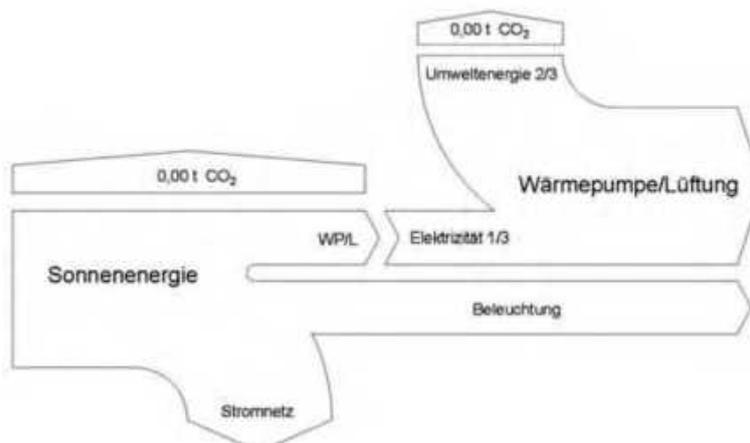
Das Treppengebäude dient als Tribüne und als Technikzentrale. Es besteht aus Stahlbetonbauteilen, die einen geschlossenen, dreiecksförmigen Querschnitt ergeben. Die Tribünenlasten werden durch einen unterstützten Unterzug abgefangen.

**4 Material**

Es ist selbstverständlich, dass auch die Materialwahl Holz vom Nachhaltigkeitsgedanken getragen wurde, und die Konstruktion sowie die Ästhetik des Gebäudes maßgeblich prägt. So verschalt eine Lärchen-Rombusschalung die langgezogenen Baukörper der Gastronomie und des Seebadgebäudes und betont mit ihrer Anordnung deren Horizonta-

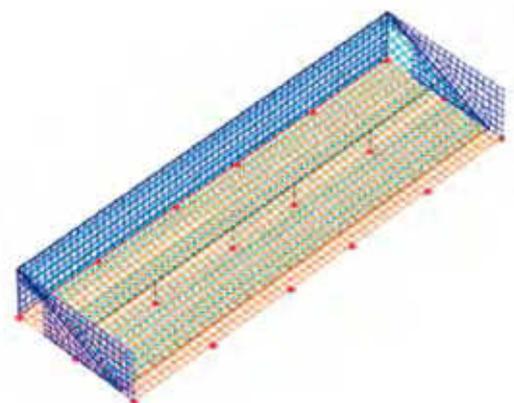
**Bild 2 (links):** Blick auf die Nordfassade. Im Hintergrund das Gastronomiegebäude

**Bild 3 (rechts):** Ansicht Ost. Im Vordergrund ist die Freitrepp zu sehen unter der sich die Technikzentrale befindet.



**Bild 4 (links):** Energieflussdiagramm

**Bild 5 (rechts):** FEM-Modell Treppengebäude





**Bild 6 (links):** Blick in das "grüne Klassenzimmer". Im Hintergrund liegt der Zülpichsee



**Bild 7 (rechts):** Blick in den Mehrzwecksaal mit der sichtbaren Dachkonstruktion und den Fensteröffnungen

lität. Besonders deutlich wird dieses Konzept im "grünen Klassenzimmer", dem Außenbereich der Ausstellung- und Veranstaltungsfläche. Im Obergeschoss der Nordfassade angeschlossen, erinnert es an eine großzügige Ausflugslokal-Terrasse. Dieser Bereich dient der Erweiterung des Ausstellungsbereiches und als geschützter Außenbereich für Veranstaltungen.

## 5 Konstruktion Seebadgebäude

Die Konstruktion ist im Obergeschoss, sowie auf der seezugewandten Seite als Holzrahmenbau konzipiert. Die Decke und das Dach wurden als Balkenlagen, in der Decke über dem Untergeschoss verdeckt, im Dach sichtbar ausgeführt.

### 5.1 Obergeschoss

#### 5.1.1 Dachkonstruktion

Der Veranstaltungsraum bietet mit seiner zurückhaltenden Materialität und Farbgebung einen vielseitig nutzbaren Bereich. Die Dachkonstruktion wurde hier als prägendes Element ausgebildet. Im Zuge der statischen Bemessung wurde entschieden, die Dachbalken alle gleich hoch auszubilden und die unterschiedlichen Beanspruchungen infolge der Dachfenster über die sichtbare Breite zu zeigen. Hierdurch entstand für den Betrachter eine nachvollziehbare Lastverteilung innerhalb der Dachkonstruktion. Des Weiteren war die Einbindung der großen Dachöffnungen so einfacher zu realisieren.

Statisch bedingt der große freie Innenraum Spannweiten der Deckenträger von ca. 10 m, wodurch Gebrauchstauglichkeitsnachweise querschnittsdimensionierend werden.

#### 5.1.2 Deckenscheibe

Der freizügig gestaltete Ausstellungsraum führt zwangsläufig zu Spannweiten der Deckenscheibe von 20 m zwischen den Achsen 3 und 8. Die Deckenscheibe dient in der ständigen und vorübergehenden Bemessungssituation zur Aussteifung der Deckenbalken und zum Abtrag von Wind- oder Erdbebenlasten. Im Brandlastfall ist der Stabilitätsnachweis der Deckenbalken mit den Restquerschnitten nach einem 30-minütigem Abbrand ohne seitliche Abstützung zu führen. Da bei der großen Spannweite und der durch die Dachfenster eingeschränkten Scheibenhöhe alle Plattenstöße als unterstützte Stöße ausgeführt werden müssen [1], ist die OSB-Platte in zwei Lagen ausgeführt worden. Die untere Lage dient im Brandfall sekundär als „Abbrandschicht“ und im Normalfall zur Herstellung der unterstützten Stöße der Dachscheibe. Aufgrund der Dachfenster sind zusätzliche Gurte für die Dachscheibe in Form von Bohlen eingebaut worden. Für den konstruktiven Lastabtrag des Dachbereiches mit Fenstern sind Lastverteilungsbohlen an den Öffnungsecken eingebaut worden.

#### 5.1.3 Wandscheiben

Die Fensteröffnungen auf der seezugewandten Gebäudefassade wirken äußerliche fast zufällig angeordnet, erzeugen aber eine sinnfällige und für den Nutzer spannungsreiche Wechselbeziehung zwischen Innenraum und Landschaft bzw. Seeblick.

Für die Tragwerksplanung bedeuten die diversen Fenster zunächst einmal eine Reduzierung von möglichen Bereichen mit einer möglichen Wandscheibenausbildung. Für die Aussteifung werden nur Wandbereiche angesetzt, die nicht durch Öffnungen gestört sind und zudem im Ober- und Erdgeschoss möglichst übereinander stehen. Besonderes

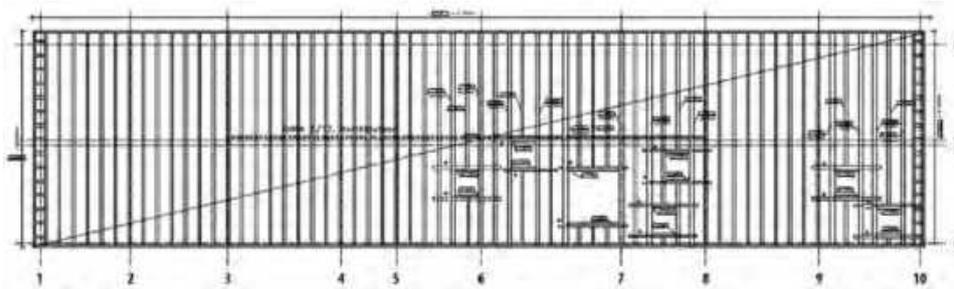


Bild 8: Achsplan der Dachdecke

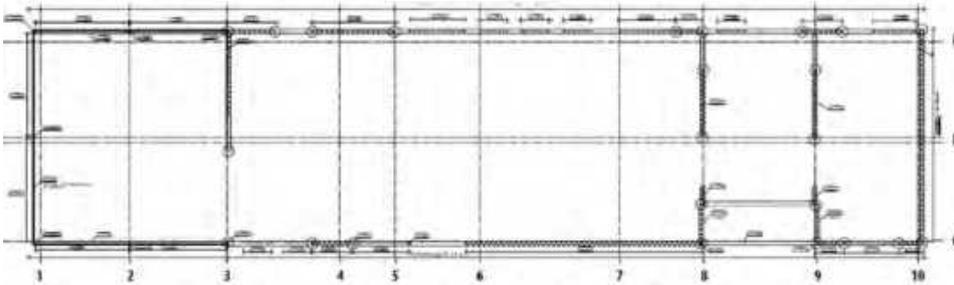


Bild 9: Achsplan Obergeschoss

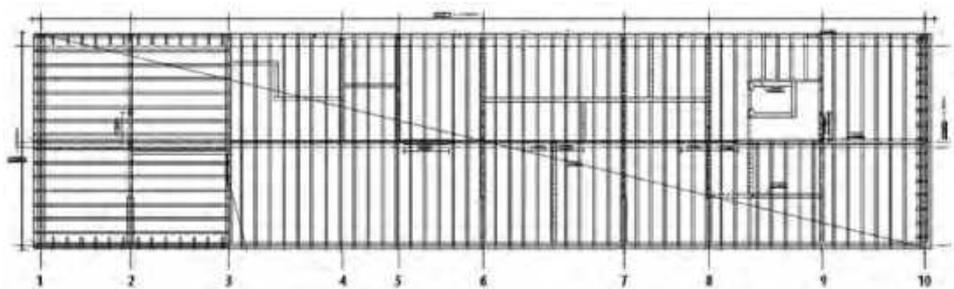


Bild 10: Achsplan Erdgeschoss/Deckenbalken

Augenmerk ist auf die Weiterleitung der vertikalen und horizontalen Verankerungslasten zu legen. Während in Gebäudelängsrichtung relativ viele Wandbereiche zur Aussteifung herangezogen werden können, sind in Gebäudequerrichtung nur wenige Scheiben in den Achsen 3, 8, 9 und 10 zur Aussteifung verfügbar. Daher wurde im Bereich des „grünen Klassenzimmers“ in Achse 1 ein zusätzlicher Wandverband angeordnet.

## 5.2 Erdgeschoss

Im Erdgeschoss sind die Räumlichkeiten für das Seefreibad untergebracht. Neben den obligatorischen Einrichtungen wie Duschen, Umkleiden und WC-Anlagen befinden sich auf dieser Ebene auch Räume für die DLRG sowie Garagen für den städtischen Maschinenpark, der für die Instandhaltung der Anlage erforderlich ist.

Die seezugewandte Außenwand sowie die gesamten Innenwände wurden in Holzbauweise realisiert. Lediglich die erdberührenden Bauteile auf der Südseite und die schmalen Fassadenseiten wurden als Betonkonstruktion realisiert.

### 5.2.1 Holzkonstruktion

Die Erdgeschossdeckenbalkenlage ist statisch als Zweifeldträgersystem ausgebildet worden, wobei zwischen den Achsen 1 und 3 die Spannrichtung wechselt. Ein Schwingungsnachweis gemäß DIN 1052:2008 9.3 mit einer Begrenzung der Durchbiegungen aus ständiger und quasi-ständiger Einwirkung auf 6 mm wurde in Absprache mit dem Bauherrn nicht geführt. Stattdessen wurde der Schwingungsnachweis gemäß der Erläuterungen zu DIN 1052:2004-08 [2] [3] geführt.

### 5.2.2 Stahlbetonkonstruktion/Gründung

Das Gebäude ist in Hanglage gebaut, so dass auf der Rückseite des Gebäudes eine Erdanschüttung in fast ganzer Erdgeschosshöhe vorhanden ist. Um den Erddruck aufzunehmen werden die erdberührten Aussenwände in Stahlbetonbauweise errichtet. Die Stahlbetonaussenwände werden durch kurze Querschotte aus Stahlbeton im Bereich der Innenwände ausgesteift. Unter den Querschotten ist die Sohlplatte verstärkt worden. Da Stauwasser infolge der Hanglage nicht ausgeschlossen werden konnte, sind die Stahlbetonbauteile mit hohem Wassereindringwiderstand bzw. als „Weiße Wannenbauteile“ ausgeführt worden.

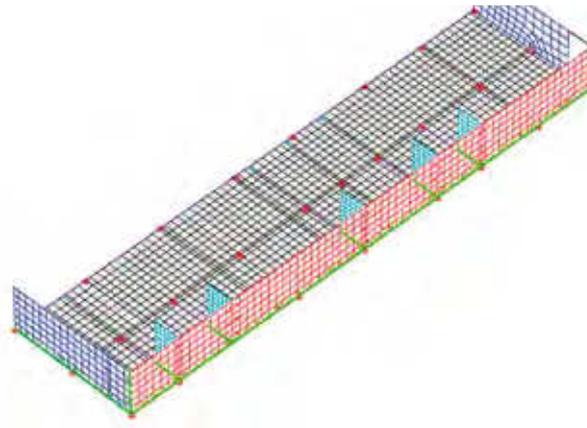


Bild 11: Stahlbetonbau-  
teile Erdgeschoss

### 5.3 Treppenhaus/Aufzugsschacht

Die Einhausung des Aufzugsschachtes dient gleichzeitig als Treppenhauswand. Da es sich aber um eine nicht notwendige Treppe im Brandfall handelt, konnte die Einhausung in Brettsperrholzbauweise geplant werden. Es wurden Brettsperrholzelemente in ganzer Höhe des Aufzugsschachtes eingebaut, die aber in vertikaler Richtung einmal gestoßen werden mussten. Dieser vertikale Stoß muss zusätzlich zu den Schubkräften und Querkraften, die üblicherweise z. B. bei Deckenplatten übertragen werden müssen, auch Biegemomente aus der Belastung infolge des Aufzugbetriebes abtragen. Hierzu wurden die Brettsperrholzelemente in Abständen mit Vollholzquerschnitten biegesteif verbunden.

Zudem musste die Führungskonstruktion des Aufzugsschachtes an dem Brettsperrholzelement befestigt werden. In beiden Fällen handelt es sich um dynamische Lasten aus dem Betrieb des Aufzugsschachtes. Da Verbindungsmittel im Holzbau aber nicht ohne weiteres für den Einsatz bei nicht vorwiegend ruhenden Lasten einsetzbar sind, wurde für die Verbindungsmittel bzw. für die Nachweise des Aufzugsschachtes ein Ermüdungsnachweis aus dem Normenteil für den Holzbrückenbau [4] geführt. Im einfachsten Fall gelingt der Ermüdungsnachweis, wenn gezeigt werden kann, dass die Spannungen, welche aus der Spannungsamplitude infolge der ermüdungswirksamen Einwirkungen entstehen, nur einen gewissen Prozentsatz der zulässigen Spannungen erreichen. Dabei ist das nach Norm erlaubte Spannungsniveau unterschiedlich, je nachdem welcher Spannungsnachweis für Holzbauteile bzw. welcher Verbindungsmittelnachweis geführt wird. Wird das erlaubte Spannungsniveau eingehalten, kann auf einen Ermüdungsnachweis verzichtet werden.

$$\kappa = \frac{|\sigma_{d,\max} - \sigma_{d,\min}|}{f_k} \quad (1)$$

$\gamma_{M, \text{fat}}$

mit

$\sigma_{d,\max}$	max. Bemessungsspannung infolge ermüdungsrelevanter Einwirkungen
$\sigma_{d,\min}$	min. Bemessungsspannung infolge ermüdungsrelevanter Einwirkungen
$f_k$	charakteristische Festigkeit
$\gamma_{M,\text{fat}}$	Teilsicherheitsbeiwert von Baustoffen für den Ermüdungsnachweis

Für Stabdübelverbindungen wird z. B.  $\kappa < 0,4$  und für „andere“ Verbindungen  $\kappa < 0,15$  gefordert. Ansonsten bietet die Norm noch die Möglichkeit, einen genaueren Ermüdungsnachweis zu führen.

Aus architektonischen Gründen sollte der Handlauf der Treppe in die Brettsperrholzwand eingefräst werden. Aufgrund des hieraus entstehenden Nettoquerschnittes und infolge der Brandschutzanforderung F30 resultierte hieraus ein etwas größerer Wandquerschnitt.



**Bild 12 (links):** Treppenraum mit zentralem Fahrstuhlschacht aus Brettschichtholzelementen.

**Bild 13 (rechts):** Eingangsbereich obere Ebene mit zentralem Fahrstuhlschacht aus Brettschichtholzelementen

## 6 Zusammenfassung/Schlussfolgerung

Die Realisierung eines Bauvorhabens erfordert ganz allgemein immer eine Zusammenarbeit aller am Bau beteiligten Personen wie z. B. Bauherr, Architekt, Tragwerksplaner, Ingenieure der technischen Gebäudeausstattung, Baugrundgutachter und ausführende Firmen. Diese Zusammenarbeit ist unabdingbar um spezielle Vorgaben und Wünsche, sei es durch die Baubehörde, durch den Bauherrn oder durch die Architektur realisieren zu können. Am Beispiel des Seebadgebäudes ist in diesem Beitrag speziell das Zusammenspiel zwischen Architektur und Tragwerksplanung gezeigt worden, um z. B. große Spannweiten des Daches und der Dachscheibe, sichtbare Holzbauteile bei gleichzeitiger Brandschutzanforderung oder einen in ein tragendes Bauteil eingefrästen Handlauf zu realisieren. Speziell beim Holzbau, der sich durch einen hohen Vorfertigungsgrad auszeichnet, ist aber auch eine frühzeitige Absprache mit dem ausführenden Holzbauunternehmen empfehlenswert, um eventuell spezielle Fertigungsprozesse des Holzbauunternehmens bei der Problemlösung mit einbeziehen zu können.

## 7 Literatur

- [1] DIN 1052:2008-12: Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken – Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau
- [2] Blaß, H. J.; Ehlbeck, J.; Kreuzinger, H.; Steck, G.: *Erläuterungen zu DIN 1052:2004-08 Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holztragwerken*. Informationsdienst Holz, 2. Auflage Deutsche Gesellschaft für Holzforschung (Hrsg.), Bruderverlag, 2005
- [3] DIN 1052:2004-08: Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken – Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau
- [4] DIN EN 1995:2010-12: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 2: Brücken



## Dr.-Ing. Marcus Flaig

Blaß & Eberhart GmbH, Karlsruhe  
Ingenieurbüro für Baukonstruktionen  
Pforzheimer Straße 15b  
76227 Karlsruhe  
flaig@ing-bue.de

- seit 04/2015 Geschäftsführer der Blaß & Eberhart GmbH
- 2009 - 2015 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Karlsruher Institut für Technologie, Holzbau und Baukonstruktionen
- 2004 - 2009 Ingenieur bei Blaß & Eberhart
- 2000 - 2004 Bauingenieurstudium an der Fachhochschule Karlsruhe
- 1999 - 2000 Architekturstudium an der Fachhochschule Münster
- 1996 - 1999 Ausbildung zum Zimmerer mit anschließender Berufstätigkeit
- 1995 - 1996 Wehersatzdienst
- 1995 Allgemeine Hochschulreife
- 1976 geboren in Villingen

# Brettsperrholz – Mehr als Platte und Scheibe

## Anwendungsmöglichkeiten und Bemessung von stabförmigen Bauteilen aus Brettsperrholz

Dr.-Ing. Marcus Flaig, Blaß & Eberhart GmbH, Karlsruhe

### Kurzfassung

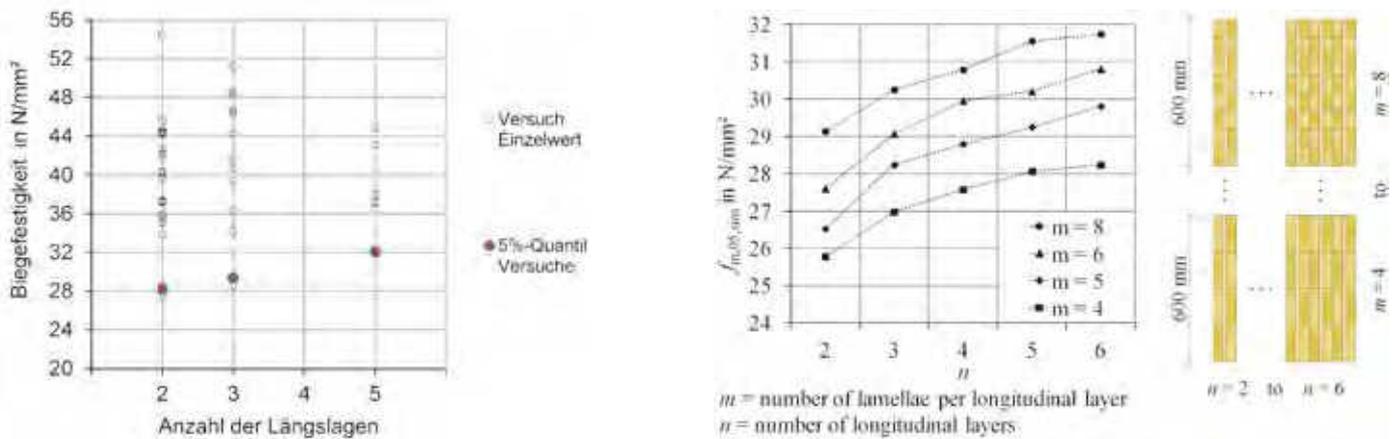
Der vorliegende Beitrag beschreibt Anwendungsmöglichkeiten und Bemessungsansätze für in Plattenebene beanspruchte, stabförmige Biegeträger aus Brettsperrholz. Es werden zunächst Ansätze für die Biege- und Schubbemessung von Stäben mit konstantem Querschnitt und gerader Bauteilachse vorgestellt. Darauf aufbauend werden Bemessungsansätze für Brettsperrholzträger mit angeschnittenen Rändern, Durchbrüchen und Ausklüngen sowie für keilgezinkte Rahmenecken aus Brettsperrholz behandelt.

### 1 Einleitung

Der Anwendungsbereich von Brettsperrholz ist bislang weitgehend auf flächige Bauteile, wie Wand-, Decken- oder Dachelemente, begrenzt, obwohl die Verwendung des Werkstoffes auch für stabförmige Bauteile in zahlreichen Anwendungen Vorteile birgt und durch die Zulassungen prinzipiell abgedeckt ist. Insbesondere ist bei Biegeträgern aus Brettsperrholz die relativ hohe Zug- und Druckfestigkeit quer zur Stabachse und die damit verbundene geringere Rissempfindlichkeit als wesentliche Verbesserung gegenüber Bauteilen aus Brettschichtholz zu nennen. Die Querlagen, auf die letztlich die hohen Festigkeiten quer zur Stabachse zurückzuführen sind, leisten jedoch keinen Beitrag zur Biegetragfähigkeit. Im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit ist es daher erforderlich, bei Biegeträgern aus Brettsperrholz den Anteil der Querlagen soweit wie möglich zu reduzieren. In der Regel werden ausreichende Querkzug- bzw. Querdruk- und Schubtragfähigkeiten bei einem Querlagenanteil von 20%-25% erreicht. Aufgrund der starken Homogenisierungseffekte in Brettsperrholz können trotz der Querlagen bei gleichem Materialeinsatz vergleichbare Biegetragfähigkeiten erreicht werden wie bei Brettschichtholz.

### 2 Biegetragfähigkeit von Brettsperrholzträgern bei Beanspruchung in Plattenebene

Zur Herstellung von Brettsperrholz wird in der Regel nach der Zugfestigkeit sortiertes Brettmaterial verwendet. Bei einer Brettsortierung nach der in Deutschland geltenden Sortiernorm DIN 4074 sind deutlich größere Schmalseiten- und Kantenäste zugelassen als bei der auf die Biegefestigkeit abgestimmten Kantholzsortierung nach DIN 4074. Bei in Plattenebene beanspruchten Brettsperrholzträgern treten in den Lamellen der Längslagen jedoch nicht nur Zug- oder Druckkräfte, sondern auch nicht zu vernachlässigende Biegemomente auf. Die einzelnen Bretter werden daher entgegen der vorgesehenen Verwendung im Sinne der Sortierung hochkant auf Biegung beansprucht. Trotz der großen Schmalseiten- und Kantenäste und der daraus resultierenden geringen Hochkantbiegefestigkeit des brettsortierten Ausgangsmaterials wurden in zahlreichen Versuchen mit in Plattenebene beanspruchten Brettsperrholzträgern hohe Biegefestigkeiten ermittelt. Die ermittelten Werte sind teilweise deutlich größer, als für Brettschichtholz aus Brettern der gleichen Sortierklasse (Bild 1). Die Versuchsergebnisse zeigen außerdem, dass die Biegefestigkeit von in Plattenebene beanspruchten Brettsperrholzträgern mit steigender Anzahl der Längslagen im Querschnitt deutlich ansteigt. Diese Eigenschaft des Brettsperrholzes wird bislang wenig genutzt. Zwar sind in vielen der für Brettsperrholzprodukte erteilten nationalen und europäischen Zulassungen Systembeiwerte zur Erhöhung der Biegefestigkeit bei Beanspruchung rechtwinklig zur Plattenebene angegeben, Beiwerte zur Erhöhung der Biegefestigkeit bei Beanspruchung in Plattenebene sind hingegen nur in wenigen Zulassungen enthalten (z.B. ETA-11/0189 und ETA-11/0210). Das liegt vor allem auch daran, dass bislang nur verhältnismäßig kleine Querschnitte geprüft



**Bild 1 (links):** Im Rahmen von Versuchen ermittelte Biegefestigkeiten von in Plattenebene beanspruchten Brettsperrholzträgern

**Bild 2 (rechts):** Simulierte charakteristische Biegefestigkeit für 600 mm hohe Brettsperrholzträger

wurden und keine systematischen Untersuchungen zu Systemeffekten bei in Plattenebene beanspruchten Brettsperrholzträgern vorliegen.

Zur Ermittlung eines Zusammenhangs zwischen der Biegefestigkeit und dem Lageraufbau von Brettsperrholzträgern auf der Grundlage experimenteller Untersuchungen sind sehr große und folglich mit erheblichen Kosten verbundene Versuchsreihen erforderlich. Anstelle von Versuchen wurde daher ein Rechenmodell zur Simulation von Tragfähigkeitsversuchen eingesetzt. Das verwendete Modell basiert auf der Grundlage eines für die Simulation von Brettschichtholzträgern entwickelten Rechenmodells, das für die Simulation der Biegefestigkeit von Brettsperrholz modifiziert und erweitert wurde.

Mithilfe des Rechenmodells kann die Biegefestigkeit von in Plattenebene beanspruchten Bauteilen aus Brettsperrholz mit größeren als den bislang geprüften Abmessungen ermittelt werden. Da die Anzahl der simulierten Versuche im Rechenmodell nahezu unbegrenzt ist, ermöglicht das Simulationsprogramm darüber hinaus auch die Untersuchung statistischer Zusammenhänge, die beispielsweise zur Ermittlung von Systembeiwerten verwendet werden können. In Bild 2 sind exemplarisch die mit dem Simulationsprogramm ermittelten 5%-Quantile der Biegefestigkeit von Brettsperrholzträgern aus brettsortiertem Material der Festigkeitsklasse C24 dargestellt. Die angegebenen Werte beziehen sich auf den Querschnitt der Längslagen und gelten für Träger mit einer Höhe von 600 mm. Verlauf und Lage der Kurven zeigen deutlich die Abhängigkeit der Biegefestigkeit vom Aufbau der Querschnitte.

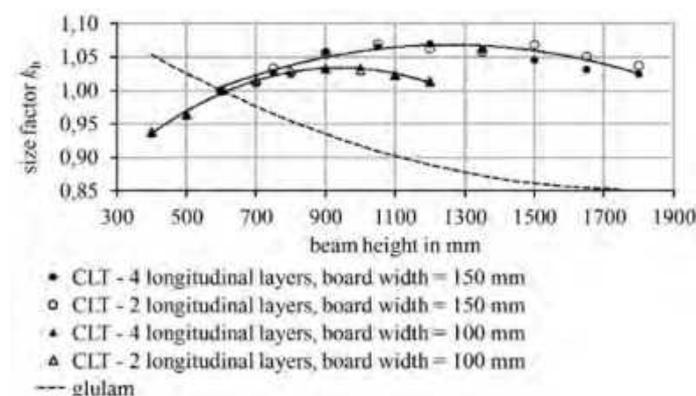
Im Vergleich zu Brettschichtholz ist bei in Plattenebene beanspruchten Brettsperrholzträgern die Streuung der Festigkeit entlang der Trägerachse geringer, da im Querschnitt stets mehrere Lamellen nebeneinander angeordnet sind. Wegen der größeren Homogenität des Werkstoffes ist der Einfluss des Trägervolumens auf die Festigkeit geringer als bei Brettschichtholz. Bild 3 zeigt die durch Simulation bestimmten Höhenfaktoren für Brettsperrholz und Brettschichtholz im Vergleich.

### 3 Schubmessung von Brettsperrholzträgern bei Beanspruchung in Plattenebene

#### 3.1 Versagensmechanismen

Querkräfte verursachen bei in Plattenebene beanspruchten Brettsperrholzträgern, ebenso wie bei Trägern aus Brettschichtholz oder Vollholz, Schubspannungen in den Lamellen der einzelnen Brettlagen. Neben Schubspannungen in den Längs- und Querlagen müs-

**Bild 3:** Höhenfaktoren für die Biegefestigkeit von Brettsperrholz- und Brettschichtholz



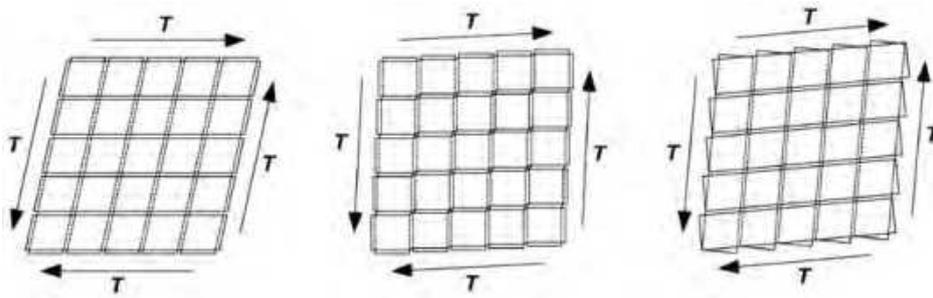


Bild 4: Versagensmechanismen bei Schubbeanspruchung in Plattenebene: Schub im Bruttoquerschnitt (links), Schub im Nettoquerschnitt (Mitte) und Schub in den Kreuzungsflächen (rechts)

sen bei Brettsperrholzträgern zusätzlich die Schubspannungen in den Kreuzungsflächen zwischen benachbarten, rechtwinklig miteinander verklebten Brettlagen nachgewiesen werden. Insgesamt werden drei Versagensmechanismen unterschieden (Bild 4).

#### Versagensmechanismus 1 (VM1): Schub im Bruttoquerschnitt

Schubspannungen in den Brettlamellen führen zu einem Schubversagen über die gesamte Plattendicke.

#### Versagensmechanismus 2 (VM2): Schub im Nettoquerschnitt

In Schnitten durch die Fugen zwischen den nicht verklebten Schmalseiten der Lamellen tritt Schubversagen rechtwinklig zur Faserrichtung ein.

#### Versagensmechanismus 3 (VM3): Schub in den Kreuzungsflächen

Schubspannungen zwischen rechtwinklig miteinander verklebten Brettlamellen führen zu einem Versagen in den Kreuzungsflächen.

### 3.2 Berechnung der Schubspannungen

Für den Tragfähigkeitsnachweis ist es erforderlich, die einzelnen zu den Versagensmechanismen gehörenden Schubspannungen zu berechnen. Für den Nachweis der Versagensmechanismen 1 und 2 sind dies die Schubspannungen in den Brettlamellen des Brutto- und des Nettoquerschnitts. Im Versagensmechanismus 3 müssen bei Biegeträgern aus Brettsperrholz drei verschiedene, gleichzeitig in den Kreuzungsflächen wirkende Schubspannungskomponenten berechnet werden: Schubspannungen in Richtung der Trägerachse, Schubspannungen rechtwinklig zur Trägerachse und Torsionsschubspannungen. Insgesamt sind damit bei in Plattenebene beanspruchten Brettsperrholzträgern fünf verschiedene Schubspannungskomponenten zu ermitteln.

#### 3.2.1 Berechnung der Schubspannungen in den Lamellen (VM1 und VM2)

Wie bei Vollquerschnitten können die Schubspannungen in den Lamellen von Brettsperrholzträgern nach der Balkentheorie berechnet werden. Bei der Berechnung der Querschnittswerte wird dabei die Dicke im jeweils betrachteten Schnitt angesetzt: im VM 1 die Gesamtdicke  $t_{\text{gross}}$ , im VM 2 der kleinere Wert  $t_{\text{net}}$  aus der Summe der Längs- und Querlagendicken. In Bild 5 ist der Verlauf der Schubspannungen für einen Brettsperrholzträger mit zwei Längslagen und einer Querlage exemplarisch dargestellt.

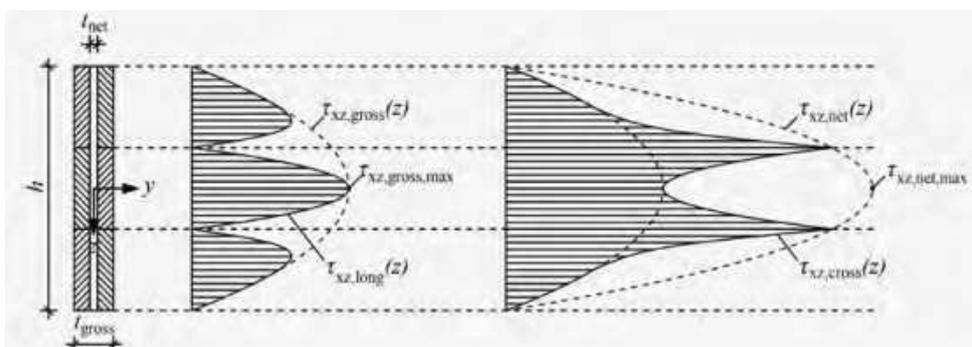


Bild 5: Verlauf der Schubspannung in den Lamellen eines dreilagigen Brettsperrholzträgers; links: Schubspannungen  $\tau_{xz,long}$  in den Lamellen der Längslagen; rechts: Schubspannungen  $\tau_{xz,cross}$  in den Lamellen der Querlagen.

Für die Bemessung ist die Verwendung der Maximalwerte der Schubspannungsparabeln eine gute und zugleich konservative Abschätzung der tatsächlichen Schubspannungen im Brutto- und im Nettoquerschnitt.

$$\tau_{xz}^{\text{gross}} = \frac{1,5 \cdot V_z}{h \cdot t_{\text{gross}}} \quad \text{Schubspannung im Bruttoquerschnitt (VM1)} \quad (1)$$

$$\tau_{xz}^{\text{net}} = \frac{1,5 \cdot V_z}{h \cdot t_{\text{net}}} \quad \text{Schubspannung im Nettoquerschnitt (VM2)} \quad (2)$$

### 3.2.2 Schubspannungen in den Kreuzungsflächen (VM3)

Die Schubspannungskomponenten in den Kreuzungsflächen, parallel zur Trägerachse und aus Torsion, können wie für einen Verbundträger berechnet werden, dessen Teilquerschnitte aus den Lamellen der Längslagen bestehen (Bild 6). Bei Querschnitten mit mehreren Längslagen werden dabei alle Lamellen in Richtung der Querschnittsdicke zu einem Teilquerschnitt zusammengefasst. Der Verbund zwischen den Teilquerschnitten wird über die Verklebung der Längsbretter mit den rechtwinklig dazu angeordneten Brettern der Querlagen hergestellt. Sind die Bauteile hinreichend schlank ( $L/h \geq 15$ ) kann die Nachgiebigkeit der Klebefugen bei der Ermittlung der Beanspruchungen in den Teilquerschnitten und den Kreuzungsflächen vernachlässigt werden. Werden einheitliche Elastizitäts- und Schubmoduln aller Brettlamellen vorausgesetzt, lassen sich die drei Schubspannungskomponenten wie nachfolgend beschrieben berechnen.

#### Schubspannungen parallel zur Trägerachse

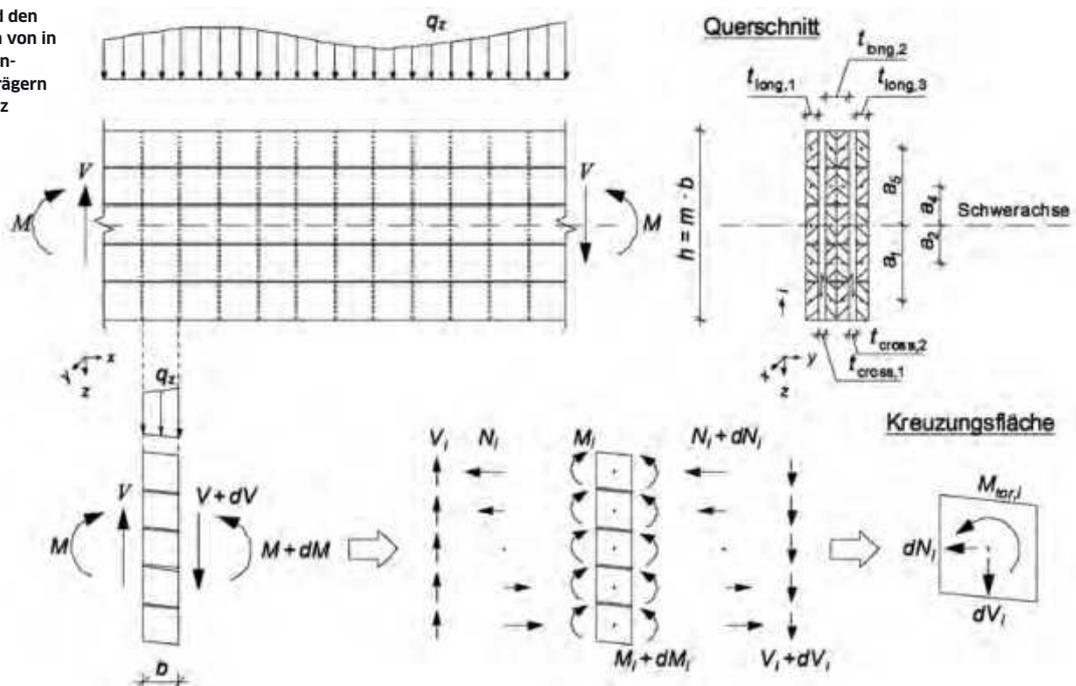
Die in Trägerlängsrichtung wirkende Schubspannungskomponente  $\tau_{yx,i,k}$  in der  $i$ -ten Kreuzungsfläche kann für Brettsper Holzträger mit konstanter Lamellenbreite  $b$  nach Gleichung (3) berechnet werden.

$$\tau_{yx,i}^{\text{CA}} = \frac{dN_i(x)}{n_{\text{CA}} \cdot b^2} \quad (3)$$

Nach einigen Umformungen (vgl. [6]) erhält man für den in den äußersten Kreuzungsflächen wirkenden Maximalwert der Schubspannungskomponente

$$\tau_{yx}^{\text{CA}} = \frac{6 \cdot V}{n_{\text{CA}} \cdot b^2} \cdot \left( \frac{1}{m^2} - \frac{1}{m^3} \right) \quad (4)$$

Bild 6: Aus der Verbundwirkung resultierende Beanspruchungen in den Brettlamellen und den Kreuzungsflächen von in Plattenebene beanspruchten Biegeträgern aus Brettsperholz



### Torsionsschubspannungen

Unter der Annahme, dass die Bretter der Querlagen im verformten Zustand gerade bleiben, sind in allen Kreuzungsflächen eines Trägerabschnitts der Länge  $b$  die Momente  $M_{\text{tor},i}$  gleich groß. Die aus dem Torsionsmoment resultierende Schubspannung rechtwinklig zur Faserrichtung am Rand einer Kreuzungsfläche kann damit wie folgt berechnet werden.

$$\tau_{\text{tor}}^{\text{CA}} = \frac{\sum_{i=1}^m M_{\text{tor},i}}{n_{\text{CA}} \cdot \sum_{i=1}^m I_{\text{p,CA}}} \cdot \frac{b}{2} \quad (5)$$

Für Brettsperrholzträger mit konstanter Brettbreite  $b$  in allen Brettlagen kann die Torsionsschubspannung in geschlossener Form angegeben werden (vgl. [6]).

$$\tau_{\text{tor}}^{\text{CA}} = \frac{3 \cdot V}{b^2 \cdot n_{\text{CA}}} \cdot \left( \frac{1}{m} - \frac{1}{m^3} \right) \quad (6)$$

### Schubspannungen rechtwinklig zur Trägerachse

Neben den Schubspannungskomponenten  $\tau_{yx}$  und  $\tau_{\text{tor}}$  können, z. B. im Bereich von Trägereauflagern und Lasteinleitungen oder am Rand von Durchbrüchen und Ausklinkungen, auch rechtwinklig zur Stabachse wirkende Schubspannungen  $\tau_{yz}$  in den Kreuzungsflächen auftreten, die bei der Bemessung ebenfalls zu berücksichtigen sind.

### 3.3 Schubfestigkeiten und Nachweiskriterien

Beim Nachweis der Tragfähigkeit müssen die genannten Schubspannungen mit den entsprechenden Festigkeitskennwerten verglichen werden. In den Kreuzungsflächen ist zusätzlich die Interaktion mehrerer Schubspannungskomponenten zu berücksichtigen.

#### Versagensmechanismus 1: Schub im Bruttoquerschnitt

Für den Nachweis der Schubspannung im Bruttoquerschnitt können die in EN 338 für Nadel-schnittholz angegebenen Schubfestigkeiten  $f_v$  des verwendeten Brettmaterials angenommen werden. Weil die Entstehung großer Schwindrisse durch die kreuzweise Verklebung der Brettlamellen behindert wird, darf ein Beiwert  $k_{\text{cr}}$  von 1,0 angesetzt werden.

#### Versagensmechanismus 2: Schub im Nettoquerschnitt

In Versagensmechanismus 2 tritt das Schubversagen rechtwinklig zur Faserrichtung in den Fugen zwischen den nicht verklebten Schmalseiten der Lamellen ein. Jöbstl et al. [5] haben durch Versuche an Brettsperrholzelementen mit einzelnen quer zur Faserrichtung auf Schub beanspruchten Brettern einen Mittelwert der Schubfestigkeit  $f_{v,\text{lam},90}$  rechtwinklig zur Faserrichtung von 12,8 N/mm<sup>2</sup> und ein 5%-Quantil von 10,3 N/mm<sup>2</sup> ermittelt. Für den Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit wird ein charakteristischer Wert von 8 N/mm<sup>2</sup> empfohlen.

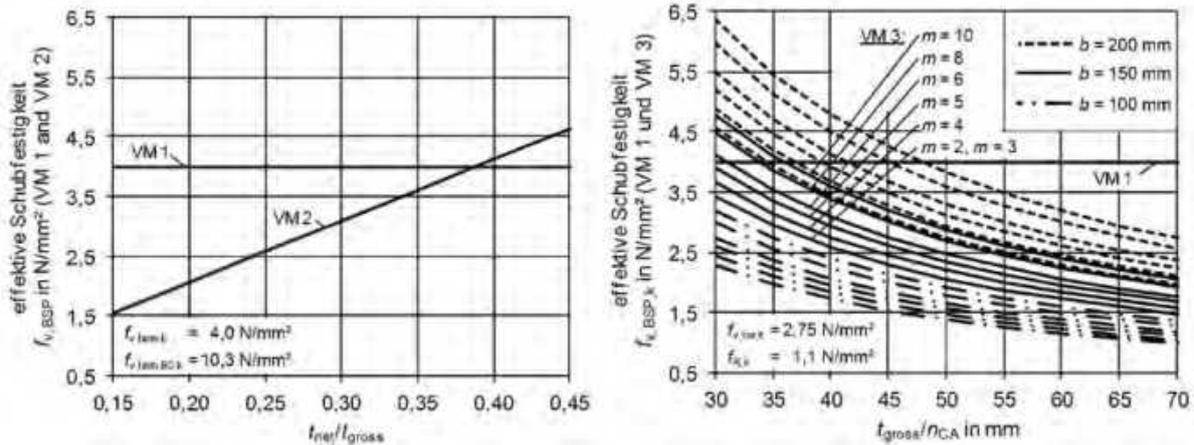
#### Versagensmechanismus 3: Schub in den Kreuzungsflächen

Die durch Torsionsmomente verursachten Schubspannungen in den Kreuzungsflächen werden mit einer durch Versuche ermittelten Torsionsschubfestigkeit der Kreuzungsflächen  $f_{v,\text{tor}}$  nachgewiesen. In Zulassungen für Brettsperrholzprodukte sind in der Regel Rechenwerte zwischen 2,0 N/mm<sup>2</sup> und 2,5 N/mm<sup>2</sup> festgelegt.

Anders als die Torsionsschubspannungen  $\tau_{\text{tor}}$ , die nur lokal rechtwinklig zur Faserrichtung gerichtet sind, wirken die Schubspannungen  $\tau_{yx}$  und  $\tau_{yz}$  in jeweils einem der beiden miteinander verklebten Bretter über die gesamte Kreuzungsfläche rechtwinklig zur Faserrichtung. Die in den Kreuzungsflächen wirkenden Schubspannungen parallel und rechtwinklig zur Trägerachse werden daher mit der Rollschubfestigkeit  $f_r$  der Bretter nachgewiesen. In den Zulassungen sind für Brettsperrholz aus Nadelholz in der Regel Rechenwerte zwischen 0,9 N/mm<sup>2</sup> und 1,25 N/mm<sup>2</sup> angegeben.

Beim Nachweis der Schubspannungen in den Kreuzungsflächen kann das gleichzeitige Auftreten der drei Schubspannungen  $\tau_{yx}$ ,  $\tau_{yz}$  und  $\tau_{\text{tor}}$  durch lineare Interaktion der gleichgerichteten Spannungskomponenten berücksichtigt werden.

$$\frac{\tau_{\text{tor,d}}}{f_{v,\text{tor,d}}^{\text{lam}}} + \frac{\tau_{yx,d}}{f_{R,d}^{\text{lam}}} \leq 1 \quad \text{und} \quad \frac{\tau_{\text{tor,d}}}{f_{v,\text{tor,d}}^{\text{lam}}} + \frac{\tau_{yz,d}}{f_{R,d}^{\text{lam}}} \leq 1 \quad (7)$$



**Bild 7:**  
Effektive Schubfestigkeit von Brettsperrholzträgern; links: Versagensmechanismen VM1 und VM2; rechts: Versagensmechanismus VM3

### 3.4 Effektive Schubfestigkeit

Die effektive Schubfestigkeit eines Brettsperrholzträgers ergibt sich aus dem Versagensmechanismus mit der kleinsten Tragfähigkeit. Wird für jeden Versagensmechanismus eine auf den Bruttoquerschnitt bezogene Schubfestigkeit berechnet, können die Werte unmittelbar miteinander verglichen werden. Die auf den Bruttoquerschnitt bezogene effektive Schubfestigkeit eines Brettsperrholzträgers kann in Abhängigkeit des Verhältnisses  $t_{\text{net}}/t_{\text{gross}}$  aus Netto- und Bruttoquerschnittsdicke sowie der Anzahl  $n_{\text{CA}}$  der Kreuzungsflächen innerhalb der Querschnittsdicke und der Lamellenbreite  $b$  nach Gleichung (8) berechnet werden.

In den Diagrammen in Bild 7 sind die auf den Bruttoquerschnitt bezogenen Schubfestigkeiten der drei Versagensmechanismen in Abhängigkeit des Trägeraufbaus dargestellt. Das in Bild 7, links auf der Abszisse aufgetragene Verhältnis  $t_{\text{net}}/t_{\text{gross}}$  wird bei Biegeträgern aus Brettsperrholz in der Regel dem Anteil der Querlagen an der Gesamtquerschnittsfläche entsprechen. Der Quotient  $t_{\text{gross}}/n_{\text{CA}}$  in Bild 7, rechts ist ein Maß für die Anzahl der Kreuzungsflächen in Richtung der Trägerdicke. Ist das Verhältnis klein, stehen viele Kreuzungsflächen zur Übertragung von Schubkräften zur Verfügung und die Schubfestigkeit im VM 3 ist groß. Große Werte von  $t_{\text{gross}}/n_{\text{CA}}$  stehen für Querschnitte mit wenigen dicken Brettlagen, bei denen die Schubfestigkeit im VM 3 klein ist. Die verschiedenen Kurvenscharen in Bild 7, rechts zeigen den Einfluss der Lamellenbreite für drei exemplarisch ausgewählte Werte. Die Unterschiede innerhalb der Kurvenscharen zeigen den Einfluss der Anzahl  $m$  der Lamellen in Richtung der Trägerhöhe.

$$\bar{f}_{v,k}^{\text{BSP}} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{v,k}^{\text{lam}} \\ f_{v,90,k}^{\text{lam}} \cdot \frac{t_{\text{net}}}{t_{\text{gross}}} \\ \frac{b \cdot n_{\text{CA}}}{2 \cdot t_{\text{gross}}} \cdot \frac{1}{\frac{1}{f_{v,\text{tor},k}^{\text{CA}}} \cdot \left(1 - \frac{1}{m^2}\right) + \frac{2}{f_{R,k}^{\text{CA}}} \cdot \left(\frac{1}{m} - \frac{1}{m^2}\right)} \end{array} \right. \quad (8)$$

## 4 Besondere Trägerformen

### 4.1 Brettsperrholzträger mit angeschnittenen Rändern

An den schräg zur Faserrichtung verlaufenden Rändern von Biegeträgern aus Holz treten neben Spannungen in Faserrichtung auch Schub- und Querdruck- bzw. Querkzugspannungen auf. Da bei in Plattenebene beanspruchten Brettsperrholzträgern die Zug- und die Druckfestigkeit quer zur Trägerachse verhältnismäßig groß sind, hat der Faseranschnittwinkel weniger Einfluss auf die Tragfähigkeit als bei Brettchichtholz. Wie für Brettchichtholz können die Abminderungsfaktoren zur Ermittlung der Biegefestigkeit an den angeschnittenen Rändern von Brettsperrholzträgern in Abhängigkeit der Biege-, Schub- und Querkzug- bzw. Querdruckfestigkeit ermittelt werden (Gl.(9) und Gl.(10)). Für die Schubfestigkeit  $f_v$  sowie die Zug- bzw. Druckfestigkeit rechtwinklig zur Trägerachse werden effektive Werte angesetzt, die unter Berücksichtigung aller möglichen Versagensmechanismen ermittelt werden und wie die Biegefestigkeit auf den Querschnitt der Längslagen bezogen sind.

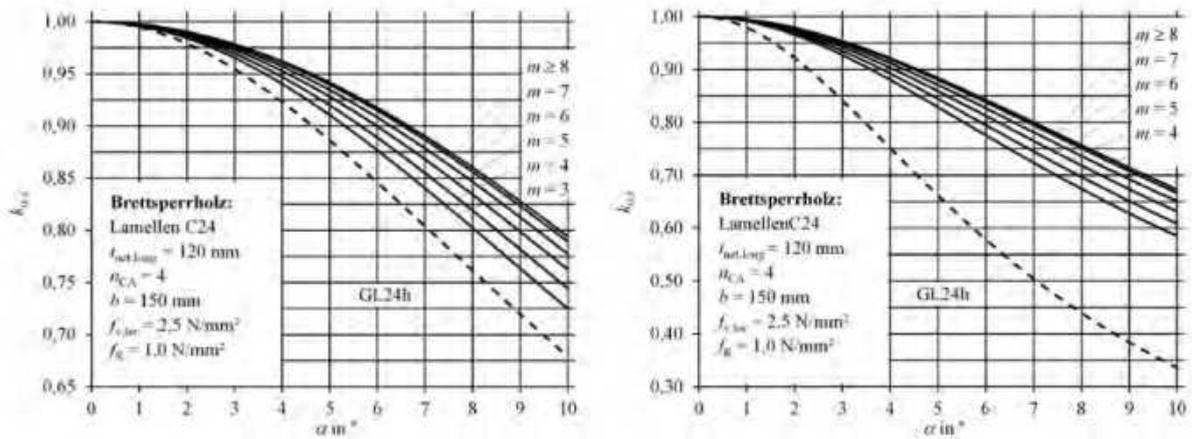


Bild 8: Abminderungsfaktoren  $k_\alpha$  für Brettsperrholzträger aus Lamellen der Festigkeitsklasse C24 sowie für Brettsperrholzträger der Festigkeitsklasse GL24h

$$k_{\alpha,C}^{\text{BSP}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left( \frac{\bar{f}_{m,k}^{\text{BSP}}}{1,5 \cdot \bar{f}_{v,k}^{\text{BSP}}} \cdot \tan \alpha \right)^2 + \left( \frac{\bar{f}_{m,k}^{\text{BSP}}}{\bar{f}_{c,90,k}^{\text{BSP}}} \cdot \tan^2 \alpha \right)^2}} \quad (9)$$

$$k_{\alpha,t}^{\text{BSP}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left( \frac{\bar{f}_{m,k}^{\text{BSP}}}{1,0 \cdot \bar{f}_{v,k}^{\text{BSP}}} \cdot \tan \alpha \right)^2 + \left( \frac{\bar{f}_{m,k}^{\text{BSP}}}{\bar{f}_{t,90,k}^{\text{BSP}}} \cdot \tan^2 \alpha \right)^2}} \quad (10)$$

Bei der Ermittlung der effektiven Schubfestigkeit am angeschnittenen Rand kann der Versagensmechanismus 2 vernachlässigt werden. Auf den Querschnitt der Längslagen bezogen ergibt sich damit die effektive Schubfestigkeit zu

$$\bar{f}_{v,k}^{\text{BSP}} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{v,k}^{\text{lam}} \cdot \frac{t_{\text{gross}}}{t_{\text{net,long}}} \\ b \cdot n_{\text{CA}} \cdot \frac{1}{2 \cdot t_{\text{net,long}} \cdot \left( \frac{1}{f_{v,\text{tor},k}^{\text{CA}}} \cdot \left( 1 - \frac{1}{m_x^2} \right) + \frac{2}{f_{R,k}^{\text{CA}}} \cdot \left( \frac{1}{m_x} - \frac{1}{m_x^2} \right) \right)} \end{array} \right. \quad (11)$$

Bei der Ermittlung der Querzug- und Querdruckfestigkeit wird das Erreichen der Zug- bzw. Druckfestigkeit parallel zur Faserrichtung in den Querlagen und Schubversagen in den Kreuzungsflächen durch Erreichen der Rollschubfestigkeit berücksichtigt. Die auf den Querschnitt der Längslagen bezogenen Festigkeiten können nach Gleichung (12) bzw. Gleichung (13) berechnet werden.

$$\bar{f}_{c,90,k}^{\text{BSP}} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{c,0,k}^{\text{lam}} \cdot \frac{t_{\text{net,cross}}}{t_{\text{net,long}}} \\ f_{R,k}^{\text{CA}} \cdot \frac{n_{\text{CA}} \cdot b}{2 \cdot t_{\text{net,long}}} \end{array} \right. \quad (12)$$

$$\bar{f}_{t,90,k}^{\text{BSP}} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{t,0,k}^{\text{lam}} \cdot \frac{t_{\text{net,cross}}}{t_{\text{net,long}}} \\ f_{R,k}^{\text{CA}} \cdot \frac{n_{\text{CA}} \cdot b}{2 \cdot t_{\text{net,long}}} \end{array} \right. \quad (13)$$

In Bild 8 sind exemplarisch die nach Gleichung (10) bzw. Gleichung (11) berechneten Abminderungsfaktoren für Brettsperrholzträger aus Brettern der Festigkeitsklasse C24 mit einer Gesamtdicke von  $t_{\text{gross}} = 150 \text{ mm}$  grafisch dargestellt. Die auf die Längslagen

bezogene Biegefestigkeit für  $\alpha = 0^\circ$  wurde dabei konservativ mit einem Wert von  $24 \text{ N/mm}^2$  angesetzt. Zum Vergleich sind zusätzlich die Abminderungsfaktoren  $k_\alpha$  für Brettschichtholz der Festigkeitsklasse GL24h angegeben.

#### 4.2 Brettsperrholzträger mit Ausklinkungen oder Durchbrüchen

In den einspringenden Ecken von Trägern mit Ausklinkungen oder Durchbrüchen treten Kräfte rechtwinklig zur Trägerachse auf. Die quer zur Stabachse wirkenden Zugkräfte, die bei Vollholz- und Brettschichtholz Zugspannungen quer zur Faserrichtung verursachen, können bei in Plattenebene beanspruchten Brettsperrholzträgern von den Querlagen aufgenommen werden, die ähnlich wie aufgeklebte Verstärkungen bei Brettschichtholzträgern wirken. In den Kreuzungsflächen unmittelbar neben Ausklinkungen und Durchbrüchen entstehen dabei Schubspannungen quer zur Trägerachse, die zusätzlich zu den in diesen Bereichen erhöhten Torsionsschubspannungen und Schubspannungen parallel zur Trägerachse übertragen werden müssen.

Die Schubspannungen, die in Brettsperrholzträgern im Bereich von Ausklinkungen und Durchbrüchen in den Kreuzungsflächen auftreten, können auf der Grundlage der in Abschnitt 3.2 angegebenen Gleichungen ermittelt werden, wenn lokale Spannungsspitzen durch entsprechende Faktoren berücksichtigt werden. In Gleichung (14) und Gleichung (15) sind Spannungsspitzenfaktoren für Trägern mit Durchbrüchen bzw. Ausklinkungen angegeben, die durch FE-Berechnungen ermittelt wurden.

$$k_{h1} = 1,81 \cdot \left( \frac{\ell_h}{h} \cdot \frac{h_h}{h - h_h} \right) + 1,14 \quad \text{und} \quad k_{h2} = 0,103 \cdot \left( \frac{h_h \cdot \ell_h}{h^2} \cdot m^2 \right) + 1,27$$

mit  $\ell_h \leq h$  und  $h_h \leq 0,5 \cdot h$  (14)

$$k_n = 0,884 \cdot \left( \frac{h_{ef}}{h} \right)^{k_c} \quad \text{mit} \quad k_c = -1,59 \cdot \left( \frac{c}{h} \right)^{0,406} \quad \text{sowie} \quad c \leq 0,5 \cdot h$$

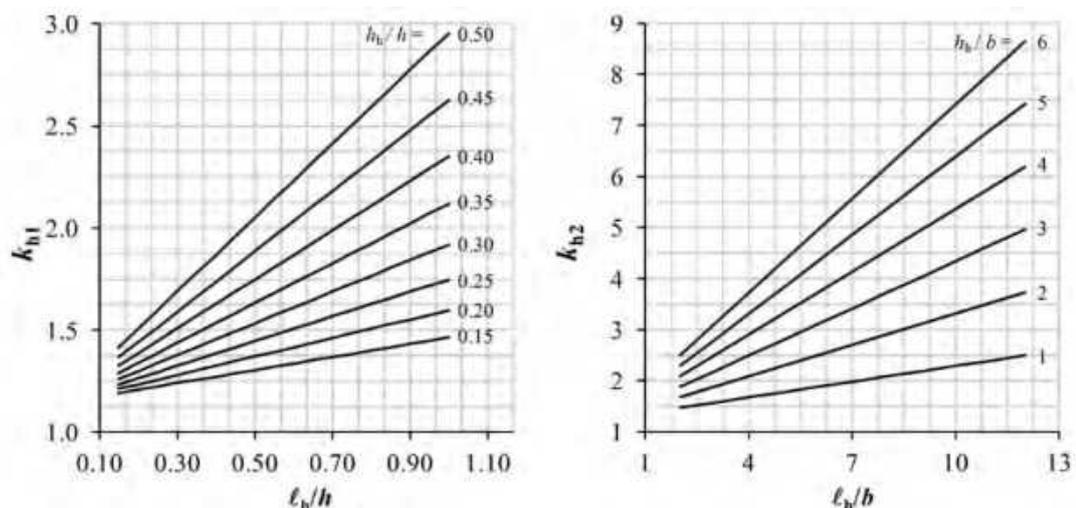
und  $h_{ef} \leq 0,5 \cdot h$  (15)

Die angegebenen Spannungsspitzenfaktoren gelten für Brettsperrholzträger mit 150 mm breiten Lamellen. Für davon abweichende Lamellenbreiten zwischen 100 mm und 200 mm können die Faktoren durch Multiplikation mit dem Beiwert  $k_b$  nach Gleichung (16) angepasst werden.

$$k_b = \left( \frac{b}{150} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (16)$$

In Bild 9 und Bild 10 sind die Faktoren grafisch dargestellt. In Bild 11 sind die verwendeten Bezeichnungen der Trägerabmessungen definiert.

**Bild 9:** Spannungsspitzenfaktoren für Brettsperrholzträger mit Durchbrüchen



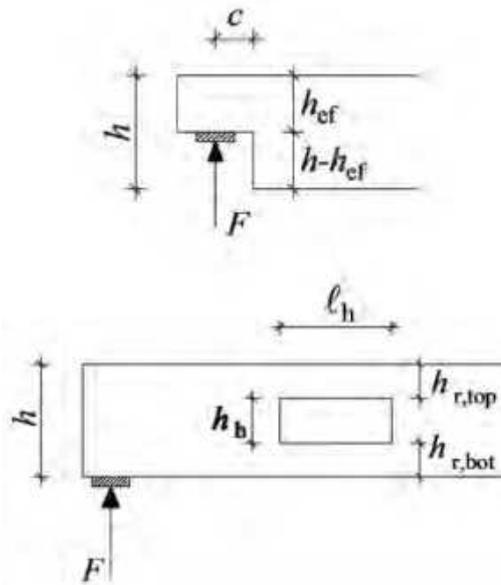
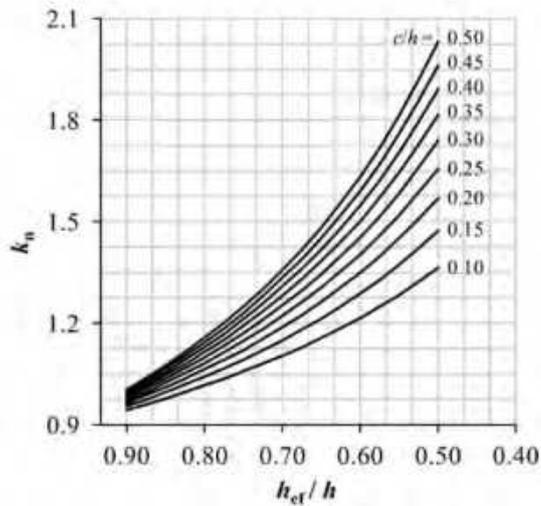


Bild 10 (links):  
Spannungsspitzen-  
faktor für Brett-  
sperrholzträger mit  
Ausklinkungen

Bild 11 (rechts):  
Bezeichnung der Abmes-  
sungen bei Trägern  
mit Ausklinkungen  
und Durchbrüchen

Mithilfe der Spannungsspitzenfaktoren können die Schubspannungen in den Brettlamellen und in den Kreuzungsflächen von **Brettsperrholzträgern mit Durchbrüchen** nach den Gleichungen (17) bis (21) berechnet werden.

$$\text{VM1: } \tau_{xz,h}^{\text{gross}} = \frac{1,5 \cdot V_z}{(h - h_h) \cdot t_{\text{gross}}} \quad (17)$$

$$\text{VM2: } \tau_{xz,h}^{\text{net}} = k_{h2} \cdot \frac{1,5 \cdot V_z}{h \cdot t_{\text{net}}} \quad (18)$$

$$\text{VM3: } \tau_{\text{tor},h}^{\text{CA}} = k_{h1} \cdot \frac{3 \cdot V_z}{b^2 \cdot n_{\text{CA}}} \cdot \left( \frac{1}{m} - \frac{1}{m^3} \right) \text{ und} \quad (19)$$

$$\tau_{yx,h}^{\text{CA}} = k_{h2} \cdot \frac{6 \cdot V_z}{b^2 \cdot n_{\text{CA}}} \cdot \left( \frac{1}{m^2} - \frac{1}{m^3} \right) \text{ und} \quad (20)$$

$$\tau_{yz,h}^{\text{CA}} = \frac{F_{t,90}}{n_{\text{CA}} \cdot a_r \cdot h_r} \text{ mit } h_r = \min \left\{ \begin{array}{l} h_{r,\text{top}} \\ h_{r,\text{bot}} \end{array} \right. \quad (21)$$

Die Zugkraft  $F_{t,90}$  am Durchbruchrand kann wie für Durchbrüche in Brettschichtholzträgern nach dem nationalen Anhang zu Eurocode 5, Gleichung (NA.64) berechnet werden. Beim Nachweis der Tragfähigkeit sind die drei in Abschnitt 3.3 beschriebenen Versagensmechanismen zu überprüfen. Zusätzlich ist nachzuweisen, dass von den Querbrettern am Durchbruchrand die nach Gleichung (22) ermittelte Zugspannung aufgenommen werden kann.

$$\sigma_{t,0}^{\text{cross}} = k_k \cdot \frac{F_{t,90}}{a_r \cdot t_{\text{net,cross}}} \text{ mit } a_r = \min \{ b_{\text{cross}} ; 0,3 \cdot (h + h_h) \} \text{ und } k_k = 2 \quad (22)$$

Bei Brettsperrholzträgern mit Ausklinkungen können die Schubspannungen nach den Gleichungen (23) bis (26) berechnet werden.

$$\text{VM1: } \tau_{xz,n}^{\text{gross}} = \frac{1,5 \cdot V_z}{h_{\text{ef}} \cdot t_{\text{gross}}} \quad (23)$$

$$\text{VM2: } \tau_{xz,n}^{\text{net}} = k_n \cdot \frac{1,5 \cdot V_z}{h \cdot t_{\text{net}}} \quad (24)$$

$$\text{VM3: } \tau_{\text{tor},n}^{\text{CA}} = k_n \cdot \frac{3 \cdot V_z}{b^2 \cdot n_{\text{CA}}} \cdot \left( \frac{1}{m} - \frac{1}{m^3} \right) \text{ und} \quad (25)$$

$$\tau_{yz,n}^{\text{CA}} = \frac{F_{t,90}}{n_{\text{CA}} \cdot \ell_r \cdot h_n} \quad \text{mit} \quad h_n = \min \{ h_{\text{ef}}, h - h_{\text{ef}} \} \quad (26)$$

Die rechtwinklig zur Trägerachse wirkende Zugkraft  $F_{t,90}$  am Rand der Ausklinkung kann wie für Brettschichtholzträger mit verstärkten Ausklinkungen nach dem nationalen Anhang zu Eurocode 5, Gleichung (NA.75) berechnet werden. Wie bei Brettsperrholzträgern mit Durchbrüchen sind beim Nachweis der Tragfähigkeit die drei in Abschnitt 3.3 beschriebenen Versagensmechanismen zu überprüfen. Daneben ist auch wieder der Nachweis der Zugspannung in den Brettern der Querlagen mit der nach Gleichung (27) berechneten Spannung zu führen.

$$\sigma_{t,0}^{\text{cross}} = k_k \cdot \frac{F_{t,90}}{\ell_r \cdot t_{\text{net,cross}}} \quad \text{mit} \quad \ell_r = \max \{ 0,5 \cdot (h - h_e); b_{\text{cross}} \} \quad (27)$$

#### 4.3 Keilgezinkte Rahmenecken aus Brettsperrholz

Bei keilgezinkten Rahmenecken wirken in den Universal-Keilzinkenverbindungen Biege- und Druckspannungen unter einem Winkel zur Faserrichtung. Ähnlich wie bei Trägern mit angeschnittenen Rändern entstehen dadurch, je nach Richtung des einwirkenden Momentes, Zug- bzw. Druckspannungen quer zur Trägerachse sowie Schubspannungen, die beim Nachweis der Tragfähigkeit zu berücksichtigen sind. Bei Rahmenecken aus Brettschichtholz erfolgt dies durch Verwendung einer in Abhängigkeit des Schnittwinkels  $\alpha$  ermittelte Druckfestigkeit (vgl. EC5, Gleichung (NA.147)). Für Universal-Keilzinkenverbindungen in Rahmenecken aus Brettsperrholz, bei denen die Richtungen der Längslagen der zu verbindenden Bauteile einen Winkel von  $2\alpha$  einschließen, wurde die Biegefestigkeit anhand von Versuchen bestimmt. Bei Beanspruchung durch negative (schließende) Momente wurde für Schnittwinkel  $\alpha$  zwischen  $0^\circ$  und  $25^\circ$  der in Gleichung (28) angegebenen Zusammenhang ermittelt.

$$\bar{f}_{m,\alpha,k}^{\text{LFJ}} = (1 - v_{\text{eff}}) \cdot \bar{f}_{m,k}^{\text{BSP}} \quad (28)$$

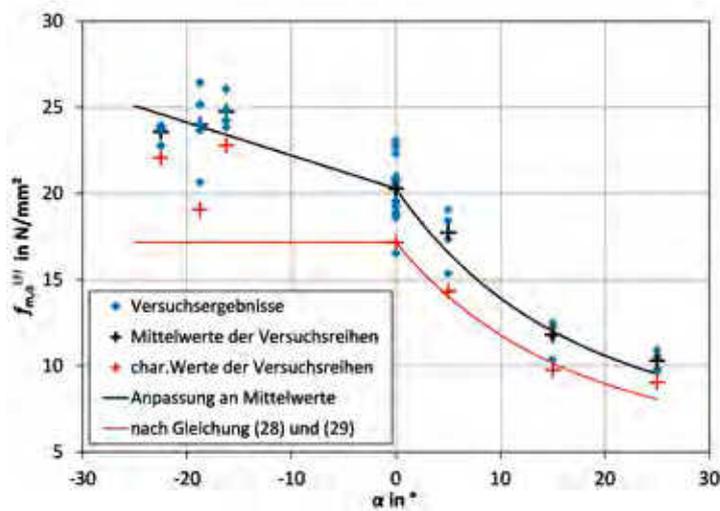


Bild 12: Biegefestigkeit von Universal-Keilzinkenverbindungen in Brettsperrholzträgern mit geknickter Stabachse über dem Schnittwinkel  $\alpha$

Bei Beanspruchung durch positive (öffnende) Momente gilt für Schnittwinkel  $\alpha$  zwischen  $0^\circ$  und  $25^\circ$  der in Gleichung (29) angegebene Zusammenhang.

$$\bar{f}_{m,\alpha,k}^{LFJ} = \frac{(1 - v_{\text{eff}}) \cdot \bar{f}_{m,k}^{\text{BSP}}}{\left( \frac{(1 - v_{\text{eff}}) \cdot \bar{f}_{m,k}^{\text{BSP}}}{2,5 \cdot \bar{f}_{t,90,k}^{\text{BSP}}} \cdot \sin^2 \alpha \right) + \left( \frac{(1 - v_{\text{eff}}) \cdot \bar{f}_{m,k}^{\text{BSP}}}{2,5 \cdot \bar{f}_{v,k}^{\text{BSP}}} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha \right) + \cos^2 \alpha} \quad (29)$$

In beiden Gleichungen werden, wie bei der Ermittlung der Festigkeit an angeschnittenen Rändern (vgl. Abschnitt 4.1), effektive, auf den Querschnitt der Längslagen bezogene Festigkeiten verwendet. Beim Nachweis der Tragfähigkeit von keilgezinkten Rahmenecken aus Brettsperrholz ist die in Abhängigkeit des Schnittwinkels  $\alpha$  nach Gleichung (28) bzw. Gleichung (29) ermittelte Biegefestigkeit mit der maximalen Randspannung in der Universal-Keilzinkenverbindung zu vergleichen. Die Spannungen sind mit den Querschnittswerten der Längslagen in Schnitten rechtwinklig zur Richtung der Längslagen unmittelbar neben den Universal-Keilzinkenverbindungen zu ermitteln. Zur der Berechnung der maximalen Randspannung können die aus Biegemomenten und Normalkräften resultierenden Normalspannungen in den Universal-Keilzinkenverbindungen ohne Berücksichtigung von Spannungsspitzen einzeln berechnet und überlagert werden.

Das Diagramm in Bild 12 zeigt exemplarisch die nach Gleichung (28) und Gleichung (29) berechneten Biegefestigkeiten für Brettsperrholzträger aus Brettern der Festigkeitsklasse C24 mit einem Lagenaufbau aus vier Längs- und zwei Querlagen,  $m = 4$  Lamellen je Längslage sowie einer Gesamtdicke von 150 mm. Zur Berücksichtigung der Querschnittschwächung infolge der Universal-Keilzinkenverbindung wurde ein effektiver Verschwächungsgrad von  $v_{\text{eff}} = 0,3$  angenommen. Zum Vergleich sind die durch Versuche ermittelten Biegefestigkeiten von Universal-Keilzinkenverbindungen in Brettsperrholz dargestellt.

Im Diagramm ist zu erkennen, dass bei Beanspruchung durch negative Momente (negative Winkel  $\alpha$ ) die Biegefestigkeit mit zunehmendem Schnittwinkel nicht ab-, sondern zunimmt. Bei der Bemessung ist daher nur die Querschnittschwächung infolge der Universal-Keilzinkenverbindung zu berücksichtigen. Wegen der starken Abhängigkeit der (Biege-) Druckfestigkeit von der Holzfeuchte wird, im Hinblick auf die Anwendung in Nutzungsklasse 2, der in den Versuchen festgestellte Anstieg der Festigkeit im Bemessungsvorschlag nicht berücksichtigt. Bei Beanspruchung durch positive Momente beträgt die Festigkeitsreduzierung für die betrachteten Winkel bis  $25^\circ$  maximal etwa 50%. Insgesamt ist damit bei Rahmenecken aus Brettsperrholz die Reduzierung der Festigkeit erheblich geringer als bei Rahmenecken aus Brettsschichtholz.

**Formelzeichen und Abkürzungen**

Buchstaben und Abkürzungen

<i>b</i>	Brett-/Lamellenbreite
<i>f</i>	Festigkeit
$\bar{f}$	auf den Nettoquerschnitt der Längslagen bezogenen Festigkeit
<i>h</i>	Höhe
<i>k</i>	Faktor, Beiwert
<i>ℓ</i>	Stützweite, Länge
<i>n</i>	Anzahl der Brettlagen innerhalb der Elementdicke
<i>m</i>	Anzahl der Lamellen innerhalb von Längslagen
<i>t</i>	Dicke, Lagendicke
<i>I</i>	Flächenträgheitsmoment
<i>LFJ</i>	Universal-Keilzinkenverbindung (Large Finger Joint)
<i>M</i>	Moment
<i>N</i>	Normalkraft
<i>V</i>	Querkraft
$\alpha$	Schnittwinkel, Winkel zur Faserrichtung
<i>v</i>	Verschwächungsgrad einer Universal-Keilzinkenverbindung
$\sigma$	Normalspannung
$\tau$	Schubspannung

**Indizes**

BSP	Brettsperrholz
c	Druck
CA	Kreuzungsfläche
cross	quer, Querlage
d	Bemessungswert
eff	wirksam
gross	Bruttowert
h	Durchbruch (Hole)
LFJ	Universal-Keilzinken Verbindung
k	charakteristischer Wert
lam	Lamelle
long	longitudinal, Längslage
m	Biegung
n	Ausklinkung (Notch)
net	Nettowert
R	Rollschub
t	Zug
tor	Torsion
v	Schub
$\alpha$	Schnittwinkel, Winkel zur Faserrichtung
0	in Faserrichtung der Längslagen
90	rechtwinklig zur Faserrichtung der Längslagen

### Literatur

- [1] DIN EN 1995-1-1:2010-12 – Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau
- [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
- [3] Europäisch Technische Zulassung ETA-11/0189 vom 10. Juni 2011. Deutsches Institut für Bautechnik
- [4] Europäisch Technische Zulassung ETA-11/0210 vom 20. September 2011. Deutsches Institut für Bautechnik
- [5] Jöbstl, R.-A.; Bogensperger, T.; Schickhofer, G.: *In-Plane Shear Strength of Cross Laminated Timber*. In: Proceedings CIB-W18, Meeting 41, St. Andrews, Canada 2008.
- [6] Flaig, M: *Biegeträger aus Brettsperrholz bei Beanspruchung in Plattenebene*. Dissertation, Karlsruher Berichte zum Ingenieurholzbau, Bd. 26, KIT Scientific Publishing, 2013.
- [7] Flaig, M.; Blaß, H.J.: *Shear Strength and Shear Stiffness of CLT beams Loaded in Plane*. In: Proceedings. CIB-W18 Meeting 46, Vancouver, Canada, 2013.
- [8] Flaig, M.; Meyer, N.: *A new test configuration to determine the slip modulus of connections between crosswise bonded boards*. In: Experimental Research with Timber, Conference 21-23 May 2014, Prague
- [9] Flaig, M: *Design of CLT Beams with Rectangular Holes or Notches*. In: Proceedings of the International Network on Timber Engineering Research (INTER), Meeting 47, Bath, United Kingdom, 2014.
- [10] Flaig, M.; Blaß, H.J.: *Bending Strength of Cross Laminated Timber Beams Loaded in Plane*. In: Proceedings. World Conference on Timber Engineering (WCTE), Quebec, Canada, 2014.
- [11] Blaß, H. J.; Flaig, M.: *Keilgezinkte Rahmenecken und Satteldachträger aus Brettsperrholz*. Karlsruher Berichte zum Ingenieurholzbau, Bd. 30, KIT Scientific Publishing, 2015



## Dipl.-Ing. Markus Derix

W. u. J. Derix GmbH & Co.  
Dam 63  
41372 Niederkrüchten  
m.derix@derix.de

- seit 1998    Gesellschafter der Poppensieker & Derix GmbH & Co. KG
- seit 1998    Gesellschafter der W. u. J. Derix GmbH & Co.
- seit 1997    Geschäftsführer der Firmen W. u. J. Derix GmbH & Co. in Niederkrüchten und der Poppensieker & Derix GmbH & Co. KG in Westerkappeln
- 1988 - 1993    Studiengang Bauingenieurwesen an der Bergischen Universität Gesamthochschule Wuppertal, gemäß § 1 Dipl.-VO-WissH mit dem akademischen Grad Diplom-Ingenieur; während des Studiums hilfswissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl von Herrn Prof. Dr.-Ing. Heinz Brüninghoff
- 1980 - 1988    Maximilian-Kolbe-Gymnasium in Wegberg  
Abschluss: Abitur

# Erweiterungsbauten für den Flughafen Oslo-Gardermoen

Dipl.-Ing. Markus Derix, W.u.J. Derix GmbH & Co., Poppensieker & Derix GmbH & Co. KG,  
Niederkrüchten

## 1 Flughafen Oslo-Gardermoen

Der Flughafen Oslo ist ursprünglich ein militärisch genutzter Flughafen. Am 29.08.1998 wurde er für die zivile Nutzung umfänglich ausgebaut. Die damalige Planung war für jährlich 17 Mio. Passagiere ausgelegt. Im Jahr 2013 wurde der Flughafen Oslo-Gardermoen offiziell in Oslo-Flughafen (OSLO-LUFTHAVN) umbenannt. Es wurden 2013 annähernd 23 Mio. Passagiere abgefertigt und die Kapazitätsgrenze der vorhandenen Infrastruktur erreicht. Schon 2007 wurde auf Grund der stetig wachsenden Passagierzahlen entschieden, den Flughafen massiv auszubauen.

Die Planungsphase begann in 2007 und in 2010 starteten die ersten kleineren, vorbereitenden Baumaßnahmen. Im Frühjahr 2011 starteten die Hauptbauaktivitäten unter Beibehaltung des laufenden Betriebes des vorhandenen Flughafens. Die komplette Inbetriebnahme und Eröffnung ist für den 27.04.2017 geplant.

Der Flughafen in Oslo wird dann mit einer Kapazität von 28 Mio. Passagieren größter Airport Skandinaviens sein. Zum Vergleich: Der größte Flughafen der Welt ist in Atlanta und fertigt jährlich 95 Mio. Passagiere ab, München 38 Mio., Kopenhagen 21,5 Mio. und Stockholm 17 Mio. Passagiere. Der Anspruch des Bauherrn an die Planer war es, dass der Flughafen auch zukünftig einfach, ordentlich, effizient und architektonisch anspruchsvoll ist. Die Erweiterung stellt eine stringente Fortführung der norwegischen Bauphilosophie dar, mit umfangreichem Einsatz von natürlichen Materialien und einfachen und schlichten Lösungen.

Darüber hinaus hat sich Oslo-Airport auch zum Ziel gesetzt, die Umwelt zu schützen und den Flughafen so umweltfreundlich zu bauen wie dies für einen Flughafen überhaupt möglich ist. Es wird ein hoher Anteil von recycelten Materialien verwendet und selbst der Beton wird – da wo möglich – mit recycelten Materialien vermischt. Der Flughafen befindet sich in Gardermoen in Akershus, 50 km nördlich der norwegischen Hauptstadt Oslo. Er ist über die GARDERMOBANEN mit Oslo verbunden, auf der mit dem FLYTOGET die einzigen Hochgeschwindigkeitszüge Norwegens verkehren und den Flughafen in 19 Minuten mit der Stadt verbinden. Auf Grund des hohen ökologischen Anspruchs des Betreibers hat der öffentliche Personennahverkehr zum Flughafen einen großen Fokus. Im Jahre 2013 erfolgte die An- und Abreise zum Flughafen zu 65% mit öffentlichen Verkehrsmitteln, dies ist der höchste Anteil in Europa.

Der ökologische Anspruch umfasst jedoch neben den baulichen Aspekten, auch die Nutzung. So wird z.B. die weltweit erste Anlage für die Kühlung des Gebäudes mit

**Bild 1 (links): Terminal 1 und Terminal 2 („Sentralbygning Vest“)**  
© Oslo Airport

**Bild 2 (rechts): „PIR NORD“ mit Holzeindeckung**  
© Oslo Airport





**Bild 3 (links):**  
**Gesamtprojekt**  
Quelle: Nordic Office  
of Architecture .  
© Oslo Airport

**Bild 4 (rechts):**  
**AVINOR-Gruppe**  
© Avinor Oslo Airport

Schnee installiert. Hierzu wird der an den Start- und Landebahnen entsorgte Schnee in einem 30.000 cbm umfassenden Bassin gelagert. Der Schnee wird mit einer Hackschnitzelabdeckung von oben gegen die Sonneneinstrahlung geschützt. Über Wärmetauscher wird dann die Energie für die Kühlung der Gebäude gewonnen.

## 2 Gesamtprojekt und Projektbeteiligte

### 2.1 Gesamtprojekt

Das ca. 1,7 Milliarden schwere Investitionsvolumen umfasst den Neubau bzw. die Erweiterung des Hauptterminals („Sentralbygning Vest“), den Neubau eines dritten Flugsteigs („Pir Nord“) mit 11 neuen Luftbrücken, einen neuen Fernverkehrsbahnhof sowie die umfangreiche Modernisierung und Erweiterung der Infrastruktur, wie z. B. für Runways und die Zufahrtstraßen.

Die Tragwerke der Hauptgebäude, Ankunft- und Abfertigungsterminal, das Pir und der Fernverkehrsbahnhof werden mit einem Dachtragwerk aus Brettschichtholz realisiert. Zudem soll der 300 m lange und 63.000 m<sup>2</sup> überdachte Pir mit einer Dachhaut aus Holz abgedeckt werden.

### 2.2 Projektbeteiligte

Die AVINOR-Gruppe betreibt in Norwegen 46 Flughäfen und ist auch für die nationale Flugsicherung verantwortlich. OSLO-LUFTHAVN AS (OSL) gehört zur AVINOR-Gruppe und ist offizieller Auftraggeber bzw. Bauherr.

Für das Projektmanagement ist das norwegische Unternehmen ADVANSIA verantwortlich. Für die Architektur und Ausführungsplanung wurde ein Projektteam TEAM\_T beauftragt, an dem die Architekturbüros NARDUD-STOKKE-WIG, COWI, NORCONSULT, AAS-JACOBSEN, PER RASMUSSEN und einige andere beteiligt sind.

Die Vergabe erfolgte in Teillosen an Generalunternehmer. Die Teillose umfassen den Hochbau, den Tiefbau und teilweise auch nur das Dachtragwerk, einschließlich der Dachdeckung. Den Zuschlag für die Erweiterung des Abfertigungsterminals „Sentralbygning Vest“ und des Flugsteiges „PIR NORD“ sicherte sich die Firma KRUSE SMITH. Als Familienunternehmen beschäftigt Kruse Smith 960 Mitarbeiter, ist Norwegens sechstgrößtes Bauunternehmen und hat einen Jahresumsatz von ca. 500 Mio. EURO.

KRUSE SMITH arbeitet seit Jahren erfolgreich mit der norwegischen Firma AANESLAND LIMTRE zusammen, die in Norwegen Brettschichtholz vertreibt.

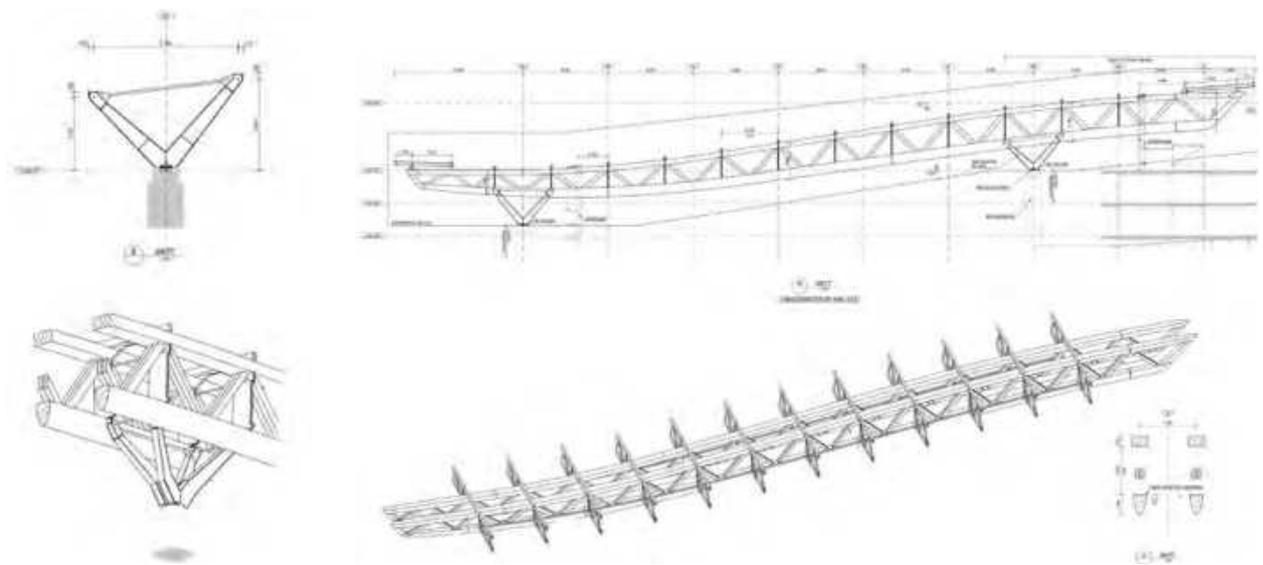
Diese erhielt den Auftrag für die Herstellung und Lieferung des Brettschichtholzes einschließlich der Stahlverbindungsmitel und vergab ihn an die W. u. J. Derox GmbH & Co. Die Montage lag in der Verantwortung von KRUSE SMITH.

Mit der Ausführungs- und Detailstatik beauftragte KRUSE SMITH die norwegische Ingenieurgruppe SWECO.

Das Auftragspaket an Derox umfasste neben dem Brettschichtholz auch sämtliche Stahlverbindungsmitel und den Transport zur Baustelle. Die Stahlteile und Verbindungsmitel wurden vom langjährigen Partner BRÜNINGHOFF PROJEKTBAU geliefert und der Transport erfolgte durch den Logistikpartner ERNST LAUMEYER GMBH, der auf überlange und überbreite Transporte spezialisiert ist.

Die Arbeitsvorbereitung bzw. Aufbereitung der bauseitig zur Verfügung gestellten 3D-Dateien erfolgte durch das CAD-Büro Roland Wank.

Die erste Ausschreibung umfasste die Tragkonstruktion für das Abfertigungsterminal „SENTRALBYGNING VEST“. Der Auftrag für den Holzbau wurde 2012 erteilt. Nachdem ca.



zwei Drittel dieses Auftrags erfolgreich abgewickelt wurde, entschied sich der Bauherr bei der Vergabe des Dachtragwerkes des „PIR NORD“ für das gleiche Bauteam.

**Bild 5 (links): Auflagerausbildung**  
© Avinor Oslo Airport

### 3 Abfertigungsterminal „Sentralbygning Vest“

Die Grundfläche des Terminals wird durch ein Rechteck mit den Abmessungen 91,00 m × 126,00 m umschrieben. Die Haupttragkonstruktion gliedert sich in 7 Hauptachsen mit jeweils 2 Stahlbetonrundstützen, auf denen ab einer Höhe von ca. 12,80 m bzw. 18,80 m über Oberkante Gelände zentrisch jeweils eine Stahlkrone zur Aufnahme der Zwillingsfachwerkträger in einem Abstand von 3,00 m angeordnet ist. Die Gesamtabwicklung der Fachwerkträger über die Gebäudebreite beträgt ca. 91,00 m. Das Achsmaß des Stützenabstandes beträgt 54 m, sodass die Fachwerkträger auf der Flugfeldseite ca. 23,00 m und auf der Landseite ca. 13,65 m auskragen. Die Vorfertigung dieser Fachwerkträger erfolgte in drei Segmenten. Insgesamt mussten somit  $7 \times 2 \times 3 = 42$  Stk. Fachwerkträger hergestellt werden.

**Bild 6 (rechts): System des Hautfachwerkträgers**  
© Avinor Oslo Airport

Die Abmessungen des Obergurtes betragen  $b/h$  89/53<sup>5</sup> cm und die des Untergurtes 73/105 cm. Sowohl Ober- als auch Untergurt wurden in der Festigkeitsklasse GL 32h gefertigt. Die Diagonalen waren entsprechend den statischen Anforderung im Querschnitt 24/52 bis 56/52 cm abgestuft. Hier konnte auch GL24 verwendet werden.

Die Fachwerkträger wurden zwischen Ober- und Untergurt beplankt, sodass im Wesentlichen nur der Untergurt später sichtbar ist. Aufgrund der ovalen Querschnittsaus- bildung und der Verjüngung der Querschnittsbreite der Ober- und Untergurte im Bereich der Kragarmenden ergaben sich jedoch extreme Anforderungen an die Oberflächenquali- tät der CNC-Bearbeitung. Über die Optimierung der Fräswerkzeuge konnte eine Oberflä- che erreicht werden, die ohne weitere Nachbearbeitung einer gehobelten BSH-Qualität entspricht.

Zwischen dieser Hauptkonstruktion sind im Achsabstand von 6,00 m leichte Sekundärfachwerkträger mit einer Spannweite von ca. 15 m und einer Systemhöhe



**Bild 7: Ansicht Sekundär- Fachwerkträger**  
© W. u. J. Derix GmbH & Co.  
Poppensieker & Derix  
GmbH & Co. KG



**Bild 8: PIR NORD**  
© Oslo Airport

von ca. 2,50 m angeordnet. Aufgrund architektonischer Vorgaben sind sämtliche zwölf Fachwerkträger innerhalb eines Achsfeldes unterschiedlich. Insgesamt wurden 96 Träger hiervon hergestellt.

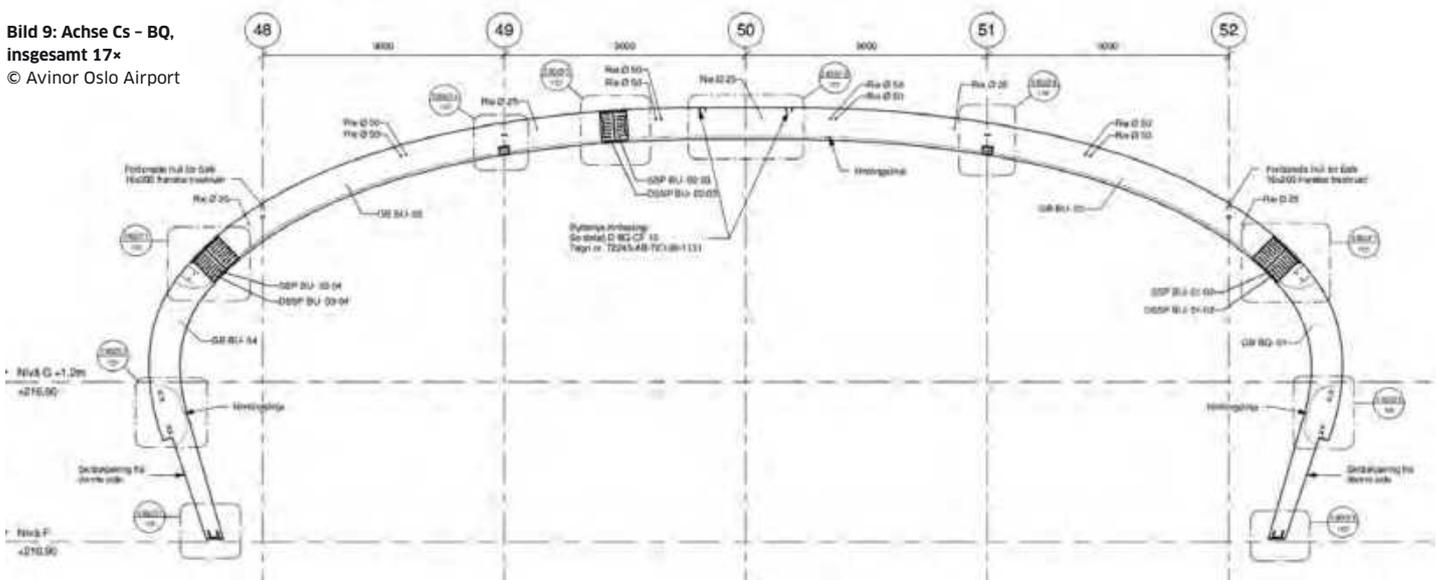
Für sämtliche Verbindungen wurden mehrschnittige, konventionelle Schlitzblechverbindungen mit Stabdübeln im  $\varnothing$  12 und 16 mm gewählt.

#### 4 Flugsteig „PIR NORD“

Der „PIR NORD“ setzt sich architektonisch von den anderen Gebäuden stark ab um bewusst eine eigene Identität zu erhalten. Er schließt nördlich an das schon existierende Terminal 1 mit einer Breite von ca. 120 m an. In Richtung des Flugfelds verjüngt er sich sukzessive und nach ca. 160 m geht er in eine parallele Röhre mit einer Breite von ca. 46,00 m und einer Höhe von ca. 16,00 m über. Die Tragkonstruktion besteht insgesamt aus 28 Achsen. Die ersten elf Achsen sind jeweils stark unterschiedlich ausgebildet, die letzten 17 Achsen sind in der konstruktiven Ausführung gleich.

Pro Hauptachse sind Zwillingsträger mit Einzelquerschnitten von 28/120 bis 28/250 cm im Abstand von 32 cm angeordnet. Die längsten Einzelbauteile in Achse BA am Übergang zum Hauptterminal haben eine Länge von 47 m. Die Träger sind mit konventionellen Schlitzblechen  $t=12$  mm zum Teil biegesteif gestoßen. Zur Aufnahme der Quell- und Schwindverformungen wurden in den Stahlblechen Langlöcher vorgesehen. Die 28 cm starken BSH-Bauteile wurden mit einem verschachtelten Querschnittsaufbau realisiert. Hierzu wurden  $18^6$  cm und  $9^3$  cm breite Lamellen nebeneinander angeordnet. In der benachbarten Lamelle erfolgte die Anordnung der Lamellen in umgekehrter Reihenfolge. Für die äußere, sichtbare Zuglamelle wurde eine Stäbchenlamelle („Superlamelle“) verwendet. Diese wurde in einem separaten Arbeitsgang vorgefertigt, für den längsten Träger betrug die Länge 47 m!

**Bild 9: Achse Cs - BQ,**  
insgesamt 17\*  
© Avinor Oslo Airport





**Bild 10: Ansicht vom Flugfeld**  
© Oslo Airport

## 5 Herausforderungen

### 5.1 Festigkeitsklassen

Der Hauptanteil der insgesamt 2.000 cbm Brettschichtholz für den Bauabschnitt „SENTRALBYGNING VEST“ war in der Festigkeitsklasse GL32h gemäß EN 14080:2005 ausgeschrieben. Hierzu benötigt man z.B. die Sortierklasse LS 22 nach EN 14081.

Problematisch hierbei ist, dass bei der maschinellen Sortierung der Anteil dieser Festigkeitsklasse i.d.R. unterhalb von 50% liegt. Bei einem Gesamtbedarf von ca. 3.000 cbm Rohmaterial bedeutet dies, dass eine enorme Menge Schnittholz mit einer geringeren Festigkeitsklasse nicht auftragsbezogen verarbeitet werden kann. Dieses Problem konnte jedoch über mehrere Maßnahmen reduziert werden:

- > Mit dem Ingenieurbüro SWECO wurde im Vorfeld eruiert, für welche Trägerbereiche eventuell eine geringere Festigkeitsklasse ausreichend ist.
- > Das Ausgangsmaterial wurde festigkeitssortiert von einem schwedischen Sägewerk gekauft. Hier lag die Ausbeute der LS 22 bei ca. 60%. Die 40% der geringeren Klasse LS 15 wurden an einen befreundeten Großproduzenten für Parallelware verkauft. Da für die Parallelware die Festigkeitsklasse GL 24 Standard ist, konnte hier die LS 15 ohne Einschränkung und vor allen Dingen auf Grund der großen Kapazitäten zeitnah verarbeitet werden.
- > Die Einteilung der Bauteilbreiten wurde so gewählt, dass ein Teil der minderwertigen Lamellen auch für die Diagonalen in der Festigkeitsklasse GL24 verarbeitet werden konnten.



**Bild 11: Schlitzblechfräsungen in der Klebefuge**  
© W. u. J. Derix GmbH & Co.  
Poppensieker & Derix  
GmbH & Co. KG



**Bild 12: Blockverklebung der Einzelquerschnitte**  
© W. u. J. Derix GmbH & Co. Poppensieker & Derix GmbH & Co. KG

### 5.2 Passgenauigkeit

Die Anforderungen an die Passgenauigkeit waren außerordentlich hoch und auf Grund der enormen Breite von 89 bzw. 73 cm der Ober- und Untergurte und mehrfachen Schlitzbedingungen außerordentlich komplex. Im Vorfeld wurden daher mit dem Auftraggeber und dem Ingenieurbüro SWECO folgende Lösungsansätze gewählt:

- > Alle Bearbeitungen sollten mit CNC-Maschinen erfolgen.
- > Damit dies möglich wurde und nicht bei der Detaillierung der Knotenpunkte zu massiven Einschränkungen führte, wurden die Schlitzlöcher in den Bereich der Blockverleimungsfuge angeordnet.
- > Die CNC-Bearbeitung erfolgte zunächst an den Rohlingen vor der Blockverklebung. Dies garantierte ein sehr geringes Verlaufen der Einzelbohrungen und eine Bearbeitung der Schlitzlöcher durch Oberflächenfräsungen.
- > Die Herstellung und Bearbeitung der Schlitzbleche wurde mit beauftragt, um die Verantwortlichkeit der Passgenauigkeit in einer Hand zu belassen. Gefertigt wurden sämtliche Stahlteile von der Firma BRÜNINGHOFF PROJEKTBAU, die wiederum mit entsprechenden CNC-Großanlagen die Stahlteile hochpräzise herstellen kann.
- > Die Ausführungszeichnungen wurden von SWECO mit einem 3D-CAD erstellt, das die direkte und komplette Übernahme der komplexen Konturen in die CAM-Software ermöglichte.

**Bild 13 (links): Rohling vor Konturfräsung**  
© W. u. J. Derix GmbH & Co. Poppensieker & Derix GmbH & Co. KG

### 5.3 Blockverklebung

Der überwiegende Teil der Bauteile musste zu großen Bauteilen blockverleimt werden. Um dies in der vorgegebenen Zeit zu realisieren und auch um ein entsprechend hohes Qualitätsniveau zu erzielen, wurde eigens für dieses Projekt eine Blockpresse entwickelt.

**Bild 14 (rechts): Nach der Bearbeitung**  
© W. u. J. Derix GmbH & Co. Poppensieker & Derix GmbH & Co. KG





#### 5.4 Kapazitätsbedarf CNC-Bearbeitung

Bei den ersten Berechnungen ergab sich ein Kapazitätsbedarf von ca. 2.500 Std. reine CNC-Bearbeitung. Nicht nur die flügelartige Konturbearbeitung der Untergurte war aufwendig, sondern auch die Einzelbearbeitung mit den Bohrungen und Oberflächenfräsungen. Auch der Abbund der Diagonalen und der kleineren Fachwerkträger war extrem anspruchsvoll und zeitintensiv.

Insgesamt wurden ca. 230 m<sup>3</sup> BSH für die Konturfräsung komplett zerspannt. Diese Anforderung konnte nur bewerkstelligt werden, da in der Unternehmensgruppe insgesamt sechs CNC-Bearbeitungsanlagen installiert sind, hiervon drei Groß-Abbundportale.

#### 5.5 Transport

Die bis zu 5,00 m breiten und 47,00 m langen Teile stellten außerordentliche Anforderungen an die Logistik.

Trotz widriger Witterungsumstände und Schneekettenpflicht in Norwegen erfolgten alle Lieferungen auf den Tag genau.

#### 5.6 Norwegische Mentalität und Wettbewerb

Holz und Holzbau sind – nach weit verbreiteter Meinung – eine skandinavische Domäne. Es galt daher, Generalunternehmer, das Ingenieurbüro und auch den Bauherrn davon zu überzeugen, dass ein deutsches Unternehmen ebenbürtig ist. Alle Beteiligten wurden daher im frühen Stadium eingeladen, um sich ein Bild von der Leistungsfähigkeit des Unternehmens zu machen. Die Repräsentanten von OSL waren bei ihrem Besuch auch auf Grund eines 1:1 Mock-up's sehr schnell davon überzeugt, dass durch den CNC-Abbund ein extrem hohes Qualitätsniveau erzielt werden kann.

**Bild 15 (links): CNC mit 2-Spindel-Betrieb und 6,00 x 78,00 m Bearbeitungsabmessungen**

© W. u. J. Derix GmbH & Co. Poppensieker & Derix GmbH & Co. KG

**Bild 16 (rechts): Zusammengebauter Fachwerkträger**

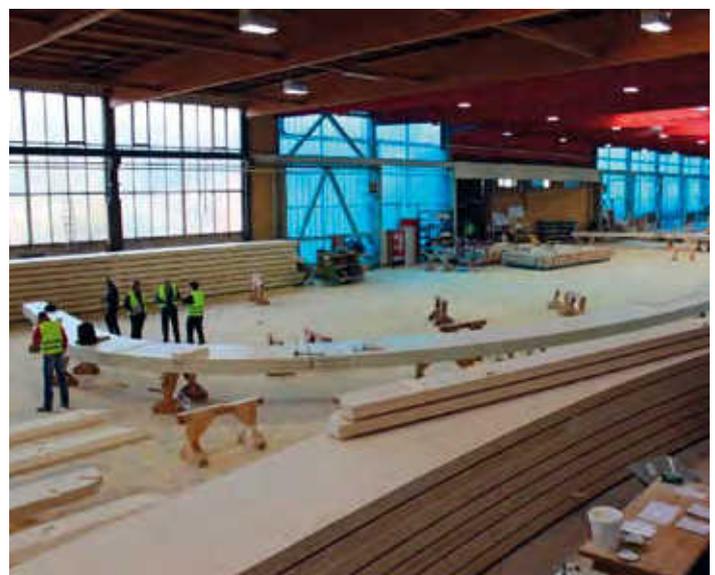
© W. u. J. Derix GmbH & Co. Poppensieker & Derix GmbH & Co. KG

**Bild 17 (links): Transport mit der Fähre**

© W. u. J. Derix GmbH & Co. Poppensieker & Derix GmbH & Co. KG

**Bild 18 (rechts): Abnahme einer komplett vormontierten Achse im Werk**

© W. u. J. Derix GmbH & Co. Poppensieker & Derix GmbH & Co. KG





**Bild 19: Montage**  
© W. u. J. Dericx GmbH & Co.  
Poppensieker & Dericx  
GmbH & Co. KG

### 5.7 Qualitätsanforderung

Um ein möglichst hohes Qualitätsniveau zu erzielen, wurde im Vorfeld ein umfangreiches Maßnahmenpaket vereinbart:

- > Erarbeitung einer Risikoanalyse mit Ableitung entsprechender Gegenmaßnahmen
- > Erstellung von „Method-Statements“ für alle wesentlichen Bearbeitungsschritte.
- > Abnahme der ersten Bauteile einer Serie durch Auftraggeber, Ingenieurbüro und Bauherrnvertreter im Werk
- > Zusätzliche Werkskontrollen für den gesamten Produktionsprozess durch ein etabliertes und nach EN 14080 zertifiziertes Institut
- > Detaillierte Abnahmeformulare für die eigene Endabnahme im Werk mit ausführlicher Fotodokumentation und der Warenannahme auf der Baustelle durch den Auftraggeber
- > Hirnholzversiegelung aller Endflächen
- > Doppelte Verpackung der Bauteile für die Zwischenlagerung auf der Baustelle
- > Einbau eines Monitoring-Systems durch die TU München zur Dokumentation des Klimas und der Holzfeuchtigkeitsentwicklung über die gesamte Querschnittsbreite an mehreren Messstellen und zur Steuerung des Klimas während der Inbetriebnahme des Gebäudes





## Dipl.-Ing. (FH) Frank Miebach

Ingenieurbüro Miebach  
Haus Sülz 7  
53797 Lohmar

- seit 2014 Mitglied DIN Normenausschuss Bauwesen (NA BAU),  
DIN EN 1995-2 Holzbrücken
- seit 2009 Vorstandsmitglied der Qualitätsgemeinschaft Holzbrückenbau e.V. (QHB),  
Bonn (DE)
- seit 2009 Mitinhaber von Schaffitzel + Miebach, Faszination Brücken GmbH, Lohmar
  - 2005 Gründung Ingenieurbüro Miebach in Lohmar bei Köln (DE)
- 2000 - 2005 Projektleitung Holzbrückenbau, Firma Schaffitzel Holzindustrie GmbH,  
Schwäbisch Hall (DE)
- 2000 Diplomzeugnis Dipl.-Ing. (FH) Holzbaukonstruktion, Rosenheim  
Diplomarbeitsthema: statische Bemessung von Holzbrücken auf Basis von  
Visual Basic
- 1998 Auslandspraktikum Ingenieurbüro Mäder in Biel/Bienne, Schweiz
- 1996 - 2000 Ingenieurstudium Holzbau/Ausbau, FH Rosenheim (DE)
- 1973 geboren in Neunkirchen/Seelscheid (DE)

# Holzbrücken

## Neue Hybridbauweisen mit Potential

Dipl.-Ing. (FH) Frank Miebach, Ingenieurbüro Miebach, Lohmar

### Kurzfassung

Holzbetonverbundbrücken gelten als innovative, moderne Systemlösung mit hohem ökologischem Potenzial. Mit der noch jungen Kombination beider Materialien lassen sich neue Akzente im Brückenbau setzen. Besonders großes Potential bietet diese Bauweise bei der Konstruktion von Schwerlastbrücken.

### 1 Einleitung

Der größte Anteil von Brückenbauwerken wird generell für den Schwerlastverkehr konzipiert. Mit einem Prozentsatz von über 90% bildet diese Baugattung die deutliche Mehrheit im Brückenbau in Deutschland [1]. Hierbei ist beachtenswert, dass derartige Brückenbauwerke zu 70-85% aus Beton bzw. Betonverbund errichtet werden. Der übrige Anteil ist vorwiegend aus Stahl. Der Anteil von Holzbrücken hingegen beträgt hier lediglich ca. 0,04%!

Durch die Entwicklung der Hybridbauweise im Brückenbau werden zunehmend Betonkonstruktionen mit anderen Werkstoffen – bisher vornehmlich Stahl – kombiniert. Hybridbauwerke werden beispielsweise bei der Deutsche Einheit Fernstraßenplanungs- und -bau GmbH (DEGES), die zwischenzeitlich die Bauplanung von 12 Bundesländern in Deutschland übernommen hat, inzwischen bei über 50% aller Neubauten eingesetzt.

Nachdem sich seit den letzten Jahren auch im Holz-Beton-Verbund deutliche Entwicklungen abzeichnen, wird diese Technologie auch bei Holzbrückenbauwerken vermehrt eingesetzt.

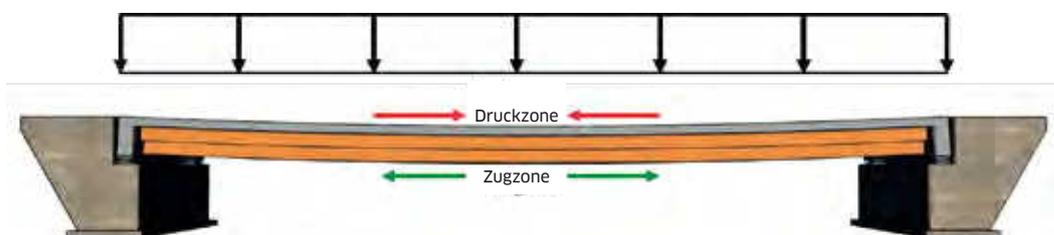
Das wirtschaftliche aber auch ästhetische Potential der Holzbetonverbundbrücken kann an mehreren aktuellen Brückenprojekten – unter anderem bei Lohmar / Köln – verdeutlicht werden.

### 2 Holz-Beton-Verbund

#### 2.1 Hybride Bauweise

Unter Hybrid versteht man Techniken, bei denen die Vorzüge zweier Technologien oder Materialien optimal miteinander kombiniert werden. Holzbetonverbundbrücken sind solche Hybride. Sie kombinieren die Vorzüge des Holzbaus mit den aus dem Betonverbundbau resultierenden Vorteilen. Die bewehrte Betonplatte wird dabei in der Regel in der Druckzone angeordnet und dient als oben liegende Fahrbahn. Das Holz wird dagegen etwa als Hauptträger in der Zugzone eingesetzt. Dadurch wird vom Holz ein beachtlicher Teil der auftretenden Zugspannungen abgetragen, womit Bewehrung und Dimension der Betonplatte enorm reduziert werden können. Diese Mischung aus Holz und Beton hat das Potenzial, den Brückenbau in Europa nachhaltig zu verändern. Durch den Naturwerkstoff Holz fügen sich Brücken sehr harmonisch in Landschaften ein. Die Kombination mit Beton verleiht ihnen zudem eine besonders große Belastbarkeit und Langlebigkeit.

Bild 1: Wirkungsweise Holz-Beton-Verbund





**Bild 2: Birkbergbrücke – erste HBV Brücke in Deutschland (Entwurf Büro Setzpfand)**

## 2.2 Entwicklung

Erste Entwicklungen in den 1980er Jahren führten insbesondere in der Schweiz zum Bau von Holzbetonverbundbrücken. Hierbei wurden meist einzelne Brettschichtholzträger mit unterschiedlichen Schubverbindern ausgestattet und in der untenliegenden Zugzone angeordnet. Eine oberseitig in Ortbetonbauweise aufgebrachte Platte bildete im Verbund mit den Schubverbindern eine druckstabile Fahrbahn, die gleichzeitig eine Überdachung der Holzträger ermöglicht.

Seit 2008 wird diese Bauweise auch in Deutschland eingesetzt, jedoch vornehmlich nicht mit Einzelträgern, sondern mit blockverleimten Großträgern. Diese flächigeren Elemente erlauben eine reduzierte Trägerzahl und eine kompaktere Struktur mit niedrigerer Bauhöhe.

## 2.3 Konstruktionsweise

Unterschiedliche Arten der Holz-Beton-Verbundbauweise unterscheiden sich in erster Linie durch die Konstruktion des Schubverbundes. Seit dem Aufkommen dieser Bauweise wurden unterschiedliche Verbindungsmittel und Bearbeitungen entwickelt, um einen möglichen effizienten Verbund von Holz und Beton zu generieren. Entsprechend der Steifigkeit der Verbindungsmittel ergibt sich die Nachgiebigkeit des Verbundes. Je steifer der Verbund ausgeführt wird, umso klarer können Druck- und Zugspannungen auf die Baustoffe verteilt werden.

Im Holzbrückenbau gibt es derzeit drei Konstruktionsweisen, die im Großteil der bestehenden Bauwerke verwendet wurden:

- > Aufgeschraubte Kopfbolzen
- > Kerven mit eingeklebten Bewehrungsstählen
- > Eingeklebte Streckbleche

Weitere Möglichkeiten, wie Schrauben, die unter einem Winkel eingeschraubt werden, sind im Holzbrückenbau eher unüblich. Dies ist in erster Linie auf den hohen Montageaufwand zurückzuführen.

### 2.3.1 Kopfbolzen

Bei dieser Schubverbindung werden Kopfbolzen auf Stahlplatten geschweißt, die wiederum in den Holzträger eingelassen und aufgeschraubt werden, und später mit der Betonplatte vergossen werden. Diese Bauweise mit aufgeschweißten Kopfbolzen wird häufig im Stahl-Beton-Verbundbau verwendet. Die Nachgiebigkeit dieser Verbindung wird hauptsächlich durch die mechanischen Verbindungsmittel im Holz bestimmt.

### 2.3.2 Kerven mit eingeklebten Bewehrungsstahl

Kerven im Holzbauteil dienen zur formschlüssigen Übertragung von Schub zwischen Holz und Beton. Die bei dieser Verbindung entstehenden Momente / Zugkräfte werden durch eingeklebte Bügel aus Bewehrungsstahl kurzgeschlossen.

### 2.3.3 Eingeklebte Streckbleche

Eine besonders effiziente und steife Verbindung stellen die sogenannten HBV-Schubverbinder der Firma TiComTec (Haibach) dar. Diese werden in parallel zum Holzträger verlaufende Schlitze eingeklebt und sind in der Lage einen besonders steifen Verbund herzustellen.

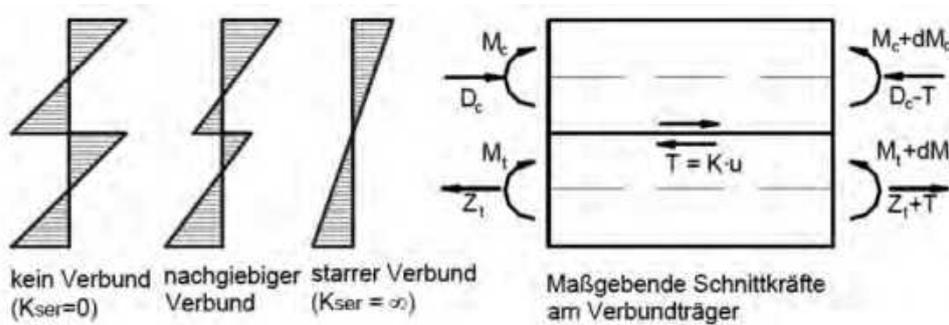


Bild 3: Tragverhalten von Holz-Beton-Verbundkonstruktionen [2]

**2.4 Planung und Wirtschaftlichkeit**

Planern und Bauherren bringt die Holzbetonverbundbauweise gleich mehrere Vorteile. So sind Verbundbrücken im Vergleich zu reinen Betonbrücken deutlich leichter und damit effizienter in ihrer Gesamttragfähigkeit. Zudem bietet die Betonplatte dem darunter liegenden Holz einen idealen konstruktiven Schutz, wodurch sich die Lebensdauer solcher Brückenbauwerke deutlich erhöht. Nach den aktuellen Planungsrichtlinien des Bundesministeriums für Verkehr besitzen Geh-, Radweg- und Straßenverkehrsbrücken mit einem geschützten hölzernen Haupttragwerk eine theoretische Nutzungsdauer von 60 Jahren sowie einen Prozentsatz der jährlichen Unterhaltungskosten von 2,0 Prozent.

Gegenüber konventionellen Holzbrücken bieten Brücken in Holz-Beton-Verbundbauweise den Vorteil, dass sich der Überbau an gängigen Regeln und Details orientiert. Belag, Kappen und Geländer können analog zu Beton- oder Stahl-Beton-Verbundbrücken ausgeführt werden. Dies bedeutet vor allem für zuständige Ämter Vereinfachungen, da Kontrollmechanismen und Erhaltungs- und Sanierungstechniken im Bereich Betonbau bereits vorhanden sind. Durch die geschützte Lage des Holztragwerks ist zu erwarten, dass nur äußerst geringe Kosten für die Unterhaltung für die Holzbauteile aufzuwenden ist. Des Weiteren ermöglicht die Betonfahrbahn eine günstigere Lastverteilung bei hohen Punkt- und Radlasten.

Gute Marktchancen bestätigen darüber hinaus verschiedene Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen. Aufgrund der extremen Preissteigerungen auf dem Stahlmarkt ist die Substitution von Stahl und Beton durch Holz ein wesentlicher ökonomischer Vorteil. Und als nachwachsender Rohstoff erfüllt der Rohstoff von vornherein alle Ansprüche an nachhaltiges Bauen.



Bild 4: Schubverbinder: Kerven, Kopfbolzen und Streckbleche  
© Fa. Schaffitzel



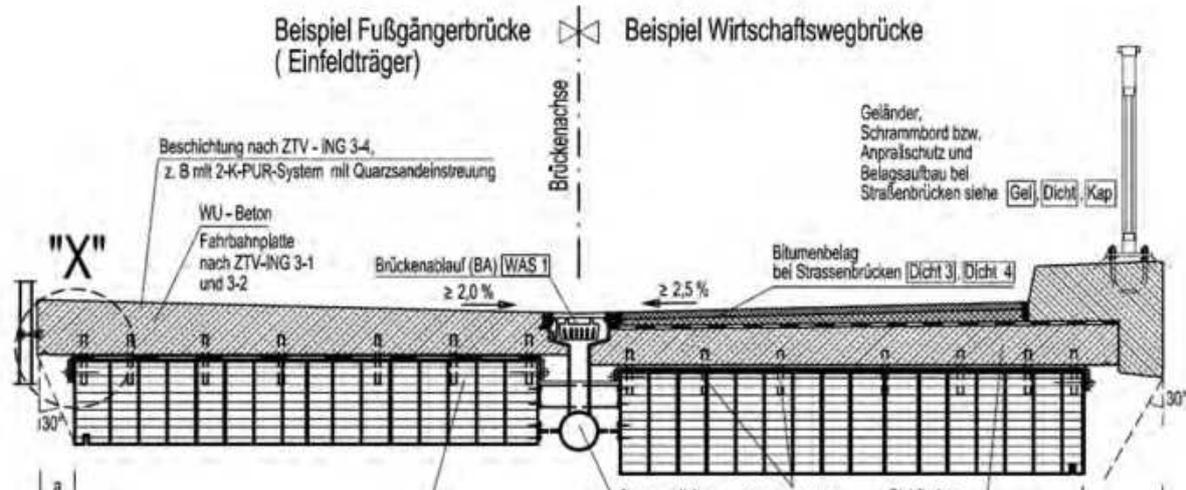


Bild 5: Beispielquerschnitt Holz-Beton-Verbundbrücke mit einem Oberbau gemäß Musterzeichnung in Anlehnung an ZTV-Ing [3]

## 2.5 Herstellung

Das Ziel und großer Vorteil der Holzbauweise liegt im hohen Vorfertigungsgrad. In qualitativ gesicherter Umgebung der Werkhalle kann bei einer Holzbetonverbundbrücke nicht nur das Holztragwerk nahezu komplett vorgefertigt werden, sondern auch die erforderliche Schalung für den Ortbeton. Der Beton selber muss bisher wegen der starken Dimensionierung noch vor Ort aufgebracht werden. Eine Betonvorfertigung lohnt derzeit noch nicht, da der hohe Gewichtsanteil keine wirtschaftliche Vorfertigung sinnvoll macht.

Die Holzträger werden auf der Baustelle in ihrer Endposition montiert und ggf. unterstützt, sodass es während der Betonage nicht zu Verformungen kommt. Im Anschluss wird die Bewehrung installiert und je nach Bauweise Schalung zwischen den Trägern montiert. Die Betonage kann innerhalb eines Abschnittes stattfinden. Nach der Aushärtung des Betons wird ein Asphaltbelag gemäß ZTV-ING aufgebracht und das Geländer befestigt. Der Überbau der fertigen Brücke entspricht gängigen, in Massivbauweise hergestellten Brücken.



Bild 6: Träger mit Schalung und Schubverbindern im Werk  
© Fa. Schaffitzel



Bild 7: Montage eines Holzträgers für eine Holz-Beton-Verbundbrücke  
© Fa. Schaffitzel

Bild 8: Holz-Beton-Verbundbrücke in Winschoten nach Betonage  
© Fa. Schaffitzel



**Bild 9: Holz-Beton-Verbundbrücke  
Schiffarth Transport,  
Betonage und Belag**



## 2.6 Beispiel Holz-Beton-Verbundbrücke Schiffarth

### 2.6.1 Konstruktion

Holz-Beton-Verbundbrücke mit Blockträger und Betonfahrbahnplatte; konzipiert als Dreifeldsystem, geschwungener Holzträger, zur Mitte hin reduzierter Querschnitt.

Fahrbahn auf Betonplatte oberseitig mit Gussasphalt abgedeckt. Gehwegbereich mit Epoxidharz und Quarzsandeinstreuung behandelt.

Die Endbereiche sind am Widerlager mit Zugstäben rückverankert, um den Träger in der Feldmitte zu entlasten und somit eine geringere Bauhöhe zu erzielen.

### 2.6.2 Herstellung

Der gesamte Holzbauanteil wurde bei dieser Brücke bereits im Werk fertig gestellt und in Elementen auf die Baustelle geliefert.

Für die vorliegende Situation erschien die Wahl von zwei Blöcken sinnvoll, die parallel nebeneinander angeordnet werden. So kann die ganze Brücke mittig geteilt vorfabriziert werden. Ein notwendiges Baugeländer ist ebenfalls vorinstalliert.

Der eigentliche Schubverbund zwischen Holz und Beton wird durch die so genannten HBV-Verbinders der Firma TiComTec aus Haibach bewerkstelligt. Die längs zur Faser eingebrachten Streckbleche sind in Sägeschnitte von mind. 40 mm Tiefe eingeklebt.

**Bild 10: Holz-Beton-Verbundbrücke  
Lohmar Höngesberg**





**Bild 11: Integrale Holz-Beton-Verbundbrücken Schwäbisch Gmünd (Entwurf Büro Graf)**  
© Fa. Schaffitzel

## 2.7 Weitere Beispiel Holz-Beton-Verbundbrücken

### 2.7.1 Vorlandbrücken Lohmar Höngesberg

Als Vorlandbrücken für eine Schwerlast Holzbogenbrücke wurden zwei ca. 10 m lange Vorlandbrücken in Holz-Beton-Verbundbauweise errichtet. Der Schubverbund zwischen Holz und Beton wird über eingeklebte Streckbleche hergestellt.

### 2.7.2 Integrale Holz-Beton-Verbundbrücken Schwäbisch Gmünd

Das gestalterische und konstruktive Potential zeigen zwei Holz-Beton-Verbundbrücken in Schwäbisch Gmünd. Diese Brücken mit einem integralen Auflager und einem in zwei Richtungen getreppten Blockträger aus Fichte mit einer Länge von ca. 25 und 28 Metern kombinieren die Holz-Beton-Verbundbauweise mit einem Rahmentragwerk.

### **3 Literatur**

- [1] Dipl.-Ing. J. Naumann. (2010) Vortrag: Brückenertüchtigung - Sicherung der Mobilität auf Bundesfernstraßen, S6
- [2] Dr.-Ing. Antje Simon (2008) Dissertation: Analyse zum Trag- und Verformungsverhalten von Straßenbrücken in Holz-Beton-Verbundbauweise
- [3] Dipl.-Ing. M. Gerold (2010) Musterzeichnungen als Grundlage zur ZTV-ING 9-3 für Holzbrücken



# Helmut Maintz Dombaumeister

Domkapitel Aachen, Dombauleitung  
52062 Aachen  
Klosterplatz 2  
Helmut.Maintz@dom.bistum-aachen.de

- 1976-1982 Fachhochschule Aachen
- 1982 Dipl.-Bauingenieur
- seit 1986 in der Dombauleitung Aachen tätig
- ab 1997 Dombauleiter
- ab 2000 Dombaumeister
- Sonstiges u.a.:
- seit 2001 Lehrauftrag an der RWTH Aachen
- seit 2004 Vorstandsmitglied in der europäischen Vereinigung der Dombaumeister
- 2003 und 2004 Leiter des EU-Projektes NEMOREK – Konservierung von Mosaiken im Verbund mit Lourdes (F) und Venedig (I)
- seit 2012 Mitglied ICOMOS International
- Veröffentlichungen u.a.:
- „Die gotische Chorhalle des Aachener Doms“, Arbeitsheft Rheinisches Amt für Denkmalpflege
- „Sanierung Dachstuhl Oktogon und Sanierung Kleines Drachenloch“, Dombauverein Band 6
- „Sanierung karolingisches Mauerwerk, Sanierung Turmkreuz und Neuverschieferung Turmhelm“, Dombauverein Band 7
- „Sanierung Anna- und Matthiaskapelle“, Dombauverein Band 9
- Die Grund- und Außensanierung 1986 bis 2006, Dombauverein Band 10
- „Dom zu Aachen – Sanierung des 1200 Jahre alten karolingischen Mauerwerks“, Europäischer Sanierungskalender 2006
- Dombaumeistertagung 2009 in Aachen – Tagungsdokumentation Vorträge und Werkstattberichte, Domkapitel Aachen 2010
- Sanierung Mosaiken, Marmorverkleidung und Fußböden im Zentralbau des Aachener Doms, Dombauverein Band 14
- Aachen Cathedral, European Cathedrals – a comparison of management Experiences, Opera della Primaziale Pisana,
- Die Sanierung des karolingischen Mauerwerks: Bericht des Dombaumeisters über die Maßnahmen 2000 – 2004, Die karolingische Pfalzkapelle in Aachen. Material – Bautechnik – Restaurierung, Arbeitsheft der rheinischen Denkmalpflege, Band 78
- Dom zu Aachen – Welterbestätte in kirchlicher Trägerschaft, Unesco-Welterbe in Deutschland und Mitteleuropa – Bilanz und Perspektive, Heft 57, 2013
- Sanierung Nikolauskapelle – Dachstuhl und Außenwandflächen, Dombauverein Band 17

# Dom zu Aachen – Sanierung der barocken Holzdachstühle von nach 1656

## Erhaltung / Ertüchtigung / Erneuerung / Schädlingsbekämpfung

Dombaumeister Helmut Maintz, Domkapitel Aachen, Dombauleitung

### Kurzfassung

Im nachfolgenden Bericht werden die Möglichkeiten von Sanierungen historischer Dachstuhlkonstruktionen an zwei Beispielen im Bereich des Aachener Domes sowie die durchgeführte Bekämpfung des „gescheckten Nagekäfers“ beschrieben.

### 1 Einleitung

Die Dachstühle des Aachener Doms (Bild 1) sind in der Mehrzahl (Oktogon, Chorhalle, Karlskapelle, Nikolauskapelle, Ungarnkapelle und Annakapelle) nach dem großen Aachener Stadtbrand von 1656 erneuert worden, wahrscheinlich in den Jahren 1656 und 1657. Der Dachstuhl der Matthiaskapelle wurde als feuergeschützter Raum in Ziegelstein mit Blausteingraten erstellt. Die Dachstühle des Westturms entstanden mit der Erneuerung dieses Bereiches von 1881 bis 1884. Die Konstruktion und Ausführung der barocken Dachstühle muss jedoch als unzureichend und schlecht bewertet werden. Fehlende Windverbände und Aussteifungen haben schnell zu Undichtigkeiten in der Dachhaut geführt, gefolgt von Fäulnis, Pilzbefall und Schädlingsbefall. Über die Art und Weise wie wir diese Schäden behoben haben, möchte ich hier berichten. Dass dies überhaupt möglich ist, trotz der unzähligen Brandbomben die im 2. Weltkrieg die Dächer getroffen haben, ist nur der damaligen Feuerlöschgruppe Aachener Dom zu verdanken. Lassen Sie mich hierzu kurz auf die Mädchen und Jungen der „Feuerlöschgruppe Dom“ unter Leitung von Herrn S. Buchkremer eingehen. Wenn man vor den vielen verkohlten Balken steht, lässt sich in etwa erahnen was passiert wäre, wenn sie nicht u.a. hier die Brandherde oder -nester gelöscht hätte. Es wäre wahrscheinlich zu einer Katastrophe gekommen, da davon auszugehen ist, dass das Feuer von Dachstuhl zu Dachstuhl überggesprungen wäre und herabfallende brennende Hölzer Gewölbe und Mauerwerk geschädigt hätten.

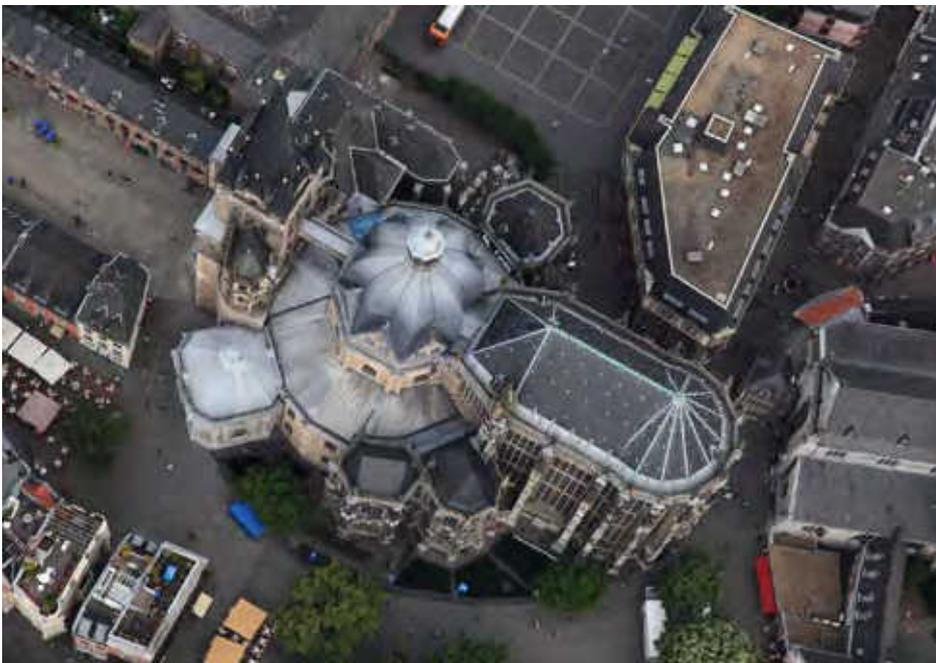


Bild 1: Dom Luftaufnahme von oben



**Bild 2 (links):** nach Demontage der Schalung - Sparren nur aufgenagelt, teilweise gebrochen



**Bild 3 (rechts):** Sanierungspunkt - Knagge in neuem Versatz

Ich denke, man muss daher dieser Gruppe hohen Dank und Respekt zollen, da wir durch ihren Mut und ihre Tatkraft heute im Dombereich über Holzdachstühle verfügen, die fast 350 Jahre alt sind und damit für sich alleine einen hohen Denkmalwert darstellen. Auch deshalb war es uns ein Anliegen, so viel wie möglich von der Originalsubstanz zu erhalten, was bei dem teilweise sehr schlechten Zustand natürlich nicht immer zu verwirklichen war.

## 2 Dachstuhl Oktogon

Ab Juni 2001 begann im Inneren des Dachstuhls die Abdeckung bzw. Erweiterung der vorhandenen Laufstege, so dass in drei Höhen Arbeitsplattformen entstanden. Zum Schutz der karolingischen Kuppel gegen herabfallende Gegenstände und Materialien wurde eine horizontale Abschottung aus zementgebundenen Spanplatten verzimmert. Am 26.06.2001 war die Erweiterung der Gerüstlagen bis an die Dachflächen des Dachstuhls soweit fortgeschritten, dass mit der Demontage der alten Verschieferung und Dachpappe begonnen werden konnte. Weiter wurde im Zuge der Demontearbeiten die Bleindeckung der Giebdreiecke abgenommen und anschließend die Schalung und Sparren demontiert (Bild 2). Bei den Sparren wurde darauf geachtet, dass noch gute, ausreichend dimensionierte zur Wiederverwendung aussortiert wurden. Die Menge war jedoch so gering, dass nur zwei von insgesamt 16 Dachflächen wieder mit alten Sparren belegt werden konnten. Während dieser Arbeiten wurde im Inneren mit den ersten Sanierungsarbeiten begonnen. Die Verbindungen der Hölzer untereinander, also in Bereichen, in denen Zapfen weggefault oder Holznägel gerissen waren, wurden entweder mittels aufgeschraubter Laschen aus Kerto-Holzwerkstoffplatten oder durch verbolzte Unterstützungshölzer wieder hergestellt bzw. stabilisiert. Wo Schäden durch unterdimensionierte Bereiche entstanden sind, wurden zusätzliche Stützstreben eingebaut. Die Ausführung der Stützstreben erfolgte – wie bereits bei der Sanierung des Dachstuhls der Chorhalle – aus Brettschichtholz um deutlich zu zeigen, dass es sich um eine Zutat unserer Zeit handelt. Knotenpunkte, an denen starke Schubkräfte zu erwarten waren, wurden mit einer Vorholzknaagge versehen. Neues Eichenholz wurde plan an die Binderstrebe angepasst. Ringkeildübel wurden je zur Hälfte in das alte und neue Holz eingelassen, so dass eine schubsichere Verbindung der Hölzer entstanden ist. Im Bereich des horizontalen Balkens wurde ein Versatz ausgearbeitet, in den die neue Knaagge eingreift und somit die nach außen wirkenden Schrägkräfte aufnehmen kann (Bild 3).

Nachdem die Schalung komplett demontiert und somit die Außenseiten aller Balken einsehbar waren, musste festgestellt werden, dass die Grate und Kehlen des Dachstuhls stärker geschädigt waren als ursprünglich angenommen, so dass hier teilweise nicht die ursprünglich geplanten Sanierungsmaßnahmen übernommen werden konnten. Durch starke Verdrehungen waren die Zapfen der Binderbalken in den Zapfenlöchern der Horizontalbalken angebrochen bzw. herausgezogen. Einige Balken waren durch Brandeinwirkung geschädigt und nur notdürftig repariert worden. Auch durch Kriegsfolgen stark minimierte Balken mussten für den Austausch vorgesehen werden. Im Folgenden werden einige Sanierungen beschrieben, um den Ablauf und die Sanierungsmethodik darzustellen:

Die Verbindung der Grate mit den Binderbalken waren fast alle verfault, gerissen oder schon zur Bauzeit ungünstig dimensioniert bzw. eingebaut worden (Bild 4), so dass hier seitlich die vorgesehenen Brettverstärkungen größer dimensioniert wurden, damit



sie die Kräfte bis zu den Fußpunkten ableiten können. Die Gratbalken erhielten beidseitig von unten bis oben seitlich Verstärkungen aus Brettschichtholz, die etwa 10 cm über die alte Dachhautfläche überstehen. Die Verstärkungen wurden so angeordnet, dass die Stöße der alten und neuen Hölzer versetzt sind. Die Stöße der neuen Hölzer wurden mit verzinkten Stahlblechen verstärkt. Die Ausarbeitungen für die alten und neuen Pfetten waren eine Herausforderung für die Zimmerleute – sie mussten sehr passgenau sein – da die Verstärkungen auch als weiteres Auflager der Pfetten dienen sollten. An der Oberseite der Verstärkungen wurden Auslässe eingearbeitet, so dass eine Belüftung der später unter der Schalung verborgenen Oberfläche der alten Gratbalken gewährleistet bleibt. Zudem kann man den Zustand der alten Hölzer in diesem Hohlraum weiter beobachten bzw. ertasten.

Durch das Anarbeiten von neuen Balkenstücken an nicht tragfähige Bereiche der alten Balken, z.B. mittels eines stehenden Blattes, konnten alte Balken wieder ihre Funktion übernehmen. Im gesunden Bereich des alten Balkens wurde hierfür auf ca. 1 m Länge der Balken der Höhe nach halbiert. Daran schließt das ebenfalls der Höhe nach halbierte neue Holzstück aus neuem Eichenholz an. Mehrere Verbolzungen sorgen für die nötige Biegetragfähigkeit.

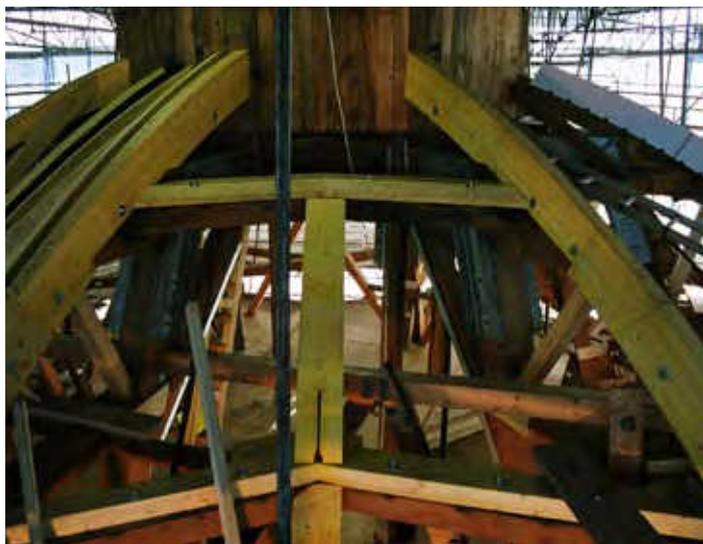
Die Pfetten wurden wie geplant mit einer Verstärkung aus Brettschichtholz versehen, in die sich die neue Sparrenlage mittels Klaue absetzen kann. Da jedoch die Verbindungen der alten Pfetten mit dem Gratbalken teilweise zerstört waren, wurde über die Pfettenverstärkungen hier eine Verbesserung angestrebt. Durch den Einbau eines Ringkeildübels an der Stoßfläche Gratbalken/Pfettenverstärkung und einer durchgehenden Verbolzung, können Kräfte wieder abgeleitet werden.

Der Kehlbereich (Bild 5) musste als statisch tragende Kehle ausgebildet werden, um die ca. 5 m langen Pfetten in der Mitte zu unterstützen und deren starke Durchbiegung zu beschränken (Bild 6). Hierfür wurden Brettschichtholzbalken mit einem Querschnitt von 22 x 30 cm, jeweils zwischen die Pfetten eingebaut, so dass die Kräfte jetzt von oben nach unten abgeleitet werden können und im unteren Bereich, ab Ebene 1, über Streben zu den Fußpunkten des Dachstuhls geführt werden. Da die neuen Hölzer, insbesondere im oberen Bereich, weit aus der Vertikalen stehen, waren die Anschlussbereiche besonders kraftschlüssig auszuführen. In diesem Bereich war zudem die Dachfläche zu verändern: Die Kehle sollte 10 cm tiefer als die Dachfläche liegen, damit das Regenwasser sicher in der Kehlrinne zu den Auspeiern geführt und nicht vom Wind wieder auf die Dachfläche gedrückt wird. Durch das seitliche Anbringen von Brettern konnte dies auf einfache Weise verwirklicht werden. Bild 6 zeigt weiterhin, dass die Verdrehungen und Verschiebungen des alten Dachstuhls zwar etwas egalisiert, aber natürlich nicht ungeschehen gemacht werden konnten. Dies ist m. E. auch bei der neuen Bleieindeckung technisch nicht nötig, da sich so die Sanierungsgründe, -geschichte etc. ablesen lässt, wenn man vom Münsterplatz nach oben schaut und die verdrehten Grate sieht.

Im November 2001 begannen die beschriebenen Maßnahmen im nordöstlichen Dachflächenbereich. Die Arbeiten wurden in enger Abstimmung mit dem Statiker sowie der Zimmerer- und Dachdeckerfirma begleitet, erörtert und immer wieder optimiert. Mitte Dezember 2001 war die erste Sparrenlage verschraubt, also für das Aufschrauben der Schalung bereit. Trotz der langen Sanierungszeit von 2 Monaten bei diesem einen von acht Feldern waren wir zuversichtlich den Fertigstellungstermin Ende 2002 einzuhalten, da sich bei den folgenden Feldern durch das entstandene Know-How und die Durchführung in Taktarbeit eine Zeitersparnis ergeben sollte.

**Bild 4 (links):** Knotenpunkt Gratbalken/Binderbalken Ebene 2 – man erkennt, dass durch die mittige Durchführung des Gratbalkens die Wangen des Binderbalkens zu dünn wurden

**Bild 5 (rechts):** in der Bildmitte die Kehle, wo sich die beiden Dachflächen im stumpfen Winkel treffen



**Bild 6 (links): neues Brettschichtholz in der Kehle, auch zur Unterstützung der Pfeetten**



**Bild 7 (rechts): Brüstung Laterne – neue Öffnungen für Entlüftung**

Weiterhin war natürlich bei jeder Seite neu zu entscheiden, welche der alten Balken erhalten und welche ersetzt werden mussten. Die Arbeiten wurden im Prinzip von drei Teams durchgeführt. Das erste Team bearbeitete die seitlichen Gratverstärkungen und die neue statische Kehle, das zweite Team die Verstärkungen der Pfeettenlagen sowie die Montage der neuen Sparren und das dritte Team montierte die neue 35 mm starke Schalung aus Nut- und Federbrettern. Dadurch wurde der Wiederholungseffekt verstärkt und die Sanierungszeit konnte, trotz des Zeitverzugs im vorangegangenen Jahr, im vorgesehenen Rahmen gehalten werden. Dieses Taktverfahren kam natürlich auch den Klempnerarbeiten zu Gute, die dadurch bereits frühzeitig an der ersten Dachfläche beginnen konnten. Die Montage der Schalung war nicht so zeitaufwendig, so dass das dritte Team die Sanierung der inneren Balken weiter fortführen konnte. Hier wurden z.B. Luftspalten zwischen Hölzern mit Keilen aus Eichenholz ausgefüllt. Die Ausführung der Arbeiten begann im Nordosten und endete im Südosten. Im Bereich des letzten Feldes, der Ostseite, wurden die alten, wieder verwendbaren Sparren eingebaut. Der Einbau der Sparren erfolgte jetzt jedoch handwerksgerecht rechtwinklig zur Schalung und nicht wie vorher parallel zur Kehle. Insgesamt kann konstatiert werden, dass über 90 % der alten Hölzer erhalten wurden.

Die bisher unzureichende Belüftung des Dachstuhls wurde verbessert. Durch die Öffnung der karolingischen Kuppel im Scheitelbereich strömt warme, feuchte Luft in den Dachstuhl (insbesondere an hohen Festtagen oder besucherstarken Perioden, wie zur Adventzeit, fällt dadurch viel Feuchtigkeit an). Das Entweichen dieser Luft war bisher nur über die Schalung möglich, jedoch stark behindert durch eine bituminöse Trennlage. Im Bereich des Laternenansatzes konnte kein Luftaustausch stattfinden. Hier mussten deshalb Veränderungen vorgenommen werden. In den acht Brüstungsfeldern der Laterne, die mit einem diagonalen Balkenkreuz statisch ausgesteift sind, wurde die Verschalung entfernt (Bild 7), so dass zwei dreieckige Öffnungen entstanden. Zum Schutz gegen Schlagregen bzw. vom Wind untergetriebenes Wasser wurden die Dachflächen des Oktogons mit einem Aufstand versehen. Vor die statische Brüstung wurde im Abstand von 15 cm eine weitere Brüstung montiert, auf der dann die Bleibekleidung erfolgte. Die zweite Brüstung hat zur Oktogondachfläche einen Höhenabstand von 20 cm, so dass nun rundum eine Verbindung zum Inneren des Dachraums gewährleistet ist. Die vorgesezte Brüstung wurde in Verbindung mit einem doppelten Boden der Laterne eingebaut, wodurch die statische Stabilität gegeben ist. Im unteren Bereich des Dachstuhls, in den Giebelndreiecken, befinden sich ca. 80 x 40 cm große Fensteröffnungen. Da die Fenster alle in einem maroden Zustand waren und erneuert werden mussten, konnte hier für eine bessere Zuluft gesorgt werden. Die ersten Überlegungen, in jedem Fenster im unteren Bereich eine Zuluftöffnung zu integrieren, mussten verworfen werden, da sich der Querschnitt so verringert hätte, dass ein Ein- und Aussteigen aus den Fenstern nicht mehr möglich gewesen wäre (im Hinblick auf spätere Überprüfungen an den Ausspeiern, Gesimsabdeckungen, Taubenschutzanlagen etc.). Deshalb fiel die Entscheidung auf eine Kombination von Fenstern mit Verglasung und Lamellen. Die fünf Lamellenfenster konnten so eingebaut werden, dass zum einen eine Querlüftung gewährleistet wird und sie zum anderen von außen schwer einsehbar sind, da sie hinter Kapellenanbauten liegen. Die Öffnungen der Giebelndreiecke SO, NO und West (hier nur eine, da die zweite durch die Brücke zwischen Westturm und Dachstuhl Oktogon verschlossen ist) wurden demnach mit Lamellenfenstern versehen, die übrigen mit verglasten Fenstern. Hierbei ist zu beachten, dass in der SW-Seite keine Öffnungen vorhanden sind und das Giebelndreieck

der Ostseite beim Bau der Chorhalle bzw. auch noch später im oberen Bereich abgerissen wurde. Durch diese beiden Maßnahmen wurde die Belüftung des Dachstuhls verbessert, auch im Hinblick darauf, dass die neue Bleibekleidung den Austausch der Luft durch die Schalung weiter minimiert.

Im Bereich der Dachflächen der Giebeldreiecke wurde grundsätzlich in jedes Feld eine Dachluke integriert, um die Überprüfung der Kehlen und des Firstanschlusses der Giebeldreiecke an den Dachstuhl zu gewährleisten. Auch an dieser Stelle ist ein Ausstieg für Wartungsarbeiten möglich. Um diese Kontrollmöglichkeit regelmäßig zu nutzen, wurde im Inneren der Giebeldreiecke ein stationärer Leiterraufgang mit einem Standpodest unterhalb der Dachluke erstellt. Solche Maßnahmen sind außerordentlich wichtig, damit gute Voraussetzungen geschaffen werden, eine regelmäßige, umfassende Instandhaltung des Gebäudes zu gewährleisten. Dazu gehört auch die Erstellung von gut zu begehenden Laufstegen und Leiterraufgängen. Durch die großen Eingriffe im Bereich der Außenhaut des Dachstuhls, insbesondere den Einbau der neuen statischen Kehlen, mussten die vorhandenen Laufstege aus Holz leider teilweise mehr zurückgeschnitten werden als erwartet, so dass auch die Auflagerhölzer mit verloren gingen. Eine Reparatur war daher teilweise nicht mehr sinnvoll. Es wurde deshalb eine neue Konzeption der Laufstege erstellt. Dabei ist zu erwähnen, dass die Laufstegbereiche in den Ebenen 1 und 2 auch statische Funktion haben, da sie als horizontale Aussteifung wirken. Deshalb wurde bei der neuen Konzeption eine Mischausführung vorgesehen. In den Eckbereichen mit vielen Durchdringungen von Fußstreben etc. werden die Laufstege aus Holzplatten erstellt, in den weiteren Bereichen aus Aluminium-Lochrosten. Vorteile der Aluminium-Lochroste sind das geringe Gewicht, die geringere Brandlast, sowie die größere Transparenz. Der Einbau der Ebene 2 ist Ende des Jahres 2002 erfolgt, der Einbau der Ebene 1 wurde im März 2003 abgeschlossen, die Laufstege der Ebene 0, Hauptlaufebene aus Holz, blieben erhalten.

### **3 Dachstuhl Annakapelle**

Der Holzdachstuhl ist datiert auf nach 1656 (großer Aachener Stadtbrand) und im Vergleich zu den Dachstühlen des Oktogons, der Chorhalle oder der Nikolauskapelle als eher klein zu bezeichnen. Vielleicht hat das aber dazu geführt, dass trotz sichtbarer Schäden in den letzten Jahrzehnten nur minimale Eingriffe vorgenommen worden sind. Dies macht ihn zu einem einzigartigen Dokument; denn der Dachstuhl ist in seiner Gänze noch vorhanden, die Verbindungen der tragenden Hölzer sind durch Holznägel noch ursprünglich, ja sogar die Sparren sind mit Holznägeln auf den Pfetten befestigt (Bild 8), was bei keinem der vorgenannten Dachstühle festzustellen war. Weiter haben alle Balken aus der Bauzeit eine Nummerierung. Es war daher sehr schnell klar, dass er in seiner Gesamtheit möglichst erhalten werden sollte. Um ein Bild über den Schadensumfang zu erhalten und die Balken auch von der verschalteten Seite – also der Außenseite – begutachten zu können, wurde im September 2003 die Verschieferung und Schalung vorsichtig demonstriert. Nachdem die Balkenköpfe frei einzusehen waren, musste festgestellt werden, dass alle sieben durch Fäulnis und Holzschädlinge in einem desolaten, eigentlich nicht mehr tragfähigen Zustand waren (Bild 9). Eigentlich wäre ein Austausch der Horizontalbalken vorzunehmen, aber damit würden schon die ersten Originalteile verloren gehen und die Erhaltung der Authentizität im Ganzen wäre nicht mehr möglich. Es musste also eine andere Lösung gefunden werden.



**Bild 8 (links):** Dachstuhl nach der Demontage von Schiefer und Schalung



**Bild 9 (rechts):** stark zerstörter Balkenkopf

Auf der Baustelle, beim Anblick des provisorischen Wetterschutzdaches über der Kapelle, kam mir dann folgender Gedanke: Warum kann man nicht einfach einen neuen Dachstuhl über den alten Dachstuhl bauen, so dass der Alte nur noch sich selbst tragen muss und der Neue – auf der Mauerkrone aufliegend – den Alten nicht belastet aber die Dachhaut, sprich Schiefer, aufnehmen kann. Einfach gedacht, aber geht das, ist das möglich, statisch und handwerklich? Erste Voraussetzung ist natürlich, dass die „Haube“ über dem alten Dachstuhl genau dessen Formensprache halten muss, da die Dimensionen natürlich etwas größer werden. Die Dachflächen werden daher weiter nach außen an die Brüstungen wandern. Dies darf aber wiederum nicht zu viel sein, so dass die Breite der Rinne in der das Regenwasser abgeleitet wird, sich nicht zu sehr verkleinert. Also war eine Konstruktion gefragt, die bei maximaler Tragfähigkeit, minimal in den Dimensionen sein musste. An dieser Stelle ist die gute Zusammenarbeit zwischen Zimmerer, Statiker und Dombauleitung hervorzuheben, da wirklich um jeden einzusparenden Zentimeter gekämpft wurde, bis ein befriedigendes Ergebnis zustande kam. Die ersten Überlegungen sahen Sparren mit einer Höhe von 22 cm vor. Die zeichnerische Überprüfung zeigte jedoch, dass die Wasserlaufrinnen zu schmal wurden, insbesondere in den Eckbereichen zu den Fialen. Hier könnte schon eine tote Taube einen Wasserstau verursachen und das Wasser in den Dachstuhl, ergo auf die Gewölbe laufen. Da immer ein sehr großer Wert auf eine exakt funktionierende Wasserabführung zu legen ist, musste das System weiter optimiert werden. Es ist der Anfang vom Ende, wenn Wasser nicht vernünftig vom Bauwerk weggebracht wird, sondern stattdessen Mauerkronen und Fußbalken des Dachstuhls durchfeuchtet. Schlussendlich konnten wir die Höhe der Sparren auf 16 cm reduzieren. Der neue Dachstuhl wurde konsequent als Dachstuhl unserer Zeit geplant, d.h. es wurden keine historischen Verbindungen wie Zapfen, Versätze oder Holznägel verwendet, sondern Verbindungsmittel unserer Zeit, wie Sparrenanker aus verzinktem Stahl.

Die umfangreichen planerischen Vorarbeiten machten sich bei der Herstellung des neuen Dachstuhls bezahlt, da er in der Werkstatt komplett fertig zugeschnitten, nummeriert und in Einzelteilen zur Baustelle transportiert wurde und passgenau Ende Juni 2004 innerhalb von 10 Tagen aufgerichtet war (Bild 10). Zwischen dem alten und dem neuen Dachstuhl gibt es überall einen Abstand von mindestens 2 cm, so dass gewährleistet ist, dass der neue keine Kräfte auf den alten abgeben wird. Vor dem Aufbau des neuen Dachstuhls wurden die befallenen Balkenköpfe des alten mit Imprägnierstoff behandelt, um evtl. noch vorhandene Schädlinge abzutöten. Ein gutes Eindringen in das Holz musste gewährleistet sein, ohne dass das Mittel an den stark zerstörten Stellen wieder heraus laufen konnte. Daher wurden die Bereiche mit Zellstoff umhüllt und das Imprägniermittel mehrmals mit Druck aufgebracht. Die Zimmererarbeiten konnten Ende September 2004 abgeschlossen werden.

#### **4 Holzschädlingsbekämpfung Dachstuhl Oktogon**

Die ersten Analysen und Untersuchungen durch einen Holzschädlingsexperten der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft haben Ende 2002 / Anfang 2003 ergeben, dass es sich um den gescheckten Nagekäfer, auch Totenwächter (Totenuhr) genannt, handelt. Diesen zweiten Namen erhielt er aufgrund von Klopfgeräuschen, durch die er seinen Paarungspartner anlockt und so nachts unheimliche Geräusche in Wohnungen und Häusern verursacht. Die Eiablage erfolgt dann meist in den vorhandenen Ausflughlöchern bzw. Rissen im Holz. In der Literatur über Holzschädlinge gilt dies als schlimmster



tierischer Befall (Bild 11). Natürlich muss nun die Bekämpfung ins Auge gefasst werden, jedoch zielorientiert und ohne jede Panik. Es macht wenig Sinn, viel Chemie bzw. Gift in den Dachstuhl einzubringen ohne zu wissen, ob der Zweck erfüllt wird. Wir haben deshalb im März 2003 mit einem Monitoring angefangen, d.h. ermittelt, wie hoch die Anzahl der Schädlinge ist. Dafür wurden alle Balken, an denen Ausfluglöcher sichtbar waren, mit Papier abgeklebt und darunter Klebfallen installiert. Weiterhin wurden im Dachstuhl vier Lichtfallen aufgestellt. Bei den abgeklebten Stellen kann man anhand der Löcher im Papier abzählen, wie viele gescheckte Nagekäfer geschlüpft sind (Bild 12 und 13). Da diese meist nicht direkt fliegen können, fallen sie herunter und damit in die Klebefallen. Weiter kann man beim Fliegen durch die Lichtfallen fangen. Die Auswertung brachte folgende Ergebnisse: erster Ausflug am 24.03.2003, Löcher im Packpapier 99 Stück, gefangene Käfer in den Klebefallen 141 Stück, gefangene Käfer in den Lichtfallen 0 Stück. Beim ersten Hinsehen scheint das Ergebnis falsch zu sein, doch schlüpfen die Käfer teilweise aus den gleichen Löchern, so dass es durchaus normal ist, dass mehr Käfer gefangen wurden als neue Löcher entstanden sind. Die neuen Löcher wurden Ende des Jahres zugeklebt und somit die Vorbereitungen für die neue Saison getroffen.

**Bild 10 (links):** neuer Dachstuhl über altem Dachstuhl

**Bild 11 (rechts):** Schadstelle durch Holzschädling

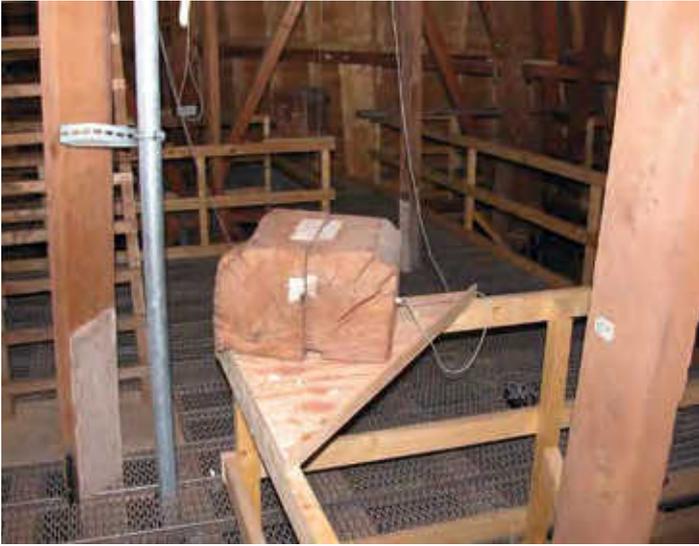
Das Monitoring wurde 2004 fortgesetzt. Die Auswertung brachte folgendes Ergebnis: 88 neue Löcher in den mit Packpapier abgeklebten Bereichen, 125 gefangene Käfer in den Klebefallen. Das Ergebnis des Vorjahres (99/141) wurde zwar unterschritten, aber das bedeutete keine deutliche Verringerung des Befalls. Von den in jenem Jahr kontrollierten Dachstühlen im Dombereich zeigten insbesondere die Karlskapelle mit 32 und die Nikolauskapelle mit 40 gefangenen Käfern einen bedrohlichen Befall. Daher fiel der Entschluss, unverzüglich mit der Bekämpfung des Befalls zu beginnen, da die latente Gefahr einer weiteren Ausbreitung auf die anderen Dachstühle des Dombereiches einfach zu groß erschien.

Als sicherste Methode der Bekämpfung wurde die Heißluftbehandlung des befallenen Dachstuhls ausgewählt. Hierbei wird ca. 75° warme Luft in den Dachstuhl geführt, so dass sich alle Balken bis in den Kern auf 55° erwärmen. Diese Hitze zersetzt das Eiweiß der Larven, so dass alles Leben abgetötet wird. Die Temperaturen in Dachstuhl und Balken werden durch Messfühler kontinuierlich überprüft, ebenso wie die relative Luftfeuchte des Raumes. Es ist keine einfache Entscheidung alte Dachstühle dieser

**Bild 12 (links):** weitere Ausfluglöcher im Verlauf März/April 2003

**Bild 13 (rechts):** gescheckter Nagekäfer rechts, Larve links





**Bild 14 (links):**  
Referenzholz mit  
Temperaturfühler  
und Lebendbefall



**Bild 15 (rechts):**  
Aufheizphase Ge-  
wölbe mit Folie  
abgedeckt, Einblasen  
von befeuchteter, ca.  
75° warmer Luft

Belastung auszusetzen, auch in Bezug auf die Brandgefahr, doch scheint es die einzig sichere Methode zu sein, um alle Balken eines Dachstuhls bis in die Balkenzentren hinein zu erreichen. Bei einer Bekämpfung mit Imprägniermittel ist dies bei dem vorhandenen Eichenholz kaum bis überhaupt nicht zu gewährleisten; selbst dann nicht, wenn eine Unmenge von Bohrlöchern zur Tiefeninjektion erstellt würde.

Am 4.10.2004 begann die Spezialfirma mit der Einrichtung der Baustelle. Hier kam uns zu Gute, dass die unterste Lage der Oktogoneinrüstung noch vorhanden war, auf der insgesamt vier Wärmegeräte aufgestellt werden konnten. Für die Versorgung der Gasbrenner sorgten zwei 1000 l Gastanks im Bereich der ebenfalls vorhandenen Baustelleneinrichtung Krämerstrasse. Zuerst wurden die beiden Dachstühle der Karls- und Nikolauskapelle bearbeitet. Alle festzustellenden Undichtigkeiten wurden ebenso wie die Oberseiten der Steingewölbe mit Luftpolsterfolie abgedichtet. Insgesamt 30 Messfühler wurden in beiden Kapellen in die Balkenzentren eingelassen, meist an thermisch ungünstigen Stellen. 17 Messfühler im Raum überwachten die Raumtemperaturen. Zur Kontrolle des Erfolges der Maßnahme wurden Referenzhölzer in die Dachstühle mit eingelegt. Diese Hölzer, ca. 30 - 40 cm lang, hatten den gleichen Querschnitt wie die größten des Dachstuhls. Sie sind in der Mitte der Länge nach halbiert und in einer Hälfte befindet sich eine Aussparung. In diese wird vor der Behandlung Lebendbefall eingelegt, in unserem Fall je eine Larve des Hausbocks und des gescheckten Nagekäfers. Die Hälften werden danach zusammengelegt und mit Schrauben oder Schraubzwingen geschlossen. Ein Temperaturfühler sorgt auch hier für die Kontrolle der Temperatur (Bild 14). Am 07.10.2004, gegen 18:00 begann die Aufheizphase, die nach 29 h bei der Karlskapelle und nach 42 h bei der Nikolauskapelle in die Abheizphase überging, so dass am 9.10.2004, um 11:00 Uhr die Behandlung abgeschlossen wurde. Die Kontrolle des Lebendbefalls in den Referenzhölzern durch einen Wissenschaftler der Bundesanstalt für Holz- und Forstwirtschaft Hamburg ergab, dass alle Tiere abgestorben waren, was den Erfolg der Maßnahme dokumentiert. Während der Wärmebehandlung liefen die Vorbereitungen für den Dachstuhl Oktogon bereits analog der vorherigen Dachstühle (Bild 15). Es mussten im Vorfeld jedoch noch andere Probleme gelöst werden. Die Sprinklerköpfe der Sprinkleranlage springen bei 68° auf, so dass alle 168 Stück zur Sicherheit demontiert werden mussten und die Anlage während dieser Zeit nicht in Funktion war. Weiter gab es auch für die elektronischen Rauchmelder nicht die Garantie, dass die Elektronik keinen Schaden davon tragen würde, so dass auch diese demontiert werden mussten. Als Folge davon waren aber alle Rauchmelder des Dombereiches zu demontieren, so dass für ca. 14 Tage der Dom ohne Brandmeldeanlage war. Es ist sicher nachvollziehbar, dass dies nicht gerade zur Beruhigung eines Dombaumeisters beiträgt, auch wenn die Begehung der Dachstühle durch Wachpersonal intensiviert wird. Feuerwehr und Polizei wurden vor und während der Maßnahme jederzeit ausführlich über den Stand der Arbeiten auf dem Laufenden gehalten - die sehr gute, unbürokratische Zusammenarbeit mit beiden Behörden darf hier besonders hervorgehoben werden.

Die am 11.10.2004 gegen 22:30 Uhr begonnene Aufheizphase ging nach ca. 50 h am 14.10. gegen 01:00 Uhr in die Abheizphase über, die um 6:00 Uhr endete (Bild 16). Auch hier ergab die Kontrolle der Referenzhölzer einen 100%-igen Erfolg. Für die gesamte Heißluftbehandlung wurden 5.796 l Propangas verbraucht.

Die Dombauleitung hat während der Maßnahmen Oberflächentemperaturen der Dacheindeckungen händisch kontrolliert, sowohl bei Schiefer als auch Blei konnten jedoch keine starken Temperaturanstiege beobachtet werden. Weiterhin wurden einige



Hölzer der Dachstühle, die vor der Behandlung Risse aufwiesen, kartiert und die Breite der Risse dokumentiert (Bild 17). Nach der Behandlung war festzustellen, dass die Risse sich nur unwesentlich vergrößert hatten und auch die Holzfeuchte bei Oberfläche und Kern sich nach einer Woche wieder zu den Ausgangswerten vor der Behandlung normalisierte.

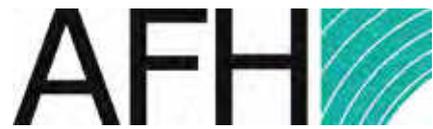
**Bild 16 (links): Kontrolle der Temperaturfühler, blau Temperatur erreicht, grün Temperatur noch nicht ausreichend**

## 5 Literatur

- [1] Dendrochronologischer Bericht Aachen Dom Nikolauskapelle, 29. Juli 2013, Institut für Archäologie, Denkmalkunde und Kunstgeschichte, Bamberg
- [2] Sanierung Dachstuhl Oktogon, Karlsverein - Dombauverein Band 6 - 2003
- [3] Sanierung Anna- und Matthiaskapelle, Karlsverein - Dombauverein Band 9 - 2007
- [4] Die Grund- und Außensanierung, Karlsverein - Dombauverein Band 10 - 2008
- [5] Sanierung Nikolauskapelle, Karlsverein - Dombauverein Band 17 - 2015

**Bild 17 (rechts): Rissmonitoring vor der Maßnahme**





# Studienpreis 2015



## Aljoscha Ritter, M.Eng.

Beverstraße 9  
52066 Aachen  
aljoscha.ritter@gmx.net

- seit 06/2015 Bauingenieur im Bereich Tragwerksplanung und Bauphysik  
bei Horz + Ladewig Ingenieurgesellschaft für Baukonstruktionen mbH, Köln
- 2013 - 2015 Masterstudium Bauingenieurwesen, Vertiefungsrichtung Konstruktiver  
Ingenieurbau, FH Aachen
- 2010 - 2015 Studentische Hilfskraft im Bereich Tragwerksplanung und Bauphysik, Grawe  
+ Bertram Ingenieure, Ingenieurbüro für Tragwerksplanung und Brandschutz,  
Aachen
- 2008 - 2013 Bachelorstudium Bauingenieurwesen, Vertiefungsrichtung Konstruktiver  
Ingenieurbau, FH Aachen
- 2006 - 2008 Zimmerer-Ausbildung, Kurmann Holzbau GmbH, Garrel
- 2006 Fachhochschulreife
- 1988 geboren in Siegen

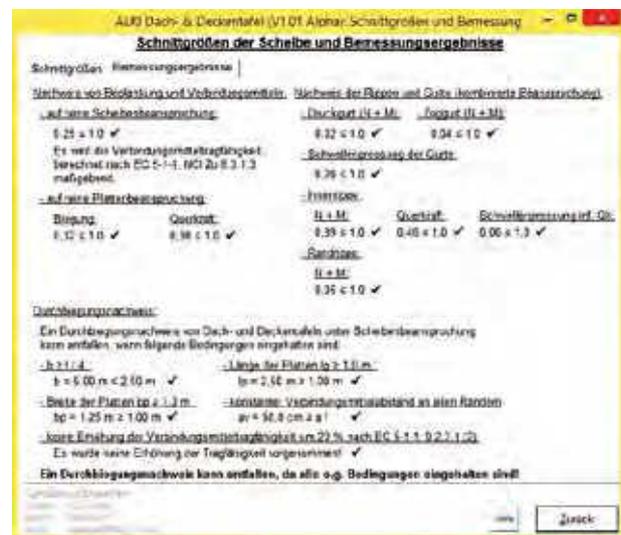
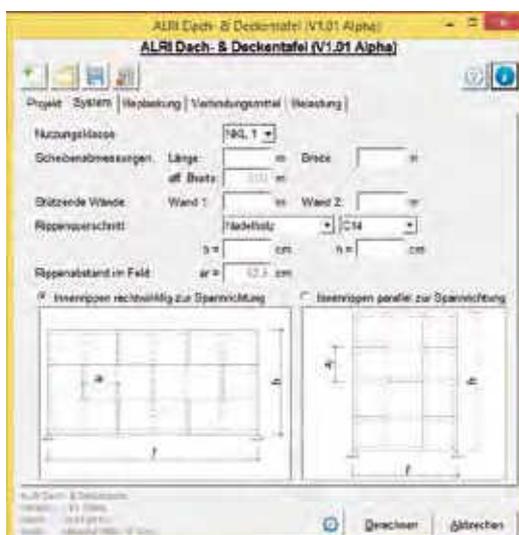
# Aussteifung von Holzbauwerken mittels Scheiben und Entwicklung von Bemessungstabellen für Dach- und Deckenscheiben

Masterarbeit, Aljoscha Ritter, M.Eng.

## Zusammenfassung

In dieser Masterarbeit wurden Bemessungsansätze für die Gebäudeaussteifung im Holztafelbau mittels Scheiben bewertet. Für Dach-, Decken- und Wandscheiben wurden die Bemessungsverfahren des EC 5 zusammengefasst und Ansätze für nicht normativ geregelte Anwendungsbereiche aufgezeigt.

Um die Gebäudeplanung in Holztafelbauweise nach aktuellem Normenstand wirtschaftlicher zu gestalten, wurden für Dach- und Deckenscheiben Bemessungstabellen in Anlehnung an die nicht mehr gültige Tabelle 12 der DIN 1052 1:1988 erstellt. Für maximale Belastungen und Spannweiten können Verbindungsmittel, deren Abstände und die Mindest-Beplankungsdicken abgelesen werden. Eine schnelle, effiziente statische Bemessung ist so ohne rechnerischen Aufwand möglich. Zudem wurde eine Software für Dach- und Deckentafeln entwickelt, welche Nachweise für Scheiben- und Plattenbeanspruchungen mit verschiedenen Verbindungsmitteln und Beplankungswerkstoffen ermöglicht und die Ergebnisse in einem prüffähigen Dokument ausgibt.





## Stefan Eberhard, B.Eng. (FH)

Weingartshof 14  
52066 Aachen  
stefan.eberhard@alumni.fh-aachen.de

- seit 04/2014 Studium des Bauingenieurwesens (M.Eng.)
- 2011 - 2014 Studium des Holzingenieurwesens an der FH Aachen (B.Eng.)
- 2009 - 2011 Mitarbeiter der Schreinerei Zimmermann (Düsseldorf)
- 2007 - 2009 Lehre zum Tischler
- 2004 - 2006 leitender Angestellter der Diebels Systemgastronomie
- 2002 - 2003 Wehrdienst
- 2002 Abitur am Collegium Augustinianum Gaesdonck
- 1981 geboren in Moers

# Tragwerksplanung einer Werkhalle mit Variantenuntersuchung zur Stützeneinspannung

Bachelorarbeit, Stefan Eberhard, B.Eng.

Im Rahmen der Bachelorarbeit des Studienganges Holzingenieurwesen wurde in dieser Abschlussarbeit ein Tragwerk für eine Fertigungshalle von 48 Metern Länge und einer Breite von 22 Metern erstellt. Das Haupt-Tragsystem besteht aus einem Satteldachbinder, der 21 Meter in Hallenbreite frei trägt. Dieser Binder liegt einseitig auf einer Einspannstütze auf, auf der anderen Seite auf einer Pendelstütze.

Besonderes Augenmerk wurde auf die Holzstützen gelegt, die im Bereich des Fundamentes eingespannt wurden. Oftmals werden solche Stützen aufgrund der hohen Anforderung an ihre Tragfähigkeit in Stahlbetonbauweise geplant.

Um zu zeigen, dass eingespannte Holzstützen auch bei höheren Lasten durchaus konkurrenzfähig sind, wurde zusätzlich eine Kranbahn mit einer maximalen Hublast von 5 t eingeplant und bemessen. Des Weiteren wurden fünf Varianten zur Realisierung der erforderlichen Einspannwirkung am Stützenfußpunkt vorgestellt, berechnet und verglichen.

Das Ergebnis aus vorangegangenen Berechnungen ist in einem Exposé zusammengefasst. In dieser Zusammenfassung sind sowohl allgemeine Informationen zu allen fünf vorgestellten Anschlußvarianten wie architektonische und brandschutztechnische Eigenschaften zu finden, als auch Belastbarkeiten der einzelnen Varianten. Je nach statischen und optischen Anforderungen kann eine Variante ausgewählt werden. Der Anwender kann bereits im Vorfeld der Statik den erforderlichen Stützenquerschnitt grob abschätzen. Auch für die Planungsphase kann mit Hilfe dieses Exposés eine Variante gewählt werden, die aufgrund ihrer optischen Eigenschaften und des benötigten Querschnitts besonders für das zu planende Projekt geeignet ist.

Für die Angebotsphase wurden die Varianten in Hinblick auf ihre Produktionskosten verglichen. Die Kosten umfassen sowohl Herstellung der Stütze, als auch die Montage der einzelnen Varianten und deren benötigtes Fundament.

Abschließend sei zu erwähnen, dass der Werkstoff Holz nicht nur optische Vorteile gegenüber den herkömmlichen Stützenmaterialien hat, sondern auch ein ökologisches Baukonzept bietet.







## Holzkompetenzzentrum Rheinland

Landesbetrieb Wald und Holz  
Nordrhein-Westfalen



Wald & Holz  
EIFEL

HolzCluster

gefördert durch:

Ministerium für Klimaschutz, Umwelt,  
Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz  
des Landes Nordrhein-Westfalen



BAUEN MIT HOLZ



binderholz

tiptop timber



MetsäWood



TEAMS WORK.





# Impressum

Tagungsband der Aachener Holzbautagung 2015  
am 3. und 4. 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** | 250 Exemplare

ISSN 2197-4489

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

## **Bildnachweis**

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

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

Aachen, August 2015





