

Holzbau-Hochschultag 2015

an der Leibniz Universität Hannover

20. Februar



**Tagungsband zum
Holzbau-Hochschultag 2015
an der Leibniz Universität Hannover
20. Februar 2015**

Herausgeber
Leibniz Universität Hannover
Institut für Bauphysik
Appelstrasse 9a
30167 Hannover

www.ifbp.uni-hannover.de

Inhalt

Inhalt

Wohin führt der Holz(bau)weg?	1
Prof. Dr.-Ing. Leif A. Peterson	
Schallschutz im Holzbau	9
-Trennbauteile im mehrgeschossigen Wohnungsbau-	
Prof. Dr.-Ing. Andreas Rabold	
Natürliche Dauerhaftigkeit in den Gebrauchsklassen	23
Prof. Dr. Andreas O. Rapp	
Dauerhaftigkeit von Sonderkonstruktionen	33
Dipl.-Ing. Ulf Cordes	
Brandschutz im Holzbau	49
Dr.-Ing. Michael Dehne	
Mehrstöckiges Bauen mit Holz	69
Dipl.-Ing. Architekt Tom Kaden	

Wohin führt der Holz(bau)weg?

Prof. Dr.-Ing. Leif A. Peterson

Fachhochschule Aachen

Der Begriff „Holzweg“ wird häufig verwendet, wenn eine Vorgehensweise oder ein Fortschritt als Irrweg oder falscher Weg empfunden wird. Ein Weg der zu keinem bestimmten Ort oder keiner Lösung führt. Ein Weg der plötzlich und abrupt aufhört, wie zum Beispiel eine Sackgasse. Dort muss man dann umkehren und eine andere Richtung einschlagen und dies so lange, bis man auf den ungewissen Pfaden schließlich vielleicht doch an einem Ziel landet.

Das der Holzbau-Weg für die Baubranche eben kein Irrweg ist, soll in diesem Eröffnungsbeitrag der **Holzbau-Hochschultage 2015 in Hannover** aufgezeigt werden. Hierzu wird zunächst der in unseren Tagen stark strapazierte Begriff der Nachhaltigkeit im Allgemeinen (Bild 1) und seine besondere Bedeutung im Bauwesen genauer betrachtet.



Bild 1: Sustainability

1. Nachhaltigkeit

Auf Grund drohender Holzknappheit postulierte der königlich-polnische und kurfürstlich-sächsische Kammer- und Bergrat sowie seit 1711 auch der Oberberghauptmann des Erzgebirges Hans Carlo von Carlowitz, dass nur noch so viel Holz gefällt werden solle, wie durch Wiederaufforstung nachwachsen kann. In seinem bedeutenden Werk „*Sylvicultura oeconomica, oder haußwirthliche Nachricht und Naturmäßige Anweisung zur wilden Baum-Zucht*“ [1] sprach er 1713 erstmals von einem kontinuierlichen, beständigen und nachhaltenden Anbau des Holzes.

Knapp 275 Jahre später, nämlich 1987, findet sich diese Begrifflichkeit im Bericht der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung der Vereinten Nationen [2] wieder. Hier wird über die forstliche Betrachtung hinaus verallgemeinert angegeben:

„Nachhaltige Entwicklung ist eine Entwicklung, die den Bedürfnissen der heutigen Generation entspricht, ohne die Möglichkeiten künftiger Generationen zu gefährden, ihre eigenen Bedürfnisse zu befriedigen.“

Darüber hinaus werden dort zwei Schlüsselbegriffe als wichtig definiert: Der Begriff **Bedürfnisse**, wobei hier insbesondere die Grundbedürfnisse der Ärmsten der Welt die überwiegende Priorität haben sollten, und der Begriff **Beschränkungen**. Entsprechend des Standes der Technologie und der sozialen Organisation soll bei der Beschränkung die Fähigkeit der Umwelt fokussiert werden, gegenwärtige und zukünftige Bedürfnisse zu befriedigen. Nach dieser Definition ist Nachhaltigkeit also die Verantwortung jedes Individuums für globale Gerechtigkeit und Gerechtigkeit zwischen den Generationen.

Dass die Menschheit diesem Anspruch zurzeit mit Ihrem Leistungs- und (Wirtschafts-) Wachstums-Streben nicht gerecht wird, lässt sich unter anderem an der Klimaerwärmung durch den Treibhauseffekt zweifelsfrei belegen (Bild 2). So kommt der Weltklimarat (IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change) in seinem Fünften Sachstandsbericht 2013 [3] zu dem Fazit, dass sich die Treibhaus-

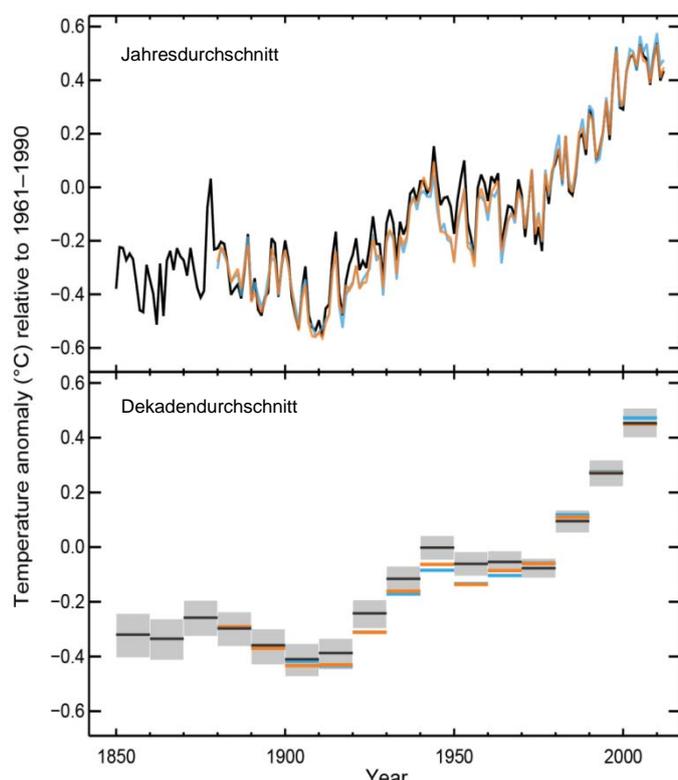


Bild 2: Durchschnittlich Temperaturentwicklung [3]

gasemissionen im Zeitraum 1970–2010, trotz einer wachsenden Zahl von Klimaschutz-Richtlinien, überproportional erhöht haben. Als größten Anteil der Treibhausgase werden mit etwa 78% die CO₂-Emissionen aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe und weiterer Industrieprozesse identifiziert. Der Antrieb für die Steigerung dieser klimaschädlichen Emissionen ist das weltweite Wirtschafts- und Bevölkerungswachstum. Sämtliche Verbesserungen hinsichtlich der Energieeffizienz können die Steigerung bislang, und ohne zusätzliche Anstrengungen auch in Zukunft, nicht kompensieren. Daher wird derzeit im globalen Mittel eine Erhöhung der Erdoberflächentemperatur bis zum Jahr 2100 um gut 4° C gegenüber dem Vor-Industrialisierungs-Level prognostiziert.

Wenn wir also unserer Verantwortung gegenüber den nachfolgenden Generationen gerecht werden wollen, müssen wir in größeren Zyklen als unserer eigenen Lebenszeit denken und noch viel mehr tun. Und genau hier ist der Holzbau-Weg, also die stoffliche Bindung von CO₂ in Bauwerken, gemeinsam mit einer möglichst langen kaskadenartigen Nachnutzung vor der thermischen Endverwertung, der richtige Weg! Wichtige Teile dieses Weges bilden die nachhaltige Holzernte sowie die bewusste Aufforstungen unserer Nutzflächen. Dem Normalverbraucher, der die Holzernte häufig mit Trauer um „seinen Freund den Baum“ begleitet, ist dabei bewusst zu machen, dass sich selbst überlassene Wälder aus Sicht des Klimaschutzes kontraproduktiv sind. Ausgewachsene Naturschutzbiotope befinden sich nahezu in einem CO₂-Gleichgewicht. Nur durch eine nachhaltige Bewirtschaftung mit anschließend langfristiger stofflicher Bindung können die Wälder zur Treibhausgasmindeung beitragen. Durch seinen hohen Materialbedarf ist das Bauwesen für diese Form der CO₂-Speicherung prädestiniert.



Bild 3: Auswahl von Nachhaltigkeit – Bewertungssystemen im Bauwesen

Die existierenden Nachhaltigkeits-Bewertungssysteme (Bild 3: BREEM 1990, Energy Star 1992, LEED 1998, BNB 2009, DGNB 2007...) inkludieren diese ökologischen Qualitätsmerkmale. Darüber hinaus berücksichtigen gerade die nationalen Nachhaltigkeitszertifizierungen Aspekte der Ökonomie, der Soziokultur, der Funktionalität bis hin zu Standortmerkmalen. Die Idee dahinter, dem Normalverbraucher eine einfachere Bewertung beim Kauf oder Verkauf von Immobilien zu ermöglichen, ist sicher gut und sinnvoll. Leider treten durch die Vielzahl der Kriterienkataloge die klimapolitischen Vorteile des Baustoffes Holz etwas in den Hintergrund.

Für die Herstellung dauerhafter und primär- sowie nutzungsenergiearmer Bauwerke bietet der einfach zu bearbeitende Baustoff Holz, auch und gerade im Verbund mit den anderen Baustoffen, bestmögliche Voraussetzungen. Bei der Betrachtung des ganzen Lebenszyklus eines Bauwerkes, inklusive seiner Weiterverwendung am Ende einer Nutzungsphase, kann der Holzbau einen großen Beitrag zur Beschleunigung der Nachhaltigkeit im Bauwesen leisten. In wie weit diese für den Neubau offensichtliche Tatsache auf den Bereich der Bestandsertüchtigung übertragbar ist und welcher Ressourceneinsatz sich dafür rechtfertigen lässt, wird aktuell an der FH Aachen für einen großen Fertighaushersteller im Forschungsprojekt LoCal untersucht. Mit einem interdisziplinären Team aus Architekten, Bauingenieuren und Haustechnikern werden ein Bestandsgebäude Low- und ein weiteres Hightech modernisiert. Ziel ist eine ganzheitliche Bilanzierung von der Planung über die Ausführung bis hin zum Monitoring während der Nutzung und einer abschließenden Lebenszyklusanalyse. Diese Bilanzierung wird vergleichsweise einem dritten Neubaugebäude in Holzbauweise gegenübergestellt und soll Aufschluss darüber geben, welcher Umgang mit Bestandsgebäuden langfristig anzustreben ist [4].

2. Holzbau heute

Im häufig bemessungsmaßgebenden Bereich von Anschlüssen und Verbindungen hat der Baustoff Stahl in vielen Bereichen die traditionellen zimmermannsmäßigen Verbindungen weitgehend abgelöst. Neben Nägeln, Bolzen, Stabdübeln und Stahlformteilen eröffnen hochfeste Stähle und Legierungen eine Vielzahl von optimierten Lastweiterleitungen beispielsweise durch selbstbohrende Holzschrauben. Diese häufig mit Bohrspitzen versehenen Verbindungsmittel finden baupraktische Anwendungen in bis zu zwei Meter Länge. Durch die normative Aufbereitung der Bemessung stiftförmiger Verbindungsmittel, wie sie in Bild 4 für Abscherbeanspruchungen angedeutet ist und auch unter Herauszieh- oder kombinierter Beanspruchung existiert, sind solche Anschlusskonfigurationen im modernen Holzbau gut etabliert.

Auf Grund der zunehmenden Automatisierung der werkseitigen Vorfertigung durch Abbundanlagen erfahren die zimmermannsmäßigen Verbindungen und daraus weiter entwickelte, innovative, direkte oder hybrid geschraubte sowie verklebte Anschlusskonfigurationen eine Renaissance.

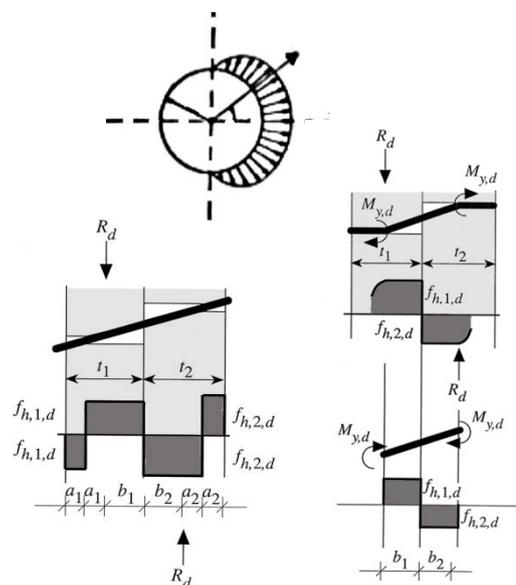


Bild 4: Stiftförmige Verbindungsmittel [5]

Das verhältnismäßig junge Bauprodukt Brettsperrholz (BSPH) lässt sowohl den Wohnungs- als auch den Sonderbau in Holzbauweise mit großen Schritten voran schreiten. Ergänzend zu klassisch stabwerksförmigen Holz-Tragwerken werden hiermit flächige Tragstrukturen realisiert. Gerade unter dynamischen Beanspruchungen, wie zum Beispiel dem außergewöhnlichen Lastfall eines Erdbebens, lassen sich die Übersteifigkeiten solcher Elemente im Vergleich zu den Anschlussbereichen erkennen.

Die offenporige Struktur von Holz ist ursächlich für eine sehr gute Verklebbarkeit. Häufig wird die Verwendung von geklebten Verbindungen des natürlichen Materials kritisch im Hinblick auf die Ökologie und die Nachhaltigkeit bewertet. Der geringe Fugenanteil und die hinsichtlich der Emission optimierten Klebstoffsysteme relativieren solche Kritik.



Bild 5: Anschlussdetail LCT ONE – Cree [6]

Es gibt inzwischen auch weitgehend klebstofffreies BSPH, welches darüber hinaus Vorteile hinsichtlich des sortenreinen Recyclings aufweist.

Unter Berücksichtigung einer verhältnismäßig geringen Energieaufwendung für die werkseitige Vorfertigung, für den Transport und für die Montage lassen sich schon heute großartige Konstruktionen realisieren, die zudem jeweils große CO₂-Speicher darstellen (z.B. Bild 5 und [7]) Für die langfristige Dauerhaftigkeit von Holzkonstruktionen ist der konstruktive Holzschutz, also die

Abdichtung, bzw. die dauernde Trockenhaltung des organischen CO₂-Speichers, unerlässlich. Alternativ zu abdichtenden Baustoffen in bauphysikalisch durchdachten Außenbauteilaufbauten, ergeben sich unterschiedliche Möglichkeiten zur Nutzungszeitverlängerung. Durch thermische oder chemische Modifikationen des organischen Materials zu Ungunsten seiner Hygroskopizität, also seiner Wasseraufnahmefähigkeit, kann sogar die direkte Bewitterung in Frage kommen. Die entsprechenden chemischen Maßnahmen und Methoden, wie Acetylierung oder Silizilierung sind derzeit noch in einem

frühen Entwicklungsstadium und werden vor der breiteren Anwendung noch hinsichtlich des eingesetzten Energieaufwandes im Verhältnis zur Nutzungszeitverlängerung hinterfragt werden müssen.

3. Visionen

Friedensreich Regentag Dunkelbunt Hundertwasser: „Die grade Linie ist gottlos und unmoralisch. Die grade Linie ist die einzige unschöpferische Linie, die dem Menschen als Ebenbild Gottes nicht entspricht. Die grade Linie ist die verbotene Frucht. Die grade Linie ist der Fluch unserer Zivilisation.“[8]



Bild 6: Natürlicher Lastabtrag

Zerlegbarkeit und Weiterverwendbarkeit hierbei die Verbünde mit den anderen Materialien zu den besten Lösung führen.

Nichts in der Natur ist so grade wie wir es als Ingenieure mit unserem Lineal konstruieren. Wenn wir die Natur und ihre evolutionär optimierten Konstruktionsprinzipien nach der Lehre der Bionik zu unserem Vorbild erheben, werden wir effizienter bauen. Die mögliche Formenvielfalt, wie sie im Brett-schichtholzbau längst praktiziert wird, wird auch für das Bauprodukt Brettsperrholz zukünftig zunehmend an Bedeutung gewinnen. So lassen sich zum Beispiel mit der von Claus Mattheck vorgestellten Methode der Zugdreiecke [9] kerbspannungsarme Lastweiterleitungen natürlicher Tragstrukturen, entsprechend des in Bild 6 dargestellten Wurzelanlaufs von Bäumen, sehr gut nachkonstruieren. Derart optimierte Bauteile lassen sich unter Verwendung von gekrümmt und/oder tordiert verleimten Brett-lamellen oder Furnieren in Holzbauweise hervorragend herstellen.

Außerdem werden die Anschlusspunkte aus innovativen Holz-Holz-Anschlüssen zugunsten einer effektiven Lastweiterleitung weiterentwickelt (Bild 7). Sicher werden im Hinblick auf eine

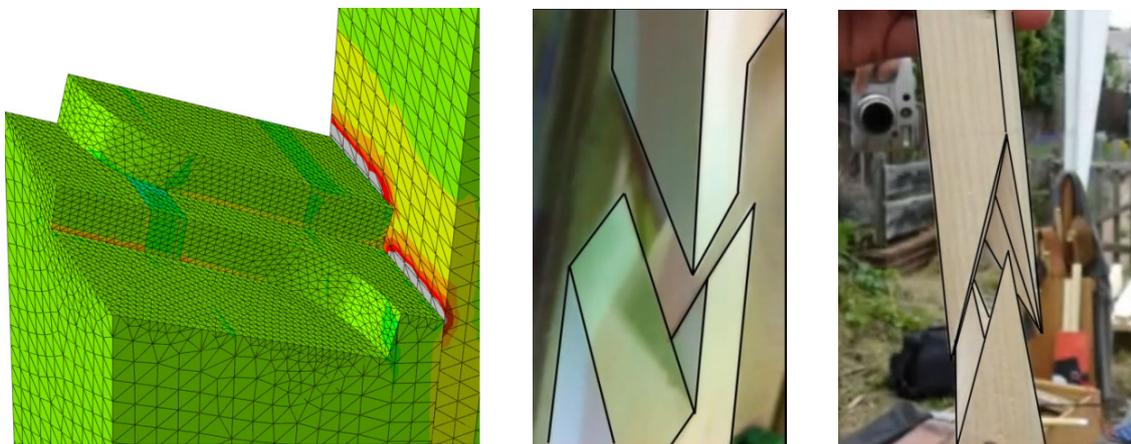


Bild 7: Mögliche Holz-Holz-Anschlussentwicklungen

Für die weitere Verbreitung und langfristige Akzeptanz solcher Innovationen von Seiten der Normungs-, Zulassungs- und Genehmigungsstellen lassen sich die vornehmlich zu bearbeitenden Aufgabenfelder derzeit im Wesentlichen unter den Anforderungskriterien „Dynamische Beanspruchung“ und „Klimabedingungen“ subsumieren. Das strukturelle Dämpfungsverhalten und die seit jeher im Holzbau praktizierte Werksvorfertigung offenbaren hier noch vielversprechende Lösungen. So konnten in einem Forschungsvorhaben unter Beteiligung der Lehrgebiete Holzbau und Karosserietechnik an der FH Aachen Potentiale von Holzwerkstoffen unter dynamischen Beanspruchungen für den Fahrzeugbau aufgezeigt werden.

Mit dem steigenden Bedarf an Holz im Bauwesen wird früher oder später die Beschränkung zwangsläufig erforderlich werden. Modelle, wie die in der Schweiz zugunsten einer globaleren Gerechtigkeit bereits propagierte 2000-Watt-Gesellschaft, haben diesen Grundgedanken bereits energetisch verankert. Diesen Ressourcengedanken sollten wir, wie von Hermann Blumer vorgeschlagen, beispielsweise als eine „Ein-Kubikmeter-Holz-pro-Kopf(-und-Jahr)-Gesellschaft“ auch auf unseren natürlichen Rohstoff expandieren. Berechnungsmodelle hierzu zeigen, dass diese Menge für eine Durchschnittsfamilie ausreicht, um ein Holzhaus zu bauen und weitgehend unabhängig von dem klimatischen Standort auch behaglich zu betreiben. Bei dem derzeitigen weltweiten Zuwachs von etwa acht Milliarden Kubikmeter Holz pro Jahr lässt sich dieses Modell als Grundlage für eine global-gesellschaftliche Sinnfindung verwenden.

Wenn wir im Rahmen dieser kollektiven Sinnsuche die mangelnde Zukunftsfähigkeit der westlichen Wachstumskultur erkennen und ihre Endlichkeit rechtzeitig begreifen, bleibt nur eine ökonomische und kulturelle Erneuerung ohne das individuelle Streben nach dem Immer-mehr. Dieser Weg in eine postmaterielle Innovationsgesellschaft ist sicher kein leichter. Das Streben nach dem Besserein ist neben der Weiterentwicklung und der Neuentdeckung schließlich nicht weniger als ein zentraler Motor unseres Daseins! Aber die Geldkrisen unserer Märkte sind bereits heute das Sinnbild eines Wachstumsmodells, das sich seiner eigenen Grundlagen beraubt [11]. Aber brauchen wir als schrumpfende Gesellschaft beispielsweise in Deutschland denn überhaupt ein Wirtschaftswachstum?

Aufgabe unseres digitalen Zeitalters, in dem der optimierungsgetriebene Mensch sich schon selbst als Datenquelle zum Gegenstand seiner Entdeckungslust macht, sollte sein, nicht nur wie der aktuelle Zeitgeist „auf Sicht zu fahren“, sondern in größeren Zyklen als den eigenen denkend die Schöpfung zu bewahren. Gemeinsam mit einer gesellschaftlichen Orientierung in Richtung des Mit- und Füreinander der Ameisen ist der Holzbau-Weg ein gut geeignetes Fundament für den Weg in die Zukunft.

Lassen Sie uns gemeinsam in diesem Sinne, mit und durch den konstruktiven Ingenieurholzbau einen Schritt in Richtung einer besseren Welt gehen. Hierzu wünsche ich uns allen im Rahmen dieser ersten **Holzbau-Hochschultage 2015 in Hannover** viele positive, impulsive – ja hier noch einmal bewusst: NACHHALTIGE – Denkanstöße.

Literatur:

- [1] H. C. von Carlowitz: *Sylvicultura oeconomica, oder haußwirthliche Nachricht und Naturmäßige Anweisung zur wilden Baum-Zucht*. Leipzig, Braun 1713, Reprint Remagen, Kessel Verlag 2012, ISBN 978-3-941300-56-9
- [2] V. Hauff (Hrsg.): *Unsere gemeinsame Zukunft. Der Brundtland-Bericht der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung*. Eggenkamp Verlag, Greven 1987, ISBN 3-923166-16-8
- [3] IPCC: *Der Fünfte IPCC-Sachstandsbericht*, www.de-ipcc.de/de/200.php
- [4] www.haus-2050.de/index.php?id=46
- [5] Arbeitsgemeinschaft Holz e.V., H.J. Blaß, R. Görlacher, G. Steck (Hrsg.): *Holzbauwerke nach Eurocode 5. Bemessung und Baustoffe. STEP 1*, Selbstverlag Düsseldorf 1995
- [6] www.modemconclusa.de/presseservice/detail/abschluss-der-holzbauphase-am-ersten-lifecycle-tower.html
- [7] www.sweco.no/no/Norway/Nyheter/2014/Webcam_Treeet/
- [8] J. Harel: *Die falsche Kunst und der kulturpolitische Machtanspruch*. Museums Betriebs Gesellschaft m.b.H. aus dtv2886, Wien 1992
- [9] C. Mattheck: *Verborgene Gestaltungsetze der Natur*. Forschungszentrum Karlsruhe GmbH 2006 ISBN-13 978-3-923704-53-8
- [10] R.Brühwiler: *Holz kann die Welt verändern*. Appenzeller Verlag Herisau 2013
- [11] D. Sehnaas und C. Schwarz: Weiter. Immer weiter. WirtschaftsWoche Nr. 52, Verleger D. v. Holtzbrinck Düsseldorf 22.12.2014

Schallschutz im Holzbau

-Trennbauteile im mehrgeschossigen Wohnungsbau-

Prof. Dr.-Ing. Andreas Rabold

Hochschule Rosenheim
ift Rosenheim

1. Einleitung

Zum Schutz gegen unzumutbare Belästigungen aus fremden Wohnbereichen werden in der DIN 4109 [1] Anforderungen an die Schalldämmung der Trennbauteile zwischen den Wohnbereichen gestellt. Diese Anforderungen können von heute üblichen Konstruktionen bei fehlerfreier Ausführung sowohl in Holzbauweise als auch in Massivbauweise problemlos eingehalten werden. Dies spiegelt sich auch bei Güteprüfungen der Luft- und Trittschalldämmung am Bau wider. Bei Umfragen unter den Bewohnern von Mehrfamilienhäusern wird jedoch häufig die Trittschallübertragung der Trenndecke als störende Geräuschquelle genannt [2], [3]. Die Beurteilung der Trittschallübertragung von Trenndecken anhand des bewerteten Norm-Trittschallpegels im Bau ($L'_{n,w}$) als alleinige Bewertungsgröße scheint somit unabhängig von der Bauweise nicht ausreichend zu sein, um dem subjektiven Empfinden des Bewohners gerecht zu werden.

Als Voraussetzung für die Auswahl geeigneter Deckenkonstruktionen im mehrgeschossigen Holzbau wird deshalb in Abschnitt 2 zunächst ein zutreffendes Beurteilungskriterium für die Trittschallübertragung gewählt und Wege zur konstruktiven Umsetzung aufgezeigt. Bei der Luftschalldämmung von Trennwänden und Trenndecken in der Geschossbauweise spielt der Anteil der Flankenübertragung eine wesentliche Rolle, wie die Beispiele ausgeführter Objekte in Abschnitt 3 zeigen. Um diese Anteile der Flankenübertragung genauer berücksichtigen zu können und eine wirtschaftlichere Planung zu ermöglichen wird ein Forschungsprojekt [4] durchgeführt, auf dessen Inhalte in Abschnitt 4 vorgestellt werden.

2. Schalltechnische Bauteiloptimierung

2.1. Korrelation von $L_{n,w}$ und subjektivem Empfinden

Die Korrelation zwischen dem subjektiven Empfinden des Bewohners und dem nach DIN EN ISO 717-2 bewerteten Norm-Trittschallpegel wurde bereits in diversen Projekten untersucht [3], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11]. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen stimmen in ihren Schlussfolgerungen überein, wonach kein brauchbarer Zusammenhang zwischen den beiden Größen existiert. Zur Veranschaulichung dieses Resultats werden in Abbildung 2 Ergebnisse von Messungen mit dem Norm-Hammerwerk nach DIN EN ISO 140-6 bzw. DIN EN ISO 10140-2 [12] mit den Trittschallübertragungen beim Begehen der Decken verglichen (zur Messanordnung siehe Abbildung 1). Zur gehörrihtigen Bewertung wurde aus der Trittschallübertragung beim Begehen der Decke der A-bewertete und nachhallkorrigierte Maximalwert des Trittschallpegel $L_{AFmax,n}$ gebildet. Die einzelnen Punkte in Abbildung 2- links, die jeweils das Ergebnis eines Deckenaufbaus darstellen, zeigen eine sehr schwache Korrelation. Die Messungen für diesen Vergleich erfolgten im Rahmen einer Studienarbeit an der Hochschule Rosenheim [13] und einem Forschungsprojekt des ift Rosenheim [14]. Ergänzende Messungen wurden im Firmenprüfstand von Knauf, Iphofen [15] durchgeführt. Die Messungen erfolgten somit in drei unterschiedlichen Prüfständen und von unterschiedlichen Messteams, womit Unsicherheiten, die auf die unterschiedlichen Prüfstandsabmessungen oder die Unterschiedlichkeit der Deckenanregung bei verschiedenen Gehern zurückzuführen sind, bereits enthalten sind. Um die Anregung bei der Begehung der Decke reproduzierbarer zu gestalten, wurden die relevanten Eckdaten für den Geher festgelegt.¹

¹ Geher männlich, 75-85 kg, Gehen auf Socken mit 90-100 Schritt/Min. im Kreis u. Acht

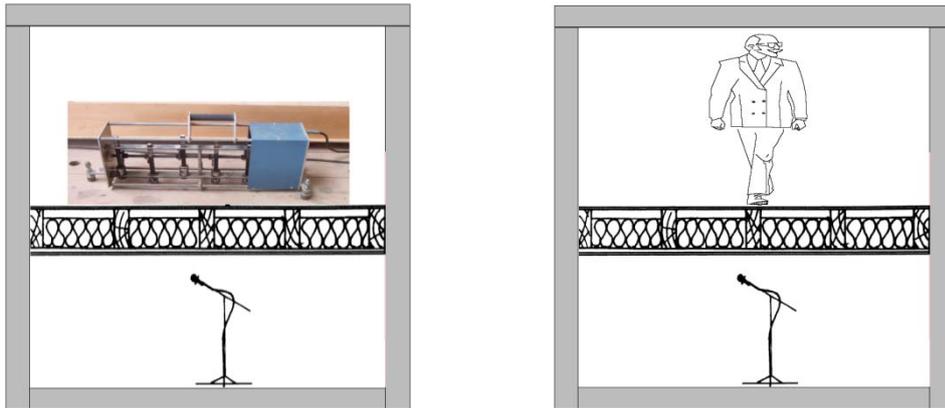


Abbildung 1: Messung der Trittschallübertragung einer Decke. Links: Trittschallanregung durch das Norm-Hammerwerk. Rechts: Anregung durch Begehen der Decke.

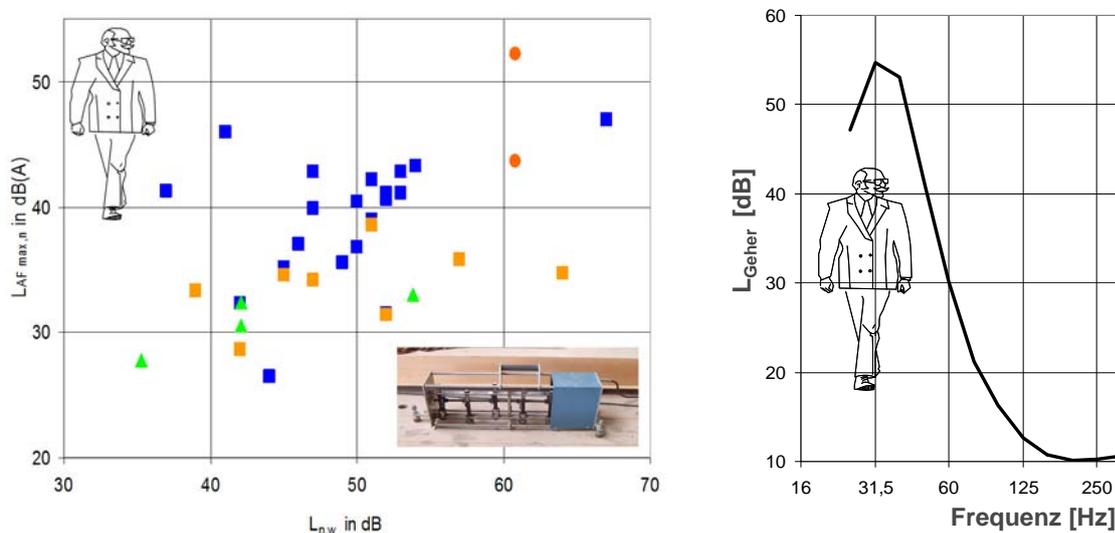


Abbildung 2: Korrelation von $L_{n,w}$ und subjektivem Empfinden.

Links: Zusammenhang zwischen dem bewerteten Norm-Trittschallpegel $L_{n,w}$ und dem A-bewerteten Trittschallpegel $L_{AFmax,n}$ beim Begehen von Holzdecken. Blaue Quadrate: Messungen im ift Rosenheim [14], orange Kreise: Messungen an der HS Rosenheim [13], grüne Dreiecke: Messungen im Deckenprüfstand von Knauf, Iphofen [15].

Rechts: Frequenzabhängige Darstellung der Trittschallübertragung beim Begehen einer Decke.

Die Ursache der schwachen Korrelation wird in Abbildung 2 - rechts anhand der frequenzabhängigen Darstellung einer typischen Trittschallübertragung beim Begehen einer Holzdecke gezeigt. Aus den Pegeln ist deutlich zu ersehen, dass beim Begehen der Decke nahezu die gesamte Übertragung der Schallenergie unterhalb von 100 Hz erfolgt. Im Gegensatz hierzu wird bei der Bewertung des Norm-Trittschallpegels nach DIN EN ISO 717-2 ausschließlich der Frequenzbereich von 100 - 3150 Hz für den Einzahlwert ($L_{n,w}$) verwendet. Der $L_{n,w}$ kann deshalb den für das subjektive Empfinden relevanten Bereich unter 100 Hz nicht beurteilen. Eine bessere Korrelation ist somit nur durch eine veränderte Bewertung des Norm-Trittschallpegels zu erreichen. Um dem Problem der geringen Korrelation zwischen realem Geher und dem bewerteten Norm-Trittschallpegel zu begegnen, wurde in DIN EN ISO 717-2 ein Spektrum-Anpassungswert C_i eingeführt, der auch für den nach unten erweiterten Frequenzbereich bis 50 Hz angewendet werden kann ($C_{i,50-2500}$). Durch die zusätzliche Berücksichtigung des Spektrum-Anpassungswerts ($L_{n,w} + C_{i,50-2500}$) wird die Korrelation deutlich verbessert.

2.2. Zielwerte der Bauteilentwicklung für die Trittschalldämmung

Bevor die Korrelation zwischen $L_{AFmax,n}$ und $L_{n,w} + C_{1,50-2500}$ für die Festlegung der Zielwerte verwendet werden kann, ist zu hinterfragen, ob die Bewertung der Trittschallpegel beim Begehen der Decke durch die gebräuchliche A-Bewertung tatsächlich gehörriichtig ist. Hierzu wird in Abbildung 3 - links die A-Bewertung der Trittschallpegel der wesentlich umfangreicheren und genaueren Bewertung nach Zwicker [16] gegenübergestellt. Es zeigt sich, dass zumindest für diese Art der Anregung und im relevanten Wertebereich zwischen 25 und 45 dB(A) eine gute Übereinstimmung erreicht werden kann.

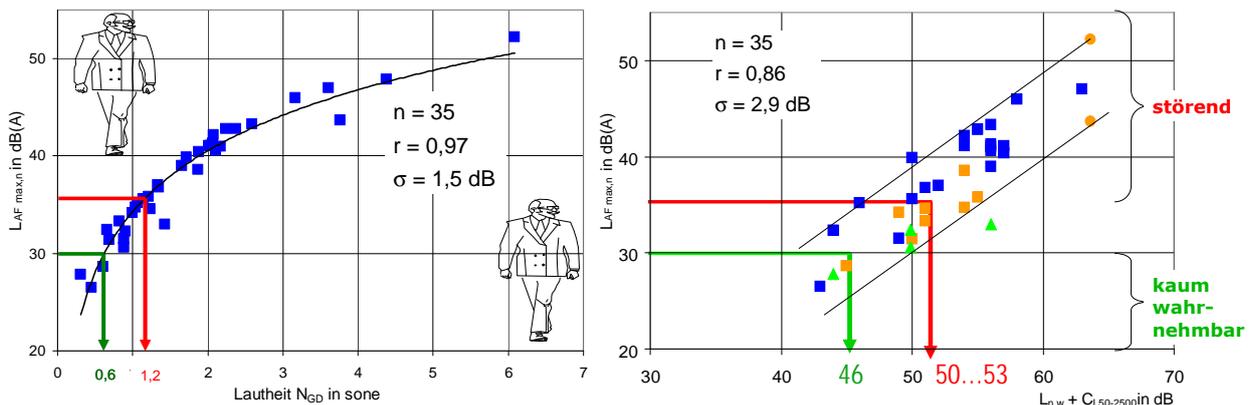


Abbildung 3: Zielwerte für die Bauteilentwicklung.

Links: Zusammenhang zwischen dem $L_{AFmax,n}$ und der Lautheit nach Zwicker [16]

Rechts: Zusammenhang zwischen dem $L_{AFmax,n}$ und dem $L_{n,w} + C_{1,50-2500}$

Abbildung 3 - rechts zeigt eine nun deutlich bessere Korrelation zwischen den A-bewerteten Trittschallpegeln beim Begehen der Decke und den nach DIN EN ISO 717-2 mit $L_{n,w} + C_{1,50-2500}$ bewerteten Hammerwerks-Messungen. Hierdurch wird auch ersichtlich, dass die in Abbildung 2 - links gezeigte, schwache Korrelation weniger durch die Art der Anregung mit dem Norm-Hammerwerk als vielmehr durch die unzutreffende Bewertung über den $L_{n,w}$ verursacht wurde. Zur Festlegung der Zielwerte für eine gute Trittschalldämmung kann nun das subjektive Empfinden berücksichtigt werden. Die in einigen europäischen Ländern bereits umgesetzte Anforderung an den $L_{n,w} + C_{1,50-2500} \leq 53$ dB [3] entspricht in Abbildung 3 - rechts in etwa einem $L_{AFmax,n} \leq 35 - 37$ dB(A). Erfahrungsgemäß ist oberhalb dieser Grenze mit störenden Trittschallübertragungen zu rechnen [9]. Für einen $L_{n,w} + C_{1,50-2500} \leq 46$ dB beträgt der A-bewertete Trittschallpegel in etwa $L_{AFmax,n} \leq 30$ dB(A) und ist, je nach Umgebungsgeräusch, kaum noch wahrnehmbar. Die diesen Zielwerten ($L_{n,w} + C_{1,50-2500} \leq 53$ dB bzw. ≤ 46 dB) zugeordneten A-bewerteten Trittschallpegel ($L_{AFmax,n} \leq 35$ dB(A) bzw. ≤ 30 dB(A)) ergeben in Abbildung 3 - links eine Halbierung der Lautheit, die auch in der subjektiven Empfindung einer Halbierung entspricht.

2.3. Konstruktive Umsetzung

Für die konstruktive Umsetzung in der Bauteilentwicklung stehen für die schalltechnische Optimierung im Wesentlichen zwei Möglichkeiten zur Verfügung: die Erhöhung der Masse und die Verbesserung der Entkopplung. Durch die Erhöhung der Masse in Form einer Rohdeckenbeschwerung oder einer Beschwerung der Unterdecke wird die Anregbarkeit (Admittanz) und damit letztendlich die resultierende Oberflächenschnelle reduziert. Somit wird die abgestrahlte Schalleistung verringert. Die Entkopplung durch einen schwimmenden Estrich oder eine abgehängte Unterdecke reduziert oberhalb der genügend tief abzustimmenden Resonanzfrequenz die Übertragung der Bauteilschwingungen innerhalb der Konstruktion. Die Erarbeitung von Konstruktionshilfen für schalltechnisch optimierte Deckenaufbauten auf Basis dieser Ansätze erfolgte anhand der in Abschnitt 2.3 beschriebenen Berechnungsmethode. Das Berechnungsmodell wurde mit Messergebnissen aus der Datenbank des ift Schallschutzzentrums validiert. Anhand der numerischen Berechnungen des validierten Modells konnten die Wechselwirkungen der Deckenkomponenten mit geringem Aufwand untersucht und optimierte Konstruktionen erarbeitet werden. Nach der messtechnischen Überprüfung der optimierten Konstruktionen wurden die Ergebnisse, unterstützt

durch eine systematische Auswertung der Decken-Datenbank am ift-Schallschutzzentrum, in Form von Konstruktionshilfen zusammengestellt (siehe Anhang). Als Beispiel für optimierte Deckenkonstruktionen zeigt Abbildung 4 den Vergleich der Messergebnisse einer Massivholzdecke und einer Holzbalkendecke mit den Norm-Trittschallpegeln konventioneller Stahlbetondecken. Als Optimierungsansatz wurde hier die schallabstrahlende Ebene (Massivholzelement bzw. Unterdecke) beschwert.

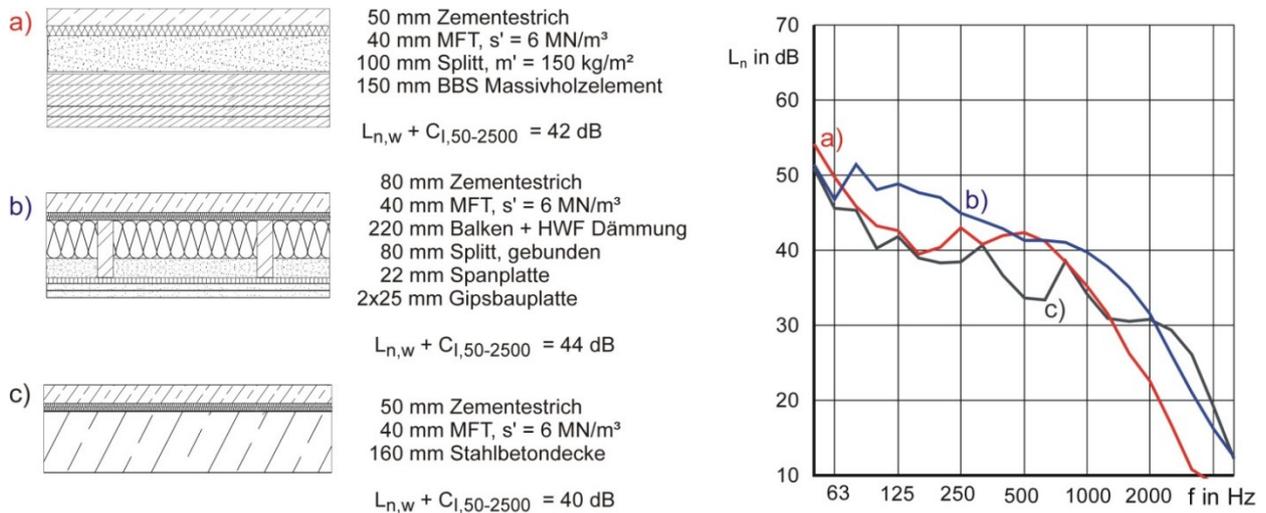


Abbildung 4: Messwerte optimierter Holzdecken durch Erhöhung der Masse im Vergleich zu Stahlbetondecken [14]

Ein Beispiel für optimierte Decken durch effektive Entkopplung ist in Abbildung 5 gezeigt. Die Gegenüberstellung zeigt, dass bei entsprechender Konstruktion die gute Trittschalldämmung einer Stahlbetondecke auch mit deutlich leichteren Decken erreicht werden kann.

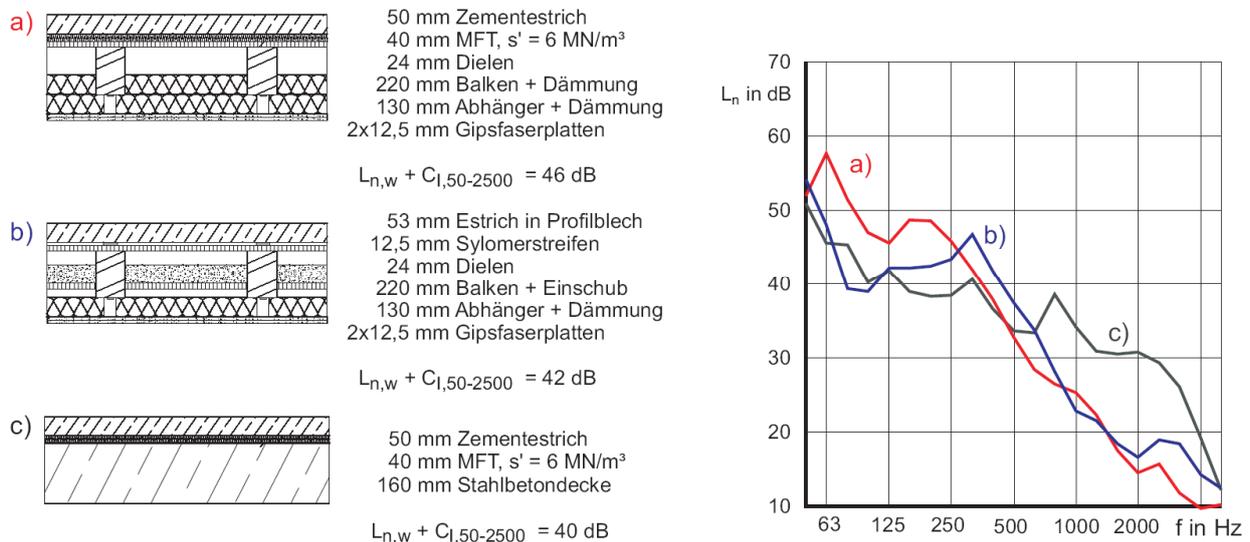


Abbildung 5: Messwerte optimierter Holzdecken durch abgehängte Unterdecken - im Neubau und in der Altbausanierung - im Vergleich zu Stahlbetondecken [18]

3. Ausgeführte Objekte in Massivholzbauweise

Zur Illustration der mehrgeschossigen Holzbauweise werden in Abschnitt 3.1 zunächst zwei aktuelle Bauvorhaben vorgestellt. Für die im Bauvorhaben eingesetzten Konstruktionen werden die im Labor ermittelten Luft- und Trittschallwerte den Ergebnissen der Baumesung inkl. Flankenübertragung gegenübergestellt. In Abschnitt 3.2 wird auf den Vergleich der prognostizierten Schalldämmung mit der Messung am Bau eingegangen.

3.1. Bauvorhaben

Die Bauvorhaben wurden beide in Bad Aibling, Nähe Rosenheim von der B&O Wohnungswirtschafts GmbH ausgeführt. Der Entwurf erfolgte durch SCHANKULA Architekten. Der Holzbau wurde durch Huber & Sohn erstellt.

Die Konstruktion der Decken und Wände erfolgte in Massivholzbauweise. Die Trenndecke erhielt zusätzlich zum schwimmenden Zementestrich eine Beschwerung aus gebundenem Splitt. Die Untersicht der Trenndecke konnte wunschgemäß in weiten Bereichen sichtbar bleiben. Alle tragenden Wände wurden aus Brandschutzgründen mit einer K₂60 Kapselung aus 2x18 mm Gipsfaserplatten versehen. Die Wohnungstrennwände wurden im zunächst erstellten 4-Geschosser als komplett getrennte Wandscheiben konstruiert. Im 8-Geschosser konnte die Trennwandkonstruktion auf Grund der positiven Erfahrungen im 4-Geschosser und ergänzender Labormessungen auf eine kostengünstigere einschalige Konstruktion mit entkoppelter Installationsebene reduziert werden.



Abbildung 6: 4- und 8-Geschosser in Bad Aibling bei Rosenheim. Bildrechte B&O Wohnungswirtschafts GmbH

3.2. Ergebnisse der Luft und Trittschalldämmung

Die Ergebnisse der Luft- und Trittschallmessung am Bau wurden mit den Ergebnissen ähnlicher Konstruktionen im Labor ohne Nebenwege verglichen. Der Norm-Trittschallpegel der Trenndecke im 4-Geschosser wird in Abbildung 7 gezeigt. mit einem $L'_{n,w} + C_{1,50-2500} = 45$ dB liegt das Ergebnis auch inklusive Flankenübertragung im "Komfortbereich" nach Abbildung 3, der erwarten lässt, dass Gehgeräusche vom Bewohner kaum noch wahrgenommen werden können. Dies deckt sich auch mit den Erfahrungen der Bewohner des mittlerweile bezogenen 4-Geschossers. Im 8-Geschosser wurde die Trenndecke in den unteren Stockwerken vergleichbar ausgeführt. In den oberen Geschoßen wurden Versuchsaufbauten mit Trockenestrich realisiert.

Der in Abbildung 7 gezeigte Vergleich der Baumessungs-Ergebnisse mit Laborergebnissen ohne Flankenübertragung belegt auch, dass die tieffrequente Trittschallübertragung unter 100 Hz durch die Flankenübertragung am Bau kaum beeinflusst wird. Beide Messkurven liegen in diesem Frequenzbereich nahe beieinander. Auch die Einzahlwerte inklusive Spektrumanpassungswert unterscheiden sich um nur 3 dB. Dies kann auch durch die statistische Auswertung der im ift Rosenheim für Trenndecken vorhandener Vergleiche zwischen Labor- und Baumessung bestätigt werden. Die Differenzen lagen dort zwischen 0-3 dB [20].

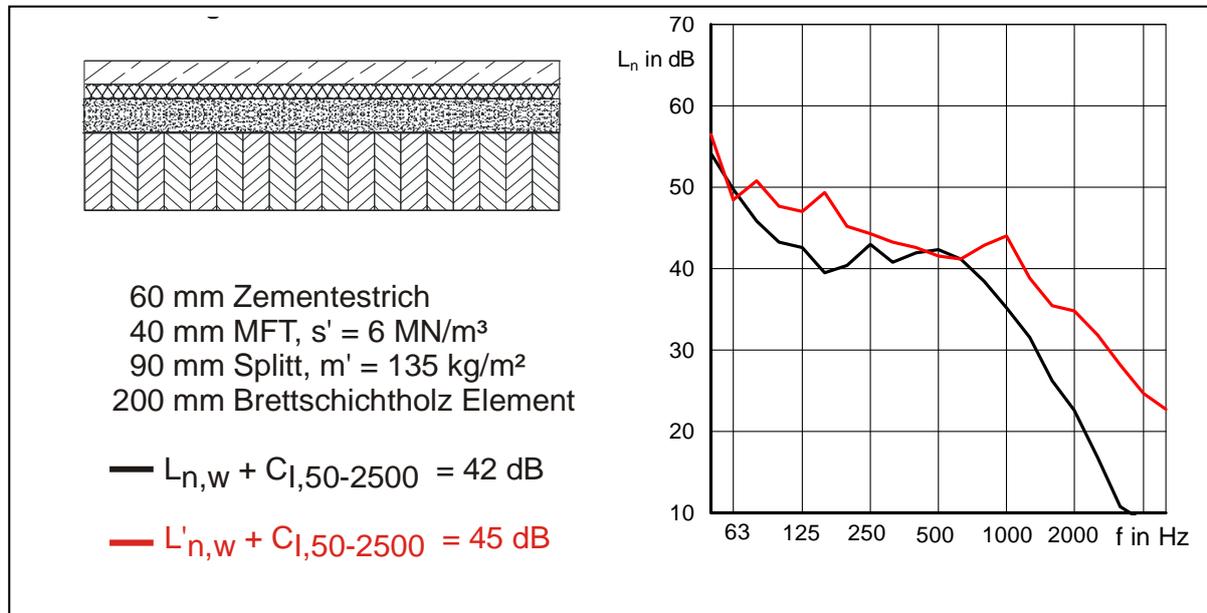


Abbildung 7: Norm-Trittschallpegel der Wohnungstrenndecke.

Links: Deckenaufbau im 4-Geschosser.

Rechts: Vergleich der Messergebnisse am Bau mit Laborergebnissen eines ähnlichen Aufbaus

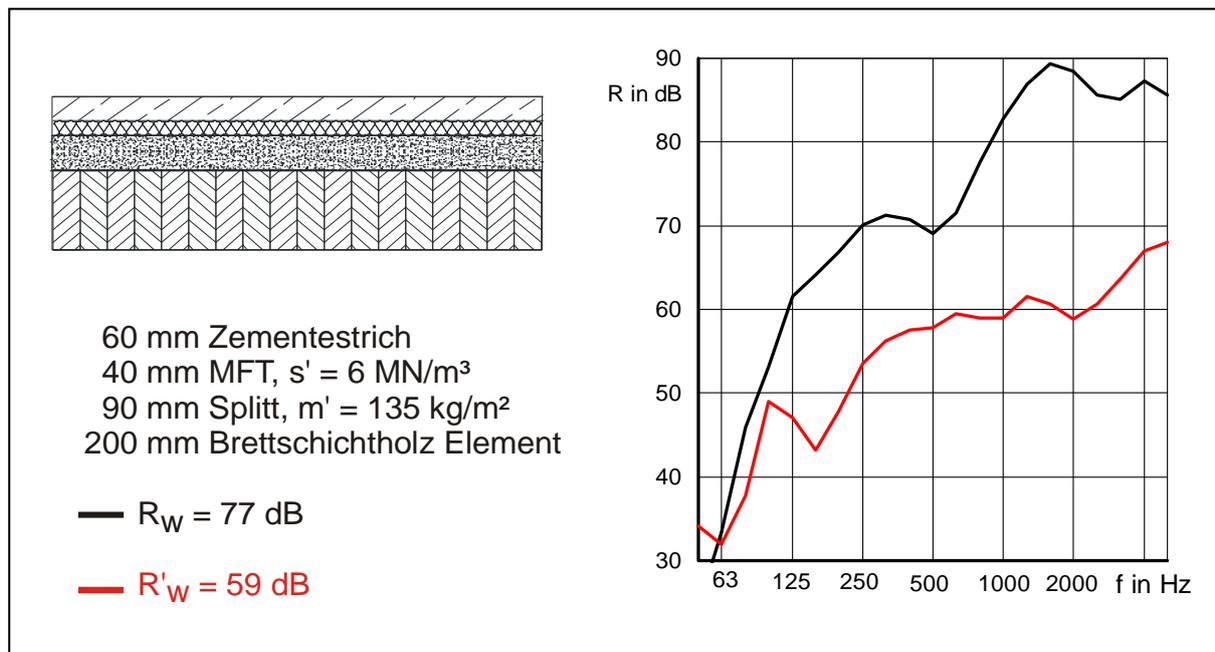


Abbildung 8: Schalldämm-Maß der Wohnungstrenndecke.

Links: Deckenaufbau im 4-Geschosser.

Rechts: Vergleich der Messergebnisse am Bau mit Laborergebnissen eines ähnlichen Aufbaus

Bei der Luftschalldämmung dominiert hingegen die Flankenübertragung, wie Abbildung 8 zeigt. Hier wird das Schalldämm-Maß von $R_w = 77$ dB für die Trenndecke ohne Nebenwege auf $R'_w = 59$ dB inklusive Nebenwege reduziert. Der Zielwert (Schallschutzstufe II nach VDI 4100:2007) wurde sicher erreicht. Auf Grund der bereits erwähnten Kapselung der flankierenden Wände mit 2 x 18 mm GF konnte in der Planungsphase gezeigt werden, dass eine zusätzliche Entkopplung des Deckenauflegers mit Elastomeren für dieses Bauvorhaben nicht erforderlich ist.

Die Wohnungstrennwand wurde im 4-Geschosser mit einer kompletten Trennung der Wandelemente und der flankierenden Bauteile realisiert. Auf Grund der Messergebnisse im 4-Geschosser, die mit $R'_w = 66$ dB deutlich über dem Zielwert ($R'_w = 56$ dB) lagen, wurde die Konstruktion für den Einsatz im 8-Geschosser anhand von zusätzlichen Labormessungen kostenoptimiert. Die Trennwand wurde einschalig mit entkoppelter Vorsatzschale ausgeführt, die flankierenden Bauteile sind unterbrochen, aber nicht vollständig getrennt.

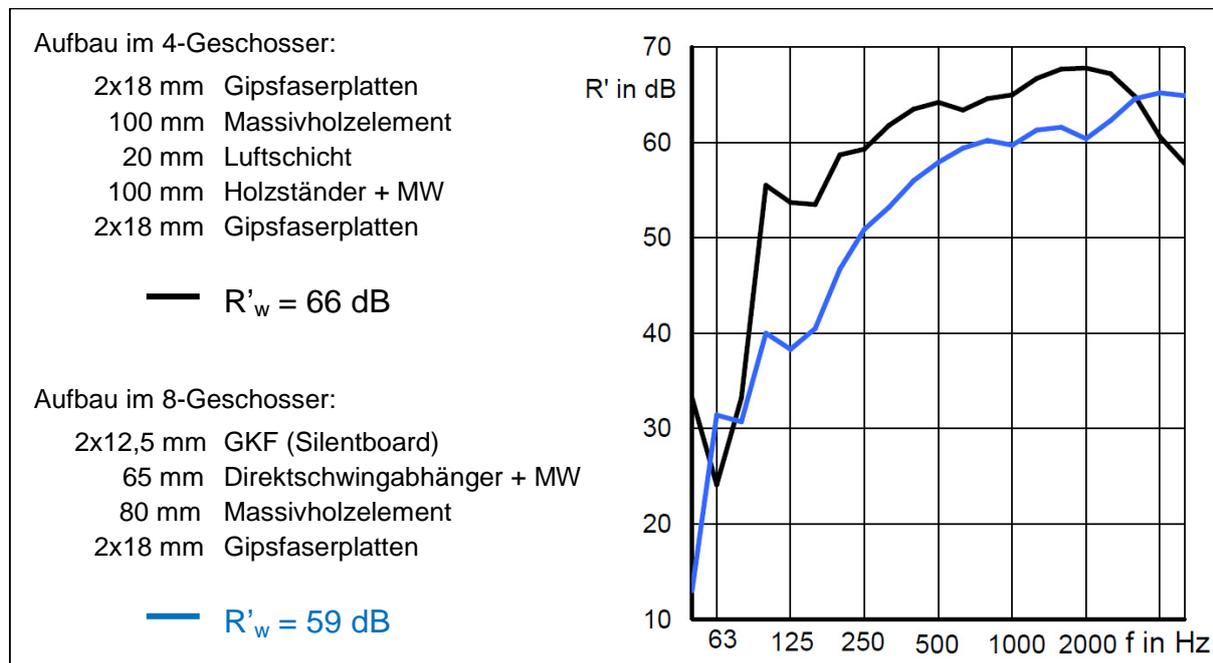


Abbildung 9: Schalldämm-Maß der Wohnungstrennwand. Oben: Wohnungstrennwand mit kompletter Trennung im 4-Geschosser. Unten: Kostenoptimierte Wohnungstrennwand im 8-Geschosser.

4. Schalltechnische Planung als Teil des Bauwerkinformationsmodells

Wie das vorangegangene Beispiel der Wohnungstrennwand im 4-Geschosser (s. Abbildung 9) zeigt, werden Bauteile häufig überdimensioniert, um die Anforderungen an den Schallschutz sicher erfüllen zu können. Die Ursache hierfür ist, dass für die Planung häufig nur einfache Ersatzmodelle und konservative Ansätze zur Verfügung stehen. Geeignete computergestützte Planungswerkzeuge, die eine Simulation der genannten bauphysikalischen und konstruktiven Eigenschaften bereits im frühen Planungsentwurf für das gesamte Bauwerk und nicht nur für einzelne Komponenten ermöglichen, könnten den Planungsaufwand nicht nur drastisch reduzieren, sondern auch zuverlässiger machen, die Qualität entscheidend erhöhen und damit letztendlich die Wettbewerbsfähigkeit von Holzbauten fördern.

Aus dieser Motivation heraus wird derzeit ein Kooperationsprojekt der TU-München, der Hochschule Rosenheim und des ift Rosenheim durchgeführt. Als Zielsetzung des Projekts ergibt sich ein Planungsprozess, der die numerische Simulation und den Nachweis vibroakustischer Gebäudeeigenschaften eng an ein umfassendes Bauwerkinformationsmodell (BIM) koppelt. Dies ermöglicht dem Fachplaner einen optimierten Entwurf einzelner Bauteile, die Untersuchung deren (schwingungstechnischer) Kopplung sowie der vibroakustischen Eigenschaften des Gesamtgebäudes bereits in einem frühen Planungsstadium.

In Kombination mit der Methode der Statistischen-Energie-Analyse (SEA) wird hierzu die Erweiterung vorhandener Finite-Elemente-Verfahren hinsichtlich einer geometrisch-mechanischen und vibroakustisch konsistenten Kopplung von Bauteilen sowie die Ableitung des volumenorientierten Gesamtmodells aus dem Bauwerksinformationsmodell angestrebt.

4.1. Vibroakustischer Planungsprozess im Überblick

Zur Illustration des methodischen Ansatzes wird in

Abbildung 10 der vibroakustische Planungsprozesses im Kontext des gesamten Planungsablaufs vom Entwurf bis zur Werksplanung gezeigt.

Ausgangspunkt des Prozesses ist der architektonische Entwurf der in ein **Bauwerksinformationsmodell (BIM)** überführt wird. Im BIM werden neben der bauteilorientierten räumlichen Geometrie des Gebäudes insbesondere dessen mechanische und bauphysikalische Attribute gespeichert. Dieses Modell basiert auf dem Standard der Industry Foundation Classes (IFC), die gegebenenfalls um die für die Vibroakustik von Holzbauten notwendigen zusätzlichen Attribute zu erweitern sind. Dieses Informationsmodell kann nicht nur für die hier betrachtete schalltechnische Planung, sondern auch für vielfältige andere Planungsaufgaben verwendet werden, wie

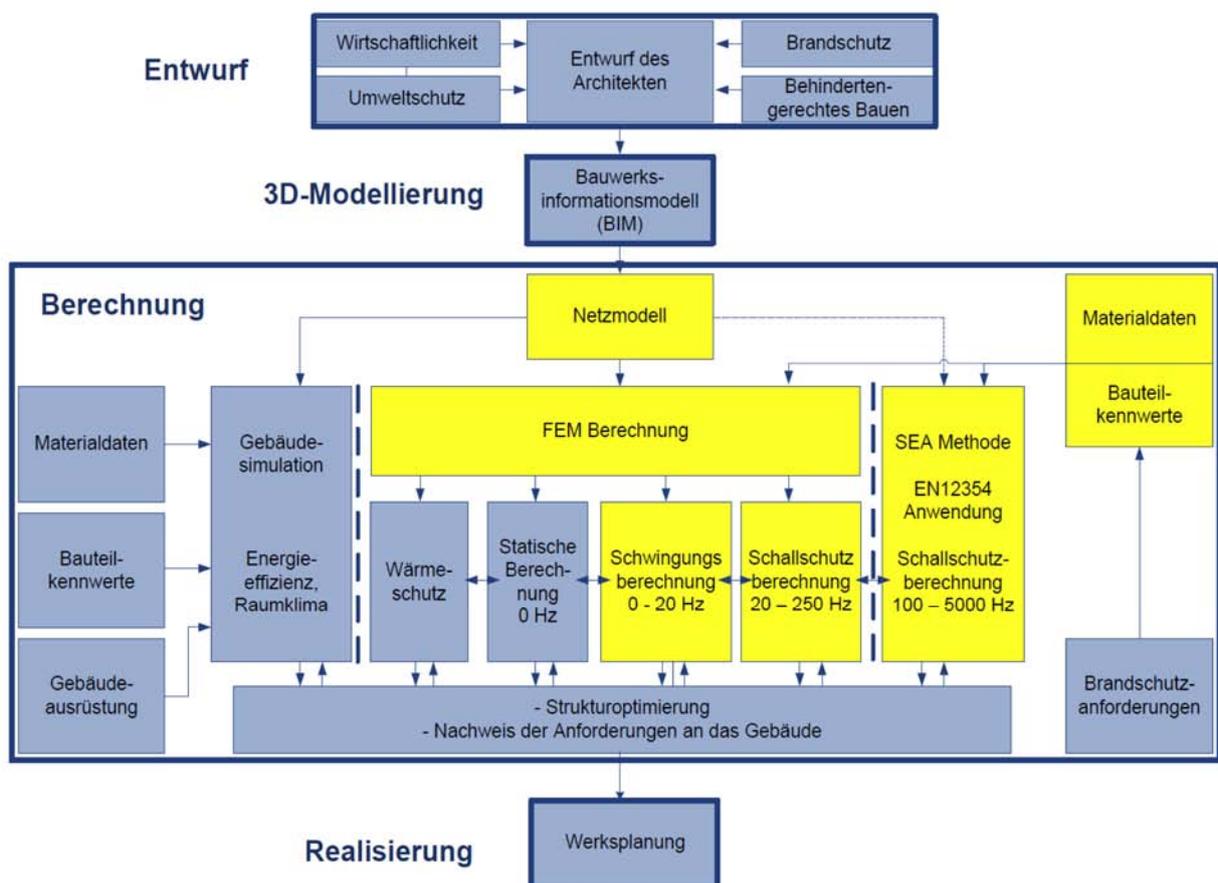


Abbildung 10 illustriert.

Abbildung 10: Übersicht des Gesamtplanungsablaufs für ein Bauwerk in Geschossbauweise. Für den vibroakustischen Planungsprozess relevante Bereiche sind gelb hinterlegt.

Aus dem bauteilorientierten Modell wird ein **Netzmodell** abgeleitet. Dieses Volumennetz wird je Bauteil oder Bauteilgruppe (Decken, Wände etc.) generiert, wobei ohne wesentliche Einschränkung hinsichtlich des Anwendungsfeldes ‚Holzbauwerk‘ angenommen wird, dass sich jede Bauteilgruppe aus einem flächigen Netz aus Viereckselementen durch Extrusion in Dickenrichtung erzeugen lässt. Es entsteht ein Netz aus (dünnen) Hexaederelementen. Die Verwendung von unter Umständen geschichteten Volumenelementen ist zwingend

nötig, weil eine detaillierte Simulation des komplexen geometrischen Teilmodells einer Baugruppe mit Platten- oder Schalenelementen nicht mit hinreichender Genauigkeit möglich ist.

Die in diesem Netzmodell auftretenden dünnen Strukturen verlangen aus Effizienzgründen die Verwendung von **Finiten Elementen hoher Ordnung**, die ein sehr großes Längen/Dickenverhältnis erlauben und es damit ermöglichen, die dünnwandigen Strukturen mit einer geringen Zahl von Volumenelementen zu modellieren, ohne dabei an Genauigkeit zu verlieren.

Besondere Aufmerksamkeit ist den **Stoßstellen** zwischen den Bauteilen sowohl hinsichtlich der geometrischen als auch der mechanisch-akustischen Modellbildung zu widmen. Da die Bauteile einzeln vernetzt werden, ‚passen‘ die Netze an diesen Stoßstellen nicht zwingend aneinander. Um dieses verallgemeinerte Netzmodell verwenden zu können, sollen **Mortar-Techniken** für einen inkompatiblen Netzübergang verwendet werden. Hierfür gibt es bisher wenige Untersuchungen zu Finiten Elementen hoher Ordnung und zu Eigenwertproblemen, deren Lösung die Grundlage für die vibroakustische Analyse darstellt. Das Finite-Element-Modell wird für den Bereich tiefer Frequenzen (0 - 250 Hz) eingesetzt.

Eine weitere zentrale Forschungsaufgabe ist die Verallgemeinerung der Mortar-Technik zu einem **Mortar-artigen Ansatz**, mit dem nicht nur bisher untersuchte starre, sondern ebenso unterschiedlich ‚weiche‘ **Kopplungen** (Elastische Lagerung, duktile Nagelung oder Verschraubung gegenüber starrer Verklebung) berücksichtigt werden können. Hierfür sind mechanische und mathematische Modelle sowie eine geeignete Implementierung unter Verwendung Finiter Elemente hoher Ordnung zu entwickeln. Da am Gesamtmodell die **Flankenübertragung** eine wesentliche Rolle spielt, kommt diesem Modellaspekt große praktische Bedeutung zu.

Für die Berechnung im mittleren und oberen Frequenzbereich (250 - 5000 Hz) wird die **SEA Methode** und die von ihr abgeleiteten Ansätze nach EN 12354 eingesetzt. Als Ausgangsbasis dient die in der Praxis bereits in ersten Bauvorhaben getestete Berechnung nach EN 12354 [20], [19], [21]. Von diesem stark vereinfachten Ansatz ausgehend wird die Anwendung der umfassenderen und genaueren SEA-Methode mit experimentell ermittelten Verlustfaktoren angestrebt. Hierfür ist ein spezielles Berechnungsmodell erforderlich, das nicht nur auf geometrische Daten zugreift, sondern auch die experimentell ermittelten Verlustfaktoren zwischen den Subsystemen für die SEA-Methode und die akustischen Eingangsdaten der Bauteile und Stoßstellen für die Berechnung nach EN 12354 verwendet.

Von entscheidender Bedeutung für das Gesamtprojekt ist die Bereitstellung geeigneter **Material- und Anregungsmodelle** aus detaillierten experimentellen Untersuchungen. Anhand einer Bestandsaufnahme der erforderlichen Bauteil- und Verbindungsvarianten (Stoßstellen) kann ein Prüfplan für die erforderlichen Eingangsgrößen festgelegt- und abgearbeitet werden. Typische Stoßstellen und Bauteildetails von Massivholzelementen im Geschoßbau werden in Abbildung 11 gezeigt. Die experimentellen Eingangsdaten werden sowohl für die SEA- als auch die FEM-Berechnung benötigt. Die erforderlichen Modelle zur Anregung, Dämpfung und Abstrahlung können auf Basis der in [17] erarbeiteten Ansätze weiterentwickelt und mit experimentellen Ergebnissen validiert werden.

Dieser Aspekt ist auch für die **Validierung** und damit den Nachweis der Praxistauglichkeit des Gesamtsystems unerlässlich. Hierzu sollen Messergebnisse aus realisierten Mehrgeschossern in Massivholzbaubweise verwendet werden. Es können sowohl Messergebnisse bereits realisierter Mehrgeschosser [21] als auch des geplanten Beispielobjekts verwendet werden.

Das **Beispielprojekt** soll zur Darstellung des optimierten Planungsprozesses und der Umsetzung für den Anwender mit den entwickelten Planungswerkzeugen realisiert werden. Die Planung soll in enger Zusammenarbeit mit der Arbeitsvorbereitung des beteiligten Holzbaubetriebs erfolgen. Möglich ist hier auch eine Wiederholung der Planung eines bereits realisierten Bauvorhabens um im direkten Vergleich mit der zunächst konventionell durchgeführten Planung Fortschritte und weiterer Entwicklungsbedarf des neuen Planungsverfahrens aufzuzeigen.

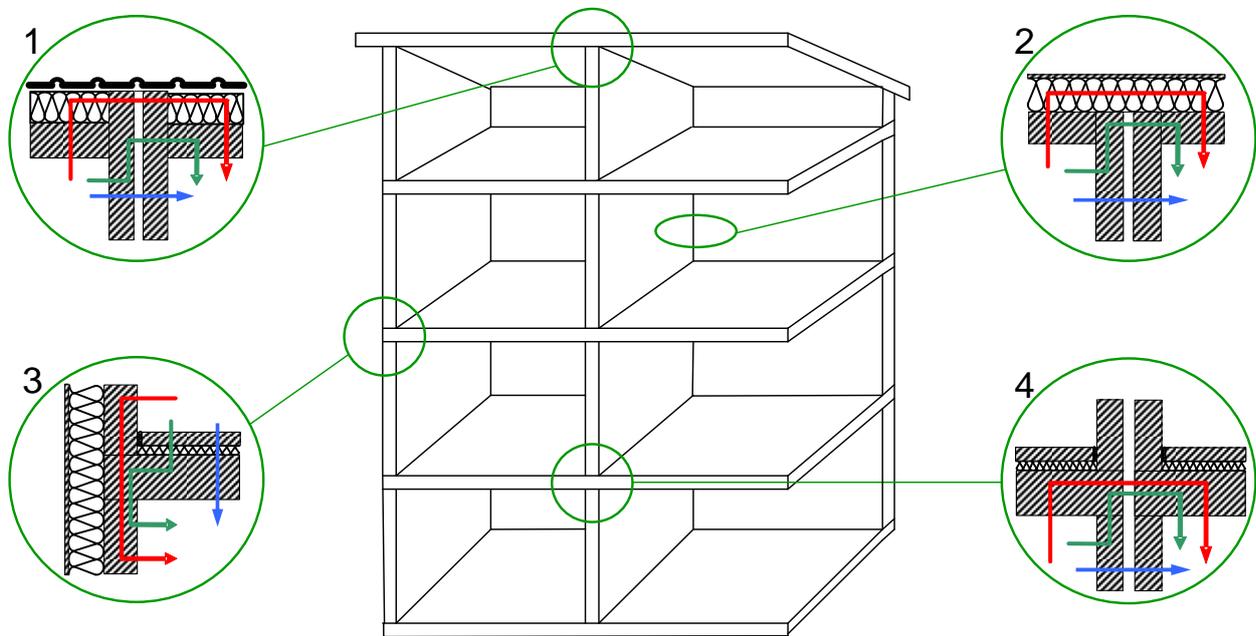


Abbildung 11: Geschosswohnungsbau in Massivholzbauweise mit Prinzipdetails der Stoßstellen und den Schallübertragungswegen.

5. Danksagung

Der Autor dieses Beitrags bedankt sich bei der DFG und der AiF sowie den Projektpartnern für die Förderung und Unterstützung bei der Bearbeitung der Forschungsvorhaben.

Literatur

- [1] DIN 4109, Schallschutz im Hochbau, Anforderungen und Nachweise November 1989 und Beiblatt 1 zur DIN 4109 Schallschutz im Hochbau, Ausführungsbeispiele und Rechenverfahren, November 1989
- [2] Reichelt, H., Schall- und schwingungstechnische Lösungen im Holzbau, Projektarbeit, Hochschule Rosenheim, 2008
- [3] Lang, J., Schallschutz im Wohnungsbau, Forschungsbericht ifip TU Wien, 2006
- [4] Wohlmuth, B., Rank, E., Kollmannsberger, S., Schanda, U., Rabold, A., Vibroakustik im Planungsprozess für Holzbauten – Modellierung, numerische Simulation, Validierung – Forschungs-Kooperationsprojekt TU München, Hochschule Rosenheim, ift Rosenheim, in Bearbeitung
- [5] Hveem, S., Homb, A., Haagberg, K., Rindel, J. H., "Low-frequency footfall noise in multi-storey timber frame buildings", NKB report 1996:12 E
- [6] Jeon, J. Y., Jeong, J. H., "Objective and Subjective Evaluation of Floor Impact Noise", Journal of Temporal Design in Architecture and the Environment, 2002, 2, 20-28
- [7] Warnock, A.C.C., "Low-frequency impact sound transmission through floor systems", InterNoise, 2000
- [8] Scholl, W., "Das Normhammerwerk muss laufen lernen", Tagungsband DAGA, 2001
- [9] Burkhart, C., Tieffrequenter Trittschall – Messergebnisse, mögliche Ursachen, Tagungsband DAGA 2002
- [10] B. Rasmussen, J. H. Rindel: Sound insulation of dwellings – Legal requirements in Europe and subjective evaluation of acoustical comfort. Proceedings of DAGA, 2003, 118–121
- [11] Kühn, B., Blickle R., „Trittschalldämmung und Gehgeräusche-Immission von Geschosdecken aus Holz“, WKSB, 2004, 52
- [12] EN ISO 140-6:1998-8 Akustik; Messung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen – Teil 6: Messung der Trittschalldämmung von Decken in Prüfständen bzw.
DIN EN ISO 10140-3: 2010-12 Akustik – Messung der Schalldämmung von Bauteilen im Prüfstand – Teil 3: Messung der Trittschalldämmung
- [13] Erhardt, D., Morkötter, D., Gehversuche auf Holzdecken zum Vergleich mit den bewerteten Norm-Trittschallpegeln gemäß DIN EN ISO 717, Studienarbeit, Hochschule Rosenheim, 2010
- [14] Rabold, A., Rank, E., Anwendung der Finiten Elemente Methode auf die Trittschallberechnung, Teilbericht zum Kooperationsprojekt: Untersuchung der akustischen Wechselwirkungen von Holzdecke und Deckenauflage zur Entwicklung neuartiger Schallschutzmaßnahmen, ibp Stuttgart, TU München, ift Rosenheim, DGfH 2009
- [15] Seidel, J., Trittschall- und Geher-Messungen im Deckenprüfstand der Fa. Knauf Gips KG, Iphofen, 2010
- [16] Zwicker, E., Fastl, H., Widmann, U., Kurakata, K., Kuwano, S., Namba, S., Program for calculating loudness according to DIN 45631 (ISO 532B), Journal of Acoustic Society of Japan, 12, 39-42, 1991
- [17] Rabold, A., Anwendung der Finite Element Methode auf die Trittschallberechnung. Dissertation, Technische Universität München, 2010.
- [18] Rabold, A., Hessinger, J., Bacher, S., Schallschutz, Holzbalkendecken in der Altbausanierung, Mikado plus, 3, 2008
- [19] Schramm, M., Dolezal, F., Rabold, A., Schanda, U., Stoßstellen im Holzbau – Planung, Prognose und Ausführung, Tagungsband DAGA'10, Berlin, 2010
- [20] Rabold, A., Schanda, U., Hessinger, J., Korrelation zwischen Geher und Norm-Hammerwerk bei der Trittschallübertragung, Tagungsband DAGA'11, Düsseldorf, 2011
- [21] Vier- und acht-geschossige Wohn- und Bürogebäude in Massivholzbauweise. Standort Bad Aibling, Bauherr B&O Wohnungswirtschaft GmbH, Planung Architekturbüro Schankula und bauart Konstruktions GmbH, schalltechnische Begleitung ift Rosenheim

Anhang:

Konstruktionshilfen	Zielwert:			
	$L_{nw} + C_{1,50-2500} \leq 53$ dB		$L_{nw} + C_{1,50-2500} \leq 46$ dB	
	Verkehrslast		Verkehrslast	
	$p < 2,5$ kN/m ²	$p < 5$ kN/m ²	$p < 2,5$ kN/m ²	$p < 5$ kN/m ²
	≥ 50 mm ZE, m' ≥ 120 ≥ 40 mm TSD, s' ≤ 7 ≥ 60 mm Splitt, m' ≥ 90 oder ≥ 40 mm Betonpl., m' ≥ 100 ≥ 13 mm V20, m' ≥ 7 ≥ 24 mm Dielen, m' ≥ 11 ≥ 200 mm Balken	≥ 25 mm TE, m' ≥ 25 ≥ 12 mm TSD, s' ≤ 40 ≥ 120 mm Splitt, m' ≥ 180 ≥ 13 mm V20, m' ≥ 7 ≥ 24 mm Dielen, m' ≥ 11 ≥ 200 mm Balken	≥ 80 mm ZE, m' ≥ 190 ≥ 20 mm TSD, s' ≤ 20 ≥ 100 mm Splitt, m' ≥ 150 ≥ 13 mm V20, m' ≥ 7 ≥ 24 mm Dielen, m' ≥ 11 ≥ 200 mm Balken	≥ 80 mm ZE, m' ≥ 190 ≥ 40 mm TSD, s' ≤ 7 ≥ 100 mm Splitt, m' ≥ 150 ≥ 13 mm V20, m' ≥ 7 ≥ 24 mm Dielen, m' ≥ 11 ≥ 200 mm Balken
	≥ 50 mm ZE, m' ≥ 120 ≥ 40 mm TSD, s' ≤ 7 ≥ 60 mm Splitt, m' ≥ 90 oder ≥ 50 mm Betonpl., m' ≥ 120 ≥ 22 mm V20, m' ≥ 14 ≥ 220 mm Balken + Däm. ≥ 24 mm Lattung ≥ 12,5 mm GKB, m' ≥ 10 ≥ 12,5 mm GKB, m' ≥ 10	≥ 25 mm TE, m' ≥ 25 ≥ 12 mm TSD, s' ≤ 40 ≥ 30 mm Splitt, m' ≥ 45 oder ≥ 50 mm Betonpl., m' ≥ 120 ≥ 22 mm V20, m' ≥ 14 ≥ 220 mm Balken + Däm. ≥ 100 mm Abh., Däm. ≥ 100 mm Abh., Däm. ≥ 12,5 mm GF, m' ≥ 13 ≥ 12,5 mm GF, m' ≥ 13	≥ 50 mm ZE, m' ≥ 120 ≥ 20 mm TSD, s' ≤ 20 ≥ 60 mm Splitt, m' ≥ 90 ≥ 22 mm V20, m' ≥ 14 ≥ 220 mm Balken + Däm. ≥ 100 mm Abh. + Däm. ≥ 100 mm Abh. + Däm. ≥ 12,5 mm GF, m' ≥ 13 ≥ 12,5 mm GF, m' ≥ 13	≥ 50 mm ZE, m' ≥ 120 ≥ 40 mm TSD, s' ≤ 7 ≥ 22 mm V20, m' ≥ 14 ≥ 220 mm Balken + Däm. ≥ 100 mm Abh. + Däm. ≥ 12,5 mm GF, m' ≥ 13 ≥ 25 mm GKB, m' ≥ 20 ≥ 25 mm GKB, m' ≥ 20
	≥ 50 mm ZE, m' ≥ 120 ≥ 40 mm TSD, s' ≤ 7 ≥ 220 mm Balken mit ≥ 220 mm HWF, druckfest ≥ 22 mm V20, m' ≥ 14 ≥ 25 mm GKB, m' ≥ 20 ≥ 25 mm GKB, m' ≥ 20			≥ 80 mm ZE, m' ≥ 120 ≥ 40 mm TSD, s' ≤ 7 ≥ 220 mm Balken mit ≥ 140 mm HWF, druckfest ≥ 80 mm Splitt, geb. ≥ 22 mm V20, m' ≥ 14 ≥ 25 mm GKB, m' ≥ 20 ≥ 25 mm GKB, m' ≥ 20

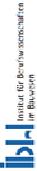
- ZE: Zement-, Anhydrit-, oder Flieseestrich mit der angegebenen flächenbezogenen Masse m' in kg/m²
- TE: Gipsfaser Trockenestrichelemente, mit der angegebenen flächenbezogenen Masse m' in kg/m²
- V20, Dielen: Verlegespanplatten und Massivholzdielen mit der angegebenen flächenbezogenen Masse m' in kg/m²
- TSD: Mineralfaser- oder Holzweichfaser Trittschalldämmplatte mit der angegebenen dynamischen Steifigkeit s' in MN/m³
- Splitt: Kalksplitt in Pappwaben, oder gebundener Splitt mit Latexmilch oder Zementemulsion, mit der angegebenen flächenbezogenen Masse m' in kg/m²
- Betonpl.: Betonplatten, auf der Rohdecke verklebt oder im Sandbett verlegt, Kantenlänge ≤ 0,30 m, mit der angegebenen flächenbezogenen Masse m' in kg/m²
- Balken, Däm.: Balkenlage nach Statik mit Hohlraumdämmung aus Faserdämmstoff, d ≥ 100 mm
- HWF: Druckfeste Holzweichfaser Dämmplatte, Rohdichte ρ ≈ 140 kg/m³
- Lattung: Massivholzlatten, 24 x 48 mm, geschraubt, geklammert oder genagelt, Achsabstand 417 mm
- Abh.: Federschienen und Abhänger mit Entkopplung durch Sylomer und Hohlraumdämmung aus Faserdämmstoff, d ≥ 100 mm
- GF, GKB: Gipsfaserplatten und Gipskartonplatten mit der angegebenen flächenbezogenen Masse m' in kg/m²

Konstruktionshilfen	Zielwert:			
	$L_{nw} + C_{1,50-2500} \leq 53$ dB		$L_{nw} + C_{1,50-2500} \leq 46$ dB	
	Verkehrslast		Verkehrslast	
	$p < 2,5$ kN/m ²	$p < 5$ kN/m ²	$p < 2,5$ kN/m ²	$p < 5$ kN/m ²
	≥ 50 mm ZE, m' ≥ 120 ≥ 40 mm TSD, s' ≤ 7 ≥ 60 mm Splitt, m' ≥ 90 ≥ 150 mm MHD, m' ≥ 50	≥ 25 mm TE, m' ≥ 25 ≥ 12 mm TSD, s' ≤ 40 ≥ 120 mm Splitt, m' ≥ 180 ≥ 150 mm MHD, m' ≥ 50	≥ 80 mm ZE, m' ≥ 190 ≥ 20 mm TSD, s' ≤ 20 ≥ 120 mm Splitt, m' ≥ 180 ≥ 150 mm MHD, m' ≥ 50	≥ 50 mm ZE, m' ≥ 120 ≥ 40 mm TSD, s' ≤ 7 ≥ 120 mm Splitt, m' ≥ 180 ≥ 150 mm MHD, m' ≥ 50
	≥ 50 mm ZE, m' ≥ 120 ≥ 40 mm TSD, s' ≤ 7 ≥ 70 mm Beton, m' ≥ 170 ≥ 150 mm MHD, m' ≥ 50	≥ 12 mm TE, m' ≥ 13 ≥ 28 mm V20, m' ≥ 16 ≥ 30 mm TSD, s' ≤ 15 ≥ 120 mm Beton, m' ≥ 290 ≥ 150 mm MHD, m' ≥ 50	≥ 80 mm ZE, m' ≥ 190 ≥ 30 mm TSD, s' ≤ 15 ≥ 120 mm Beton, m' ≥ 290 ≥ 150 mm MHD, m' ≥ 50	≥ 50 mm ZE, m' ≥ 120 ≥ 40 mm TSD, s' ≤ 7 ≥ 120 mm Beton, m' ≥ 290 ≥ 150 mm MHD, m' ≥ 50
	≥ 50 mm ZE, m' ≥ 120 ≥ 40 mm TSD, s' ≤ 7 ≥ 70 mm Beton, m' ≥ 170 ≥ 100 mm Splitt, m' ≥ 150 ≥ 150 mm MHD, m' ≥ 50	≥ 25 mm TE, m' ≥ 25 ≥ 12 mm TSD, s' ≤ 40 ≥ 70 mm Beton, m' ≥ 170 ≥ 100 mm Splitt, m' ≥ 150 ≥ 150 mm MHD, m' ≥ 50	≥ 50 mm ZE, m' ≥ 120 ≥ 20 mm TSD, s' ≤ 20 ≥ 70 mm Beton, m' ≥ 170 ≥ 100 mm Splitt, m' ≥ 150 ≥ 150 mm MHD, m' ≥ 50	≥ 50 mm ZE, m' ≥ 120 ≥ 40 mm TSD, s' ≤ 7 ≥ 70 mm Beton, m' ≥ 170 ≥ 100 mm Splitt, m' ≥ 150 ≥ 150 mm MHD, m' ≥ 50

- ZE: Zement-, Anhydrit-, oder Flieseestrich mit der angegebenen flächenbezogenen Masse m' in kg/m²
- TE: Gipsfaser Trockenestrichelemente, mit der angegebenen flächenbezogenen Masse m' in kg/m²
- V20: Verlegespanplatten, mit der angegebenen flächenbezogenen Masse m' in kg/m²
- TSD: Mineralfaser- oder Holzweichfaser Trittschalldämmplatte mit der angegebenen dynamischen Steifigkeit s' in MN/m³
- Splitt: Kalksplitt in Pappwaben, oder gebundener Splitt mit Latexmilch, oder Zementemulsion, mit der angegebenen flächenbezogenen Masse m' in kg/m²
- Beton: Holzbetonverbund, mit der angegebenen flächenbezogenen Masse m' in kg/m²
- MHD: Brettstapel-, Brettschichtholz-, Brettsperrholz-, Hohlkasten- oder Leimprofilholzdecken, mit der angegebenen flächenbezogenen Masse m' in kg/m², Elementhöhe nach Statik

Natürliche Dauerhaftigkeit in den Gebrauchsklassen

Prof. Dr. Andreas O. Rapp
Leibniz Universität Hannover

<div data-bbox="220 1771 256 1942" style="float: left;">  </div> <div data-bbox="220 1196 256 1317" style="float: right;">  </div> <div data-bbox="347 1263 469 1861" style="text-align: center;"> <h1>Natürliche Dauerhaftigkeit in den Gebrauchsklassen</h1> </div> <div data-bbox="491 1375 568 1742" style="text-align: center;"> <p>Prof. Dr. A. O. Rapp Leibniz Universität Hannover Institut für Berufswissenschaften im Bauwesen</p> </div> <div data-bbox="651 1335 727 1783" style="text-align: center;"> <p>Holzbau-Hochschultag Hannover 20. Februar 2015</p> </div> <div data-bbox="762 1742 783 1942" style="text-align: right;"> <p>Andreas Rapp - Leibniz Universität Hannover</p> </div> <div data-bbox="762 1196 783 1227" style="text-align: right;"> <p>Seite 1</p> </div>	<div data-bbox="220 927 256 1093" style="float: left;">  </div> <div data-bbox="220 344 256 465" style="float: right;">  </div> <div data-bbox="220 546 256 869" style="text-align: center;"> <h2>Ausgangspunkte</h2> </div> <div data-bbox="293 367 708 1048"> <ul style="list-style-type: none"> ◆ Wie stark ist der Einfluss der Holzherkunft? Heimische vs. skandinavische oder N-amerikanische? ◆ Wie stark wirken klimatische Einflüsse innerhalb Deutschlands auf Gebrauchsdauer und Dauerhaftigkeit? ◆ Ein Großteil des Holzes ist nicht im Erdkontakt verbaut trotzdem wird die nat. Dauerhaftigkeit in der Erde geprüft! ◆ Im Labor findet unter ständiger Befeuchtung im Prinzip die alte „Gifwertprüfung“ statt, obwohl im Freiland das Befeuchtungsverhalten eine entscheidende Rolle spielt! </div> <div data-bbox="762 891 783 1093" style="text-align: right;"> <p>Andreas Rapp - Leibniz Universität Hannover</p> </div> <div data-bbox="762 344 783 376" style="text-align: right;"> <p>Seite 2</p> </div>
<div data-bbox="834 1771 871 1942" style="float: left;">  </div> <div data-bbox="834 1196 871 1317" style="float: right;">  </div> <div data-bbox="834 1509 871 1599" style="text-align: center;"> <h2>Ziele</h2> </div> <div data-bbox="906 1240 1289 1899"> <ul style="list-style-type: none"> ◆ Quantifizierung des Einflusses der Holzherkunft heimisch ↔ skandinavisch und N-amerikanisch ◆ Quantifizierung klimatischer Einflüsse in Deutschland auf die Gebrauchsdauer und Dauerhaftigkeit ◆ Feststellung der Dauerhaftigkeit in Abhängigkeit von der Gebrauchsklasse GK3 ↔ GK 4 ◆ Realitätsnahe Freilandprüfung der natürlichen Dauerhaftigkeit unter bautypischen Bedingungen </div> <div data-bbox="1378 1742 1399 1942" style="text-align: right;"> <p>Andreas Rapp - Leibniz Universität Hannover</p> </div> <div data-bbox="1378 1196 1399 1227" style="text-align: right;"> <p>Seite 3</p> </div>	<div data-bbox="834 927 871 1093" style="float: left;">  </div> <div data-bbox="834 344 871 465" style="float: right;">  </div> <div data-bbox="834 645 871 792" style="text-align: center;"> <h2>Material</h2> </div> <div data-bbox="906 533 927 904"> <p>9 Hölzer mit je 3 Herkünften</p> </div> <div data-bbox="948 367 1331 904"> <ul style="list-style-type: none"> ◆ Kiefern-Splint ◆ Fichten-Splint ◆ Fichten-Kern ◆ Tanne <p style="text-align: right;">} helle Nadelhölzer</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ Douglasien-Kern ◆ Lärchen-Kern ◆ Kiefern-Kern <p style="text-align: right;">} Nadelhölzer mit Farbkern</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ Eichen-Kern ◆ Robinien-Kern <p style="text-align: right;">} Laubhölzer mit Farbkern</p> </div> <div data-bbox="1378 891 1399 1093" style="text-align: right;"> <p>Andreas Rapp - Leibniz Universität Hannover</p> </div> <div data-bbox="1378 344 1399 376" style="text-align: right;"> <p>Seite 4</p> </div>

ibJ Institut für Bautechnische Untersuchungen in Bremen

Versuchsaufbau

- ◆ 9 Hölzer mit je 3 Herkünften
- ◆ 4 klimatisch unterschiedliche Versuchsstandorte
- ◆ an jedem Versuchsstandort Expositionen mit und ohne Erdkontakt (GK4 + GK3)

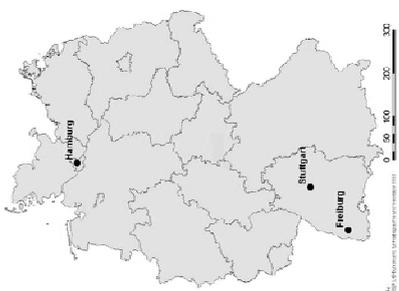
über 2000 Prüfkörper

Andreas Rapp - Leibniz-Universität Hannover

Seite 5

ibJ Institut für Bautechnische Untersuchungen in Bremen

Versuchsstandorte



Standort	Niederschlag in mm/a	Sonnenschein in h/a	Mitteltemp. in °C
Hamburg 2x	714	1630	8,4
Stuttgart	679	1752	10,0
Freiburg	903	1808	10,3

Quelle: Deutscher Wetterdienst:

1. „frei“ wie die anderen
2. im Schatten von Bäumen

Andreas Rapp - Leibniz-Universität Hannover

Seite 6

ibJ Institut für Bautechnische Untersuchungen in Bremen

Erdkontakt GK 4



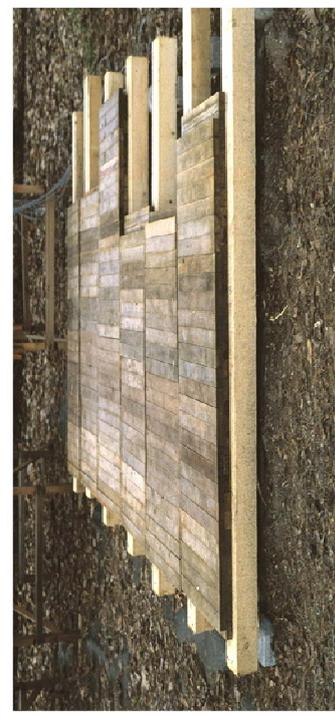
Andreas Rapp - Leibniz-Universität Hannover

Seite 7

ibJ Institut für Bautechnische Untersuchungen in Bremen

Doppellagentest GK3

- ◆ Holzdeck, auf unbehandelten Fichtenbalken gelagert
- ◆ obere und untere Lage der Prüfkörper versetzt angeordnet

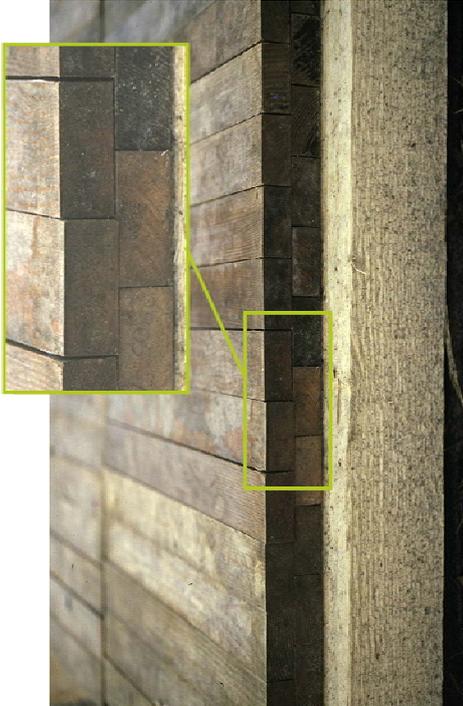


Andreas Rapp - Leibniz-Universität Hannover

Seite 8

ibll Institut für Bautechnische Instandhaltung in Bremen

Doppellagentest GK3



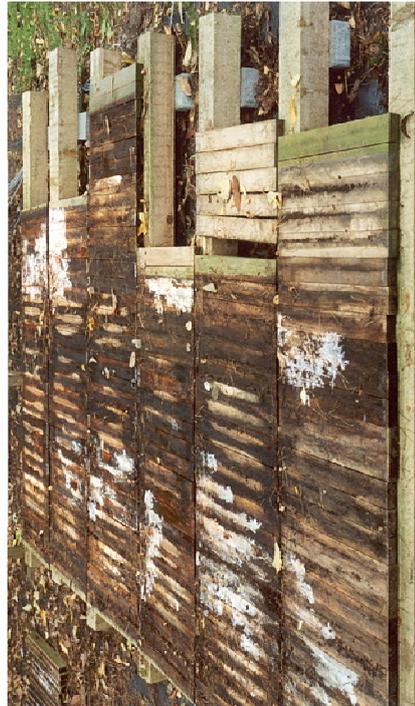
Andreas Rapp - Leibniz-Universität Hannover

Seite 9

ibll Leibniz-Universität Hannover

ibll Institut für Bautechnische Instandhaltung in Bremen

Nach 1,5 Jahren Doppellagentest



Andreas Rapp - Leibniz-Universität Hannover

Seite 11



ibll Institut für Bautechnische Instandhaltung in Bremen

Abbaubewertung



0 - kein Angriff
 1 - leichter Angriff
 2 - mittlerer Angriff
 3 - starker Angriff
 4 - Ausfall

Andreas Rapp - Leibniz-Universität Hannover

Seite 12

ib.f Institut für Bauverfahrenwissenschaften
an der Leibniz Universität Hannover

Einfluss des Prüfortes/Klimas Mediane Standzeit in Jahren

Ursachen ?

Über 1 Jahr keine Sporenkeimung auf Kiefer
Aktive Braunfäule in Freiburg + Stuttgart
greift FI+Ta an, weniger jedoch Farbkern

Erdkontaktähnlich
im Baumschatten:
Moder+Weiß+Braun

Prüfkörper im Doppellagentest ohne Erdkontakt

Holz	Stuttgart	Freiburg	Hannburg	Schäfers-Hannburg
KIS	7,3	6,9	6,5	5,6
FIS	4,9	3,1	5,1	5,4
FIK	6,5	4,5	6,3	4,3
Ta	4,5	2,3	5,4	5,2
Dou	-	-	-	7,8
Li	-	-	-	7,8
KIK	-	-	-	7,3
EI	-	-	-	-
Rob	-	-	-	-

Kürzeste (Fi+Dou) Kern

Andreas Papp - Leibniz Universität Hannover

Seite 21

ib.f Institut für Bauverfahrenwissenschaften
an der Leibniz Universität Hannover

Dauerhaftigkeit in GK4 ↔ GK3

ib.f Institut für Bauverfahrenwissenschaften
an der Leibniz Universität Hannover

Einfluss des Prüfortes/Klimas

- ◆ Im Erdkontakt dominiert die Organismensozietät des Prüforts die geringen Klimaunterschiede in Deutschland
- ◆ Über dem Boden spielt das Klima eine merkliche Rolle: am wärmsten und feuchtesten Standort, Freiburg, war die Standzeit am kürzesten, u.a. wegen schneller Brauntäule
- ◆ Über dem Boden dominiert das Kleinklima das Großklima. Starker „Baumschatten“ nähert sich in seinen Bedingungen und im Abbauverhalten dem Erdkontakt an
- ◆ Trotzdem alle 4 Prüforte + 3 Herkünfte jetzt gepoolt → n>100
- ◆ Da auf Kiefern Splint keine B-Pilzsporen keimen im 1. Jahr → Inhibierung → Fi-Splint als Referenzholz in GK3

Andreas Papp - Leibniz Universität Hannover

Seite 22

ib.f Institut für Bauverfahrenwissenschaften
an der Leibniz Universität Hannover

Dauerhaftigkeit in GK4 ↔ GK3

ib.f Institut für Bauverfahrenwissenschaften
an der Leibniz Universität Hannover

Dauerhaftigkeit in GK4 ↔ GK3

Standzeit in Jahren im Erdkontakt

Holz	15. Perzentil	25. Perzentil	50. Perzentil
KIS	1,7	3,4	4,2
FIS	1,5	3,2	4,4
FIK	2,0	3,9	4,9
Ta	1,9	3,7	4,8
Dou	3,1	5,0	6,3
Li	4,0	6,8	-
KIK	3,2	5,3	6,8
EI	3,5	5,1	6,2
Rob	8,5	-	-

Standzeit in Jahren im Doppellagentest

Holz	15. Perzentil	25. Perzentil	50. Perzentil
KIS	4,6	5,6	6,5
FIS	2,0	3,6	4,9
FIK	2,5	3,7	5,4
Ta	1,8	2,9	4,5
Dou	6,3	8,1	-
Li	8,2	-	-
KIK	6,1	7,5	-
EI	7,8	-	-
Rob	-	-	-

Andreas Papp - Leibniz Universität Hannover

Seite 23

ib.f Institut für Bauverfahrenwissenschaften
an der Leibniz Universität Hannover

Dauerhaftigkeit in GK4 ↔ GK3

ib.f Institut für Bauverfahrenwissenschaften
an der Leibniz Universität Hannover

Dauerhaftigkeit in GK4 ↔ GK3

Standzeit in Jahren im Erdkontakt

Holz	15. Perzentil	25. Perzentil	50. Perzentil
KIS	1,7	3,4	4,2
FIS	1,5	3,2	4,4
FIK	2,0	3,9	4,9
Ta	1,9	3,7	4,8
Dou	3,1	5,0	6,3
Li	4,0	6,8	-
KIK	3,2	5,3	6,8
EI	3,5	5,1	6,2
Rob	8,5	-	-

Standzeit in Jahren im Doppellagentest

Holz	15. Perzentil	25. Perzentil	50. Perzentil
KIS	4,6	5,6	6,5
FIS	2,0	3,6	4,9
FIK	2,5	3,7	5,4
Ta	1,8	2,9	4,5
Dou	6,3	8,1	-
Li	8,2	-	-
KIK	6,1	7,5	-
EI	7,8	-	-
Rob	-	-	-

Andreas Papp - Leibniz Universität Hannover

Seite 24

ib.f Institut für Bauverfahrenwissenschaften
an der Leibniz Universität Hannover

Dauerhaftigkeit in GK4 ↔ GK3



Institut für Bauverfahrenlehre
im Bauwesen

Dauerhaftigkeit in GK4 ↔ GK3



Standzeitfaktor im Erdkontakt bezogen auf KIS

Material	5. Perzentil	25. Perzentil	50. Perzentil
Holz	1,2	1,1	1,2
FIK	1,2	1,1	1,1
Ta	1,1	1,1	1,1
Dou	1,8	1,5	1,5
Lä	2,4	2,0	2,0
KIK	1,9	1,6	1,6
EI	2,1	1,5	1,5
Rob	5,0	-	-

Standzeitfaktor im Doppellagentest bezogen auf FIS

Material	5. Perzentil	25. Perzentil	50. Perzentil
Holz	1,3	1,0	1,1
FIK	0,9	0,8	0,9
Ta	3,2	2,3	-
Lä	4,1	-	-
KIK	3,1	2,1	-
EI	3,9	-	-
Rob	-	-	-

Andreas Rapp - Leibniz Universität Hannover

Seite 25



Institut für Bauverfahrenlehre
im Bauwesen

Dauerhaftigkeit in GK4 ↔ GK3



Standzeitfaktor im Erdkontakt bezogen auf KIS

Material	5. Perzentil	25. Perzentil	50. Perzentil
Holz	1,2	1,1	1,2
FIK	1,2	1,1	1,1
Ta	1,1	1,1	1,1
Dou	1,8	1,5	1,5
Lä	2,4	2,0	2,0
KIK	1,9	1,6	1,6
EI	2,1	1,5	1,5
Rob	5,0	-	-

Standzeitfaktor im Doppellagentest bezogen auf FIS

Material	5. Perzentil	25. Perzentil	50. Perzentil
Holz	1,3	1,0	1,1
FIK	0,9	0,8	0,9
Ta	3,2	2,3	-
Lä	4,1	-	-
KIK	3,1	2,1	-
EI	3,9	-	-
Rob	-	-	-

Dauerhaftigkeitsklasse EN 350	Beschreibung	Dauerhaftigkeitsfaktor
1	sehr dauerhaft	$x > 5$
2	dauhaft	$3 < x \leq 5$
3	mäßig dauerhaft	$2 > x \leq 3$
4	wenig dauerhaft	$1,2 < x \leq 2$
5	nicht dauerhaft	$x \leq 1,2$

Andreas Rapp - Leibniz Universität Hannover

Seite 27



Institut für Bauverfahrenlehre
im Bauwesen

Dauerhaftigkeit in GK4 ↔ GK3



Standzeitfaktor im Erdkontakt bezogen auf KIS

Material	5. Perzentil	25. Perzentil	50. Perzentil
Holz	1,2	1,1	1,2
FIK	1,2	1,1	1,1
Ta	1,1	1,1	1,1
Dou	1,8	1,5	1,5
Lä	2,4	2,0	2,0
KIK	1,9	1,6	1,6
EI	2,1	1,5	1,5
Rob	5,0	-	-

Standzeitfaktor im Doppellagentest bezogen auf FIS

Material	5. Perzentil	25. Perzentil	50. Perzentil
Holz	1,3	1,0	1,1
FIK	0,9	0,8	0,9
Ta	3,2	2,3	-
Lä	4,1	-	-
KIK	3,1	2,1	-
EI	3,9	-	-
Rob	-	-	-

Andreas Rapp - Leibniz Universität Hannover

Seite 26



Institut für Bauverfahrenlehre
im Bauwesen

Dauerhaftigkeit in GK4 ↔ GK3



Dauerhaftigkeitsklasse auf Basis 50. (°25. oder * 5.) Perzentil der Standzeit

Material	Erdkontakt GK4	Doppellagentest GK3
KIS	5	5
FIS	5	5
FIK	5	5
Ta	5	5
Dou	4	3°
Lä	3-4°	2*
KIK	4	3°
EI	4	2*
Rob	2*	? ???

Andreas Rapp - Leibniz Universität Hannover

Seite 28

<p>ibj Institut für Bauwissenschaften an der Leibniz-Universität Hannover</p> <p>Schlussfolgerungen</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ Wuchsgebiet ist unbedeutend M-EU = skand. und US ◆ Klimaeinfluss ist im Erdkontakt unbedeutend entscheidend ist die Organismensozietät des Bodens ◆ Klimaeinfluss im Doppellagentest ist merklich, entscheidend ist jedoch das Kleinklima (Bewuchs) ◆ Kiefer Splint wird in GK4 sofort befallen → KiS-Referenz nicht in GK3 = Sporenkeimungshemmung → FiS-Referenz ◆ EN 350 muss folgendermaßen korrigiert werden: Dauerhaftigkeitsklassen unterschieden nach GK4 ≠ GK3 (!) in GK4 ist Eiche DK 4 (statt 2) in GK3 ist Kiefer + Douglasie DK 3 (statt 3-4) in GK3 ist Lärche DK 2 (statt 3-4) <p>Andreas Rapp - Leibniz Universität Hannover</p> <p style="text-align: right;">Seite 29</p>	<p>ibj Institut für Bauwissenschaften an der Leibniz-Universität Hannover</p> <p>Dankeschön!</p> <p>Andreas Rapp - Leibniz Universität Hannover</p> <p style="text-align: right;">Seite 30</p>
--	--

Dauerhaftigkeit von Sonderkonstruktionen

Dipl.-Ing. Ulf Cordes

Ingenieur-Holzbau Cordes, Rotenburg / Wümme

**CORDES
HOLZBAU**

Dauerhaftigkeit von Sonderbauten
Gecko Wiesmann (2007)



2

Hoffmeister, Dorfstrasse 20 - 37355, Bielefeld - Tel.: 04258 933-0 - Fax: 04258 933-20 - eMail: info@cordes-holzbau.de - <http://www.cordes-holzbau.de>

**CORDES
HOLZBAU**

Dauerhaftigkeit von Sonderbauten
Gecko Wiesmann (2007)



4

Hoffmeister, Dorfstrasse 20 - 37355, Bielefeld - Tel.: 04258 933-0 - Fax: 04258 933-20 - eMail: info@cordes-holzbau.de - <http://www.cordes-holzbau.de>

**CORDES
HOLZBAU**



Ingenieurholzbau

- Schlüsselfertige Bauleistungen
- Zimmerarbeiten für: Gewerbe, Bauträger, Architekten, Bauunternehmer, Pfand, Vereine
- Holzrahmenbau für: Gewerbe, Bauträger, Architekten, Bauunternehmer, Privat, Vereine
- Nagelplattenbinder für alle Konstruktionen
- Sonderanfertigungen
- Holzschleifbahnen, Trojanisches Pfand, Gecko Wiesmann, Floating Homes

HOLZBAU
DEUTSCHLAND
BUND DEUTSCHER
ZIMMERMEISTER

HOLZUNION
Timber Construction Group

DHV

DEUTSCHER
ZIMMERMEISTER
VERBAND

3

Hoffmeister, Dorfstrasse 20 - 37355, Bielefeld - Tel.: 04258 933-0 - Fax: 04258 933-20 - eMail: info@cordes-holzbau.de - <http://www.cordes-holzbau.de>

**CORDES
HOLZBAU**

Dauerhaftigkeit von Sonderbauten
Gecko Wiesmann (2007)



3

Hoffmeister, Dorfstrasse 20 - 37355, Bielefeld - Tel.: 04258 933-0 - Fax: 04258 933-20 - eMail: info@cordes-holzbau.de - <http://www.cordes-holzbau.de>

**CORDES
HOLZBAU**

Dauerhaftigkeit von Sonderbauten
Gecko Wiesmann (2007)




Ing.-Büro Dr. Peter W. Wiesmann
Waldweg 10
D-72716 Bietigheim
Tel.: 07142 93 93-0 Fax: 07142 93 93-30
E-Mail: info@cordes-holzba.de - <http://www.cordes-holzba.de>

5

**CORDES
HOLZBAU**

Dauerhaftigkeit von Sonderbauten
Gecko Wiesmann (2007)




Ing.-Büro Dr. Peter W. Wiesmann
Waldweg 10
D-72716 Bietigheim
Tel.: 07142 93 93-0 Fax: 07142 93 93-30
E-Mail: info@cordes-holzba.de - <http://www.cordes-holzba.de>

7

**CORDES
HOLZBAU**

Dauerhaftigkeit von Sonderbauten
Gecko Wiesmann (2007)




Ing.-Büro Dr. Peter W. Wiesmann
Waldweg 10
D-72716 Bietigheim
Tel.: 07142 93 93-0 Fax: 07142 93 93-30
E-Mail: info@cordes-holzba.de - <http://www.cordes-holzba.de>

6

**CORDES
HOLZBAU**

Dauerhaftigkeit von Sonderbauten
Gecko Wiesmann (2013)



Ing.-Holzbau Cordes GmbH & Co. KG
Waldweg 10
D-72716 Bietigheim

Produkt:
Prüfzeichen:
Prüfpraktik:
Inhalt: 100 kg
Eingebundene Schutzmitelmenge: 7,50 kg/m³

Ing.-Büro Dr. Peter W. Wiesmann
Waldweg 10
D-72716 Bietigheim
Tel.: 07142 93 93-0 Fax: 07142 93 93-30
E-Mail: info@cordes-holzba.de - <http://www.cordes-holzba.de>

8

**CORDES
HOLZBAU**

Dauerhaftigkeit von Sonderbauten
Gecko Wiesmann (2013)



10
InFressener Dorfstrasse 20 - 37355 Bielefeld - Tel: 04208 933-0 - Fax: 04208 933-30 - eMail: info@cordes-holzba.de - <http://www.cordes-holzba.de>

**CORDES
HOLZBAU**

Dauerhaftigkeit von Sonderbauten
Gecko Wiesmann (2013)



11
InFressener Dorfstrasse 20 - 37355 Bielefeld - Tel: 04208 933-0 - Fax: 04208 933-30 - eMail: info@cordes-holzba.de - <http://www.cordes-holzba.de>

**CORDES
HOLZBAU**

Dauerhaftigkeit von Sonderbauten
Gecko Wiesmann (2013)



10
InFressener Dorfstrasse 20 - 37355 Bielefeld - Tel: 04208 933-0 - Fax: 04208 933-30 - eMail: info@cordes-holzba.de - <http://www.cordes-holzba.de>

**CORDES
HOLZBAU**

Dauerhaftigkeit von Sonderbauten
Gecko Wiesmann (2013)



12
InFressener Dorfstrasse 20 - 37355 Bielefeld - Tel: 04208 933-0 - Fax: 04208 933-30 - eMail: info@cordes-holzba.de - <http://www.cordes-holzba.de>

**CORDES
HOLZBAU**

Dauerhaftigkeit von Sonderbauten
Gecko Wiesmann (2013)



13

Prof. Dr. Ingrid Isenhardt - Tel.: 04258 931-0 - Fax: 04258 931-30 - eMail: info@cordes-holzba.de - <http://www.cordes-holzba.de>

**CORDES
HOLZBAU**

Dauerhaftigkeit von Sonderbauten
Gecko Wiesmann (2013)



14

Prof. Dr. Ingrid Isenhardt - Tel.: 04258 931-0 - Fax: 04258 931-30 - eMail: info@cordes-holzba.de - <http://www.cordes-holzba.de>

**CORDES
HOLZBAU**

Dauerhaftigkeit von Sonderbauten
Gecko Wiesmann (2013)



15

Prof. Dr. Ingrid Isenhardt - Tel.: 04258 931-0 - Fax: 04258 931-30 - eMail: info@cordes-holzba.de - <http://www.cordes-holzba.de>

**CORDES
HOLZBAU**

Dauerhaftigkeit von Sonderbauten
Gecko Wiesmann (2013)



16

Prof. Dr. Ingrid Isenhardt - Tel.: 04258 931-0 - Fax: 04258 931-30 - eMail: info@cordes-holzba.de - <http://www.cordes-holzba.de>

**CORDES
HOLZBAU**

Dauerhaftigkeit von Sonderbauten
Gecko Wiesmann (2013)

INSPEKTION DER FREI BEWITTERTEN HOLZKONSTRUKTION AM 19.11.2013

Zum Zeitpunkt der Überprüfung war es stark bewölkt mit teilweise leichtem Niederschlag bei ca. 8 °C
Gegenüberstellung der im ersten Abnahmebericht vom 15.05.2009 aufgeführten Bauteile und deren Merkmale in Bezug zur
Inspektion vom 19.11.2013

Bauteil- nummer Cordes	Inspektion am 15.05.2009		Inspektion am 19.11.2013		Inspektion am 15.05.2009		Inspektion am 19.11.2013		Zustand- Anfang	Abbildung / Skizze	Inspektion protokoll Nr.
	Maße in cm	Maße in cm	Maße in cm	Maße in cm	Maße in cm	Maße in cm	Maße in cm	Maße in cm			
3243	19	19	20	19	mit Klebe Stange 305 Ø16	mit Klebe Stange 305 Ø16	mit Klebe Stange 305 Ø16	mit Klebe Stange 305 Ø16	2, 3, 2, 2, 2	anwendung unverändert	64,65
3212/244 Hohlbohr- schichten	29	27	21	19					Ø16	Ø16	24,25
3220	18	24	20	20	17 cm über 18 cm unter			26,27			
3357					mit Klebe Stange 305 Ø16	mit Klebe Stange 305 Ø16	mit Klebe Stange 305 Ø16	mit Klebe Stange 305 Ø16		anwendung unverändert	24,25
3381					mit Klebe Stange 305 Ø16	mit Klebe Stange 305 Ø16	mit Klebe Stange 305 Ø16	mit Klebe Stange 305 Ø16		anwendung unverändert	24,25
3359	24	22	22	22						anwendung unverändert	62,02
3358	22	25	25	25						anwendung unverändert	62,02
3423	22	25	25	25						anwendung unverändert	62,02
3394	21	20	20	20						anwendung unverändert	64,65
3364					mit Klebe Stange 305 Ø16	mit Klebe Stange 305 Ø16	mit Klebe Stange 305 Ø16	mit Klebe Stange 305 Ø16		anwendung unverändert	12,1
3280					mit Klebe Stange 305 Ø16	mit Klebe Stange 305 Ø16	mit Klebe Stange 305 Ø16	mit Klebe Stange 305 Ø16		anwendung unverändert	18,1
											15,1

17
Hoffmeister, Dorfstrasse 20 - 37355 Bielefeld - Tel.: 04208 933-0 - Fax: 04208 933-30 - eMail: info@cordes-holz.de - http://www.cordes-holz.de

**CORDES
HOLZBAU**

Dauerhaftigkeit von Sonderbauten
Texas Giant / Dallas / USA (1991 - 2008)



18
Hoffmeister, Dorfstrasse 20 - 37355 Bielefeld - Tel.: 04208 933-0 - Fax: 04208 933-30 - eMail: info@cordes-holz.de - http://www.cordes-holz.de

**CORDES
HOLZBAU**

Dauerhaftigkeit von Sonderbauten
Texas Giant / Dallas / USA (1991 - 2008)



19
Hoffmeister, Dorfstrasse 20 - 37355 Bielefeld - Tel.: 04208 933-0 - Fax: 04208 933-30 - eMail: info@cordes-holz.de - http://www.cordes-holz.de

**CORDES
HOLZBAU**

Dauerhaftigkeit von Sonderbauten
Texas Giant / Dallas / USA (1991 - 2008)



20
Hoffmeister, Dorfstrasse 20 - 37355 Bielefeld - Tel.: 04208 933-0 - Fax: 04208 933-30 - eMail: info@cordes-holz.de - http://www.cordes-holz.de

**CORDES
HOLZBAU**

Dauerhaftigkeit von Sonderbauten
Texas Giant / Dallas / USA (1991 - 2008)



22

Industriewerke Gortfermann 20 - 37355 Bielefeld - Tel.: 05208 933-0 - Fax: 05208 933-30 - eMail: info@cordes-holzbaue.de - <http://www.cordes-holzbaue.de>

**CORDES
HOLZBAU**

Dauerhaftigkeit von Sonderbauten
Amerikanischer Hersteller / NL (2007)



24

Industriewerke Gortfermann 20 - 37355 Bielefeld - Tel.: 05208 933-0 - Fax: 05208 933-30 - eMail: info@cordes-holzbaue.de - <http://www.cordes-holzbaue.de>

**CORDES
HOLZBAU**

Dauerhaftigkeit von Sonderbauten
Texas Giant / Dallas / USA (1991 - 2008)



21

Industriewerke Gortfermann 20 - 37355 Bielefeld - Tel.: 05208 933-0 - Fax: 05208 933-30 - eMail: info@cordes-holzbaue.de - <http://www.cordes-holzbaue.de>

**CORDES
HOLZBAU**

Dauerhaftigkeit von Sonderbauten
Amerikanischer Hersteller / NL (2007)



23

Industriewerke Gortfermann 20 - 37355 Bielefeld - Tel.: 05208 933-0 - Fax: 05208 933-30 - eMail: info@cordes-holzbaue.de - <http://www.cordes-holzbaue.de>

**CORDES
HOLZBAU**

Dauerhaftigkeit von Sonderbauten
Amerikanischer Hersteller / NL (2007)



26

Industrieweg 25 - 37355 Barsing - Tel: 04258 933-0 - Fax: 04258 933-30 - eMail: info@cordes-holzba.de - <http://www.cordes-holzba.de>

**CORDES
HOLZBAU**

Dauerhaftigkeit von Sonderbauten
Colossos - Heide-Park (1999)



28

Industrieweg 25 - 37355 Barsing - Tel: 04258 933-0 - Fax: 04258 933-30 - eMail: info@cordes-holzba.de - <http://www.cordes-holzba.de>

**CORDES
HOLZBAU**

Dauerhaftigkeit von Sonderbauten
Amerikanischer Hersteller / NL (2007)



25

Industrieweg 25 - 37355 Barsing - Tel: 04258 933-0 - Fax: 04258 933-30 - eMail: info@cordes-holzba.de - <http://www.cordes-holzba.de>

**CORDES
HOLZBAU**

Dauerhaftigkeit von Sonderbauten
Amerikanischer Hersteller / NL (2007)



27

Industrieweg 25 - 37355 Barsing - Tel: 04258 933-0 - Fax: 04258 933-30 - eMail: info@cordes-holzba.de - <http://www.cordes-holzba.de>

**CORDES
HOLZBAU**

Dauerhaftigkeit von Sonderbauten
Colossos – Heide-Park (1999)



Industriepark Dorfstrasse 25 - 21558 Bienenburg - Tel: 04208 933-0 - Fax: 04208 933-30 - eMail: info@cordes-holzbaue.de - http://www.cordes-holzbaue.de

29

**CORDES
HOLZBAU**

Dauerhaftigkeit von Sonderbauten
Colossos – Heide-Park (1999)



Industriepark Dorfstrasse 25 - 21558 Bienenburg - Tel: 04208 933-0 - Fax: 04208 933-30 - eMail: info@cordes-holzbaue.de - http://www.cordes-holzbaue.de

30

**CORDES
HOLZBAU**

Dauerhaftigkeit von Sonderbauten
Colossos – Heide-Park (1999)

Problempunkte: Schienenaufleger

- Noch teilweise mit Herzeinschnitt
- GK3 imprägniert, braun pigmentiert auf Wunsch des Kunden
- teilweise Feuchtigkeit vor Imprägnierung nicht beachtet
- Hohe mechanische Belastung, singuläre Bauteile



Industriepark Dorfstrasse 25 - 21558 Bienenburg - Tel: 04208 933-0 - Fax: 04208 933-30 - eMail: info@cordes-holzbaue.de - http://www.cordes-holzbaue.de

31

**CORDES
HOLZBAU**

Dauerhaftigkeit von Sonderbauten
Colossos – Heide-Park (1999)

Problempunkte: Walkboards / Laufstege

- Vorgekappt, aber teilweise während der Montage nachträglich gekürzt;
- ca. 20% mußten ausgetauscht werden; genau dort, wo nachgeschnitten wurde



Industriepark Dorfstrasse 25 - 21558 Bienenburg - Tel: 04208 933-0 - Fax: 04208 933-30 - eMail: info@cordes-holzbaue.de - http://www.cordes-holzbaue.de

32

**CORDES
HOLZBAU**

Dauerhaftigkeit von Sonderbauten
CoLossos – Heide-Park (1999)

Problempunkte: Querhölzer

- CNC-orientierter Abbund mit wenigen Ausnahmen; hier wurde nur ein einziges von ca. 100 Querhölzer nachträglich bearbeitet, was direkt zu Pilzbefall geführt hat



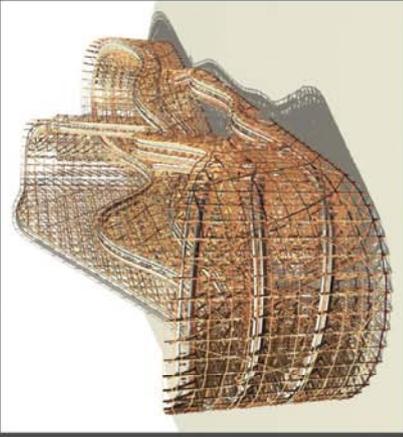
33
Hoffmeister Dorfstrasse 25 - 21554 Bienenburg - Tel: 04258 933-0 - Fax: 04258 933-20 - eMail: info@cordes-holzba.de - http://www.cordes-holzba.de

**CORDES
HOLZBAU**

Dauerhaftigkeit von Sonderbauten
BaTder/Liseberg-Park / Göteborg - Schweden - 2003

Extrem komplexe Bahn mitten in der Stadt nur 10 m neben der Autobahn

Änderungen:
verstärkter Einsatz von Doppelgewindeschrauben
Imprägnierung gegenüber Colossos gemäss Skandinavischen NTR-Richtlinien mit Vollzelltränkung (GK4 statt GK3)



34
Hoffmeister Dorfstrasse 25 - 21554 Bienenburg - Tel: 04258 933-0 - Fax: 04258 933-20 - eMail: info@cordes-holzba.de - http://www.cordes-holzba.de

**CORDES
HOLZBAU**

Dauerhaftigkeit von Sonderbauten
El Toro / Six Flags / New Jersey / USA (2006)

Abfahrt mit 76° (nach 70° bei Balder)

Änderungen:
rein verschraubte Konstruktion (nur Schrauben bzw. Schraubnägel)



35
Hoffmeister Dorfstrasse 25 - 21554 Bienenburg - Tel: 04258 933-0 - Fax: 04258 933-20 - eMail: info@cordes-holzba.de - http://www.cordes-holzba.de

**CORDES
HOLZBAU**

Dauerhaftigkeit von Sonderbauten
Mammut – Tripsdrill (2008)



36
Hoffmeister Dorfstrasse 25 - 21554 Bienenburg - Tel: 04258 933-0 - Fax: 04258 933-20 - eMail: info@cordes-holzba.de - http://www.cordes-holzba.de

**CORDES
HOLZBAU**

Dauerhaftigkeit von Sonderbauten
Mammut – Tripsdrill (2008)



38
Hufener Gärtnerei 20 - 37551 Bielefeld - Tel: 04208 933-0 - Fax: 04208 933-30 - eMail: info@cordes-holzba.de - <http://www.cordes-holzba.de>

**CORDES
HOLZBAU**

Dauerhaftigkeit von Sonderbauten
Mammut – Tripsdrill (2008)



40
Hufener Gärtnerei 20 - 37551 Bielefeld - Tel: 04208 933-0 - Fax: 04208 933-30 - eMail: info@cordes-holzba.de - <http://www.cordes-holzba.de>

**CORDES
HOLZBAU**

Dauerhaftigkeit von Sonderbauten
Mammut – Tripsdrill (2008)



37
Hufener Gärtnerei 20 - 37551 Bielefeld - Tel: 04208 933-0 - Fax: 04208 933-30 - eMail: info@cordes-holzba.de - <http://www.cordes-holzba.de>

**CORDES
HOLZBAU**

Dauerhaftigkeit von Sonderbauten
Mammut – Tripsdrill (2008)



39
Hufener Gärtnerei 20 - 37551 Bielefeld - Tel: 04208 933-0 - Fax: 04208 933-30 - eMail: info@cordes-holzba.de - <http://www.cordes-holzba.de>

**CORDES
HOLZBAU**

Dauerhaftigkeit von Sonderbauten
Mammut – Tripsdrill (2008)



Industriewerke Gortferstraße 30 · 37355 Bielefeld · Tel: 05218 933-0 · Fax: 05218 933-30 · eMail: info@cordes-holz.de · <http://www.cordes-holz.de>

42

**CORDES
HOLZBAU**

Dauerhaftigkeit von Sonderbauten
Mammut – Tripsdrill (2008)



Industriewerke Gortferstraße 30 · 37355 Bielefeld · Tel: 05218 933-0 · Fax: 05218 933-30 · eMail: info@cordes-holz.de · <http://www.cordes-holz.de>

44

**CORDES
HOLZBAU**

Dauerhaftigkeit von Sonderbauten
Mammut – Tripsdrill (2008)



Industriewerke Gortferstraße 30 · 37355 Bielefeld · Tel: 05218 933-0 · Fax: 05218 933-30 · eMail: info@cordes-holz.de · <http://www.cordes-holz.de>

41

**CORDES
HOLZBAU**

Dauerhaftigkeit von Sonderbauten
Mammut – Tripsdrill (2008)



Industriewerke Gortferstraße 30 · 37355 Bielefeld · Tel: 05218 933-0 · Fax: 05218 933-30 · eMail: info@cordes-holz.de · <http://www.cordes-holz.de>

43

**CORDES
HOLZBAU**

Dauerhaftigkeit von Sonderbauten
Mammut – Tripsdrill (2008)

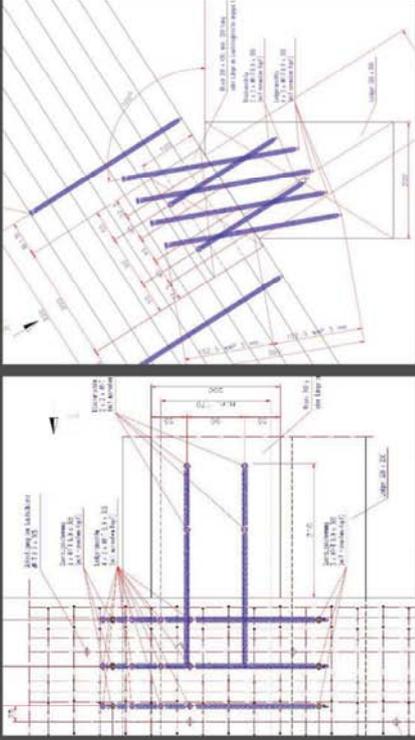


45

IngFriedrich Dorfmeister 20 - 37356 Rolenburg - Tel: 04258 933-0 - Fax: 04258 933-30 - eMail: info@cordes-holzbau.de - http://www.cordes-holzbau.de

**CORDES
HOLZBAU**

Dauerhaftigkeit von Sonderbauten
Mammut – Tripsdrill (2008)



46

IngFriedrich Dorfmeister 20 - 37356 Rolenburg - Tel: 04258 933-0 - Fax: 04258 933-30 - eMail: info@cordes-holzbau.de - http://www.cordes-holzbau.de

**CORDES
HOLZBAU**

Dauerhaftigkeit von Sonderbauten
Mammut – Tripsdrill (2008)



47

IngFriedrich Dorfmeister 20 - 37356 Rolenburg - Tel: 04258 933-0 - Fax: 04258 933-30 - eMail: info@cordes-holzbau.de - http://www.cordes-holzbau.de

**CORDES
HOLZBAU**

Dauerhaftigkeit von Sonderbauten
Mammut – Tripsdrill (2008)

Anmelder:
Ing.-Holzbau Cordes
Waldfensener Dorfrstraße 20
27356 Rolenburg (Wümmen)

Adresse:
Hollalallee 73
D-28209 Bremen
Telefon +49-421-348740
Telefax +49-421-342286
Unser Zeichen: HCO-11-DE

Datum: 02. November 2007/2424

Verfahren zum Verlegen einer Holzschiene für ein Fahrgeschäft, insbesondere für eine Achterbahn

Patentansprüche:

48

IngFriedrich Dorfmeister 20 - 37356 Rolenburg - Tel: 04258 933-0 - Fax: 04258 933-30 - eMail: info@cordes-holzbau.de - http://www.cordes-holzbau.de

CORDES HOLZBAU

Dauerhaftigkeit von Sonderbauten
Mammut – Tripsdritill (2008)

Infressener Dorfstrasse 20 · 37355 Buerzburg · Tel: 04208 933-20 · Fax: 04208 933-30 · eMail: info@cordes-holzbaue.de · http://www.cordes-holzbaue.de

49

CORDES HOLZBAU

Dauerhaftigkeit von Sonderbauten

Jahr	1996	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Coaster	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Lac Riders	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Plattenaufbau	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Timbertower	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19

- laut Internet-Datenbank sind 175 Holzachterbahnen in Betrieb.
- Jährlich erfolgt eine Abstimmung über die besten Bahnen.
- Bedenklich ist, das „The Voyage im Jahr 2006, 2007 und 2009 die Spitzenposition erringen konnte, ein Hybridcoaster mit Stahlkonstruktion und Holzschiene.

Infressener Dorfstrasse 20 · 37355 Buerzburg · Tel: 04208 933-20 · Fax: 04208 933-30 · eMail: info@cordes-holzbaue.de · http://www.cordes-holzbaue.de

50

CORDES HOLZBAU

Dauerhaftigkeit von Sonderbauten
EAS EXTRA ISSUE
KIIPARK
European Star Award 2014
Herb the European Star Award

Infressener Dorfstrasse 20 · 37355 Buerzburg · Tel: 04208 933-20 · Fax: 04208 933-30 · eMail: info@cordes-holzbaue.de · http://www.cordes-holzbaue.de

51

CORDES HOLZBAU

Dauerhaftigkeit von Sonderbauten
Timbertower (2012) – Fundamentanschluss / Aufbau

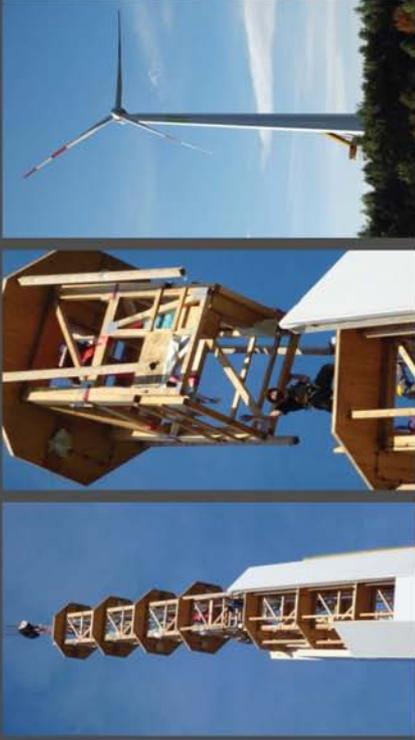
Plattenaufbau
Querlamelle, Fichte

Infressener Dorfstrasse 20 · 37355 Buerzburg · Tel: 04208 933-20 · Fax: 04208 933-30 · eMail: info@cordes-holzbaue.de · http://www.cordes-holzbaue.de

52

**CORDES
HOLZBAU**

Dauerhaftigkeit von Sonderbauten
Timbertower (2012)



Industriestrasse 20 - 37358 Bevensung - Tel: 04238 933-0 - Fax: 04238 933-20 - eMail: info@cordes-holzbaue.de - <http://www.cordes-holzbaue.de>

54

**CORDES
HOLZBAU**

Dauerhaftigkeit von Sonderbauten
Timbertower (2012) - Montage Lehrgerüst



Industriestrasse 20 - 37358 Bevensung - Tel: 04238 933-0 - Fax: 04238 933-20 - eMail: info@cordes-holzbaue.de - <http://www.cordes-holzbaue.de>

53

Brandschutz im Holzbau

Dr.-Ing. Michael Dehne

Dehne, Kruse Brandschutzingenieure, Gifhorn

1. Einleitung

Neue ökologische und ökonomische Zielsetzungen und Nutzungsbedürfnisse haben in letzter Zeit dazu geführt, dass der Holzbau immer mehr an Bedeutung gewinnt, auch im mehrgeschossigen und verdichteten Wohnungsbau. Während in Nordamerika und Skandinavien Holzarchitektur Tradition hat, bilden Holzbauweisen in Deutschland aufgrund bauordnungsrechtlicher Einschränkungen bislang nur einen geringen Anteil des Bauvolumens.

Holz weist ein vergleichsweise günstiges Brandverhalten auf:

- Durch entsprechende Überdimensionierung des Querschnitts können im Prinzip beliebig hohe Feuerwiderstandsdauern erreicht werden.
- Die Verformungen im Brandfall sind erheblich geringer als bei Stahlbauteilen
- Bei massiven Holzbauteilen bildet sich bei der Verbrennung eine Holzkohlenschicht aus, die isolierend wirkt und die in manchen Fällen sogar dazu führt, dass die Holzbauteile von selber erlöschen.

Es bestanden jedoch Bedenken, dass ein Brandeintrag in die Tragkonstruktion erfolgt und zu einem Durchbrand in angrenzende Nutzungseinheiten führt. Zudem wurde befürchtet, dass anders als bei Massivbauteilen die raumabschließenden Bauteile in Leichtbauweise keine ausreichende Rauch- und Gasdichtigkeit aufweisen. Insbesondere wurde die Frage aufgeworfen, ob in mehrgeschossigen Holzbauten das Schutzziel der Ermöglichung einer wirkungsvollen Brandbekämpfung durch die Feuerwehr erfüllt werden kann, da mögliche Brände im Inneren der Holzbauteile sowie eine unkontrollierte Brandausbreitung über Hohlräume einen Löscherfolg erschweren können. Zudem könnten die Einsatzkräfte auch noch nach dem Löschangriff durch ein ggf. eintretendes verzögertes Tragwerksversagen infolge eines versteckten Weiterbrandes hinter der Bekleidung gefährdet werden.

Diesen Bedenken wurde mittels theoretischer Grundlagenuntersuchungen und eines umfangreichen Brandversuchsprogramms [1] am Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (iBMB) der TU Braunschweig gezielt nachgegangen. Letztendlich wurde der Nachweis erbracht, dass das hohe brandschutztechnische Sicherheitsniveau in Deutschland auch bei mehrgeschossigen Gebäuden in Holzbauweise aufrechterhalten werden kann, wenn geeignete konstruktive Maßnahmen ergriffen werden.

Dieser Nachweis bildete die Grundlage für die in der Musterbauordnung 2002 (MBO) [2] verankerte Erweiterung des Einsatzbereichs der bisher auf drei Vollgeschosse beschränkten Holzbauweise auf bis zu fünf Vollgeschosse. Ermöglicht wurde dies durch die Einführung einer neuen Gebäudeklasse 4 für Gebäude mittlerer Höhe bis zu einer Fußbodenhöhe des obersten Geschosses mit Aufenthaltsräumen von 13 m und Nutzungseinheiten mit jeweils nicht mehr als 400 m² in einem Geschoss (siehe Bild 1).

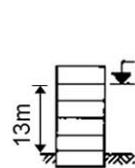
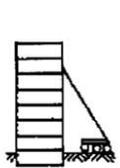
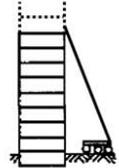
1	2	3	4	5	
Gebäude freistehend	Gebäude geringer Höhe OKF ≤ 7 m		Gebäude mittlerer Höhe	Gebäude mittlerer Höhe	Hochhäuser
1 WE	≤ 2 WE	≥ 3 WE	7 m < OKF ≤ 13m	13 m < OKF ≤ 22 m	OKF > 22 m
Feuerwehrinsatz mit Steckleitern 					

Bild 1: Gebäudeklassen nach MBO 2002 [2]

Die Tragkonstruktion muss in dieser Gebäudeklasse einen Feuerwiderstand von 60 Minuten aufweisen. Die Musterbauordnung 2002 [2] führt damit erstmals eine Zwischenstufe zwischen „feuerhemmenden“ F 30-B- und „feuerbeständigen“ F 90-AB-Konstruktionen ein. Die als „hochfeuerhemmend“ bezeichneten Bauteile mit einer Feuerwiderstandsdauer von 60 Minuten sollen die Lücke zwischen 30 und 90 Minuten schließen, die aus Sicht einer gestuften Risikobetrachtung unverhältnismäßig groß erscheint. Damit folgen die deutschen Regelungen einem internationalen Standard, der in vielen Ländern eine differenzierte Einteilung des Feuerwiderstands der Bauteile bis hin zu Schritten von nur 15 Minuten vorsieht.

Die Erkenntnisse des Forschungsvorhabens [1] wurden direkt in den Entwurf einer „Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an hochfeuerhemmende Bauteile in Holzbauweise“ (Muster-Holzbaurichtlinie M-HFHolzR) [3] eingebracht, der zusammen mit der Projektgruppe Brandschutz der Fachkommission Bauaufsicht erarbeitet wurde. Durch die intensive Beteiligung der Forschergruppe am Richtlinienentwurf gelang es, Anforderungen an Holzbauteile zu formulieren, die sich direkt vom realen Brand- und Rauchdurchgangsverhalten ableiten lassen.

2. Brandschutztechnisch wirksame Bekleidung

Die Verwendung von hochfeuerhemmenden Holztragkonstruktionen setzt in der Gebäudeklasse 4 die Anordnung einer brandschutztechnisch wirksamen Bekleidung und die Verwendung von ausschließlich nichtbrennbaren Dämmstoffen mit einem Schmelzpunkt $\geq 1000^{\circ}\text{C}$ gemäß DIN 4102-17 [4] voraus.

Die „brandschutztechnisch wirksame Bekleidung“ ist im Brandschutzkonzept der MBO 2002 [2] nicht näher definiert. Aufgabe der experimentellen Untersuchungen des Forschungsvorhabens [1] war es unter anderem, die Anforderungen an diese Bekleidung festzulegen, beispielhafte Konstruktionsvarianten zu entwickeln und deren Eignung nachzuweisen sowie Leistungskriterien zu definieren, die bei den üblichen Normbrandversuchen zusätzlich zu den allgemeinen Anforderungen gemäß DIN 4102-2 [5] bzw. DIN EN 1363-1 [6] zu erfüllen sind.

Um im Brandfall der Gefahr eines verdeckten Weiterbrandes innerhalb der Konstruktion und eines verzögerten Tragwerkversagens bzw. Durchbrandes in andere Nutzungseinheiten wirksam zu begegnen, muss eine Entzündung der Holzbauteile im Innern der Konstruktion zuverlässig ausgeschlossen werden. Als Leistungskriterium hinsichtlich der Verhinderung einer Entzündung von bekleideten Holzbauteilen war die Holzentzündungstemperatur zu quantifizieren.

Zur Untersuchung des Brandverhaltens von Fichtenholz praxisüblicher Abmessungen und insbesondere zur Ermittlung der Entzündungstemperatur wurden Versuche im Labormaßstab mit dem Cone-Calorimeter [1] durchgeführt.

Beim Cone-Calorimeter gemäß ISO 5660 [7] erzeugt ein kegelförmiger, elektrisch beheizter Strahler (engl. Cone-Heater) in der Ebene der maximal 100 cm^2 großen Materialoberfläche eine homogene Wärmestromdichte (Leistung pro Flächeneinheit), durch die der zu untersuchende Probekörper erwärmt wird. Die Wärmestromdichte kann im Bereich $0 - 100\text{ kW/m}^2$ (maximale Heizertemperatur: 1000°C) eingestellt werden. Die Versuche ergaben, dass die Entzündungstemperatur von Fichtenholz in praxisüblichen Maßen unter Berücksichtigung von zufällig streuenden Materialeigenschaften und Einbaubedingungen ca. 300°C beträgt [1].

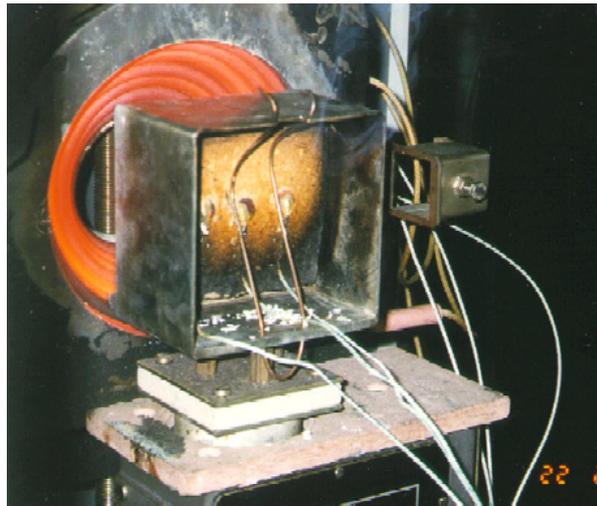
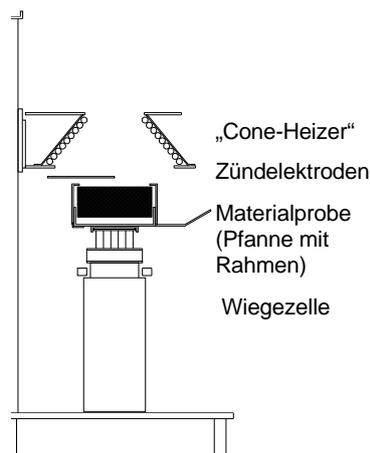


Bild 2: Versuchsaufbau im Cone-Calorimeter

Auf Grundlage der Cone-Calorimeter-Untersuchungen ergab sich als Leistungskriterium für Bekleidungen von raumabschließenden, tragenden und/oder aussteifenden Wand- und Deckenbauteilen in Holzbauten der Gebäudeklasse 4, dass die Entzündungstemperatur von 300 °C an der Holzoberfläche während der gesamten Brandbeanspruchungsdauer einschließlich der Abkühlphase nicht erreicht oder überschritten werden darf.

Um die Schutzziele zu erreichen, muss eine Entzündung der brennbaren Tragkonstruktion und damit ein Brandeintrag in die Bauteile für mindestens 60 Minuten verhindert werden. Die Brandschutzbekleidung muss die brennbaren, tragenden und aussteifenden Bestandteile der Bauteile daher für diesen Zeitraum einkapseln. Dieses Leistungskriterium der Brandschutzbekleidung konnte im Rahmen der bisherigen Brandprüfungen nach DIN 4102 Teil 2 und Teil 3 nicht überprüft werden. Hier werden lediglich die Tragfähigkeit und der Raumabschluss betrachtet, nicht jedoch die Kapselung von brennbaren Baustoffen, so dass zur Beurteilung von Bekleidungen bezüglich ihrer brandschutztechnischen Wirksamkeit eine separate Prüfnorm benötigt wurde.

Im Zuge des Übergangs auf die europäische Klassifizierung von Bauteilen und der Einbindung in das deutsche bauaufsichtliche Verfahren wurde darum eine Norm zur Bestimmung der Brandschutzwirkung von Bekleidungen entwickelt. Diese europäische Norm DIN EN 14135 [8] legt ein Prüfverfahren zur Bestimmung der Fähigkeit einer Bekleidung fest, den darunterliegenden brennbaren Baustoff gegen Entzündung, Verkohlung und andere Schäden während der definierten Normbrandbeanspruchung (ETK) zu schützen. Werden die in dieser Norm festgelegten Leistungskriterien (Verhinderung der Entzündung bzw. Verkohlung des Holzes) eingehalten, wird die Brandschutzbekleidung nach DIN EN 13501 Teil 2 [9] als K₂60 klassifiziert, wobei der Buchstabe K für „Kapselung“ steht.

Die Klassifizierung der Feuerwiderstandsfähigkeit des Bauteils bleibt davon jedoch völlig unberührt. Tragfähigkeit und Raumabschluss der Bauteile können nach DIN EN 1363 Teil 1 geprüft werden, was im Prinzip der altbekannten Prüfung nach DIN 4102 Teil 2 entspricht. Auf Grundlage der Ergebnisse wird das Bauteil nach DIN EN 13501 Teil 2 z. B. als REI 60 klassifiziert. Dies entspricht von der Bedeutung her der Bezeichnung F 60 aus DIN 4101 Teil 2. Darin bedeuten:

- R Tragfähigkeit (R für Resistance)
- E Nachweiskriterium für die Fähigkeit raumabschließender Bauteile, den Durchgang von Flammen und heißen Gasen zu verhindern (E für Etanchéité)
- I Nachweiskriterium für die Fähigkeit raumabschließender Bauteile, den Wärmedurchgang zu begrenzen (zulässige Temperaturerhöhung auf der feuerabgewandten Seite im Mittel 140 K und am heißesten Punkt höchstens 180 K)

Erfüllt die Bekleidung des Bauteils zusätzlich das Kapselkriterium, wird sie nach DIN EN 13501-2 [9] als K₂60 klassifiziert. Nach den Bezeichnungen der europäischen Klassifizierung wird eine tragende und raumabschließende Wand in Holzbauweise folglich mit „REI K₂60“ bezeichnet (R: Tragfähigkeit, E: Raumabschluss, I: Isolation, K: Kapselung).

Während im Rahmen der Brandversuche des Forschungsvorhabens [1] die 300 °C-Grenze auf der Holzoberfläche als Leistungskriterium für die Brandschutzbekleidung verwendet wurde, gilt innerhalb der DIN EN 14135 ein Grenzwert von 270 °C. Die Herabsetzung des Entzündungskriteriums auf diesen Maximalwert erklärt sich daraus, dass in den Forschungsbrandversuchen zusätzlich die Abkühlphase des Brandes betrachtet wurde (siehe Bild 3). Brandversuche belegen, dass es infolge des fortwährenden Energieeintrages auch noch in dieser abklingenden Phase des Brandes zu einer Entzündung der Holzkonstruktion kommen kann, solange die Brandraumtemperaturen über 300 °C liegen.

In der Materialprüfpraxis kann die in den Forschungsbrandversuchen gefahrene Abkühlphase jedoch nicht realisiert werden, da jeder Brandofen nach dem Abstellen der Brenner ein anderes Abkühlverhalten aufweist und die Brandbeanspruchungskurve der Forschungsversuche somit nicht reproduzierbar wäre. Daher kam man auch in Anlehnung an das europäische Prüfverfahren überein, den Verzicht auf das Betrachten der Abkühlphase durch eine Herabsetzung des auf Grundlage der Laborbrandversuche aufgestellten Entzündungskriteriums von 300 °C auf 270 °C zu kompensieren (siehe Bild 4).

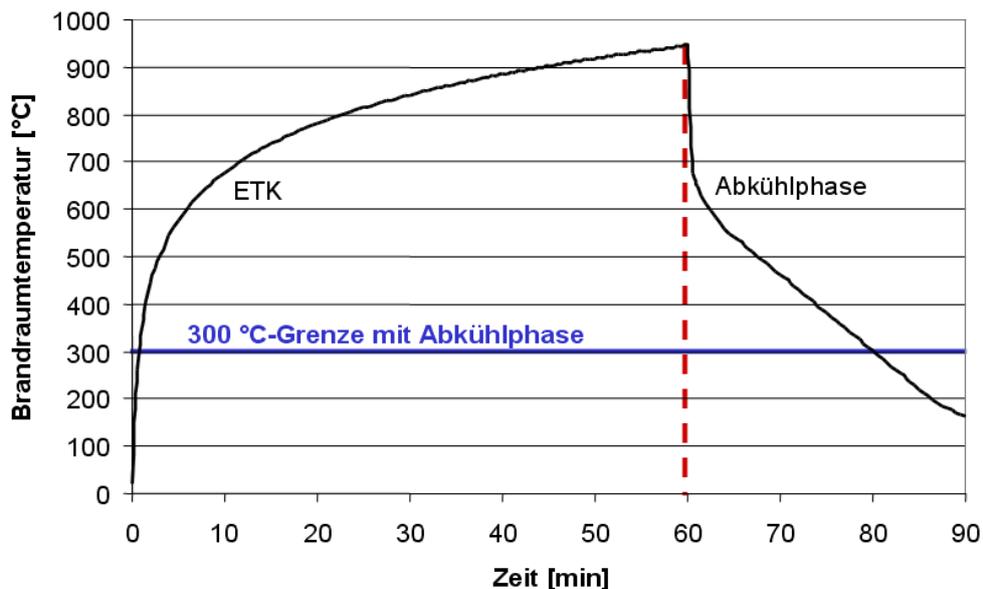


Bild 3: Brandbeanspruchung mit Abkühlphase und 300 °C-Grenze

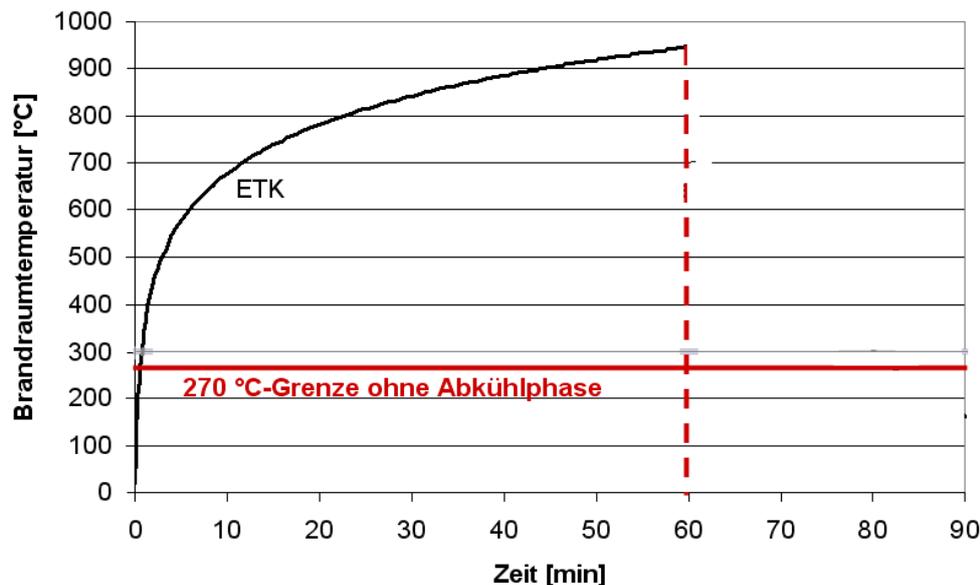


Bild 4: Brandbeanspruchung ohne Abkühlphase und 270 °C-Grenze

3. Rauchdichtigkeit von raumabschließenden Holzständerbauteilen

Gegenüber raumabschließenden Holzbauteilen besteht häufig das Vorurteil, dass Personen in benachbarten Nuteinheiten durch solche Konstruktionen nicht ausreichend vor Rauch und Brandgasen geschützt werden. Aus den theoretischen und experimentellen Grundlagenuntersuchungen mussten daher konstruktive Maßnahmen abgeleitet werden, die eine Ausbreitung von toxischen Rauchgasen und damit eine Gefährdung der Nutzer sicher ausschließen.

Die Dichtigkeit einer raumabschließenden Konstruktion hängt primär von deren Aufbau (Bauweise, Fugen, Rissanfälligkeit) und den Druckverhältnissen im Brandraum ab. Sie ist weitgehend unabhängig von der Brandlast und der Art des Brandes. Die vollständige Dichtigkeit einer Konstruktion kann über die gesamte Feuerwiderstandsdauer in der Regel nicht gewährleistet werden. Infolge der Druckdifferenz zwischen Brandraum und brandabgekehrtem Raum kann der Durchtritt von Brandgasen nicht gänzlich ausgeschlossen werden. Art und Menge der entstehenden Brandgase und ihre Toxizität hängen einerseits von den Ventilationsbedingungen und der Temperatur im Brandraum und andererseits von der Zusammensetzung der Brandlast ab, weniger jedoch von der Zusammensetzung der Konstruktionsbaustoffe des Bauteils. Art, Menge und Schwärzung des entstehenden Brandrauchs werden vorrangig durch die Brandlast beeinflusst. Auch hierauf hat die Zusammensetzung der Konstruktionsbaustoffe im Allgemeinen nur geringen Einfluss [10].

Um eine Gesundheitsgefährdung von Menschen durch Brandrauch auszuschließen, sollen raumabschließende Bauteile folgende erweiterte Anforderungen erfüllen:

- Der Raumabschluss im Bereich baulicher Abtrennungen von Nutzungsbereichen muss über die gesamte Feuerwiderstandsdauer gewährleistet sein.
- Im Bereich der Eckfugen zwischen raumabschließenden Bauteilen muss eine Rauchweiterleitung zuverlässig verhindert werden.
- Flucht und Rettung von Personen in den angrenzenden Nutzungsbereichen darf nicht durch Sichtbehinderung und/oder toxische Wirkung durch Brandrauch beeinträchtigt werden.

Diese Anforderungen gelten nicht nur für die Holztafelbauweise, sondern generell für brandschutztechnisch wirksame Abtrennungen in Leichtbauweise. Bei massiven Bauweisen kann sich eine Überprüfung der Kriterien auf Bereiche mit Fugen, Anschlüssen oder Rissen beschränken.

Um die Rauchdichtigkeit verschiedener Konstruktionen für mehrgeschossige Holzbauwerke zu beurteilen, wurde bei den Brandversuchen [1] an Bauwerksausschnitten – „Eckausbildung Wand/Wand“ und „Eckausbildung Wand/Decke“ – jeweils im Fugenbereich der zusammengesetzten Elemente der Rauchdurchtritt gemessen. Bei einem der Versuche wurde zusätzlich der Rauchdurchtritt durch die Deckenkonstruktion mit Hilfe einer Messkammer festgestellt.

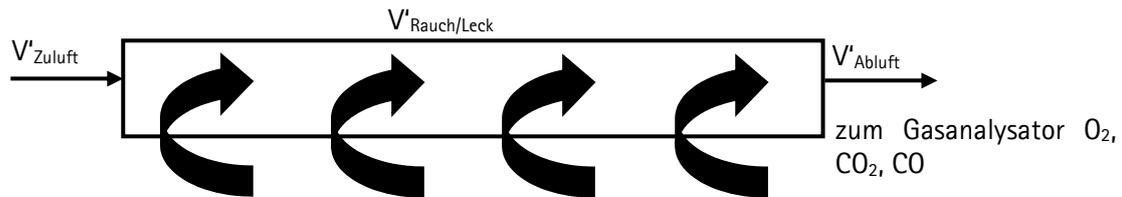


Bild 5: Prinzip des Messkanals im Fugenbereich

Im Fugenbereich wurde ein aus Stahl gefertigter Kanal mit den Abmessungen $b \times h \times l = 20 \times 20 \times 280$ cm angeordnet. Der Kanal umschloss die Fuge und war seitlich rauchdicht abgedichtet. Am unteren Ende des Kanals wurde eine definierte Zuluft von 100 l/min eingeblasen. Im oberen Austrittsbereich des Kanals wurden mittels Messsonden die Konzentrationen von O_2 , CO_2 und CO in der Abluft bestimmt, die über eine Rauchgasreinigungsanlage abgegeben wurde. Zusätzlich war in dem Messkanal ein Rauchdichtemessgerät nach DIN 50055 [11] eingebaut, mit dem der Transmissionsgrad bzw. die optische Dichte bestimmt werden konnte.

Der Transmissionsgrad τ ist das Verhältnis der durchgelassenen Strahlungsleistung zur einfallenden Strahlungsleistung:

$$\tau(\lambda) = \frac{\Phi_{e\lambda\tau}}{\Phi_{e\lambda}} \quad (1)$$

mit

$\Phi_{e\lambda\tau}$ durchgelassene spektrale Strahlungsleistung

$\Phi_{e\lambda}$ einfallende spektrale Strahlungsleistung

Die optische Dichte ergibt sich aus dem dekadischen Logarithmus des reziproken Wertes des Transmissionsgrades. Einzelheiten über die Bestimmung des Transmissionsgrades und der optischen Dichte können in [1] nachgelesen werden.

Mit dem gewählten Versuchsaufbau kann festgestellt werden, ob Rauchgas durch die Fuge in den Kanal eingedrungen ist. In Kenntnis der Messergebnisse können Aussagen über die Dichtigkeit der Fuge getroffen und Abschätzungen vorgenommen werden, inwieweit an den Brandraum angrenzende Räume durch Rauch und Brandgase beeinträchtigt werden.

Bild 8 zeigt anhand des zeitlichen Verlaufes des Transmissionsgrades, wie stark sich unterschiedliche Eckausbildungen bezüglich ihres Rauchdurchgangsverhaltens unterscheiden.

Bei der Anschlussvariante I nahm ab etwa der 20. Versuchsminute der Rauchdurchgang deutlich zu, was sich anhand des abfallenden Transmissionsgrades nachvollziehen lässt (siehe Bild 8, Kurvenverlauf „Fuge Wand/Decke I“). Hier wurde die vom Fertigungsaufwand her einfachste Konstruktion mit einer durchgehenden horizontalen Fuge verwendet (siehe Bild 6). Ganz anders verhält sich dagegen die

Anschlussvariante II („Eckausbildung Wand/Decke II“). Dort ist neben einer verbesserten brandschutztechnischen Bekleidung auch die Ausbildung der Fuge optimiert worden und das Deckenbauteil wurde zugfest über Schrauben mit dem Wandbauteil verbunden (siehe Bild 7). Die Bekleidung im Anschlussbereich wurde zwischen Wand und Decke so montiert, dass die Fugen versetzt angeordnet waren. Fertigungstechnisch ist diese Konstruktion etwas aufwendiger, zur Verringerung des Rauchdurchtritts aber umso vorteilhafter. Während der Versuchsdauer konnte im Messkanal an der Fuge mit dem Rauchdichtemessgerät keine Lichtschwächung gemessen werden. Der Transmissionsgrad blieb annähernd konstant bei 100% (siehe Bild 8, Kurvenverlauf „Fuge Wand/Decke II“). Auch der Durchgang von Brandgasen (CO, CO₂) fiel bei dieser Fugenausbildung äußerst gering aus [12].

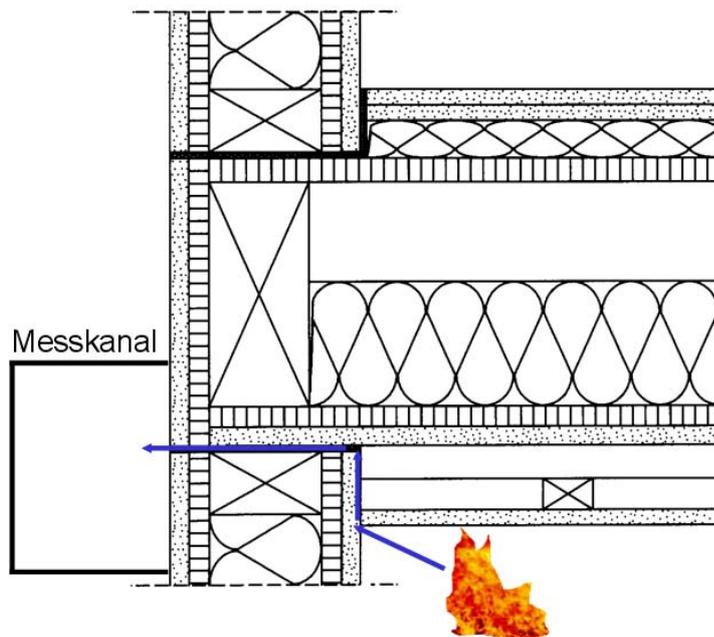


Bild 6: Eckausbildung mit durchgehender Fuge (Wand/Decke I)

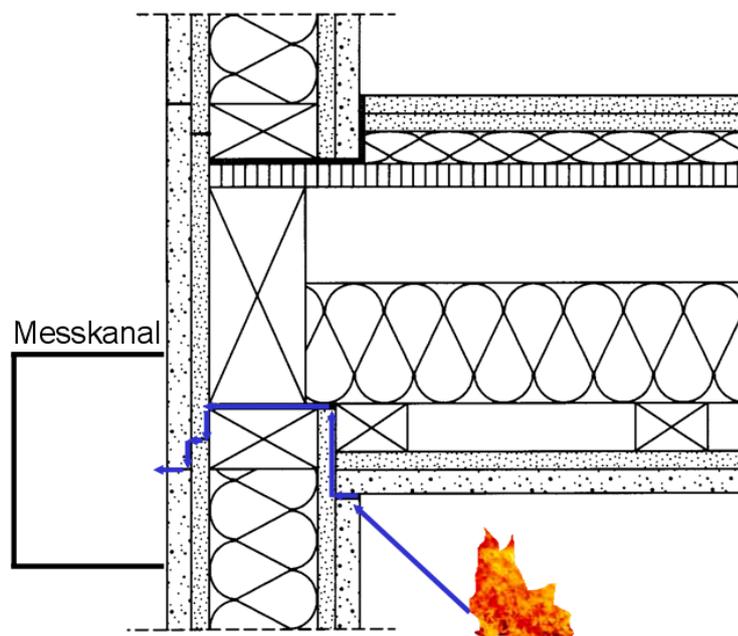


Bild 7: Eckausbildung mit Fugenversatz (Wand/Decke II)

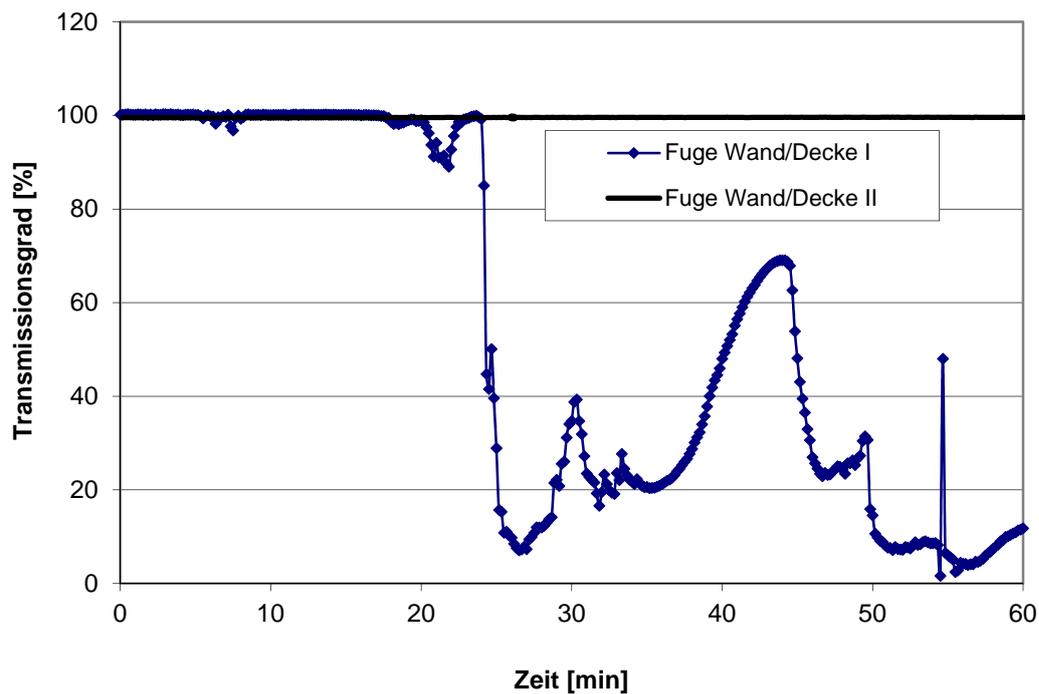


Bild 8: Vergleich der Transmissionsgrade im Fugenbereich bei den Eckausbildungen nach Bild 6 und Bild 7

Als weiteres wichtiges Ergebnis der Forschungsbrandversuche konnte festgestellt werden, dass eine Entzündung der Holztragkonstruktion bei entsprechender Dimensionierung der Brandschutzbekleidung verhindert werden kann. Bild 9 zeigt den Zustand der Holzständer nach einem Brandversuch. Die Holztragglieder waren hier durch eine zweilagige Bekleidung auf Gipsbasis geschützt. Die Holzständer waren nach einer Brandbeanspruchungsdauer von 60 Minuten entsprechend der Einheitstemperaturzeitkurve durchweg noch völlig unversehrt und hätten theoretisch wieder verwendet werden können.



Bild 9: Zustand der Holzständer nach einem Brandversuch gemäß []

4. Umsetzung der Forschungsergebnisse in der M-HFHolzR (Holzbaurichtlinie)

Die Erkenntnisse aus den im Rahmen des Forschungsvorhabens durchgeführten Brandversuchen wurden direkt die Musterrichtlinie für brandschutztechnische Anforderungen an hochfeuerhemmende Bauteile in Holzbauweise (Muster-Holzbaurichtlinie, MHFHolzR) [3] eingebracht.

Die Muster-Holzbaurichtlinie gilt für Gebäude, deren tragende und aussteifende Teile aus Holz oder Holzwerkstoff bestehen und die nach den bauaufsichtlichen Vorschriften allseitig eine brandschutztechnisch wirksame Bekleidung sowie Dämmstoffe aus nichtbrennbaren Baustoffen haben müssen. Der Anwendungsbereich der Richtlinie umfasst Holz-Systembauweisen, die einen gewissen Grad der Vorfertigung aufweisen, wie die Holzständer-, Fachwerk- oder Holztafelbauweise.

Die Richtlinie stellt brandschutztechnische Mindestanforderungen, die insbesondere

- ein Brennen der tragenden und aussteifenden Holzkonstruktionen,
- die Einleitung von Feuer und Rauch in die Wand- und Deckenbauteile sowie
- die Weiterleitung von Feuer und Rauch über Anschlussfugen von raumabschließenden Bauteilen in angrenzende Nutzungseinheiten oder Räume verhindern sollen.

Diese Anforderungen beziehen sich auf

- die Baustoffe wie Holz, Bekleidungen, Dämmstoffe, Folien,
- die Wand- und Deckenbauteile, Stützen und Träger einschließlich ihrer Anschlüsse,
- die Öffnungen für Einbauten und
- die Art der Installationsführung.

Um sowohl die Vielfalt der möglichen Konstruktionen der Holzbauweise zu erhalten als auch ein Maximum an Sicherheit gegenüber der Ausbreitung von Feuer und Rauch zu gewährleisten, wurden auf der Grundlage der Ergebnisse des Forschungsvorhabens ausschließlich jene konstruktiven Details in Textform vorgeschrieben, die für das jeweilige Schutzziel entscheidend sind. Zeichnungen dienen dabei nur zur Erläuterung der konstruktiven Anforderungen und sind lediglich als Beispiel zu verstehen. Die Beschränkung der Vorschriften auf die für den Brandschutz wichtigen Details bietet den Vorteil, beliebige Konstruktionen im Holzbau der Gebäudeklasse 4 zu verwenden. Es müssen dabei lediglich die in der Muster-Richtlinie erläuterten konstruktiven Mindestanforderungen erfüllt werden. Nachfolgend werden die wesentlichen brandschutztechnischen Anforderungen an Bauteile und Konstruktionen vorgestellt.

Tragende und/oder raumabschließende Wand- und Deckenbauteile, Träger sowie Stützen müssen allseitig durch die brandschutztechnisch wirksame Bekleidung gekapselt werden. Die Fugen der Bekleidung sind mit Stufenfalz, Fugenversatz oder Nut- und Federverbindung auszuführen.

Auf der Basis der Messergebnisse des Rauchdurchtritts im Fugenbereich bei den großmaßstäblichen Versuchen und der Auswertungen von Gasanalysen wurden konstruktive Mindestanforderungen für Anschlüsse Wand/Wand und Wand/Decke abgeleitet, mit denen der Rauchdurchtritt minimiert werden kann.

- Im Anschlussbereich sind die Brandschutzbekleidungen der Bauteile mit Fugenversatz, Stufenfalz oder Nut- und Federverbindungen so auszubilden, dass keine durchgängigen Fugen entstehen.
- Die Anschlüsse sind so auszuführen, dass die Brandschutzbekleidung bei durch Brandeinwirkung entstehenden Verformungen nicht aufreißt. Dazu sind die Bauteile im Anschlussbereich mit Schrauben zu verbinden, die einen Mindestdurchmesser von 12 mm haben und eine Einschraubtiefe von mindestens dem 12-fachen Wert ihres Schaftdurchmessers aufweisen müssen. Verschraubungen mit $d \geq 8$ mm und mind. gleichem Auszieh Widerstand sowie Verbindungen mit durchgehenden Gewindestangen sind ebenfalls zulässig.

- Fugen sind mit nichtbrennbaren Baustoffen zu verschließen (z. B. Verspachtelung oder Deckleisten).
- Die Anschlüsse von Wänden an Wände sind so auszubilden, dass die jeweiligen Stiele in den Wänden miteinander verschraubt werden können, ggf. sind zusätzliche Stiele einzubauen. Die Stiele der Wandkonstruktionen sind in Abständen von höchstens 500 mm kraftschlüssig miteinander zu verschrauben. Anstelle eines Fugenversatzes der Brandschutzbekleidung kann in der Fuge ein ca. 20 mm dicker Streifen aus nichtbrennbaren Dämmstoffen mit einem Schmelzpunkt $\geq 1000^{\circ}\text{C}$ gemäß DIN 4102-17 [4] komprimiert eingebaut werden.
- Bei Anschlüssen von Wänden an Decken sind die Deckenbalken und die Verblockung mit den umlaufenden Rahmenhölzern der Wände in Abständen von höchstens 500 mm zu verschrauben. Dieser Abstand gilt auch für den Anschluss von Decken an vertikal durchlaufende Wände (Spannrichtung der Deckenbalken parallel zum Rahmenholz der Wandkonstruktion). In den vertikalen Fugen zwischen den Wand- und Deckenbauteilen muss ein ca. 20 mm dicker Streifen aus nichtbrennbaren Dämmstoffen mit einem Schmelzpunkt $\geq 1000^{\circ}\text{C}$ gemäß DIN 4102-17 [4] komprimiert eingebaut werden.

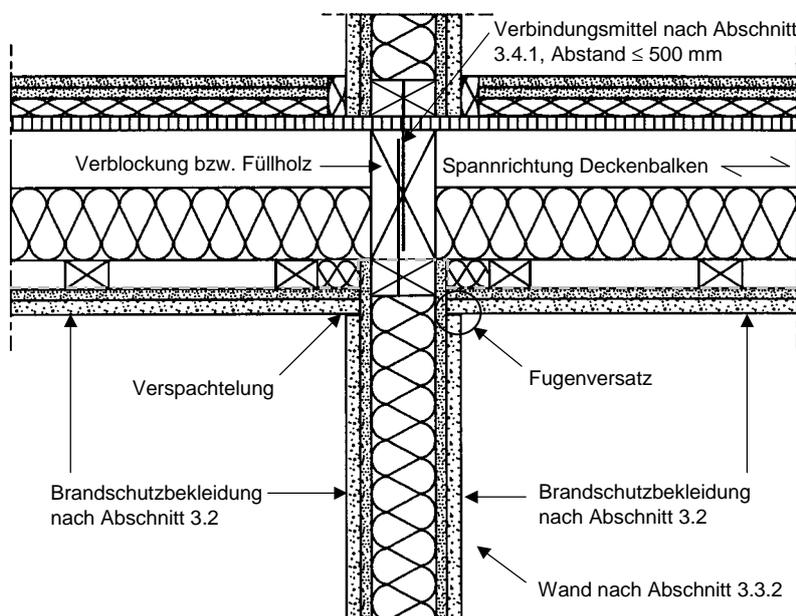


Bild 10: Anschluss tragende und raumabschließende Wand an Decke (Spannrichtung der Deckenbalken senkrecht zur Wand)

Ein häufiger Schwachpunkt in raumabschließenden Bauteilen bei allen Bauweisen besteht in Öffnungen für Einbauten und Durchführungen von Installationen. Darum wurden auch diese Details eingehend untersucht [1]. Da es im Bereich des Holzbaus noch kaum bauaufsichtlichen Zulassungen für Abschottungssysteme gibt, wurde zunächst ein für Massivbauteile zugelassenes Kabelschott hinsichtlich der Übertragbarkeit auf Holzbauteile geprüft.

Die Ergebnisse waren grundsätzlich positiv, denn bei Betrachtung der Prüfkriterien aus DIN 4102-9 [13] könnte das bisher im Massivbau eingesetzte System auch im Holzbau verwendet werden. Dabei muss jedoch sehr sorgfältig auf eine brandschutztechnisch ausreichend dimensionierte Auslaibung im raumabschließenden Bauteil geachtet werden, damit die Entzündung benachbarter Holztragglieder wirksam verhindert wird (siehe Bild 11).

Um beim Einbau von Öffnungen für Einbauten eine Einleitung von Feuer in die Wand- und Deckenbauteile zu verhindern, ist die Brandschutzbekleidung grundsätzlich auch in den Öffnungslaubungen entsprechend Bild 11 vorzusehen.

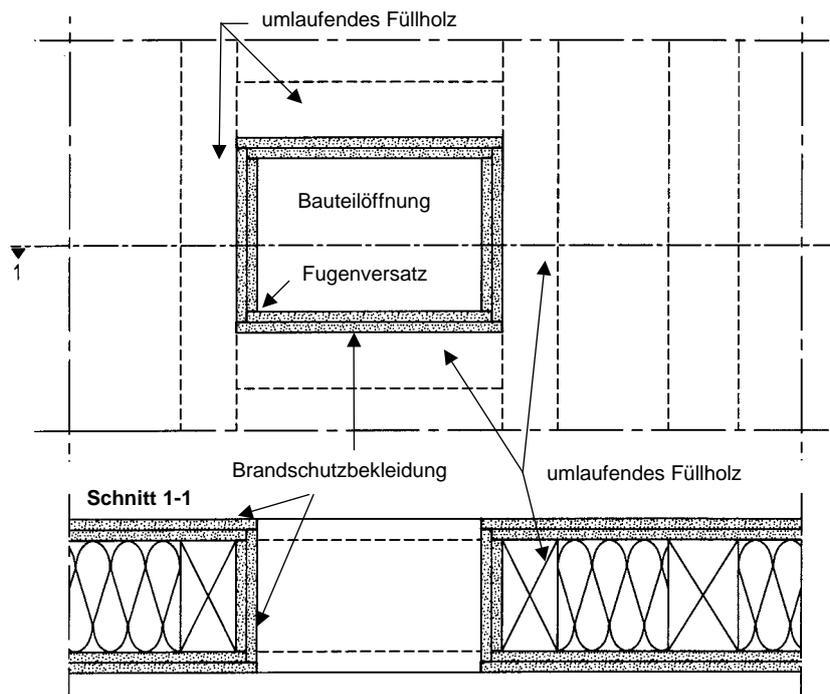


Bild 11: Bauteilöffnung mit Brandschutzbekleidung und Darstellung der Ausführung des Fugenversatzes

Um der Gefahr einer Brandentstehung und Weiterleitung z. B. durch Kurzschluss bei elektrischen Leitungen vorzubeugen, werden Brandlasten in Form von Kabelbündeln innerhalb der Bauteile im mehrgeschossigen Holzbau der Gebäudeklasse 4 generell nicht zugelassen. Die Brandausbreitung erfolgt zwar relativ langsam und ist in Gebäuden geringer Höhe mit kurzen Rettungswegen wegen des geringen Personenrisikos tolerierbar. Im mehrgeschossigen Holzbau muss jedoch aufgrund des größeren Zeitbedarfs für die Personenrettung und Brandbekämpfung einer Ausbreitung von Feuer und Rauch vor Abschluss dieser Arbeiten wirksam vorgebeugt werden.

Durch das Auslagern in die Schächte und Vorwandebenen bleiben die Installationen mittels der Brandschutzbekleidung von den tragenden und aussteifenden Holzbauteilen getrennt. An die Vorwandebene selbst werden keine brandschutztechnischen Anforderungen gestellt.

Eine andere Möglichkeit besteht darin, Kabel, Leitungen und Mehrfachsteckdosen in Kanälen innerhalb der Wände zu verlegen, die in der Art der Brandschutzbekleidung ausgeführt werden. Die Brandschutzbekleidung darf bei der Montage der Kanäle jedoch in ihrer Funktion nicht beeinträchtigt werden.

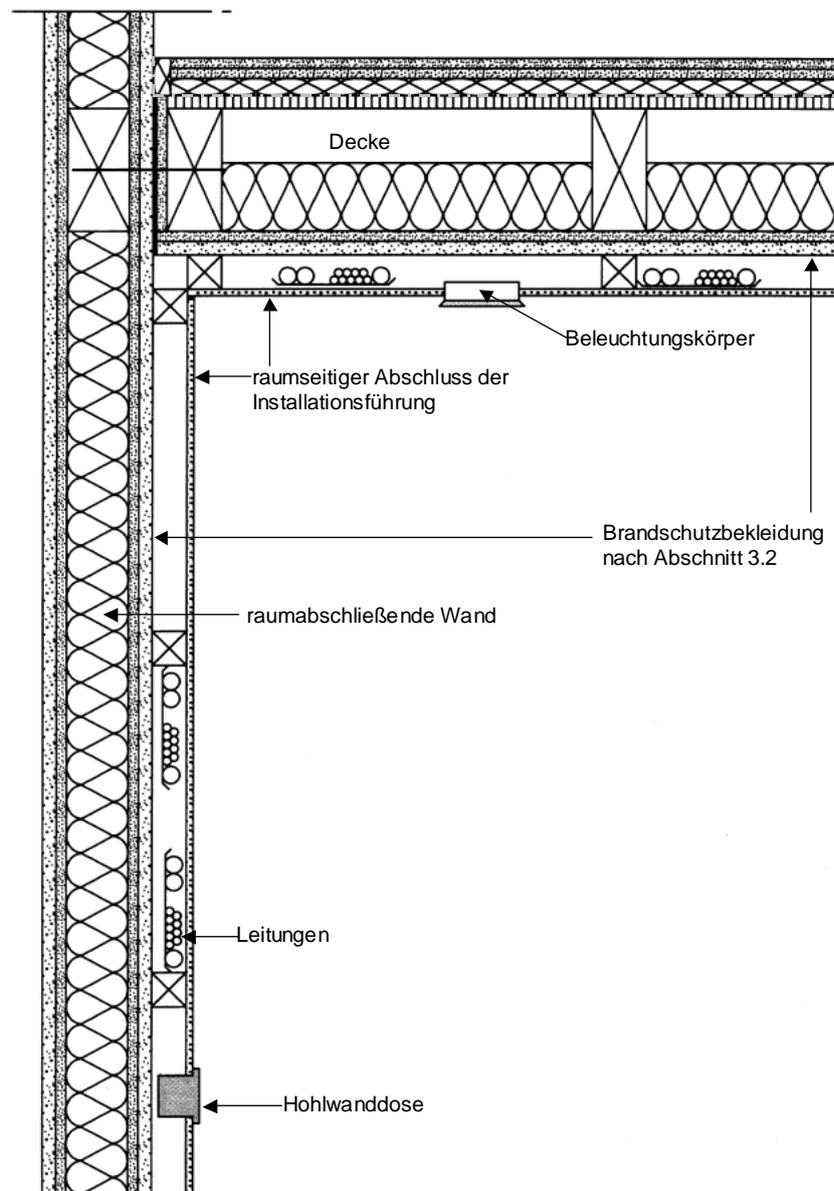


Bild 12: Installationsführung bei hochfeuerhemmenden Holzbauteilen

Besondere Sorgfalt erfordert auch der Einbau von Hohlwanddosen. Bei Brandversuchen mit Wandbauteilen ohne Vorwandebene traten auf der Rückseite von Hohlwanddosen Temperaturen bis zu 600°C auf, so dass direkt benachbarte Holzständer in Brand geraten könnten [1]. Bei planmäßig eingebauten Hohlwanddosen in Öffnungen der Brandschutzbekleidung muss daher ein Mindestabstand zum nächsten Stiel eingehalten werden. Bei gegenüberliegenden Hohlwanddosen im selben Gefach ist es zur Aufrechterhaltung des Raumabschlusses erforderlich, die Dosen einzukapseln. Auch nachträglich eingebaute Hohlwanddosen müssen grundsätzlich mit der Brandschutzbekleidung eingehaust werden, weil der Installateur ggf. nicht feststellen kann, wo sich der nächste Ständer in der Wand befindet.

Auf Grundlage der Forschungsergebnisse [1] wurden konstruktive Mindestanforderungen aufgestellt, die das Risiko der Einleitung von Feuer und Rauch in die Wand- und Deckenbauteile über Installationen sowie eine Brandausbreitung innerhalb dieser Bauteile minimieren und im Folgenden in verkürzter Form wiedergegeben werden.

- Installationen (Leistungs- und Lüftungsanlagen) sind in Schächten und Kanälen vor Wänden (siehe Bild 12) bzw. unterhalb von Decken zu führen. Werden Öffnungen für Installationsschächte und -kanäle hergestellt, ist die Brandschutzbekleidung in den Öffnungslaibungen mit Fugenversatz, Stufenfalz oder Nut- und Federverbindungen auszuführen.
- Einzelne Kabel oder bis zu drei Kabel innerhalb eines Rohres aus nichtbrennbaren Baustoffen dürfen innerhalb von Wänden und Decken geführt werden. Bei Durchführung der Kabel durch die Brandschutzbekleidung sind die verbleibenden Hohlräume in der Brandschutzbekleidung mit nichtbrennbaren Baustoffen zu verspachteln.
- Beim Einbau von Hohlwanddosen zum Einbau von Steckdosen, Schaltern und Verteilern muss ein Abstand zum nächsten Holzständer bzw. zur nächsten Holzrippe von mindestens 150 mm eingehalten werden.
- Gegenüberliegende Hohlwanddosen müssen gefachversetzt eingebaut werden. Sie müssen innerhalb des Wandhohlraumes vollständig von nichtbrennbaren Dämmstoffen nach DIN 4102-17 [4] umhüllt werden, wobei der hohlraumfüllende Dämmstoff im Bereich der Hohlwanddosen auf eine Mindestdicke von 30 mm gestaucht werden darf. Hohlwanddosen dürfen nur dann gegenüberliegend angeordnet werden, wenn im Bereich der Hohlwanddosen eine Einkapselung über Kästen aus der Brandschutzbekleidung vorgesehen wird.

5. Verwendbarkeitsnachweise und Überwachung

Für die hochfeuerhemmenden Holzbauteile ist ein bauaufsichtlicher Verwendbarkeitsnachweis in Form eines allgemeinen bauaufsichtlichen Prüfzeugnisses (AbP) erforderlich. Dieses beinhaltet die Prüfung der Feuerwiderstandsfähigkeit gemäß DIN 4102 bzw. DIN EN 13501-2 einschließlich der Elementfugen. Hinzu kommt die Überprüfung des Kapselkriteriums K_{260} nach DIN EN 14135 für die brandschutztechnisch wirksame Bekleidung. Diese wird in Form einer Deckenprüfung durchgeführt (siehe Bild 13), da dies aufgrund der höheren Temperatureinwirkung und der Beanspruchung der Verbindungsmittel die maßgebliche Belastung darstellt.

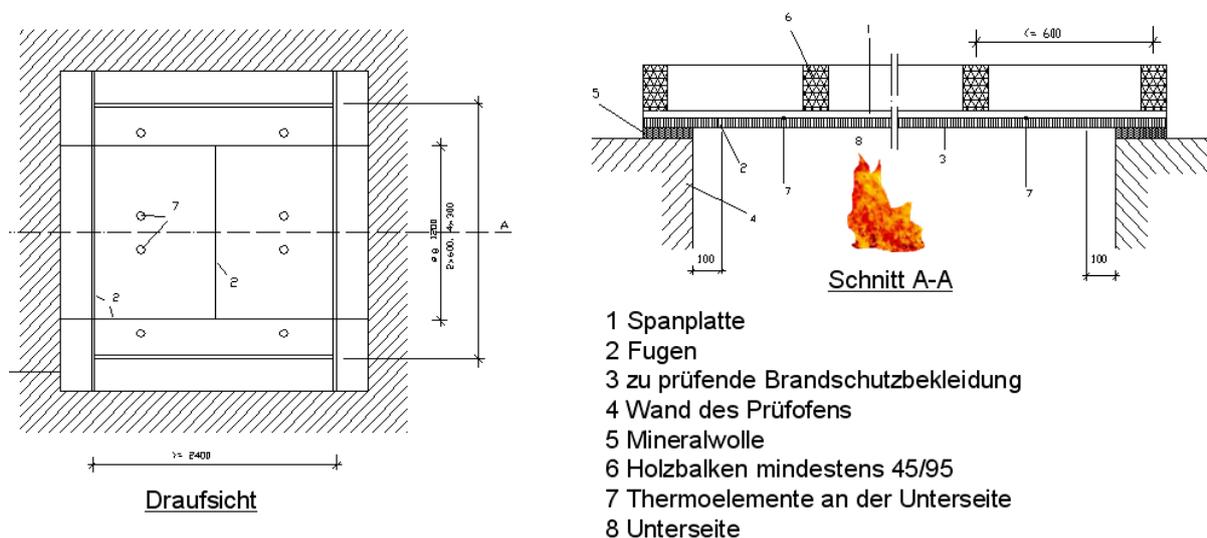


Bild 13: Bestimmung der Brandschutzwirkung (Kapselkriterium K_{260}) im Deckenofen

Die mehrgeschossige Holzständer- und Holztafelbauweise lebt von der sorgfältigen Ausführung der Bauten, da Fehlstellen im Brandfall zu einem Brandeintrag in die Konstruktion und damit zu einem von der Feuerwehr nur schwierig bekämpfbaren Hohlraumbrand führen könnten. Gemäß § 55 der MBO 2002 [2] dürfen Bauarbeiten nach Muster-Holzbaurichtlinie darum nur von Betrieben durchgeführt werden, die für diese Arbeiten geeignet sind. Je nach Landesrecht muss entweder die Bauaufsichtsbehörde, der Prüfsachverständige oder der Prüflingenieur für Standsicherheit die ordnungsgemäße Bauausführung nach Muster-Holzbaurichtlinie überwachen und bescheinigen (§ 81 Abs. 2 Satz Nr. 1 MBO 2002).

Bundesland	M-HFHolzR eingeführt	Bundesland	M-HFHolzR eingeführt
Baden- Württemberg	Ja	Niedersachsen	nein
Bayern	Ja	Nordrhein- Westfalen	nein
Berlin	Ja	Rheinland- Pfalz	Ja
Brandenburg	nein	Saarland	Ja
Bremen	nein	Sachsen	Ja
Hamburg	Ja	Sachsen- Anhalt	Ja
Hessen	Ja	Schleswig- Holstein	Ja
Mecklenburg- Vorpommern	Ja	Thüringen	Ja

Bild 14: Stand der Einführung der M-HFHolzR in den Bundesländern (Februar 2015)

6. Aktueller Stand und neue Entwicklungen im Holzbau

Nach dem derzeitigen Stand der Muster-Holzbaurichtlinie gilt diese ausschließlich für Holz-Systembauweisen, die einen gewissen Grad der Vorfertigung aufweisen, wie die Holzständer-, Fachwerk- oder Holztafelbauweise. Sie gilt jedoch derzeit nicht für viele Holz-Massivbauweisen.

Nach Meinung des Autors ist der Ausschluss der Massivholzbauweise aus der Gebäudeklasse 4 nicht sinnvoll, da gerade die hohlraumlosen Holzbauteile ein relativ geringes Risikopotential beinhalten. Während bei der Holzständer- oder Holztafelbauweise mögliche Ausführungsfehler wie z. B. Fehlstellen in der Brandschutzbekleidung einen Hohlraumbrand zur Folge haben könnten, ist dies bei massiven Holzbauteilen aufgrund der hohlraumlosen Konstruktion praktisch ausgeschlossen.

Bemängelt wird an der Muster-Holzbaurichtlinie, dass keinerlei sichtbare Holzkonstruktionen möglich sind, sondern alle Holzbestandteile, auch Aussteifungselemente aus Holzwerkstoffplatten, mit der Brandschutzbekleidung eingekapselt werden müssen. Um langfristig auch den Einsatz von massiven Holzbauteilen wie der Brettstapel-, Dickholz- oder Blockbauweise zu ermöglichen, wurde das Brandverhalten solcher Elemente in einem Forschungsvorhaben am Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (iBMB) der TU Braunschweig untersucht. Die Ergebnisse werden voraussichtlich in die nächste Novellierung der M-HFHolzR einfließen.

Um das Sicherheitsniveau der allseitig gekapselten Holzkonstruktionen gemäß MBO 2002 und Muster-Holzbaurichtlinie auch bei massiven sichtbaren Holzkonstruktionen beizubehalten, wurde im Rahmen eines Verbundforschungsvorhaben zweier Fraunhofer-Institute in Kooperation mit dem iBMB und führenden Holzbaubetrieben eine neue Generation von Holzbrandschutzbeschichtungen entwickelt [14].

Für die im Rahmen der über dreijährigen Forschungstätigkeit entwickelten Beschichtungen konnten in verschiedensten Brandversuchen und Experimenten sehr gute Eigenschaften nachgewiesen werden. Im Gebrauchszustand sind sie erheblich leistungsfähiger als die bekannten Brandschutzanstriche. Im Vergleich zu den bekannten Brandschutzsystemen ist die Feuchtebeständigkeit erheblich verbessert worden. Sofern die Anstriche durchgetrocknet sind, können sie durchaus feucht abgewischt werden, was bei den bisher bekannten Systemen undenkbar ist. Die mechanische Belastbarkeit ist sehr ordentlich, so erzielen die Anstriche beim Abrieb gute Resultate. Bei Stoßbelastungen mit einer Fallkugel erreichen sie Werte vergleichbar mit denen von Laminat. Auch die Oberflächenqualität ist bereits akzeptabel.

Die Brandschutzleistung der entwickelten Systeme ist hoch. So existieren Formulierungen, die ein 4 mm starkes Sperrholz über mehr als 8 Stunden vor der Brandbelastung eines laborüblichen Bunsenbrenners schützen. Es wurden endergonisch wirksame, weiß deckende Brandschutzbeschichtungen entwickelt, die Holzbauteile bis zu 40 Minuten im Ofenbrandversuch bei Temperaturen bis zu 900 °C vor einer Schädigung der Holzoberfläche schützen. Weiterhin wurden transparente Beschichtungen entwickelt, die eine Entzündung des Holzes im Brandfall in der Größenordnung von fast 30 Minuten verhindern. Auf Basis dieser transparenten Systeme wurden außerdem Lösungen für sehr dünne (ca. 60 – 70 µm) und mechanisch belastbare B1-Beschichtungen entwickelt. Ein erster vielversprechender Ansatz für die Entwicklung witterungsbeständiger Brandschutzbeschichtungen wurde ebenfalls gefunden. Auf Basis der erzielten Ergebnisse wurden Richtformulierungen entwickelt, welche im Grundsatz praxisfähig sind. Ein abschließender Großbrandversuch an unterschiedlichen Konstruktionen diente als Beleg für die Leistungsfähigkeit der entwickelten Technologie.

Diese innovative Technologie wird dem Werkstoff Holz neue Anwendungsbereiche erschließen und stellt den in der Praxis tätigen Unternehmen verbesserte Möglichkeiten zur Lösung brandschutztechnischer Problemstellungen zur Verfügung. Primäre Anwendungsgebiete sind zunächst der mehrgeschossige Holzbau, die Altbausaniierung, die Umnutzung bestehender Gebäude sowie der Denkmalschutz. Durchgeführte Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen haben gezeigt, dass die entwickelte Technologie nicht signifikant teurer sein wird als die am Markt verfügbaren Brandschutzbeschichtungen für Stahl. Mangels eines Prüfverfahrens für den Nachweis der Kapselklasse von Brandschutzbeschichtungen ist eine Zulassung jedoch momentan noch nicht machbar.

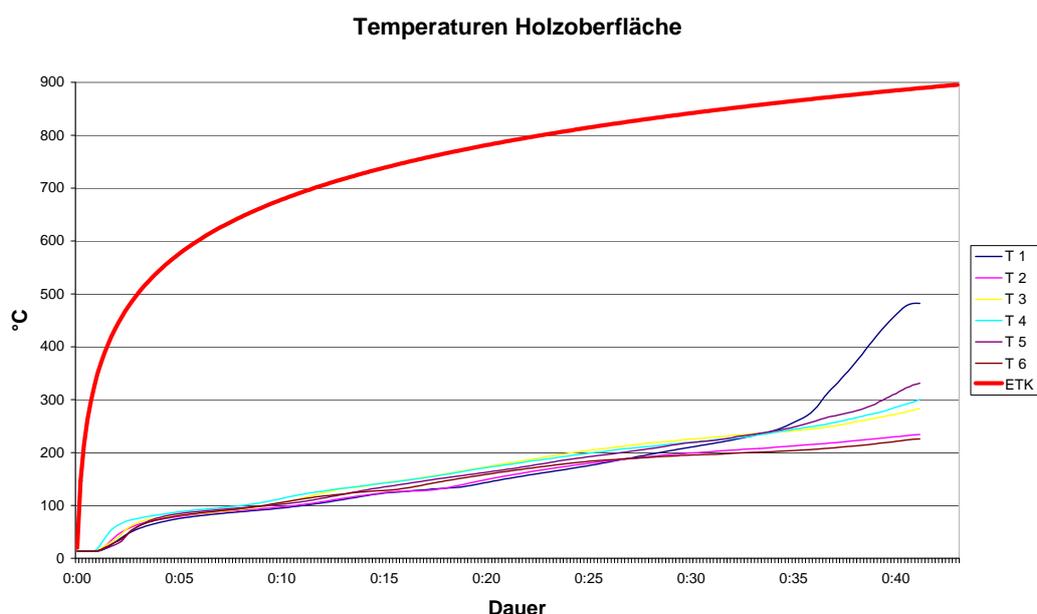


Bild 15: Temperaturverläufe der Holzoberfläche



Bild 16: Oberfläche der geprüften Wand nach dem Entfernen der Schutzschicht

Langfristig wird angestrebt, die Musterbauordnung und die Muster-Holzbaurichtlinie dahingehend zu erweitern, dass unter bestimmten Randbedingungen wie z. B. kleinere Nutzungseinheiten auch Sichtholzkonstruktionen im mehrgeschossigen Holzbau verwendet werden dürfen. Zurzeit sind massive Holzbauten mit einer Fußbodenhöhe des obersten Geschosses mit Aufenthaltsräumen > 7 m dagegen nur in Verbindung mit einem Brandschutzkonzept genehmigungsfähig.

7. Zusammenfassung

Die Musterbauordnung 2002 [2] schafft in Verbindung mit der Muster-Holzbaurichtlinie [3] neue Einsatzmöglichkeiten für den Holzbau. Die Bedenken der Bauaufsicht und der Feuerwehr gegenüber dieser Bauweise konnten mit Hilfe von theoretischen und experimentellen Grundlagenuntersuchungen weitgehend ausgeräumt werden. Wenn die konstruktiven Anforderungen der Muster-Holzbaurichtlinie erfüllt werden, können die mit der Brandschutzbekleidung eingekapselten Holzkonstruktionen für einen Zeitraum von mindestens 60 Minuten als gleichwertig zu Mauerwerks- oder Stahlbetonbauteilen betrachtet werden, da sich die Holztragglieder während dieser Zeitspanne nicht am Brand beteiligen.

Die Feuerwehren sind auch unter ungünstigen Randbedingungen in der Lage, innerhalb dieses Zeitraumes wirksame Löscharbeiten durchzuführen. Um für den Ernstfall gerüstet zu sein, verfügen zudem immer mehr Berufsfeuerwehren über Thermografiekameras, mit denen Brände im Inneren von Bauteilen entdeckt werden können. Spezielles Löschgerät wie die sogenannten Fog Nails (siehe Bild 16) ermöglichen eine gezielte Brandbekämpfung in Hohlräumen. Eine erfreuliche Entwicklung ist außerdem, dass das Hochdruckschaum-Löschverfahren immer stärkeren Einzug erhält. Mit dieser Löschmethode ist es möglich, den Wasserbedarf gegenüber herkömmlichen Löschverfahren stark zu reduzieren, so dass Löschmittelschäden bei Holzbauten künftig geringer ausfallen werden.



Bild 17: Thermografiekamera und Fog Nails für eine gezielte Bekämpfung von Hohlraumbränden (mit freundlicher Genehmigung von Herrn Weinhold, Berliner Feuerwehr)

Literatur:

- [1] Hosser, D.; Dehne, M.; Zehfuß, J.: Theoretische und experimentelle Grundlagenuntersuchungen zum Brandschutz bei mehrgeschossigen Gebäuden in Holzbauweise; Forschungsauftrag der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung unter Beteiligung des iBMB/MPA der TU Braunschweig sowie der VHT Heusenstamm; Stufe 2: Experimentelle Grundlagenuntersuchungen; Abschlussbericht Juli 2000
- [2] Musterbauordnung (MBO) Fassung 2002
- [3] Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an hochfeuerhemmende Bauteile in Holzbauweise. Fassung 2004
- [4] DIN 4102 Teil 17, Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen, Schmelzpunkt von Mineralfaser-Dämmstoffen, Begriffe, Anforderungen, Prüfung
- [5] DIN 4102 Teil 2, Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen, Bauteile: Begriffe, Anforderungen und Prüfungen
- [6] DIN EN 1363 Teil 1, Feuerwiderstandsprüfungen, Allgemeine Anforderungen, Deutsche Fassung, Oktober 1999
- [7] ISO 5660 – Fire tests – Reaction to fire, Part 1: Heat release rate from building products (Cone calorimeter method)
- [8] DIN EN 14135, Bestimmung der Brandschutzwirkung, Deutsche Fassung prEN 14135:2001
- [9] DIN EN 13501-2, Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten – Teil 2: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Feuerwiderstandsprüfungen (mit Ausnahme von Produkten für Lüftungsanlagen), Deutsche Fassung
- [10] Hosser, D.; Dehne, M.; Zehfuß, J.: Brandschutz bei Gebäuden mittlerer Höhe in Holzständerbauweise; vfdb-Zeitschrift, Heft 2, Mai 2001, S. 71-78
- [11] DIN 50055; Lichtmessstrecke für Rauchentwicklungsprüfungen, Ausgabe März 1989
- [12] Von Forschung über Normung zur Praxis: Brandschutz bei einem fünfgeschossigen Holzständerbau in Rostock. D. Hosser, S. Winter, M. Dehne. Bauingenieur Band 77, Juli/August 2002, S. 311-319
- [13] DIN 4102 Teil 9, Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen, Kabelabschottungen, Begriffe, Anforderungen und Prüfungen
- [14] Dehne, M.; Kruse, D.; Simon, S.; Kampmeier, B.: Brandschutz – Oberflächen im Blickpunkt. Holzzentralblatt Nr. 24, S. 316 ff, (2004)

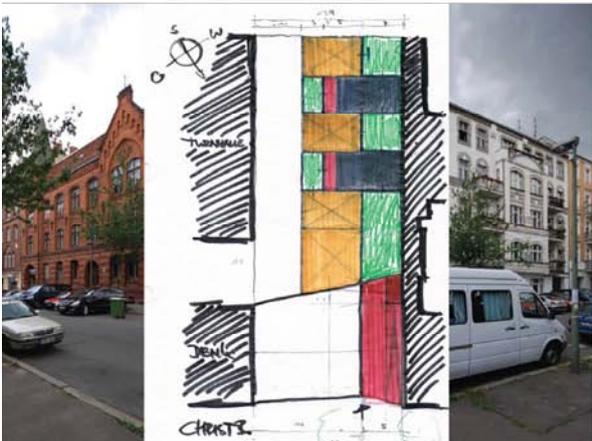
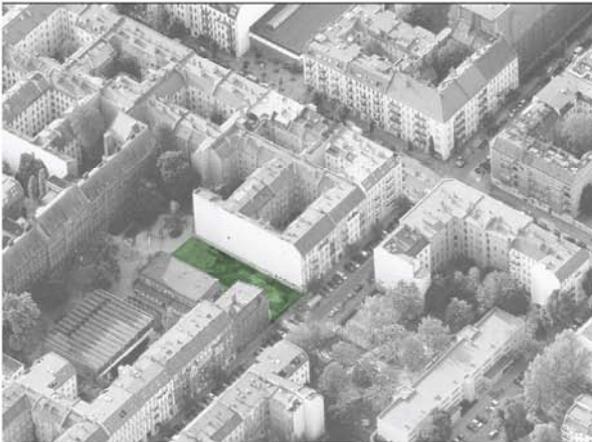
Mehrstöckiges Bauen mit Holz

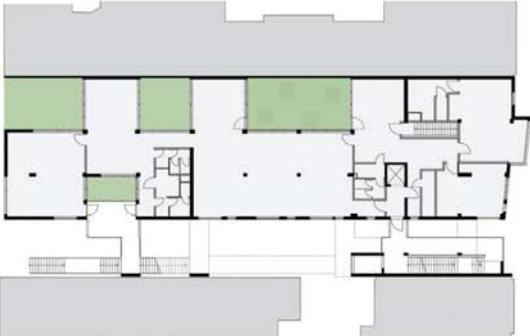
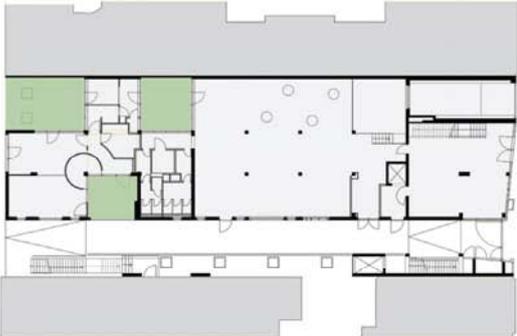
Dipl.-Ing. Architekt Tom Kaden

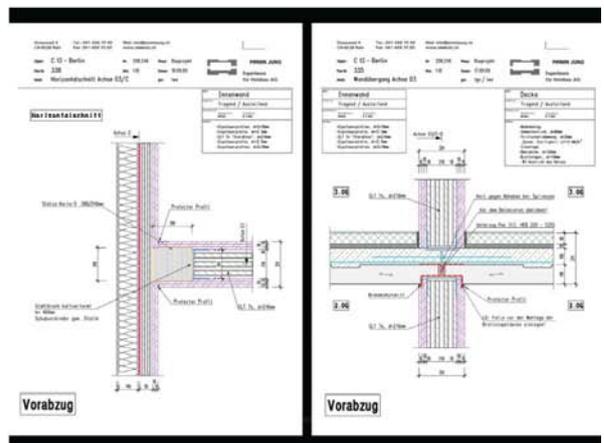
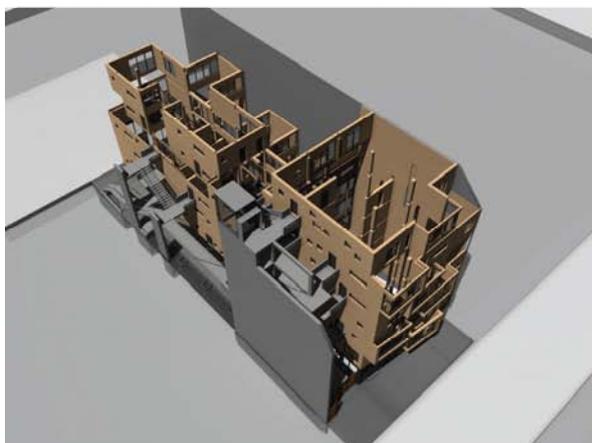
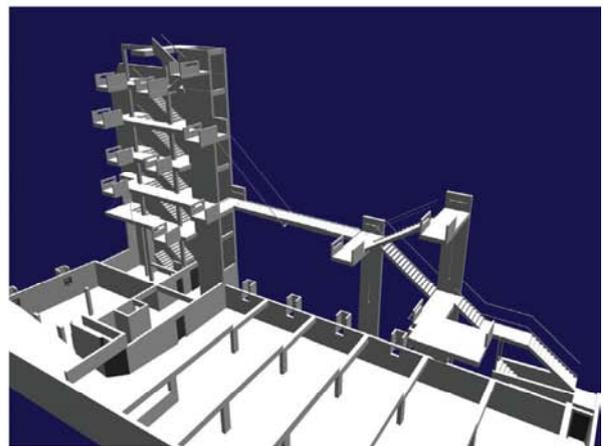
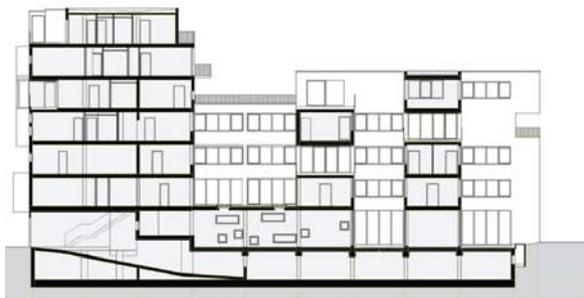
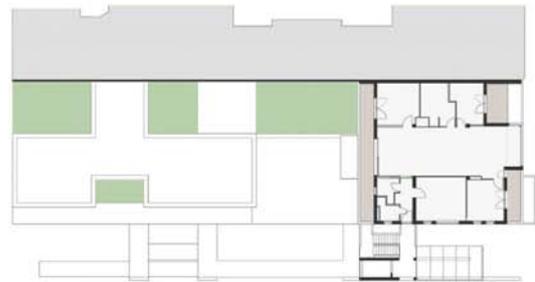
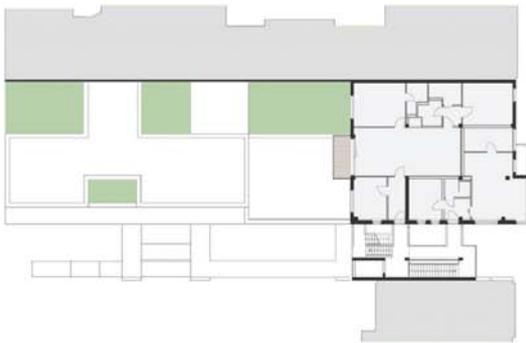
Kaden + Partner Architekten, Berlin

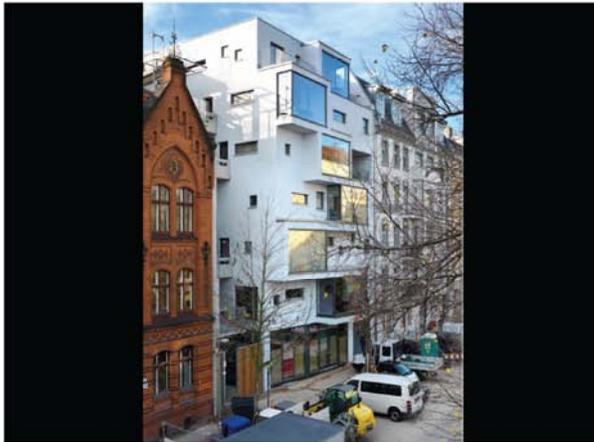
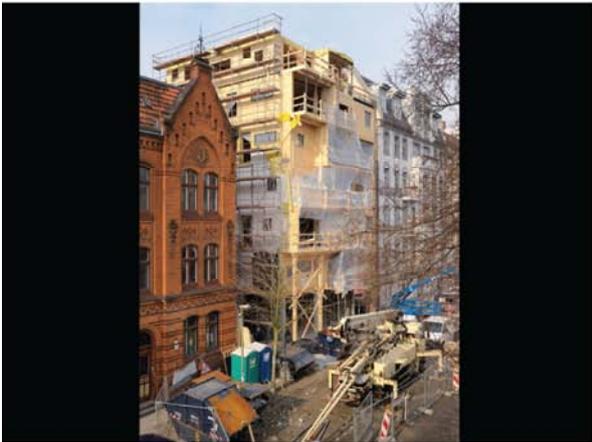


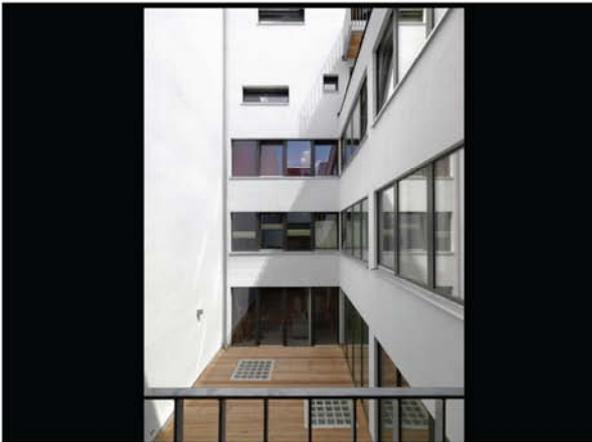
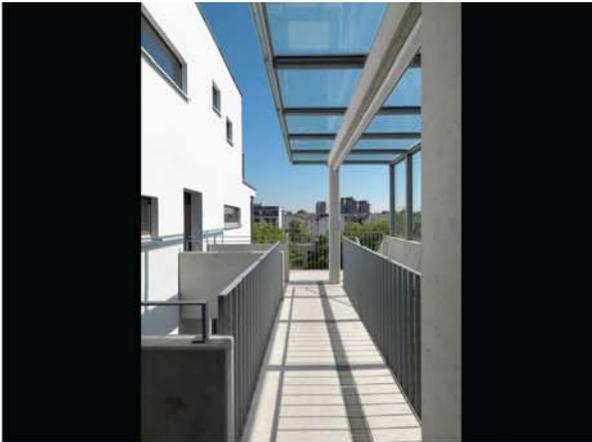
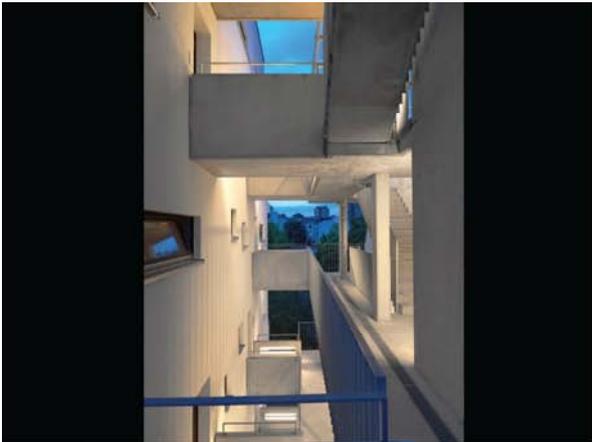


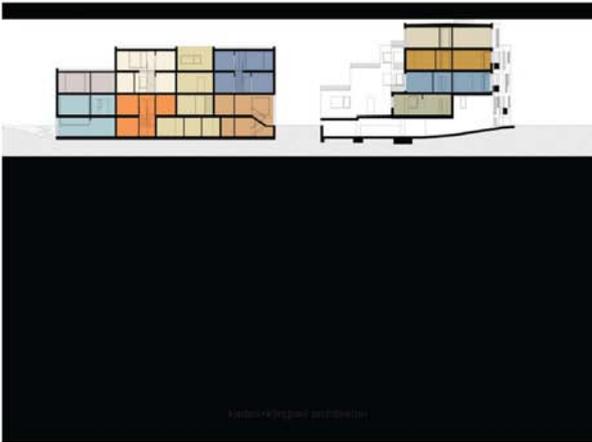




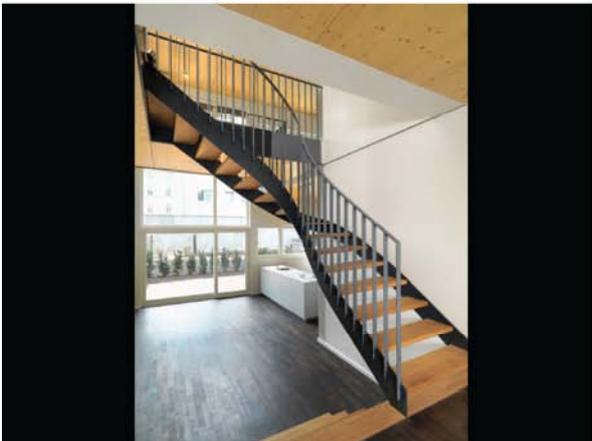
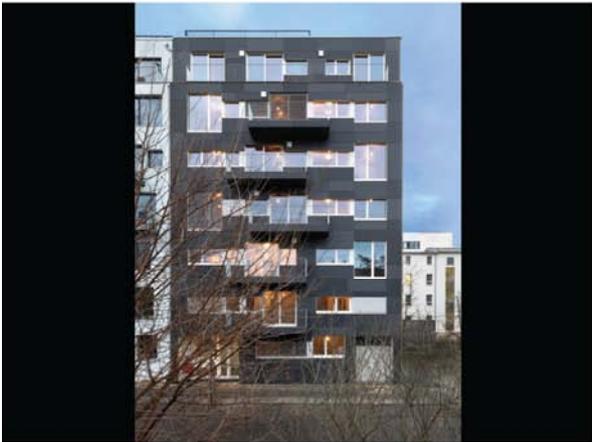


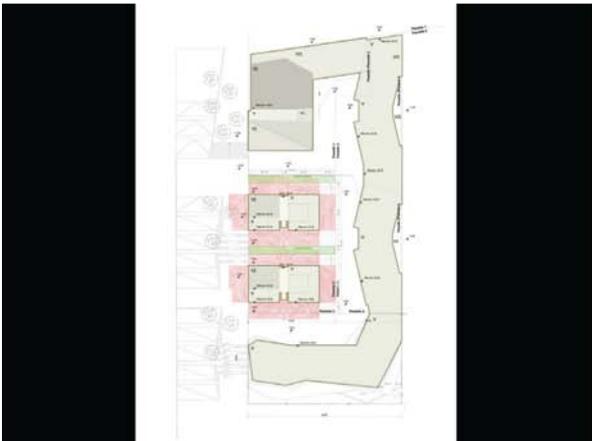
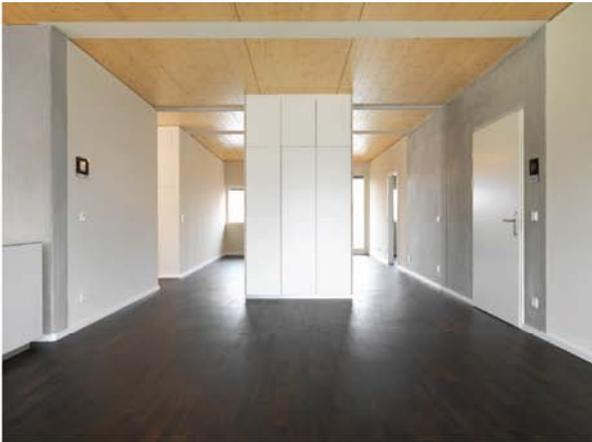


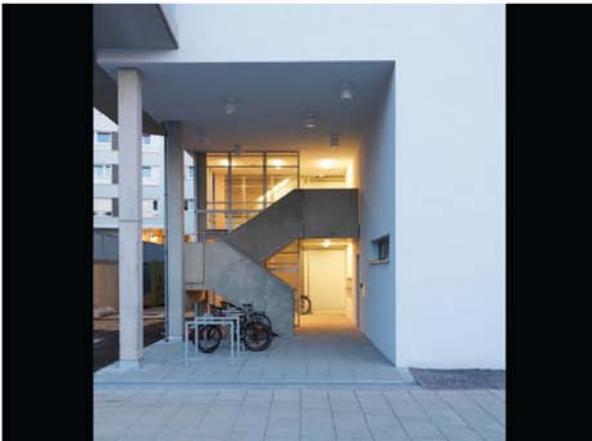
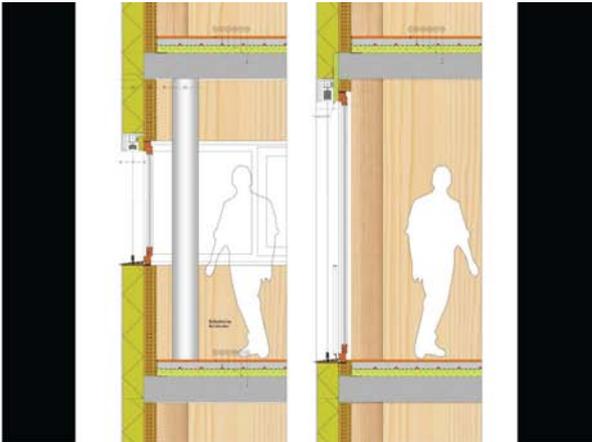


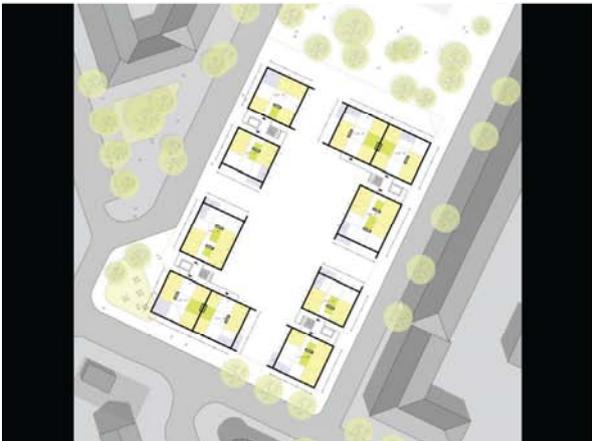


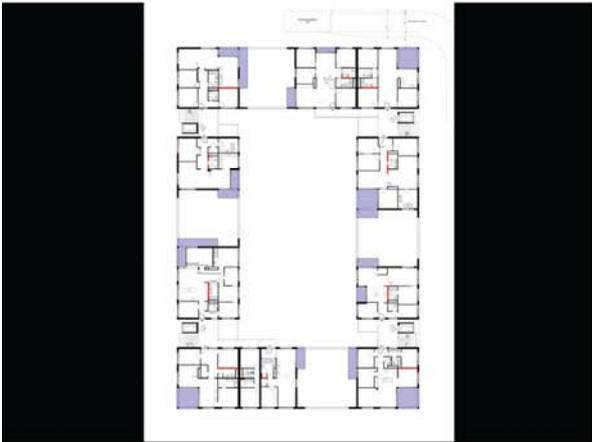


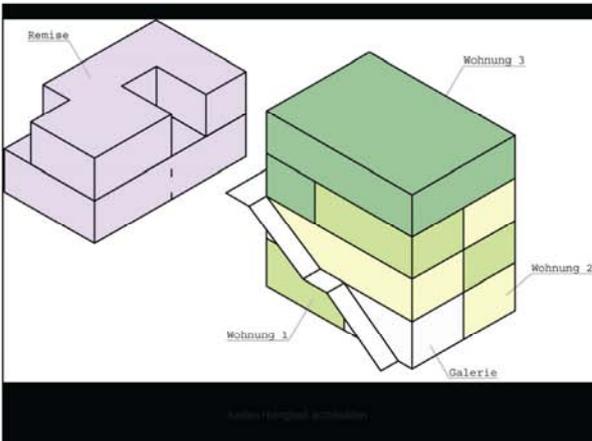
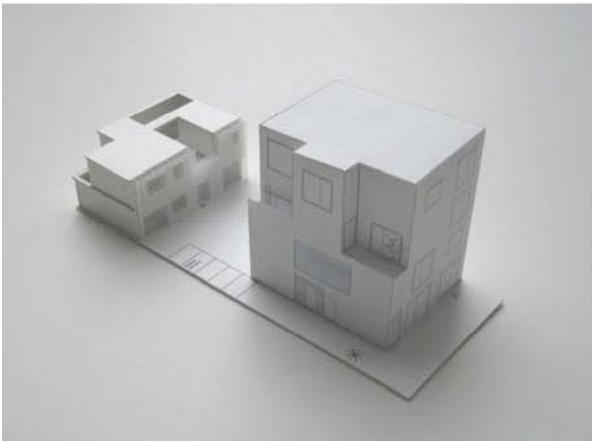
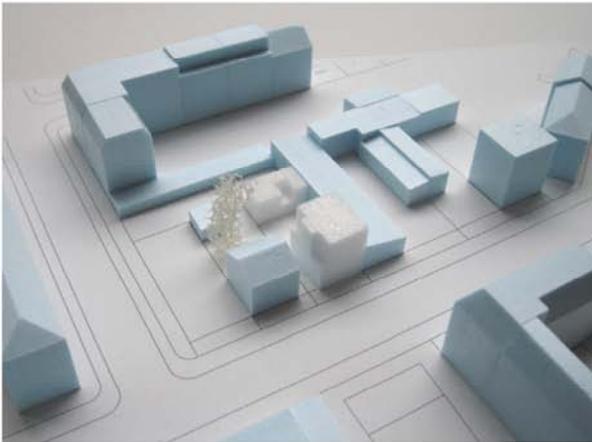
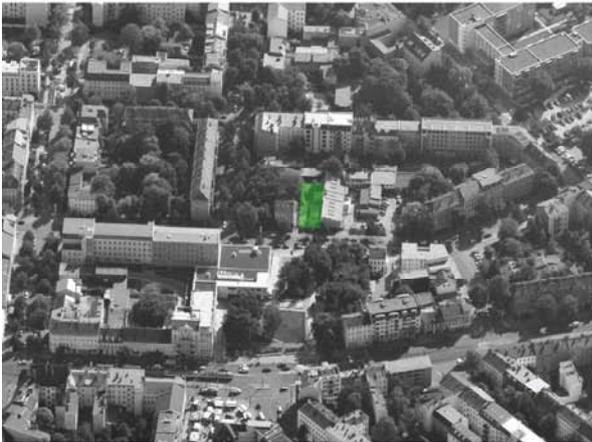




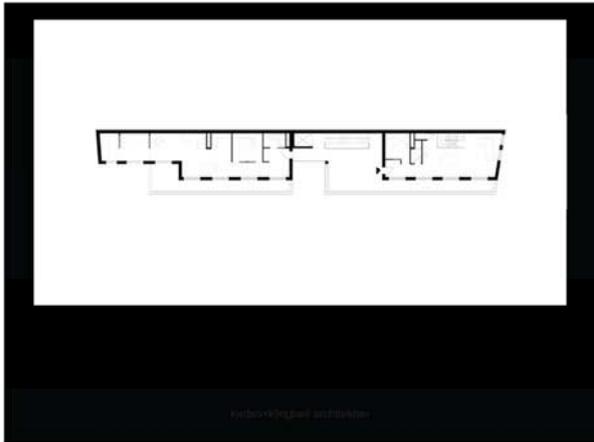
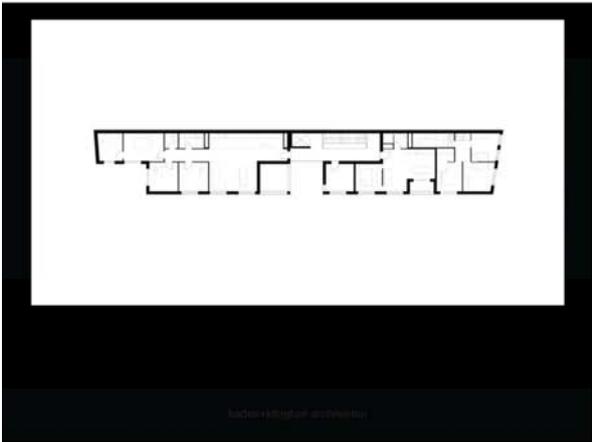
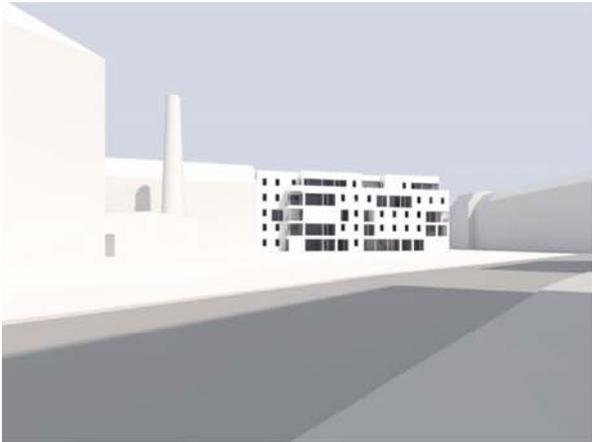


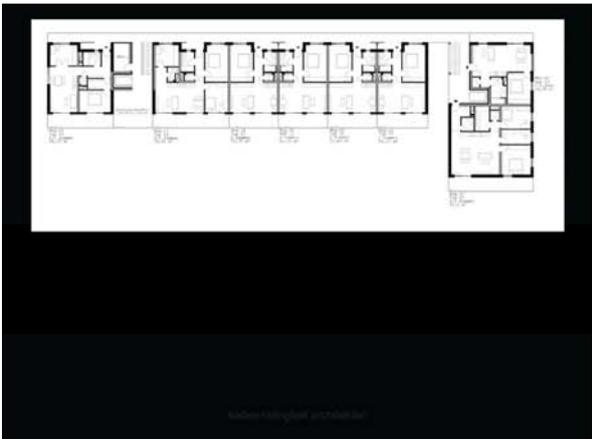
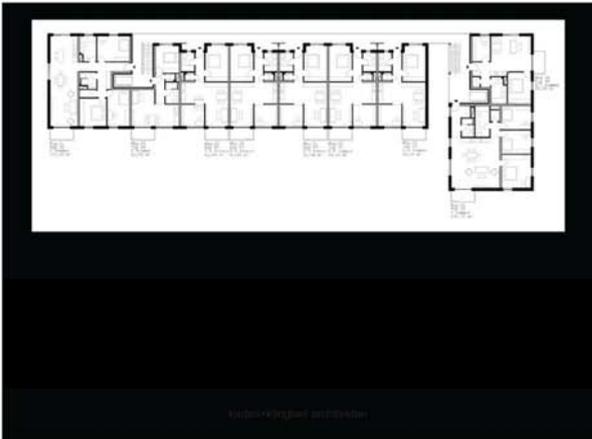
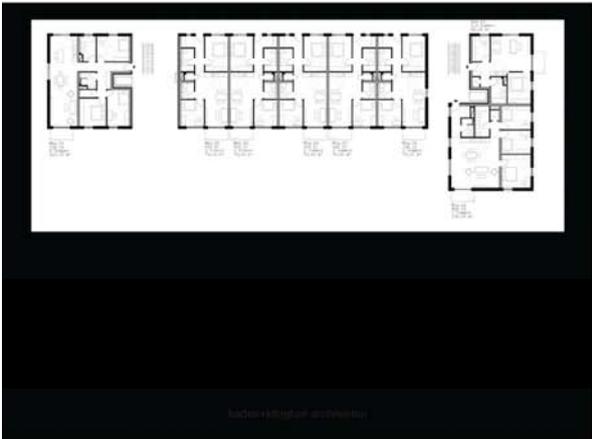
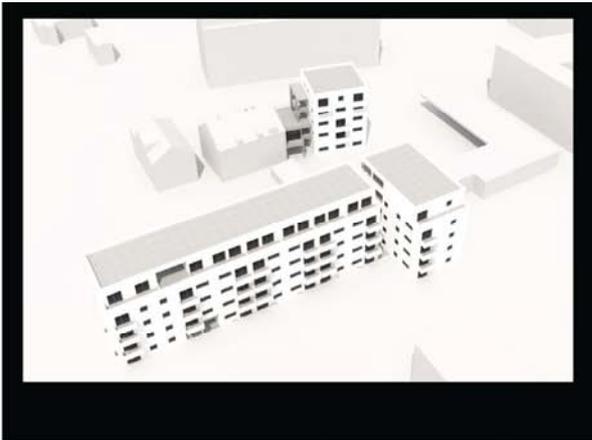


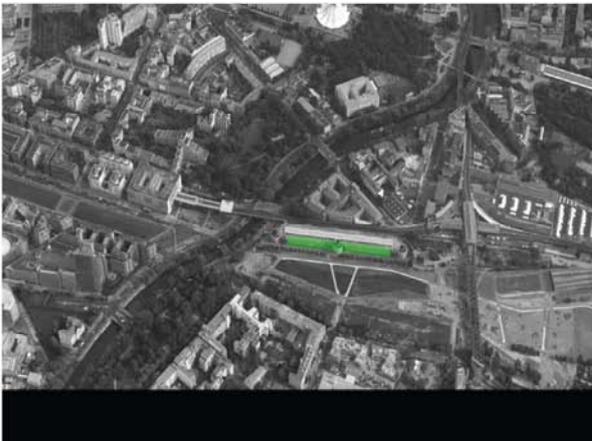
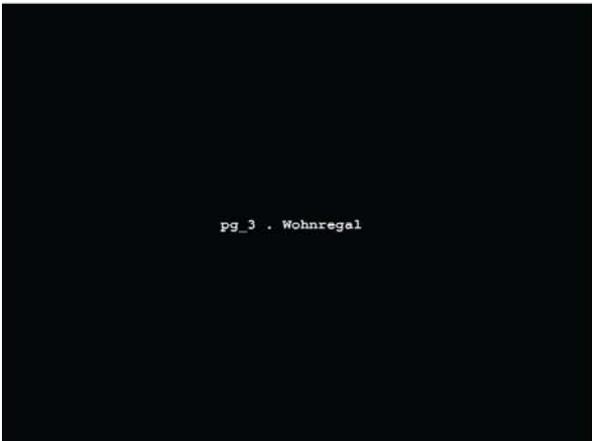


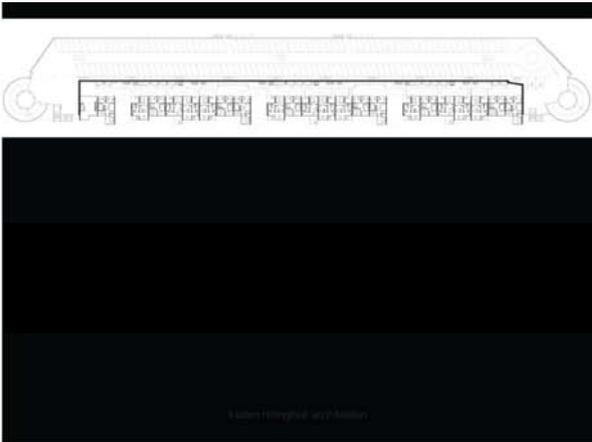
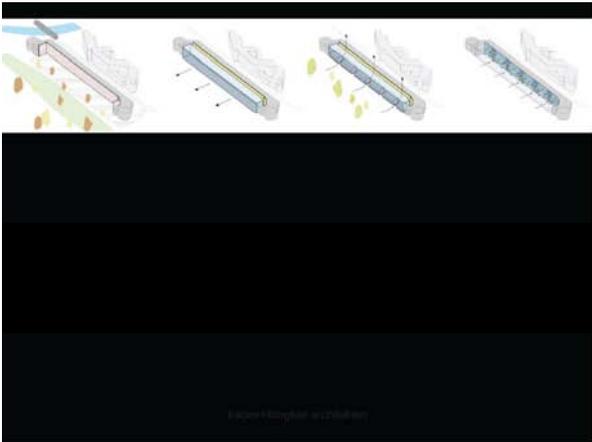


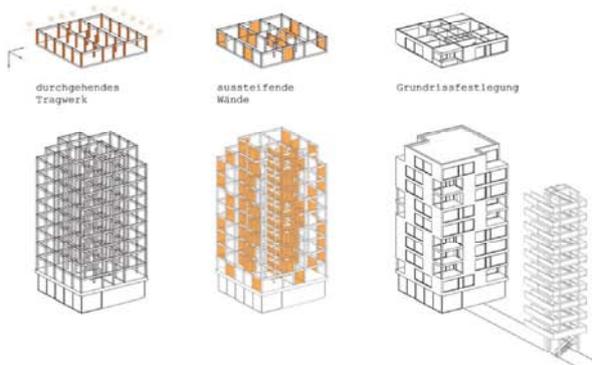














Diese Veranstaltung wird gefördert durch:

LANDESBEIRAT **HOLZ**
NIEDERSACHSEN e.V.

