

# 8. Grazer Holzbau-Fachtagung 8. GraHFT'09

## Tagungsband

### Bestandsanalyse und Instandhaltung von Holzkonstruktionen



Institut für Holzbau und Holztechnologie  
holz.bau forschungs gmbh  
Landesinnung Holzbau Steiermark  
pro:Holz Steiermark  
Holzcluster Steiermark GmbH

Graz, am 25. September 2009

**Tagungsleitung**

Gerhard Schickhofer, Ulrich Hübner

**Moderation**

Gerhard Schickhofer

**Veranstaltungsort**

Technische Universität Graz  
Inffeldgasse 16b, Hörsaal i12, 1. UG  
8010 Graz

**Tagungsband**

Ulrich Hübner  
Lektor: G. Schickhofer

Auflage: 100 Stück

**Herausgeber**

holz.bau forschungs gmbh  
Inffeldgasse 24, A-8010 Graz  
Tel. +43 316 873 - 4601  
Fax. +43 316 873 - 4619  
www.holzbauforschung.at

**TU Graz**  
**Institut für Holzbau und Holztechnologie**  
**Inffeldgasse 24, A-8010 Graz**  
**Tel. +43 316 873 - 4601**  
**Fax. +43 316 873 - 4619**  
**www.lignum.at**

Titelbild: Südwestansicht des Wohnhauses Muchargasse 30, 8010 Graz (Foto: Peter Zinganel)

Verlag der Technischen Universität Graz  
www.ub.tugraz.at/Verlag  
ISBN: 978-3-85125-058-9

*Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek:* Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

© 2009, holz.bau forschungs gmbh

Alle Rechte, insbesondere das Recht der Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten. Mit Genehmigung des Herausgebers ist es gestattet, diesen Tagungsband ganz oder teilweise auf fotomechanischem oder elektronischem Wege zu vervielfältigen.

Für den Inhalt der Einzelbeiträge sind ausschließlich die Verfasser verantwortlich, der Herausgeber behält sich geringfügige Änderungen der Formatierung vor.

Graz, am 25. September 2009

Achte auf die Formen, in denen der Bauer baut.  
Denn sie sind der Urväter Weisheit, gewonnene Substanz.  
Aber suche den Grund der Form auf.  
Haben die Fortschritte der Technik es möglich gemacht, die Formen zu verbessern,  
so ist immer diese Verbesserung zu verwenden.  
Fürchte nicht, unmodern gescholten zu werden.  
Veränderungen der alten Bauten sind nur erlaubt, wenn sie eine Verbesserung bedeuten.  
Sonst aber bleibe beim Alten, denn die Wahrheit – und sei sie hundert Jahre alt,  
hat mit uns mehr inneren Zusammenhang als die Lüge, die neben uns schreitet.

Adolf Loos (1870-1933)

## Motivation

Zweifelsohne wird sich unsere Gesellschaft in Zukunft zunehmend mit dem Bauen im Bestand zu befassen haben. Der Baustoff Holz spielt dabei nicht nur deswegen eine wichtige Rolle, weil er in den meisten historischen Bauten zum Einsatz kam, sondern auch deshalb, weil der moderne Holzbau bei Um- und Ausbauten nachhaltige Lösungen bietet.

Im Dezember 1999 wurde das städtebauliche Ensemble "Historische Altstadt Graz" mit ihrer einzigartigen Dachlandschaft von der UNESCO zum Weltkulturerbe erhoben, ein Status, der die große Verantwortung im Umgang mit dieser historisch wertvollen Bausubstanz nochmals unterstreicht. Das Wissen um die Bedeutung von Gebäuden, deren Zustand und die Möglichkeiten des modernen Bauens sind daher – nicht nur in Graz – entscheidend. Was ist objektiv begründbar schützenswert? Instandhaltungsmaßnahmen (Inspektion, Wartung, Instandsetzung, Verbesserung gemäß DIN 31051:2003) sind in angemessenen Intervallen durchzuführen. Instandsetzung, d.h. die Erhaltung des funktionsfähigen Zustands oder die Rückführung in diesen, aber auch die Maßnahmen für eine Tragwerksertüchtigung erfordern eine zweckdienliche Bestandsanalyse. Idealerweise erfolgt darauf aufbauend die mit allen Beteiligten abzustimmende Planung unter Berücksichtigung der Regeln der Technik, dem Wissen um zu vermeidende Tragwerksmängel und um adäquate Techniken und Methoden zur Instandhaltung oder Ertüchtigung.

Das Institut für Holzbau und Holztechnologie ist sich seiner Verantwortung gegenüber dem Bestand bewusst und setzt diese nicht nur in Forschungsaktivitäten (Modellbildung im Bestand, Nachgiebigkeit zimmermannsmäßiger Verbindungen, Bestandserfassung und -analyse mit Augenmerk auf die Resttragfähigkeit von Holzkonstruktionen) und konkrete Projekte (Schloss Hainfeld) sondern auch in eigenen Lehrveranstaltungen (Bestandsanalyse und Instandhaltung von Holzkonstruktionen, Holzschutz) um.

Die diesjährige Grazer Holzbau-Fachtagung versucht einen großen Bogen zu spannen, beginnend von Fragestellungen betreffend der Wertmaßstäbe im Denkmalschutz, über Normenregelungen, Bestands- und Schadensanalysen bis hin zu Nutzungsmöglichkeiten von Dachräumen in der Altstadt. Dabei werden konkrete Lösungsmöglichkeiten einer zimmermanns- und ingenieurmäßigen Vorgehensweise im Rahmen der Ertüchtigung eines Bestandes an zahlreichen Beispielen angesprochen.

# Inhaltsverzeichnisverzeichnis

- A**    **Dauerhafte Holzkonstruktionen durch Bestandserfassung, -analyse und Instandhaltung**  
G. Schickhofer, G. Flatscher, A. Ringhofer
- B**    **Vernakulare Architektur in der Steiermark – Werte in der Denkmalpflege**  
H. Neuwirth
- C**    **Grenzen der dynamischen Stadtentwicklung**  
A. Murnig
- D**    **War Abriss nötig? – Rechtliche und demokratie-politische Schwächen im Denkmalschutz**  
M. Landerer
- E**    **Neue Schweizer Baunormenreihe SIA 269 zur Erhaltungsplanung bestehender Tragwerke**  
R. Steiger
- F**    **Typische Tragwerksmängel im Ingenieurholzbau und Empfehlungen für Planung, Ausführung und Instandhaltung**  
P. Dietsch
- G**    **Sanierungsmethoden am Beispiel des „Campus Croix Rouge“ der Universität Reims**  
U. Hübner
- H**    **Instandhaltung historisch wertvoller Zimmermannskunst**  
H. Majcenovic
- I**    **Von der Bestandserfassung bis zur ingenieurmäßigen Ertüchtigung**  
J. Zehetgruber
- J**    **Realitätsnahe Modellbildung von Dachstühlen – dargestellt am Beispiel eines historischen „Grazer Dachstuhls“**  
A. Meisel
- K**    **Die Architektur des Holzes**  
J. Kolb
- L**    **Bauen in den Schutzzonen von Graz – Hochwertiges Wohnen im Dachraum**  
P. Zinganel
- M**    **Stadtentwicklung – Potential ‚Gründerzeitbock‘**  
H. Gangoly

## **G Sanierungsmethoden am Beispiel des „Campus Croix Rouge“ der Universität Reims**

**U. Hübner**



DI  
Ulrich Hübner

1994-2001	Bauingenieurstudium Bauhaus-Universität Weimar
2002	Bauingenieur bei Margueron S.A. (Belley, F)
2002-2006	Projektleiter Ingenieurholzbau bei Finnforest Merk (Aichach, D)
seit 2006	wissenschaftlicher Mitarbeiter holz.bau forschungs gmbh Graz

## 1 Einleitung

Bei der Instandsetzung und Ertüchtigung von bestehenden Holzbauten kommen eine Vielzahl von mechanischen Verbindungen und Klebeverbindungen zum Einsatz (Tab. 1.1). In der Praxis wird meist den mechanischen Verbindungen der Vorzug gegeben. Für qualitätvolle Klebeverbindungen müssen bestimmte Holzfeuchte- und Temperaturbereiche, Herstellerangaben zur Verarbeitung, Sicherheitsdatenblätter beachtet und die Qualifikation für die Instandsetzung von tragenden Holzbauteilen und von Brettschichtholz mittels Klebung vorhanden und in Deutschland auch nachgewiesen werden. Das Qualitätsmanagement ist aufwendiger. Dennoch gibt es vielfältige Sanierungsaufgaben – insbesondere im Ingenieurholzbau – bei denen der Einsatz von Klebeverbindungen zu praktikablen Lösungen führt, die mit mechanischen Verbindungen weder technisch noch wirtschaftlich möglich gewesen wären.

Daher sollen im Folgenden einige der Möglichkeiten des Einsatzes von Klebeverbindungen beschrieben und am Beispiel des Bauvorhabes „Campus Croix Rouge“ der Université de Reims (Frankreich), welches von der projektbezogenen Arbeitsgemeinschaft von Finnforest Merk (Aichach, D), Finnforest France (Paris, F) und CMB - Construction Millet Bois SARL (Mauléon, F) ausgeführt wurde, erläutert werden.

Tab. 1.1: Verbindungen zur Instandsetzung und Ertüchtigung im Holzbau

Klebeverbindungen	mechanische Verbindungen
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lamellenverfahren</li> <li>• Schraubenpressklebung</li> <li>• Querschnittsergänzung mit Kunststoffprothesen</li> <li>• Rissverpressung</li> <li>• eingeklebte Stäbe aus Betonrippenstahl, Gewindestangen, kohlefaserverstärktem Kunststoff (CFK) oder glasfaserverstärktem Kunststoff (GFK)</li> <li>• CFK-Lamellen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• eingeschraubte Stäbe</li> <li>• Anlaschungen, stehene Blätter mit Stabdübeln, Bolzen und Nägeln</li> <li>• gespannte Stähle</li> <li>• Verbindungen mit Holzschrauben</li> <li>• aufgenagelte Lochbleche oder Holzwerkstoffplatten</li> <li>• Dübel besonderer Bauart</li> <li>• Zimmermannsmäßige Reparaturverbindungen</li> </ul>

## 2 Baubeschreibung der Hörsaalgebäude

Die Université de Reims baute sich von 1971 bis 1972 einen Hörsaalkomplex mit sechs muschelförmigen Hörsälen unterschiedlicher Größe, die sich wie Blütenblätter um einen offenen Kreisring, der vom Flur gebildet wird, gruppieren (Abb. 2.1 und Abb. 2.2). Die Hörsäle stützen sich auf Stahlbetonrahmen ab und der Flur ruht auf Stahlbetonstützen etwa 3,5 m über Gelände. Zwischen den Hörsälen und beidseits der Feuerwehrezufahrt zum Innenhof befinden sich Treppenhäuser. Der größte Hörsaal fasst heute 600 Studenten. Die außen liegenden Rippen aus Brettschichtholz (BSH) werden an ihren oberen Enden durch einen BSH-Gurt gefasst, der als Zugband an Stahlbeton- bzw. Holzkonstruktionen verankert ist. Ihre Querschnittshöhe nimmt von 120 cm auf 80 cm ab (Abb. 2.3). Mächtige Querträger aus BS-Holz verteilen die Lasten aus dem Hörsaal auf die Stahlbetonrahmen und bilden mit den Rippen einen Trägerrost. Treppenartig angeordnete Stahlbetonteile bilden den Hörsaalfußboden. Bei den Dachbindern handelt es sich um leicht gebogene BS-Holz-Träger. In der Dachebene liegen K-Verbände zwischen den Pfetten. Die weiße Membran besteht aus dem Spezialgewebe *Ipalon*, das auf zwei Lagen Sperrholzplatten mit je 13 mm Stärke gespannt wurde (Abb. 2.4). Die sind wiederum mittels einer Unterkon-

struktion an den Querträgern und Rippen befestigt. Die Achsbezeichnungen wurden vom Zentrum aus für die ringförmig angeordneten Flurstützen zu A, B und C gewählt (Abb. 2.2). Die Rippen wurden je Hörsaal entgegen dem Uhrzeigersinn nummeriert.

Zur Verbindung der einzelnen Schotten, zwischen den Querträgern, der gestuften Hörsaaldecke und der Außenschale, waren quadratische Durchbrüche ( $70 \times 70$  cm), sogenannte „Mannlöcher“, geschnitten worden. Die Enden der Querträger sind ausgeklinkt. Beim Hörsaal 1 waren die Rippen an die unteren 30 cm der Querbinder angehängt. Diese Konstruktion verursachte bei der Geometrie der Querträger Querkzugspannungen, die zu Rissen führten (vgl. [5]).

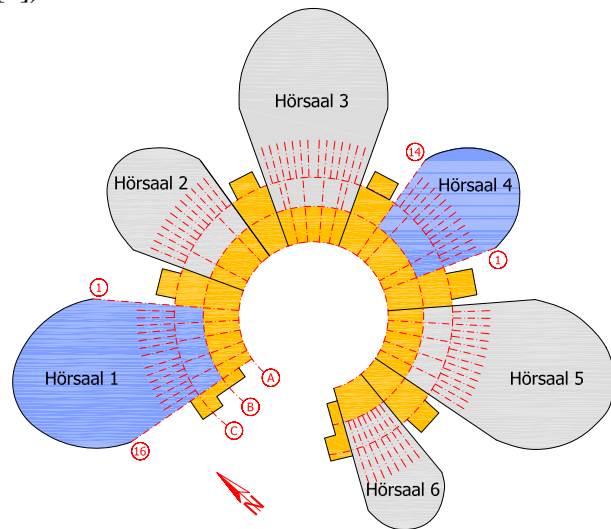


Abb. 2.1: Luftbild der Hörsaalgebäude des Campus Croix Rouge (Foto Universität Reims)

Abb. 2.2: Grundriss der Hörsaalgebäude



Abb. 2.3: Montage der Haupttragelemente des Hörsaales 1 aus [2]



Abb. 2.4: Verschalter Hörsaales 1 aus [2]



### 3 Rissverpressung

Durch mechanische Beanspruchung (fehlende Quersugsicherungen, Zwängungen bei Verbindungsmittelgruppen, Durchbrüche, Ausklinkungen etc.) und klimatische Beanspruchung (Temperatur, Holzfeuchte) kann es zu Rissbildungen durch das Überschreiten der aufnehmbaren Quersugschubspannung kommen. Risse durch zu hohe Schubspannungen treten weniger häufig auf. Um die geforderte Tragfähigkeit wieder herzustellen, müssen die getrennten Querschnittsteile wieder kraftschlüssig miteinander verbunden und eine erneute Rissbildung verhindert werden.

Da die Rissebreiten die maximalen Fugendicken von Klebstoffen zur Brettschichtholzherstellung meist überschreiten, kommen Spezialklebstoffsysteme mit fugenfüllenden Eigenschaften zum Einsatz, deren Eignung in umfangreichen Prüfungen nachgewiesen wurde. Dafür werden verklebte Hölzer mit 4 mm Fugendicke Zugscher-, Delaminierungs- und Dauerstandsprüfungen unterzogen. Auch die Kohäsionsfestigkeit des reinen Klebstoffes ( $t \leq 10$  mm) wird in Zug-, Druck- und Scherprüfungen untersucht.

Die Liste der Personen bzw. Firmen, die nachweislich innerhalb der letzten 6 Jahre erfolgreich einen Lehrgang zum Sanieren von Holzbauwerken mittels Klebeverfahren an der MPA Stuttgart absolviert haben, ist im Internet unter [http://www.mpa.uni-stuttgart.de/organisation/fb\\_1/abt\\_12/abt\\_12.html](http://www.mpa.uni-stuttgart.de/organisation/fb_1/abt_12/abt_12.html) zu finden. Das ausführende Unternehmen muss in Deutschland die Bescheinigung A oder B vorlegen können, welche die Qualifikation für das Instandsetzen von tragenden Holzbauteilen und von Brettschichtholz mittels Klebung nachweist.

Die Rissflanken müssen tragfähig sein, d. h. lose Klebstoffreste und Staub sind zu entfernen. Die zu verpressenden Risse sollten nicht breiter als 4 mm sein, wenn sie sich über die ganze Trägerlänge erstrecken, in limitierten Bereichen sind bis zu 8 mm akzeptierbar (vgl. [1]).

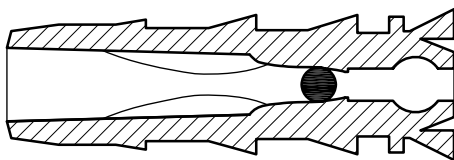


Abb. 3.1: Kunststoff-Injektoren mit 9,5 mm Durchmesser nach [17]



Abb. 3.2: ULWA-Ganzstahl-Fettpresse E503 (Foto: Ulrich Lübbert Warenhandel)

Die Risse werden mit straffem durchsichtigem Klebeband abgeklebt damit die Ausbreitung des Klebstoffes kontrolliert werden kann. Breite Risse können mit einem foliierten Sperrholz abgedeckt werden. Bei schmalen Rissen können die Injektoren (Abb. 3.1) direkt im Riss plaziert werden, bei breiteren werden Zugangskanäle unter  $45^\circ$  gebohrt. Der Abstand der Injektoren sollte um so kleiner sein, je schmaler die Fuge ist.

Für die Verklebung muss für die Zeit der Aushärtung eine nach Herstellerangaben ausreichende Temperatur ( $20^\circ\text{C}$  Lufttemperatur,  $18^\circ\text{C}$  Bauteiltemperatur nach [19]) eingehalten werden, die Holzfeuchte darf maximal 15 % betragen. Erschütterungen oder Laständerungen in den Bauteilen sind zu vermeiden. Harz und Härter werden vor Ort gemischt und Einbringmenge, Einpresszeit, Klebstoffsystem, Mischungsverhältnis, relative Luftfeuchtigkeit, Temperatur, Datum und Uhrzeit in einem Leimbuch dokumentiert. Bei langandauernden Arbeiten hat sich der Einsatz von Klimaaufzeichnungsgeräten bewährt.

Das Einpressen erfolgt mit Fettpressen (Abb. 3.2), deren Nippel in die Injektoren passen. Die überstehenden Teile der Injektoren können nach der Aushärtung des Klebstoffs mit einem Stechbeitel abgeschnitten werden. Ausgeronnenes Harz kann abgefleckt werden.



Abb. 3.3: Verpressen der abgeklebten Risse (Foto: Finnforest Merk)



Abb. 3.4: breiterer verpresster Riss nach der Verpressung (Foto: Finnforest Merk)



Abb. 3.5: abgelenkter Querträger mit schmalen verpressten Rissen (Foto: Finnforest Merk)



Abb. 3.6: abgelenkter Querträger mit breitem verpresste Riss (Foto: Finnforest Merk)

In den Hörsälen 1 und 4 des Campus Croix Rouge wurden dutzende von Laufmetern Risse in den Querträgern und den Außenbereichen der Rippen mit WEVO-Spezialharz EP 20 VP/1 in Kombination mit WEVO-Härter B 20/1 verpresst, dessen Eignung zur Sanierung von tragenden Holzbauteilen nach DIN 1052 die Forschungs- und Materialprüfanstalt für das Bauwesen (FMPA) Stuttgart bestätigt hat [4]. Die Zulassung (Z-9.1-750) wurde durch den Hersteller beim Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) für die Verwendung von Holzbauteilen aus Fichten-, Tannen- und Buchenvollholz sowie Brettschichtholz aus Buche nach der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung Nr. Z-9.1-679 für die Nutzungsklassen 1 bis 3 beantragt.

## 4 MERK-Lamellenverfahren

Beim Lamellenverfahren werden nicht mehr tragfähige Querschnittsteile entfernt und der Restquerschnitt so ausgefräst, dass Lamellen aus Furnierschichtholz passgenau eingeklebt werden können. Bei der Verwendung von mehreren Lamellen übereinander, ist die außenliegenden Lamelle beidseits um  $1,5 h$ , mindestens jedoch 20 cm länger. Da die stirnseitige Verbindung der Lamellen mit dem Restquerschnitt nicht zugfest ist, muss bei zugbeanspruchten Lamellen eine zusätzlich aufgeklebt werden. Um die Druckkraftübertragung sicher zu stellen, werden die stirnseitigen Fugen mit einem geeigneten Klebstoff verpresst. Der Pressdruck wird mit hydraulischen Pressen oder durch Teilgewindeschrauben (Schraubenpressklebung) aufgebracht. Das Patent für das MERK-Lamellenverfahren wurde am 10.01.1992 angemeldet und lief am 11.01.1999 ab [16].

Die Rippen der Hörsäle des Campus Croix Rouge haben einen sich nach oben verjüngenden Querschnitt. Fertigungsbedingt laufen die Lamellen auf der Innenseite durch und auf der Außenseite ergeben sich meterlange Anschnitte von Stirnholz. Die freie Bewitterung bedingte das Herunterrinnen von Niederschlagswasser und bei schadhafem Anstrich erhöhte Holzfeuchten in den Lamellenstirnseiten. In verschatteten, flacher geneigten Bereichen kam zu Braunfäule. Mit dem Merk-Lamellenverfahren wurden zwei Schadstellen ausgebessert.

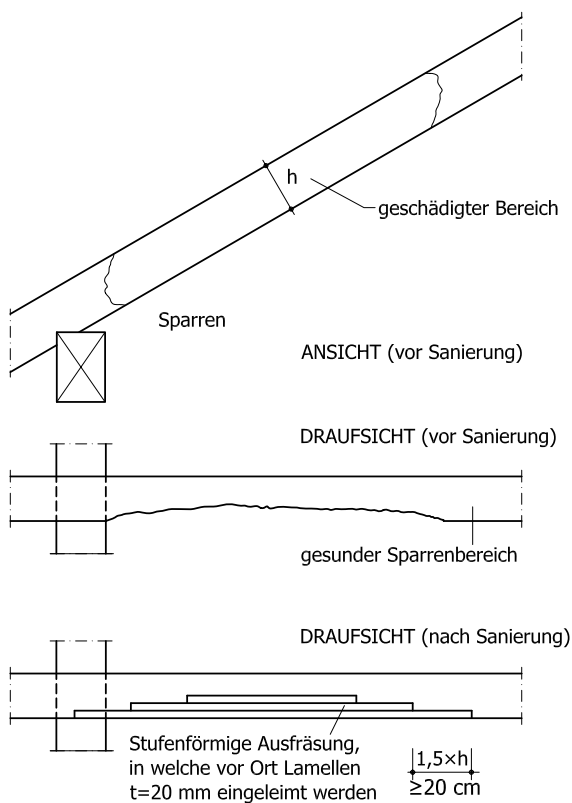


Abb. 4.1: Teilsanierung eines Sparrens mit dem Merk-Lamellenverfahren nach [8]

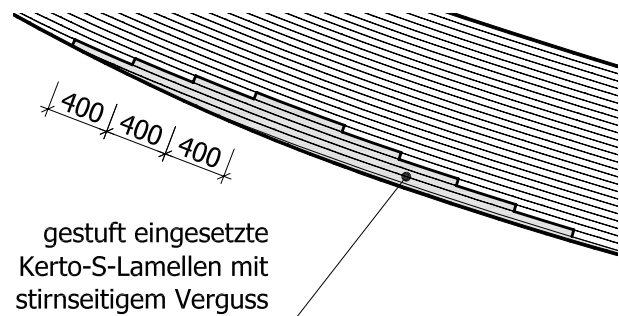


Abb. 4.2: Lamellenverfahren auf der Druckseite einer Rippe des Hörsaales 1

## 5 Schraubenpressklebung

Die Schraubenpressklebung ist in DIN 1052:2008 [19] geregelt, die allerdings in Österreich ohne besondere vertragliche Vereinbarung zwischen Bauherrn und Planer nicht anzuwenden ist. Nagelpressklebungen entsprechen nicht mehr dem Stand der Technik, da der Pressdruck nicht in ausreichender Höhe und Gleichmäßigkeit aufzubringen ist. „Ein Nachweis der Eignung muss auch für die Ausführung von Klebarbeiten zur Instandsetzung tragender Holzbauteile und von Brettschichtholz vorliegen“ ([19] S. 150), d.h. in Deutschland muss der Ausführende die Bescheinigung A, B oder C vorlegen können.

Die Schraubenpressklebung ist eine geeignete Methode um Querschnitte so zu Ergänzen, dass Querkraftkräfte, Zug- oder Druckkräfte parallel zur Faser oder Scherkräfte übertragen werden können.

In Abb. 5.1 ist ein Ausführungsbeispiel dargestellt, bei dem die Tragfähigkeit der Giebelwand und der Rippe in Achse 15 wieder hergestellt bzw. verbessert wurde. Die Giebelwand wurde durch das Ersetzen der durch Braunfäule geschädigten Querschnitte und das Aufnageln von Kerto-Q-Platte ertüchtigt. Die Druckseite der Rippe aus Brettschichtholz wurde durch etwa 17 m lange Kerto-S-Lamellen mittels Schraubenpressklebung verstärkt.

Desweiteren wurde eine Kerto-Q-Platte mit 45 mm Stärke auf die Rippe 16 geklebt. Die offene Zeit des Phenol-Resorcinharz-Klebers betrug bei der gegebenen Außentemperatur 40 Minuten. In dieser Zeit musste der Kleber auf die liegende Platte mit Kammspachteln aufgebracht werden, die Platte angeschlagen und mit dem Kran zwischen Fassade und Gerüst eingefädelt werden und schließlich mit etwa 1300 Teilgewindeschrauben im Raster von 12×12 cm von unten nach oben festgeschraubt werden. Zuvor war die Rippe mit einer schwarzen Folie abgedeckt worden, um Niederschläge fern zu halten und die Holzfeuchte unter 15 % zu senken. Die verwitterte Oberfläche war mit einem Balkenhobel auf der gesamten Fläche so bearbeitet worden, dass ein ebener, tragfähiger Klebgrund entstand, der eine dünne Klebefuge ermöglichte. Die Verpressung der Risse erfolgte mit fugenfüllenden Epoxidharz (WEVO-Spezialharz EP 20 VP 1 in Kombination mit WEVO-Härter B 20/1).

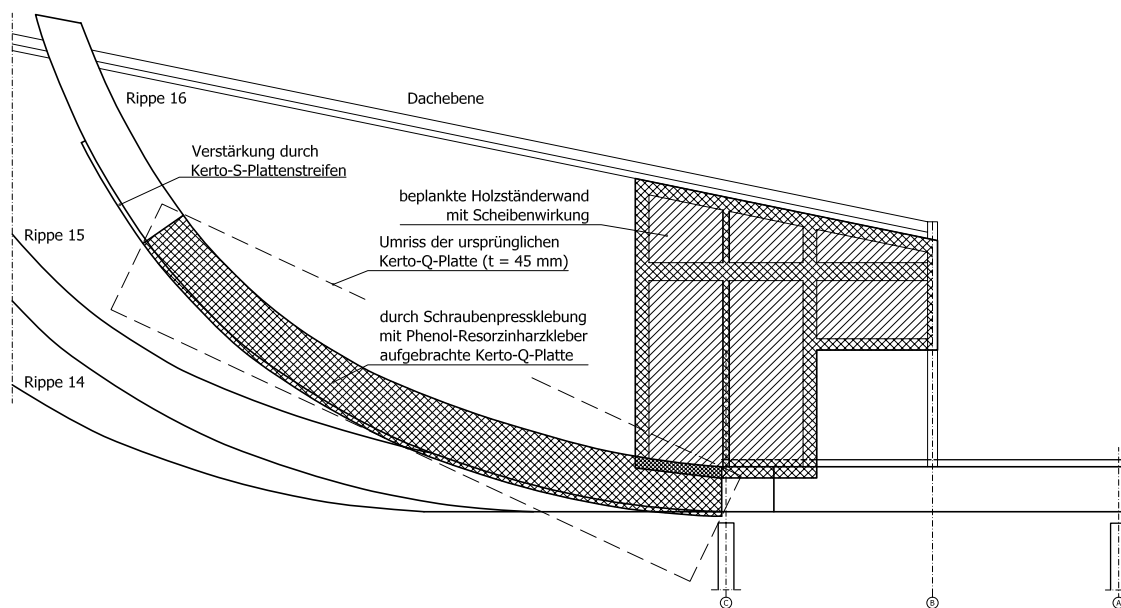


Abb. 5.1: Ansicht des Hörsaals 1 mit der verschiedenen Verstärkungsmaßnahmen

Wenn die Ober- bzw. die Unterseite von Trägern nicht zugänglich ist oder der zu verstärkende Bereich zu weit von der Ober- bzw. die Unterseite entfernt ist, kommen zur Verstärkung oftmals aufgeklebte Holzwerkstoffplatten zum Einsatz. In Abb. 5.2 ist ein Querträger mit unten über Stahlteile angehängte Rippen auf Querzug belastet. Zusätzlich waren die Querträger in den Auflagerbereichen mit schrägen Ausgeklinkungen versehen und quadratische Durchbrüche mit 70 cm Kantenlänge eingebracht worden. Die Querzugverstärkung mittels Schrauben oder Gewindestangen war von der Ober- bzw. Unterseite aus nicht möglich und es wurden daher mittels Schraubenpressklebung beidseits aufgebrachte Kerto-Platten gewählt ( $d = 69 \text{ mm}$ ). Um einen ebenen und tragfähigen Untergrund herzustellen wurden die Querträger abgehobelt und mit Druckluft vom Staub befreit.

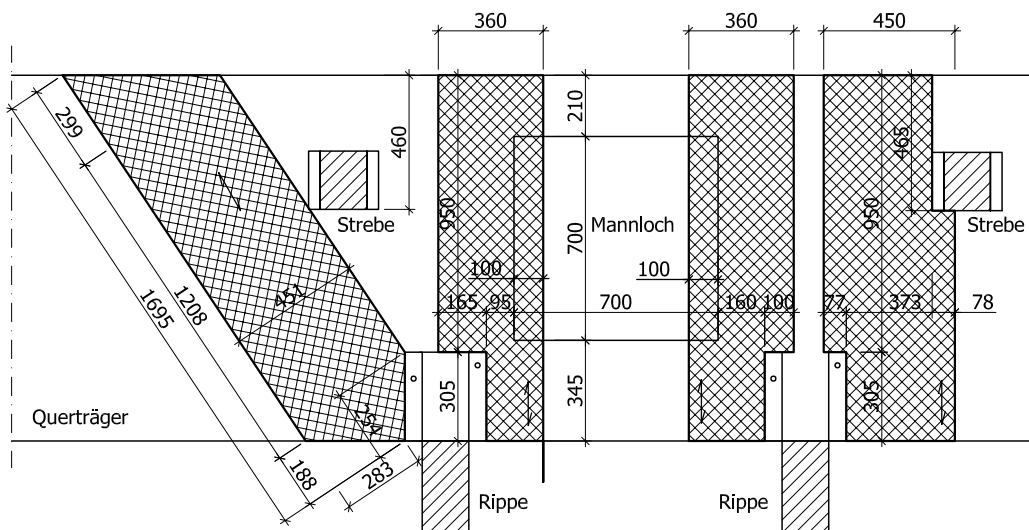


Abb. 5.2: Beispiel für die Ausführung von Querzugverstärkungen durch aufgeklebte Kerto-Q-Platten

## 6 Eingeklebte Stahlstäbe

In ÖN B 1995-1-1:2009 [22] werden innenliegende eingeklebte Stahlstäbe im informativen Anhang unter „Verstärkungen von Durchbrüchen“ behandelt. Allerdings wird der Bemessungswert der Klebefugenfestigkeit nicht angegeben. DIN 1052:2008 [19] gibt für Verbindungen mit quer oder längs zur Stabachse beanspruchten eingeklebten Stahlstäben Berechnungsmodelle an. Dabei sind alle Winkel und die kombinierte Beanspruchung auf Abscheren und Herausziehen berücksichtigt.

Das ausführende Unternehmen muss in Deutschland die Bescheinigung A, B oder D vorlegen können, welche die Qualifikation für das Einkleben von Stahlstäben nachweist.

Der Durchmesser der Stahlstäbe darf nach ÖN B 1995-1-1:2009 [22] maximal 20 mm betragen, nach DIN 1052:2008 [19] mindestens 6 mm und höchstens 30 mm. Bis in die 1990er Jahre wurde mit dem Nenndurchmesser oder etwas kleiner vorgebohrt, der Klebstoff direkt ins Bohrloch eingebracht und die Gewindestangen mit einer Entlastungsnut für den überschüssigen Klebstoff versehen (vgl. [3], [9], [10]). Heute sollte das Übermaß des Bohrlochs nach [1] zwei Millimeter bei kleinen und vier Millimeter bei großen Durchmessern betragen, wobei die Herstellervorschriften zur Klebefugendicke beachtet werden müssen.

Mit einem Bohrständer und Schlangenbohrern mit Zentrierspitze wird die Richtung der Bohrung in den ersten Dezimetern vorgegeben. Dadurch kann auch über größere Tiefen von bis zu 300 cm die Bohr- richtung genau genug vorgegeben werden. Die Spanförderung beschränkt die Bohrtiefe in einem Ar- beitsgang. Mit Spezialbohrern können jedoch auch die Späne während des Bohrvorgangs aus großen Tiefen gefördert werden.

Die Stangen sollten in den Bohrlöchern möglichst zentrisch montiert werden, damit der Klebstoff den Stab allseitig umschließt und die Fugendicke gleichmäßig um den Stab ist. Das Einbringen des Kleb- stoffes kann vor dem Einführen der Stahlstäbe erfolgen, jedoch bietet sich das Einpressen bei Über- kopfmontagen oder durchgebohrten Löchern an. Dabei wird ein Kunststoff-Injektor mit 9,5 mm Durchmesser und Kugelventil in quer zur Hauptbohrung gebohrte Kanäle mit 9 mm Durchmesser ein- gebracht. Am untersten Kunststoff-Injektor wird mit einer Fettpresse oder Doppelkartuschenpistole der Klebstoff eingebracht, bis er an der nächst höheren Bohrung austritt. Diese wird dann mit einem Kunst- stoff-Injektor verschlossen und der Vorgang wiederholt sich. Bei Sanierungen kann so die Einbring- menge des Klebstoffes bestimmt werden und eventuelle Lecks durch Risse, Fraßgänge, alte Bohrlochträngungslöcher etc. im zu verfüllenden Hohlraum abschnittsweise lokalisiert werden.

Die DIN 1052:2008 „behandelt nicht den Entwurf, die Berechnung und die Bemessung von Bauwer- ken, die über längere Zeit – etwa der Lasteinwirkungsdauer „lang“ entsprechend – Temperaturen von über 60 °C ausgesetzt sind, abgesehen von veränderlichen Klimaeinwirkungen“ [19]. Der Um- kehrschluss, dass die eingeklebten Stahlstäbe, insbesondere der Klebstoff, bis 60 °C dauerhaft stand- halten müssten, liegt nahe. Doch solch hohe Temperaturen sind in den meisten Anwendungen nicht mit der Lasteinwirkungsdauer „lang“, d. h. über 6 Monate bis 10 Jahre zu erwarten. Sollte dennoch die An- forderung der Beständigkeit bis 60 °C in den Nutzungsklassen 1 und 2 bestehen, kann WEVO-Spezi- alharz EP 32 S und Härter B 22 TS (Z-9.1-705) eingesetzt werden.

## 7 Eingeklebte CFK- bzw. GFK-Stäbe

„Die Vorteile, die sich aus der Wahl des Faserverbundwerkstoffes als Stabmaterial ergeben, betreffen die einfache Handhabbarkeit im Zuschnitt und Einbau, die hervorragende Eignung als Füge- teil in einer Klebeverbindung, die Korrosionsbeständigkeit und insbesondere die sich auch den Festigkeitseigen- schaften ergebenden geringen Durchmesser. Darüber hinaus verringert die geringere Wärmeleitfähig- keit die Gefahr ortlicher Kondensation. Werden Stäbe zur Knotenertüchtigung in historische Holzkonstruktionen eingeklebt, wird die Möglichkeit der Reversibilität eines solchen Eingriffes große Bedeutung begemessen. Auch hier ist der Kunststoffstab dem Stahlstab überlegen, da er mit relativ kleinem Aufwand ausgebohrt werden kann“ [13]. Derzeit liegt noch keine Zulassung für einen geeig- neten Klebstoff zum Einkleben von CFK- bzw. GFK-Stäben vor. Die Zulassungen von für Stahlstäbe geeigneten Klebstoffen sei aber „mit vertretbarem Aufwand auf die Faserverbundwerkstoffe erweiter- bar“ [14]. Die rechnerische Ermittlung der Versagenslast ist in [12] gegeben.

## 8 Eingeschraubte Stahlstäbe

Schrauben nach ÖNORM EN 14592:2009 [24] haben eine Nenndurchmesser von  $2,4 \text{ mm} \leq d \leq 24 \text{ mm}$  und über eine Mindestlänge  $l_g$  von  $6 d$  ein Gewinde aufweisen. Dabei muss der Gewinde-Innendurch- messer  $d_1$  mindestens 60 % und maximal 80 % des Gewinde-Außendurchmessers betragen. ÖNORM EN 1995-1-1 [21] gibt ein Berechnungsmodell für den charakteristischen Auszieh- widerstand für

Schrauben nach ÖNORM EN 14592:2009 [24] mit  $6 \text{ mm} \leq d \leq 12 \text{ mm}$  und  $0,6 \leq d_1/d \leq 0,75$  an. Die am Markt verfügbaren Längen reichen bis 800 mm.

Gewindestangen im Sinne der DIN 1052:2008 sind Gewindebolzen mit metrischen Gewinde nach DIN 976-1 [18]. Die *Spax International GmbH & Co. KG* bezeichnet ihre Stangen ( $d = 16 \text{ mm}$ ,  $d_1 = 12 \text{ mm}$ ,  $l = 800 \dots 2200 \text{ mm}$ , Sechskantkopf SW 22 mm) mit Gewinde nach DIN 7998 [23] als ABC-Gewindestangen. Die Bemessung erfolgt nach DIN 1052:2008 wie bei Holzschrauben. Beim *Befestigungssystem WB* von der *SFS intec AG* handelt es sich ebenfalls um Gewindestangen mit Gewinde nach DIN 7998 [23], jedoch entfällt der Sechskantkopf zugunsten einer speziellen wiederverwendbaren Eindrehhülse. Die Gewinde-Außendurchmesser betragen 16 mm ( $d_1 = 12 \text{ mm}$ ) bzw. 20 mm ( $d_1 = 15 \text{ mm}$ ), die Lieferlänge beträgt 3000 mm. Die Bemessung erfolgt ebenfalls wie bei Holzschrauben nach DIN 1052:2008.

Das Vorbohren erfolgt bei größeren Tiefen ebenfalls mit einem Bohrständler und Spiralbohrern, wobei der Durchmesser dem Gewinde-Innendurchmesser  $d_1$  entspricht. Für das Eindrehen sind bei längeren Stangen erhebliche Drehmomente notwendig, die *SFS intec AG* empfiehlt für Gewindestangen mit einem Durchmesser von 16 mm eine Bohrmaschine mit mindestens 150 Nm, für  $d = 20 \text{ mm}$  mindestens 220 Nm (vgl. [15]).

Die größten Vorteile der eingeschraubten gegenüber den eingeklebten Stahlstäbe liegen in der Verarbeitung ohne Klebstoff und der geringeren Querschnittschwächung. Die wesentlich geringere Abhängigkeit von der Holzfeuchte, der Temperatur, den eventuell vorhandenen Leckagen durch Risse etc. und die unaufwändigere Qualitätssicherung führen zur Bevorzugung gegenüber den eingeklebten Stangen.

In den Rippen der Hörsäle eins und vier wurden insgesamt etwa 500 Gewindestangen mit Längen bis 120 cm zur Querzugsicherung eingedreht. Nur in den Rippenabschnitten über den Betonrahmen wurden aus geometrischen Gründen Gewindestangen eingeklebt.

## 9 BETA-Verfahren

Das BETA-Verfahren wurde in Holland entwickelt und wurde seit 1974 in Deutschland mit Zustimmung im Einzelfall angewendet (vgl. [11]), die Zulassung Z-10.7.2-41 existiert seit 1982. Das Patent lief in Deutschland (DE 2261820 C 3 und DE 3133014 C 2) und Österreich aus, jedoch sind nur von der *Büse Bauwerksanierung GmbH* (Brakel, D) lizenzierte Betriebe zur Anwendung berechtigt.

Geschädigte Holzbauteile können nach dem Gesundschnitt durch eine Kunstharzprothese (Abb. 9.1) oder eine Holz-an-Holz-Prothese (Abb. 9.2) querschnittsgleich instand gesetzt werden. Die erforderlichen Bewehrungen werden aus textilglasverstärkten, ungesättigten Polyesterharzstäben gemäß der Regelstatik eingebaut. Die Holzbauteile können dann wieder mit Druck, Zug und/oder einachsiger Biegung beansprucht werden. Das Beta-Verfahren findet auch Anwendung als Querschnittsergänzung oder Querschnittserhöhung, beispielsweise auf der Druckzonenoberseite des Bauteils oder als Ergänzung an der Balkenunterseite von tragenden Hölzern. Eine weitere Anwendung bildet die Injektion zur Verfestigung von Holzbauteilen (vgl. [6]).

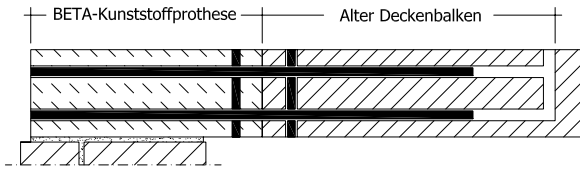


Abb. 9.1: Schema Beta-Verfahren mit polymer-chemischer Holzergänzung für Kunstharzprothese nach [6]

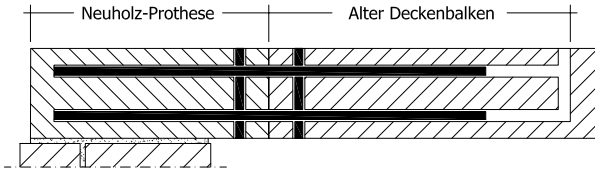


Abb. 9.2: Schema Beta-Verfahren mit polymer-chemischer Holzergänzung für Zwischenprothese nach [6]

Im Bohrlochbereich kann der Querschnitt mit einem niedrigviskosen Epoxidharz verfestigt werden. Die GFK-Stäbe haben Durchmesser von 10 mm, 15 mm oder 20 mm, wobei die Bohrlöcher stets 8 mm weiter sind.

Die Vorteile des Verfahrens sind ähnlich denen im Abschnitt 7 für CFK- bzw. GFLK-Stäbe beschrieben. Nachteile ergeben sich bei den Kunststoffprothesen durch die Anwendung von reizenden Chemikalien in größeren Mengen und den Schalungsaufwand. Daher werden meistens Neuholz-Prothesen angewendet.

## 10 Reaktionsharz-Mörtel und Reaktionsharz-Beton

Wie in Abb. 2.2 erkennbar ist ein großer Teil der Außenflächen des Hörsaales eins nach Westen orientiert, der Hauptwindrichtung in Reims. „Wenn der Wind das Regenwasser gegen die steilen Teile der weißen Außenschalen treibt, läuft es erst bis in die flacheren Bereiche herunter, sammelt sich in der Kehle zwischen weißer Membran und dunkelbraunen Rippen [...]. Bei den äußeren Rippen befinden sich Queraussteifungen zwischen den Rippen, wo diese noch stark geneigt sind. Somit wirken die Steifen als Wasserabweiser. Die tragenden Bauteile waren 33 Jahre lang ungeschützt der Witterung ausgesetzt. Durch den ständigen Wechsel der Holzfeuchte und die hohen Temperaturen der dunkelbraunen Oberflächen bei Sonneneinstrahlung bildeten sich Risse in den Lamellen und dem Anstrich. [...] Mit der ersten Faulstelle bildete sich ein wachsendes Feuchtenest im Brettschichtholz. Blättlinge zersetzen den Querschnitt von innen. Die äußeren zwei Zentimeter konnten immer wieder gut austrocknen und deshalb nicht so stark befallen werden. So erschien der Träger nach außen hin lange unversehrt. Die Rippe 15 wurde über eine Länge von etwa vier Metern in einen Druck- und einen Zuggurt geteilt. [...] Von der 120 cm hohen Rippe 13 wurden an einer Stelle die unteren 80 cm durch Pilzbefall zerstört. Die Oberfläche wurde zunächst sandgestrahlt (Größtkorn 1 mm) und der untere Teil der Rippe so ausgeschnitten, dass ein gekrümmter Druckgurt (16 × 22 cm) aus verklebtem Kerto eingepasst, werden konnte“ [5]. Zug- und Druckgurt wurden mit Gewindestangen verschraubt und in die inneren Oberflächen SFS-Verbundschrauben (VB-48 – 7,5 × 100) eingedreht.





Abb. 10.1: Seitenansicht der ausgeräumten  
Faulstelle (Hörsaal 1, Rippe 13) (Foto: Finnforest Merk)



Abb. 10.2: Rippe mit neuer Untergurt und Quer-  
zugverstärkung (Hörsaal 1, Rippe 15)  
(Foto: Finnforest Merk)

Nachdem die Fehlstellen mit bewehrungsstahl versehen und beidseits eingeschalt worden waren, konnte mit Reaktionsharz-Mörtel Holzan 22 verfüllt werden. In der Zulassung des BETA-Verfahrens (Z-10.7.2-41) werden der Reaktionsharz-Mörtel Holzan 22 und Reaktionsharz-Beton Holzan 25 beschrieben. Beim Mörtel werden Quarzmehl (0,06 ... 0,2 mm), beim Beton je ein Teil Quarzmehl, Sand (0,7 ... 1,2 mm) und Kies (3,0 ... 6,0 mm) zu Reaktionsharz Holzan 20 zugegeben. Die Körnung des Quarzsands erlaubte, dass die Oberflächen gut benetzt und der Hohlraum vollständig ausgefüllt werden konnten.

## 11 Literatur

- [1] Aicher, Simon: *Spezialverklebungen: Riss-Sanierungen und eingeklebte Stahlstäbe*. Vorlesung Klebtechnologie und Holzwerkstoffe, Graz, 28.04.2009
- [2] Anonymus: *Les Amphithéâtres de l'Université de Reims*. In: Le nouveau Journal des Charpen-te-Menuiserie-Parquets No. 6-7 Special 1971 Seite 66
- [3] Ehlbeck, Jürgen; Siebert, Wichard: *Praktikable Einleimmethoden und Wirkungsweise von ein-geleimten Gewindestangen unter Axialbelastung bei Übertragung von großen Kräften und bei Aufnahme von Querkzugkräften in Biegeträgern*. Teil 1: *Einleimmethoden, Meßverfahren, Haft-spannungsverlauf*. Forschungsbericht, Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, Universität Karlsruhe 1987
- [4] Forschungs- und Materialprüfanstalt für das Bauwesen (FMPA), Abteilung I, Referat 14 - Holz: *Bestätigung der Eignung von WEVO-Spezialharz EP 20 VP/1 in Kombination mit WEVO-Härter B 20/1 zur Sanierung von tragenden Holzbauteilen*. Stuttgart 22.03.2001
- [5] Hübner, Ulrich: *Sanierung auf Französisch*. In: Mikado, Nr. 7, S. 20-25, 2008
- [6] Langosch, Claus-D.: *Konstruktive Prothetik*. In: B+B Bauen im Bestand, 31(6):27-39, 2008
- [7] Lißner, Karin; Rug, Wolfgang: *Holzbausanierung: Grundlagen und Praxis der sicheren Aus-führung*. Berlin: Springer 2000
- [8] MERK-Holzbau: *MERK-Lamellenverfahren (MLV): Verfahren zur kraftschlüssigen Verbin-dung von Holzlamellen*. Technische Informaton TI 5912/10, Aichach April 1994
- [9] Moers, Friedhelm: *Anschluß mit eingeleimten Gewindestäben*. In: Bauen mit Holz, Nr. 4: 228-231, 1981
- [10] Möhler, Karl; Hemmer, Kl.: *Eingeleimte Gewindestangen*. In: Bauen mit Holz, Nr. 5: 296-298, 1981
- [11] Paul, Oswald: *Kunststoffprothesen für schadhafte Deckenbalkenköpfe*. In: Bautenschutz Bau-sanierung, Nr. 2, S. 70-72, 1979
- [12] Pörtner, Carsten; Seim, Werner: *In Holz eingeklebte stiftförmige faserverstärkte Kunststoffe – Experimentelle Untersuchungen und mechanische Modellierung*. In: Bautechnik 85(4): 219-232, 2008
- [13] Pörtner, Carsten: *Untersuchungen zum Verbund zwischen eingeklebten stiftförmigen faserver-strärkten Kunststoffen und Holz*. Dissertation am Fachbereich Bauwerkserhaltung und Holzbau der Universität Kassel, 2005
- [14] Pörtner, Carsten: *Zulassungen eingeklebte CFK- oder GFK-Stangen*. E-Mail an Ulrich Hübner. 15.09.2009
- [15] SFS intec: *Querkzugverstärkung: Allgemeine Bemessungsgrundlagen*. Datenblatt Nr. 01 zum Befestigungssystem WB, März 2008
- [16] Storz, Markus (Finnforest Merk GmbH): *Merk-Lamellenverfahren*. E-Mail an Ulrich Hübner. 15.09.2009
- [17] Ulrich Lübbert Warenhandel GmbH & Co.KG: *Sanierung von Brettschichtholz*. [http://www.luebbert-warenhandel.de/index.php?option=com\\_content&view=article&id=49&Itemid=59&lang=de](http://www.luebbert-warenhandel.de/index.php?option=com_content&view=article&id=49&Itemid=59&lang=de) – letzter Zugriff: 10.09.2009

- 
- [18] DIN 976-1: *Gewindebolzen – Teil 1: Metrisches Gewinde*. Dezember 2002
  - [19] DIN 1052: *Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken – Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau*. Dezember 2008
  - [20] ÖNORM EN 1382: *Holzbauwerke – Prüfverfahren – Ausziehtragfähigkeit von Holzverbindungsmiteln*. 1. November 1999
  - [21] ÖNORM EN 1995-1-1: *Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau*. 1. Juli 2009
  - [22] ÖNORM B 1995-1-1: *Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau – Nationale Festlegungen, nationale Erläuterungen und nationale Ergänzungen zur ÖNORM EN 1995-1-1*. 1. Juli 2009
  - [23] DIN 7998: *Gewinde und Schraubenenden für Holzschrauben*. Februar 1975
  - [24] ÖNORM EN 14592: *Holzbauwerke – Stiftförmige Verbindungsmittel – Anforderungen*. 1. Februar 2009