

Lehre, Forschung und Materialprüfung

am Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen, Universität Karlsruhe

H. J. Blaß, F. Colling, O. Eberhart, M. Gerold, R. Görlacher, R. Hättich, J. Kürth, P. Müller, M. Schlager, W. Siebert, J. Wenz, H. Werner

Lehre, Forschung und Materialprüfung*

am Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen, Universität Karlsruhe

H. J. Blaß, F. Colling, O. Eberhart, M. Gerold, R. Görlacher, R. Hättich, J. Kürth, P. Müller, M. Schlager, W. Siebert, J. Wenz, H. Werner**

1 Einleitung

Seit nunmehr fast zehn Jahren ist Univ.-Professor Dr.-Ing. Jürgen Ehlbeck Ordinarius am Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen und Mitglied der kollegialen Leitung der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine der Universität Karlsruhe. Aus Anlaß der Vollendung seines 60. Geburtstages am 24. September soll der folgende Beitrag diesem allseits anerkannten Lehrer und Forscher gewidmet sein. Die von seinem Vorgänger em. o. Prof. Dr.-Ing., Dr.-Ing. E. h. Karl Möhler übernommenen Aufgaben hinsichtlich Lehre und Forschung hat er im Laufe der Jahre kontinuierlich weiterentwickelt und neue Akzente gesetzt. Auf nationaler und internationaler Ebene gehört Professor Ehlbeck heute zu den führenden Persönlichkeiten. Seine Mitgliedschaft in den Normenausschüssen »Materialprüfung«, »Holz«, »Bau«, in mehreren Sachverständigenausschüssen des Institutes für Bautechnik Berlin, in den Gremien der Studiengemeinschaft Holz, im Verein Deutscher Ingenieure (VDI) und in der Vereinigung der Prüfmänner für Baustatik (VPI), in den internationalen Gremien – International Organization for Standardization (ISO), International Council for Building Research Studies and Documentation (CIB), International Union of Testing and Research Laboratories for Research and Testing (RILEM), International Union of Forest Research Organizations (IUFRO), Comité Européen de Normalisation (CEN) und Eurocode – gibt ihm die Möglichkeit, seine Erfahrung und sein Wissen in die nationale und internationale Normung einzubringen.

Nicht unerwähnt bleiben sollen seine intensiven Tätigkeiten als Gutachter und Sachverständiger auf dem Gebiet des Ingenieurholzbau und der modernen Verbindungstechnik der mechanischen Holzverbindungen. Der Bezug zur Praxis des modernen Ingenieurholzbau ist durch seine Tätigkeit als Prüfmänner für Baustatik speziell auf dem Gebiet des Holzbaues gewährleistet; große, teilweise spektakuläre Holzbauwerke wie z. B. das Solebad in Bad Dürkheim, Fachhochschule in Albstadt u. a. wurden von ihm als Prüfer und Berater mitbearbeitet.

Neben all diesen Tätigkeiten findet Prof. Ehlbeck immer noch Zeit, sich mit der Güteüberwachung insbesondere bei den mechanischen Verbindungsmittelherstellern und bei den Holzleimbauern vor Ort zu beschäftigen und ist somit immer auf dem neuesten Stand – am Puls der Zeit –, was den modernen Ingenieurholzbau betrifft.

Nachstehend wird über die einzelnen Gebiete, auf denen Prof. Ehlbeck verantwortlich tätig ist, ausführlich berichtet.

In der Lehre des Ingenieurholzbau und der Baukonstruktionen (Kapitel 2) hat sich in den letzten Jahren bedingt durch neue Vorschriften und wissenschaftliche Erkenntnisse der Umfang bedeutend vergrößert. Das große Interesse der Studenten am Ingenieurholzbau wird durch das umfangreiche Angebot an Vorlesungen durch den Lehrer und Wissenschaftler Ehlbeck befriedigt. Den Stand der neuesten Forschungsarbeiten des Forschers Ehl-

beck zeigen die in Kapitel 3 zusammengefaßten Beiträge, in denen über die gegenwärtig laufenden, noch nicht oder gerade zum Abschluß gebrachten Forschungsprojekte berichtet wird.

Über den großen Bereich der Materialprüfung, der z. B. neben den Zulassungsversuchen für neue Verbindungsmittel, für Traggerüste, Eignungsnachweise für mechanische Verbindungsmittel auch die Güteüberwachung bei den Herstellerfirmen (Fremdüberwachung) umfaßt, wird in Kapitel 4 berichtet.

Die Ergebnisse aus der Forschung und Materialprüfung fließen in die Normung ein bzw. kommen den Herstellern zugute. Der Transfer zwischen Forschung und Praxis war, ist und bleibt ein großes Anliegen von Prof. Ehlbeck, auch wenn damit oft größere Schwierigkeiten verbunden sind.

2 Lehre

Das Studium des Bauingenieurwesens an der Universität Fridericiana zu Karlsruhe gliedert sich in das Grundstudium (Diplom-Vorprüfung) und in das anschließende Vertiefungsstudium (Diplom-Hauptprüfung). Im Rahmen des Vertiefungsstudiums kann der Student zwischen den fünf Vertiefungsrichtungen Konstruktiver Ingenieurbau, Wasserbau, Verkehr und Raumplanung, Baubetrieb und Grundbau wählen. Innerhalb der Vertiefungsrichtung Konstruktiver Ingenieurbau gibt es die drei Vertiefungsschwerpunkte Stahlbetonbau, Stahlbau und Holzbau. Im Gegensatz zu den meisten anderen Universitäten ist in Karlsruhe das Teilgebiet Holzbau durch einen eigenen (eigenständigen) Lehrstuhl, den **Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen**, vertreten. Daher ist es möglich, ein vielfältiges Angebot an Vorlesungen (siehe **Tabelle 1**) anzubieten, in denen u. a. die Besonderheiten des Baustoffes Holz (z. B. Anisotropie) und die der Bauteile (z. B. Nachgiebigkeit der Verbindungsmittel) behandelt werden. Zur Vertiefung des Vorlesungsstoffes werden außer den Übungsvorlesungen zwei Studienarbeiten angeboten, die von allen Studenten der Vertiefungsrichtung Konstruktiver Ingenieurbau zu bearbeiten sind. In diesen Studienarbeiten werden sowohl Detailprobleme als auch die Lastabtragung am Gesamtsystem behandelt.

Entscheidet sich ein Student für den Vertiefungsschwerpunkt Ingenieurholzbau, so muß er zusätzlich eine Seminararbeit über ein Teilgebiet des Ingenieurholzbau ausarbeiten und mündlich vortragen. Eine Zusammenstellung der übergeordneten Themen-

Grundstudium	Vertiefungsstudium
<ul style="list-style-type: none">- Grundlagen des Metall-u. Holzbaus- Baukonstruktionslehre	<ul style="list-style-type: none">- Ingenieurholzbau I - IV- Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe- Technologie des Leimbau- Holzfertigung- Ausgewählte Kapitel des Ingenieurholzbau
<ul style="list-style-type: none">- Ingenieurbau C (für Vertiefer der Vertiefungsrichtung Verkehr und Raumplanung)- Ingenieurbaukunde (für Geodäten)	

Tabelle 1: Vom Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen angebotene Vorlesungen

*Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jürgen Ehlbeck zur Vollendung seines 60. Lebensjahres gewidmet

**Die Autoren sind Mitarbeiter der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, Abt. Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen Universität Fridericiana Karlsruhe

gebiete der letzten zehn Jahre ist in **Tabelle 2** angegeben. Für das kommende Wintersemester ist ein Seminar mit dem Thema »CAD im Ingenieurholzbau« geplant.

WS 80/81	Mechanische Verbindungsmittel im Ingenieurholzbau
WS 81/82	Holzleimbau
WS 82/83	Holzbrückenbau
WS 83/84	Holzdruckstäbe
WS 84/85	Historische Holzbauwerke
WS 85/86	Entwurf DIN 1052, Ausgabe 8.84, im Vergleich zur DIN 1052, Ausgabe 10.69
WS 86/87	Karlsruher Forschung im Ingenieurholzbau
WS 87/88	Entwurf Eurocode 5, 1. deutsche Ausgabe 10.87, im Vergleich zur neuen DIN 1052, Ausgabe 4.88
WS 88/89	Entwurf und Konstruktion von typischen Bauwerken aus dem Bereich des Ingenieurholzbaus
WS 89/90	Verbindungstechniken im Ingenieurholzbau

Tabelle 2: Zusammenstellung der übergeordneten Themengebiete der Seminare der letzten zehn Jahre

Weiterhin hat ein »Holzbauvertiefer« eine sog. Vertieferarbeit anzufertigen, deren Themen in den meisten Fällen sehr eng an laufende Forschungsvorhaben gebunden und somit eher theoretisch-wissenschaftlicher Natur sind. Im Rahmen der Vertieferarbeit kann sich der Student somit in ein aktuelles Thema aus dem Gebiet des Ingenieurholzbaus einarbeiten und erhält zudem häufig einen Einblick in das Versuchswesen.

Im Gegensatz hierzu ist in der abschließenden Diplomarbeit ein Bauwerk aus der Praxis zu entwerfen, zu konstruieren und zu bemessen, wodurch eine abgerundete Ausbildung sowohl auf theoretischem als auch auf praktischem Gebiet gewährleistet wird.

Der Vertiefungsschwerpunkt Ingenieurholzbau hat sich in den letzten Jahren wachsender Beliebtheit erfreut, was durch die ständig wachsende Zahl von »Holzbauvertiefern« zum Ausdruck kam. Diese Entwicklung ist in **Bild 1** am Beispiel der am Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen angefertigten Vertieferarbeiten dargestellt. Von den jährlich etwa 45 bis 50 Konstruktiv-Vertiefern entschieden sich zuletzt bis zu 40% für den Vertiefungsschwerpunkt Ingenieurholzbau. Auch von angehenden Gewerbelehrern wurde das Teilgebiet Ingenieurholzbau in zunehmendem Maße als Schwerpunktfach ihres Studiums ausgewählt. Weiterhin wurde es in den vergangenen Jahren zahlreichen Studenten der Universität Stuttgart ermöglicht, ihre Kenntnisse am Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen zu vertiefen. Diese Möglichkeit besteht auch nach abgeschlossener Berufsausbildung im Rahmen eines sog. Aufbaustudiums; sie wurde bisher jedoch ausschließlich von ausländischen Ingenieuren wahrgenommen.

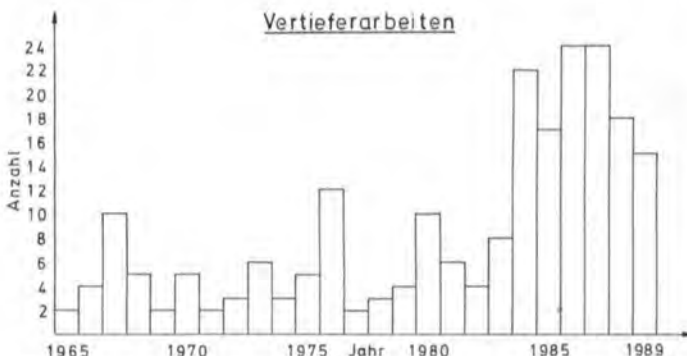


Bild 1: Anzahl der Holzbau-Vertiefer an der Universität Karlsruhe

3 Forschung

3.1 Erhalten historisch bedeutsamer Bauwerke

Am Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen sind unter Leitung von Prof. Ehlbeck zwei* der insgesamt 13 Teilprojekte des Sonderforschungsbereiches »Erhalten historisch bedeutsamer Bauwerke« eingerichtet. Einen Überblick über die Arbeiten und deren Ergebnisse geben die beiden nachfolgenden Beiträge. Der dritte Beitrag gibt einen Ausblick auf weitere geplante Arbeiten im Bereich des Holzbaues innerhalb des Sonderforschungsbereiches.

3.1.1 Trag- und Verformungsverhalten alten Konstruktionsholzes

Um nachzuweisen, daß alte Holzkonstruktionen mit angemessener Zuverlässigkeit die auftretenden Beanspruchungen ertragen können, werden in der Regel zwei unterschiedliche Wege beschritten:

Einerseits wird die Tragfähigkeit einer alten Holzkonstruktion aufgrund der angesammelten Erfahrung des mit der Bauwerkserhaltung betrauten Ingenieurs beurteilt. Dieses Verfahren kann zu richtigen Ergebnissen führen, ist jedoch nicht reproduzierbar und objektiv nachprüfbar. Es ist deshalb aus sicherheitsrelevanten Überlegungen in Frage zu stellen. Andererseits kann man sich auch bemühen, die technischen Baubestimmungen einzuhalten, indem man die Bestimmungen nach DIN 1052, insbesondere die zulässigen Spannungen nach Teil 1, Tabelle 5, auch auf altes Konstruktionsholz überträgt. Dabei wird jedoch in der Regel übersehen, daß hierzu der Nachweis zu erbringen ist, daß das bereits eingebaute Holz den angemessenen Sortierklassen nach DIN 4074 »Sortierung von Nadelholz nach der Tragfähigkeit« entspricht. Dieser Nachweis ist kaum vollständig zu erbringen, da die in der DIN 4074 festgelegten Anforderungen an das Holz im eingebauten Zustand nicht oder nur unter großem Aufwand nachzuprüfen sind. Ein Ausbau der Hölzer ist aus wirtschaftlichen und vor allem aus denkmalpflegerischen Gesichtspunkten nicht zu vertreten. Weiterhin lagen bisher noch keine Ergebnisse von systematischen Untersuchungen über die Festigkeit von altem Konstruktionsholz vor, die nachgewiesen hätten, daß zwischen altem und neuem Holz kein systematischer Unterschied besteht. Beide Vorgehensweisen können somit im Einzelfall zu einer gefährlichen Überschätzung der Tragfähigkeit einer alten Holzkonstruktion führen; oft wird aber auch die Tragfähigkeit unterschätzt, so daß unnötige Sanierungen und Verstärkungen oder gar der Abbruch historisch bedeutsamer Konstruktionen gefordert werden.

Aus dieser Ausgangsfragestellung ergaben sich zwei Forschungsbereiche:

- Systematische Ermittlung der Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften von altem Konstruktionsholz und
- Entwicklung, Erprobung und Verbesserung von zerstörungsfreien Prüfmethode, die es ermöglichen sollten, bereits eingebautes Holz hinsichtlich seiner Tragfähigkeit zu untersuchen und zu beurteilen.

Über Ergebnisse von Festigkeitsuntersuchungen an altem Konstruktionsholz wurde von Ehlbeck und Görlacher (1988) berichtet. Es wurde an kleinen fehlerfreien Normproben festgestellt, daß zwischen den Werkstoffeigenschaften von altem und neuem Holz kein systematischer Unterschied besteht. Die Bauteilfestigkeiten von altem Konstruktionsholz streuen jedoch in großem Maße und liegen teilweise unter den Werten, die für neues Bauholz zu fordern sind, wenn es als tragendes Bauteil verwendet werden soll. Dies läßt sich mit festigkeitsmindernden Unregelmäßigkeiten wie Pilz- und Insektenbefall, Aussparungen oder ausgeprägten

* Ehlbeck, J.; Görlacher, R.: Teilprojekt B2: Trag- und Verformungsverhalten alten Konstruktionsholzes.
Ehlbeck, J.; Hättich, R.: Teilprojekt C1: Knotenpunkte und Verbindungsmittel alter Holzkonstruktionen.

Baumkanten erklären, mit denen bei neuem Holz in diesem Umfang nicht zu rechnen ist. Es wird daher nicht sinnvoll möglich sein, für altes Holz eine einheitliche Festigkeit anzunehmen, ohne es einer genaueren Untersuchung (Sortierung nach der Tragfähigkeit) zu unterziehen (Ehlbeck, Görlacher 1990).

Eine Schadensaufnahme, wie sie bisher bei der Sanierung alter Holzkonstruktionen vorgenommen wird, kann nur die offensichtlich völlig geschädigten Hölzer aussortieren. Sie stellt somit nur eine Vorstufe der Sortierung dar, da sie keine Aussage über die Tragfähigkeit der übrigen Hölzer machen kann. Da die Übergänge zwischen geschädigtem und ungeschädigtem Holz fließend sind und auch die Festigkeit der ungeschädigten Hölzer in einem weiten Bereich schwanken kann, müssen die in der Holzkonstruktion verbleibenden Hölzer einer Sortierung nach der Tragfähigkeit unterzogen werden.

Wie eine Sortierung nach der Tragfähigkeit von bereits eingebautem Holz durchzuführen ist und welche Ergebnisse (Sortierklassen) sich daraus ergeben können, kann bisher noch nicht abschließend angegeben werden. Nach den bisherigen Erfahrungen hat sich aber gezeigt, daß eine Untersuchung in vier Schritte unterteilt werden sollte:

- visuelle Untersuchung,
- Ermittlung der Holzfeuchte,
- Ermittlung der Rohdichte,
- Ermittlung des Elastizitätsmoduls.

Je nach den Anforderungen an das Holzbauteil können die ersten beiden Untersuchungsschritte bereits ausreichend sein.

Die visuelle Untersuchung ermittelt den Zustand der Konstruktion und des Holzes anhand visuell feststellbarer Sortiermerkmale. Dazu gehört das Feststellen von Schäden durch Pilz- und Insektenbefall sowie durch Überlastungen. Diese Untersuchungen werden in der Regel im Rahmen der sogenannten Schadensaufnahme durchgeführt. Es ist aber insbesondere für biege- und zugbeanspruchte Bauteile auch notwendig, die Ästigkeit zu ermitteln und bei Schubbeanspruchungen das Holz auf Risse hin zu untersuchen. Die Ermittlung verdeckt liegender Unregelmäßigkeiten gehört ebenfalls in den Bereich der visuellen Sortierung, obwohl hierzu vielfach Meßgeräte unterstützend herangezogen werden müssen. Dazu gehört zum Beispiel die visuelle Begutachtung durch ein Endoskop oder die Entnahme eines Bohrkernes mit anschließender visueller Beurteilung. Bohrwiderstandsmessungen und Ausreißwiderstandsmessungen sind weitere geeignete Methoden, über die in Fachzeitschriften berichtet wird. Die Ermittlung der Holzfeuchte sollte aus mannigfachen Gründen bei keiner Holzuntersuchung fehlen. Hier gibt es eine große Anzahl von Geräten verschiedener Hersteller, die meist auf dem Prinzip der Messung des elektrischen Widerstandes beruhen. Besonders geeignet sind Geräte, deren Elektroden mehrere Zentimeter ins Holz eingetrieben werden können und somit auch Aufschluß über die Feuchteverteilung über den Querschnitt erlauben. Soll nachgewiesen werden, daß das eingebaute Holz eine besonders hohe Tragfähigkeit besitzt, so ist es in der Regel erforderlich, seine Rohdichte zu kennen, da die Festigkeit nicht nur von der Ästigkeit, sondern auch von der Rohdichte abhängt. Die Ermittlung der Rohdichte kann anhand von Bohrkernen erfolgen. In vielen Fällen genügt auch eine Abschätzung der Rohdichte über eine Eindringwiderstandsmessung (Görlacher 1987). Die bereits erwähnten Bohrwiderstandsmessungen und Ausreißwiderstandsmessungen sind hierfür ebenfalls geeignet.

Das Elastizitätsmodul ist mit der Festigkeit besonders gut korreliert. Seine Ermittlung an Holz im eingebauten Zustand erfordert jedoch einen relativ großen Aufwand, der sich in der Regel erst dann lohnt, wenn mit den bisher beschriebenen Methoden kein befriedigendes Ergebnis erzielt werden kann. Aus einem Belastungsversuch (Biegebeanspruchung) kann der Elastizitätsmodul auch im eingebauten Zustand bestimmt werden. Anstelle dieses recht aufwendigen Verfahrens, das jedoch ohne großen apparativen Aufwand auskommt, kann der Elastizitätsmodul auch aus der Laufzeit einer Longitudinalwelle, die durch einmaliges Anschlagen erzeugt werden kann, berechnet werden. Diese Laufzeitmes-

sung wurde im Rahmen der Arbeiten im SFB 315 untersucht. Über dieses Verfahren, das sich für eine Anwendung am Bauwerk sehr gut eignet, und über die Ergebnisse aus solchen Messungen wird ebenfalls in Fachzeitschriften berichtet werden.

3.1.2 Knotenpunkte und Verbindungsmittel alter Holzkonstruktionen

Der Wunsch nach der Umnutzung eines Bauwerkes ist häufig die Ursache dafür, sich mit historischen Konstruktionen zu befassen. Für eine neue Nutzung ist dann ein Standsicherheitsnachweis nach heutigen Maßstäben zu führen. Wegen unzureichender Kenntnisse über die Tragfähigkeit und das Verformungsverhalten von altem Holz und historischen zimmermannsmäßigen Holzverbindungen sind oft bauliche Maßnahmen notwendig, um die vorhandene historische Holzkonstruktion entweder zu verstärken oder gar gänzlich zu ersetzen.

Unter dem Titel »Knotenpunkte und Verbindungsmittel alter Holzkonstruktionen« wird im SFB 315 die Tragfähigkeit und das Verformungsverhalten historischer zimmermannsmäßiger Holzverbindungen untersucht (Ehlbeck, Hättich 1987). Die Kenntnis der Tragfähigkeit zur Beurteilung der Standsicherheit einer historischen Holzkonstruktion ist nur dann von Nutzen, wenn auch der Kraftfluß in der Konstruktion einigermaßen zuverlässig erfaßt werden kann. Dies ist dann möglich, wenn das Verformungsverhalten der Bauteile und ihrer Verbindungen unter Last bekannt ist. Mit diesen Kenntnissen kann überprüft werden, ob die o. g. Verstärkungen oder der Ersatz ganzer Konstruktionsteile tatsächlich notwendig ist.

Im einzelnen wurden durch Versuche an aus neuem Holz nachgebauten Versätzen, Blatt- und Zapfenverbindungen (Ehlbeck, Hättich 1989 und Hättich 1990) die Tragfähigkeit und das Verformungsverhalten dieser Verbindungen unter Berücksichtigung der Einflußfaktoren Holzrohndichte, Herstellungsgenauigkeit, Herstellungsholzfeuchte, Reibungseinflüsse und geometrischer Varianten bestimmt. Der überwiegende Teil der Versuche (etwa 400 Versuchskörper wurden geprüft) bestand aus Kurzzeitversuchen, in denen die Bruchlast, die Versagensursache und die Verformungskennwerte ermittelt wurden. Diese Ergebnisse sind direkt auf Knotenpunkte in historischen Holzkonstruktionen übertragbar, da die Werkstoffeigenschaften an neuem und altem Holz vergleichbar sind (siehe hierzu die Ergebnisse aus Teilprojekt B2). Die Knotenpunkte können in historischen Holzkonstruktionen mit diesen Ergebnissen also nachträglich »bemessen« werden, wenn sichergestellt ist, daß die geometrischen Verhältnisse nicht zu sehr von den untersuchten Knotenpunktgeometrien abweichen, daß keine ungünstigen Schwindrisse vorhanden sind, und daß eventuell vorhandene Schwächungen durch pflanzliche oder tierische Schädlinge bei der Bemessung berücksichtigt werden (Görlacher, Hättich 1990). Mit der Kenntnis, daß neues und altes Holz vergleichbare Werkstoffeigenschaften haben, ist es selbstverständlich möglich, alle rein druckbeanspruchten Verbindungen nachträglich auf herkömmliche Art und Weise zu »bemessen«, sofern die kraftübertragenden Kontaktflächen bekannt sind. Auch hier muß bei jeder Beurteilung des Tragverhaltens bestehender Verbindungen immer auf eventuell vorhandene Störungen, wie zum Beispiel Risse, ungünstig liegende Äste oder Schwächungen durch pflanzliche oder tierische Schädlinge, geachtet werden.

Langzeitversuche werden an Blatt-, Zapfen- und Schwalbenschwanzverbindungen unter Zugbeanspruchung durchgeführt. Die konstant mit 50 % der zu erwartenden Bruchlast belasteten Verbindungen wurden einer Wechselklimabeanspruchung unterzogen. Aus den noch nicht abgeschlossenen Untersuchungen konnte bisher festgestellt werden, daß das Wechselklima auf das Tragverhalten der Blatt- und Zapfenverbindungen keinen nennenswerten Einfluß hat, während sich die Trocknungsphasen bei den Schwalbenschwanzverbindungen negativ auf deren Verformungsverhalten auswirken. Nur unter bestimmten Herstellungsvoraussetzungen, Holzfeuchte des Blattes 10 bis 12 % und Holz-

feuchte der Blattsasse etwa 20 %, wurde ein auch in Trocknungsphasen günstiges Verformungsverhalten registriert.

3.1.3 Ausblick auf weitere Arbeiten im Sonderforschungsbereich

Die Arbeiten der Teilprojekte im Bereich des Holzbaues, die bis Ende 1990 abgeschlossen sein werden, haben die Grundlagen für die Beurteilung der Tragfähigkeit von altem Bauholz und von zimmermannsmäßigen Knotenpunkten geschaffen. Es wurde das Trag- und Verformungsverhalten von altem Konstruktionsholz und von zimmermannsmäßigen Holzverbindungen erforscht. Weiterhin wurden zerstörungsfreie Prüfverfahren untersucht, entwickelt und/oder weiterentwickelt, mit denen eine Abschätzung der Tragfähigkeit von eingebautem Holz möglich ist. Die Erkenntnisse aus diesen Untersuchungen erscheinen gegenwärtig ausreichend, um den Übergang von der Grundlagenforschung zur praxisorientierten Forschung vornehmen zu können. Es ist jetzt notwendig, aus den Grundlagen eine Methodik für die Praxis zu entwickeln, die es ermöglicht, systematisch und nachvollziehbar den Zustand einer alten Holzkonstruktion zu beschreiben sowie ihre Zuverlässigkeit gegen den Versagenszustand und hinsichtlich der Gebrauchstauglichkeit zu beurteilen. Daraus sind Sanierungs- oder Verstärkungsmaßnahmen abzuleiten, die der historischen Bedeutung der Konstruktion gerecht werden.

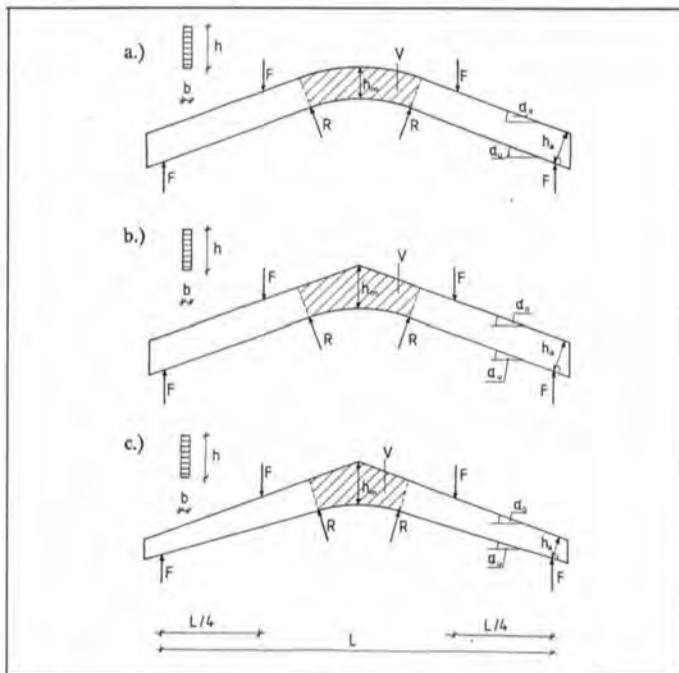


Bild 2: Trägerformen und Lastanordnung: a) gekrümmter Träger konstanter Höhe mit $\alpha_0 = \alpha_u$, $h_m = h_a$, b) gekrümmter Satteldachträger mit $\alpha_0 = \alpha_u$, $h_m > h_a$, c) gekrümmter konischer Satteldachträger mit $\alpha_0 > \alpha_u$, $h_m > h_a$

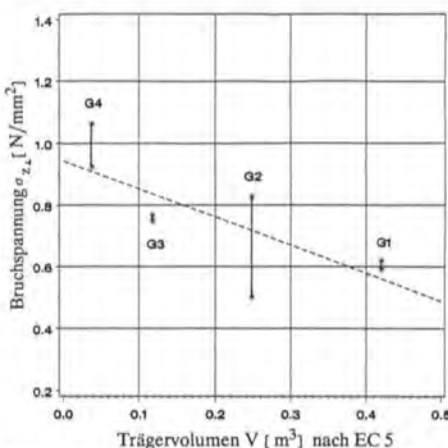


Bild 3: Bruchspannung der gekrümmten Träger konstanter Höhe, aufgetragen über deren Volumen

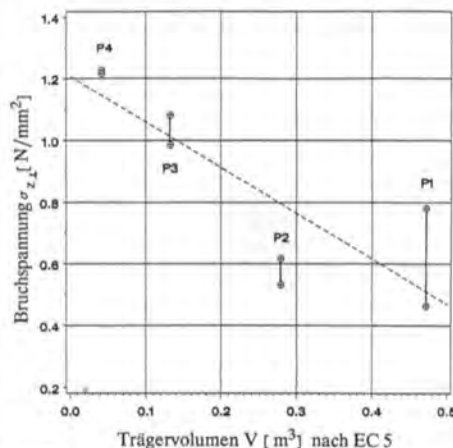


Bild 4: Bruchspannung der gekrümmten Satteldachträger mit parallelem Außenbereich, aufgetragen über deren Volumen

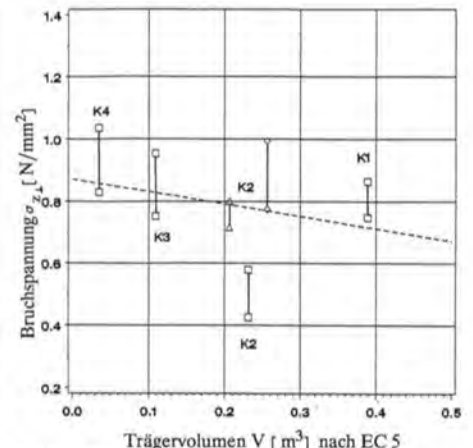


Bild 5: Bruchspannung der gekrümmten Satteldachträger mit konischem Außenbereich, aufgetragen über deren Volumen

3.2 Einfluß des querzugbeanspruchten Volumens

In der zur Zeit gültigen deutschen Bemessungsnorm DIN 1052 (Ausgabe April 1988) Holzbauwerke, Berechnung und Ausführung werden Bemessungsregeln für gekrümmte Träger infolge reiner Momentenbelastung angegeben. Dabei werden nur gekrümmte Träger konstanter Höhe (**Bild 2, a**) und der gekrümmte Satteldachträger mit gekrümmtem Untergurt (**Bild 2, b**) behandelt, der häufig verwendete Satteldachträger mit gekrümmtem Untergurt und sich zum Auflager verjüngendem Querschnitt (**Bild 2, c**) bleibt unberücksichtigt. Des Weiteren sind die sich nach der Norm richtig ergebenden maximalen Querspannungen im Firstquerschnitt unabhängig von der Trägerart einer für alle Träger gleichen zulässigen Querspannung bei der Bemessung gegenüberzustellen. Dies führt dazu, daß ein gekrümmter Träger konstanter Höhe, der eine geringere maximale Querspannung im First aufweist als der gekrümmte Satteldachträger, höher belastet werden darf. Versuche, die von Kolb und Frech (1975) durchgeführt wurden, deuten aber darauf hin, daß der gekrümmte Satteldachträger trotz einer höheren Querspannung eine höhere Bruchlast besitzt als der gekrümmte Träger. Mit einer nochmaligen kleinen Steigerung der Bruchlast gegenüber den gekrümmten Satteldachträgern ist bei den gekrümmten Satteldachträgern mit konischem Außenbereich zu rechnen.

Erst neuere theoretische Untersuchungen durch Barrett, Foschi und Fox (1975) und Colling (1986 a und b) haben gezeigt, daß nicht nur die Höhe der Spannungen, sondern auch deren Verteilung über die Trägerhöhe und Trägerlänge, die Art der Lasteinleitung und die Trägerform einen bedeutenden Einfluß auf das Tragvermögen haben. In neueren internationalen Normvorschlüssen wie z. B. dem EUROCODE 5 »Gemeinsame einheitliche Regeln für Holzbauwerke (1987)« (EC 5) werden schon Berechnungsverfahren vorgeschlagen, die diesen Erkenntnissen Rechnung tragen.

Um den Einfluß der oben genannten Größen auf die Querzugfestigkeit bei gekrümmten Trägern und Satteldachträgern auch durch Experimente belegen zu können, wurden in einem Forschungsvorhaben* durch Variation der Trägerform, der Prüfkörperabmessungen und der Belastungsanordnung die Verteilung und die Größe der Querspannungen und damit die Größe des querzugbeanspruchten Volumens geändert.

Es wurden der gekrümmte Träger konstanter Höhe (Versuchsbezeichnung G), der gekrümmte Satteldachträger (P) und der gekrümmte Satteldachträger mit sich zum Auflager verjüngendem Querschnitt (K) untersucht.

Um sicherzustellen, daß ein Querzugbruch zum Versagen der Träger führt, wurde der Obergurtwinkel mit 20° festgelegt. Die Prüfkörperlängen betragen 3,6 m (Größe 4), 6,36 m (3), 9,24 m (2) und 12,0 m (1), wobei die Träger einer Form aber geometrisch

* Ehlbeck, J.; Kürth, J.: Einfluß des querzugbeanspruchten Volumens auf die Tragfähigkeit gekrümmter Träger konstanter Höhe und gekrümmter Satteldachträger aus Brettschichtholz.

ähnlich waren, d. h. alle Abmessungen, bis auf die Breite, wurden im gleichen Verhältnis geändert.

Vergleiche zwischen den Trägerformen sind möglich, weil die Grundlage der Planung der gekrümmten Träger bildete, dessen Abmessungen gegenüber dem Satteldachträger bis auf den Firstbereich identisch sind und dieser wiederum gleiche Abmessungen wie der Satteldachträger mit konischem Außenbereich, bis auf die Untergurtneigung, besitzt.

Bei den im folgenden erläuterten Versuchsergebnissen wurden die Träger durch zwei Einzellasten in den Viertelpunkten der Träger belastet, die im gekrümmten Bereich ein konstantes Moment erzeugten. In **Bild 2** sind die verschiedenen Trägerformen, die Lastanordnung und das Volumen V nach EC 5 dargestellt. Die **Bilder 3, 4 und 5** zeigen getrennt nach Trägerform die rechnerischen Querkzugbruchspannungen im First in Abhängigkeit vom Volumen des gekrümmten Bereiches. Je Träger wurden zwei Versuchskörper geprüft, deren Bezeichnungen sich durch einen Buchstaben für die Trägerform und eine Zahl für die Trägerlänge, wie in den vorherigen Abschnitten vereinbart, zusammensetzen.

Bei allen Bildern erkennt man deutlich eine Abnahme der Bruchspannung bei zunehmendem Volumen, wobei die gekrümmten Satteldachträger mit konischem Außenbereich die geringste Abnahme aufweisen.

Das unterschiedliche Verhalten der einzelnen Trägerarten ist mit denselben Bildern möglich. Nimmt man z. B. die Träger der Größe 4 (Länge = 3,60 m) und vergleicht G4 (**Bild 3**) mit P4 (**Bild 4**) und K4 (**Bild 5**), so zeigt sich, daß die Bruchspannungen der gekrümmten Satteldächer mit parallelem und mit sich verjüngendem Außenbereich höher liegen als die Bruchspannungen der gekrümmten Träger konstanter Höhe. Aufgrund der geringen Anzahl der Versuche und der großen Streuung der Versuchswerte ist dieser Einfluß nicht bei jeder Länge gleich gut zu sehen. In den weiteren Auswertungen der Versuche soll die Anwendbarkeit der 2-parametrischen Weibull-Verteilung zur Beschreibung der Abhängigkeit der Querkzugfestigkeit von der Spannungsverteilung und dem beanspruchten Volumen untersucht werden, die als Grundlage für neuere Rechenverfahren, wie z. B. dem EC 5, dient. Ziel dieser Untersuchungen ist es, für alle Trägertypen Bemessungsverfahren zu finden, die ein einheitliches Sicherheitsniveau gewährleisten.

3.3 Biegefestigkeit von Keilzinkenverbindungen

Bisherige Untersuchungen (siehe z. B. Ehlbeck et al. 1985 und Ehlbeck/Colling 1987) haben die Bedeutung der Keilzinkenverbindungen für die Tragfähigkeit von Brettschichtholzträgern deutlich aufgezeigt, so daß an die Tragfähigkeit der Keilzinkenverbindungen sehr strenge Anforderungen gestellt werden müssen. Entsprechende Qualitätsanforderungen sind in den europäischen Normen über Festigkeitsklassen von Brettschichtholz vorgesehen. Aus diesem Grunde sollte die Tragfähigkeit von Keilzinken-

verbindungen in Abhängigkeit von den festigkeitsrelevanten Einflußgrößen untersucht werden*, um daraus Schlußfolgerungen für Qualitätssteigerungen ziehen zu können.

Aus 30 deutschen Holzleimbauetrieben, die Mitglieder der Gütegemeinschaft Holzleimbau sind, wurden insgesamt 900 keilgezinkte Brettabschnitte entnommen und deren Biegefestigkeit mit Hilfe des in **Bild 6** dargestellten Versuchsaufbaus ermittelt. Von jedem Prüfkörper wurden neben der Keilzinkengeometrie noch die Holzigenschaften Rohdichte, dynamischer Elastizitätsmodul, Jahringbreite und Frühholzanteil jeder Stoßhälfte ermittelt.

Die mittlere Biegefestigkeit aller 845 in die Auswertung mit einbezogenen Proben ergab sich zu $50,6 \text{ N/mm}^2$ bei einer Standardabweichung von $8,7 \text{ N/mm}^2$ (Variationskoeffizient von 17 %).

Eine Unterscheidung nach der Versagensart zeigte, daß die Proben mit überwiegender Keilzinkenversagen (Schubbruch entlang der Zinkenflanken) eine im Mittel 13 % höhere Biegefestigkeit aufwiesen als die Proben mit überwiegender Holzversagen (Bruch im Zinkengrund oder außerhalb des Zinkenbereiches). Dies konnte auf die bei diesen Proben festgestellten besseren Holzigenschaften zurückgeführt werden, welche die Festigkeit des Holzes im Bereich des Zinkengrundes soweit erhöhten, daß ein Schubbruch entlang der Zinkenflanken erzwungen wurde. Entgegen der bisher weitverbreiteten Meinung ist somit ein überwiegendes Keilzinkenversagen nicht zwangsläufig gleichbedeutend mit einer schlecht ausgeführten Keilzinkenverbindung.

Eine eingehendere Auswertung der Versuchsergebnisse ergab unabhängig von der Versagensart z. T. enge Abhängigkeiten zwischen der Biegefestigkeit der Keilzinkenverbindungen und den Holzigenschaften der miteinander verbundenen Bretter (Korrelationskoeffizienten bis zu 0,50). In **Bild 7** ist die Biegefestigkeit der untersuchten Keilzinkenverbindungen in Abhängigkeit von der kleineren Rohdichte der beiden Stoßhälften dargestellt.

Da sich bei diesen Versuchen auch bestätigte, daß die Tragfähigkeit einer Keilzinkenverbindung von der »schlechteren« Stoßhälfte bestimmt wird, deuten diese Untersuchungen darauf hin, daß hohe Keilzinkenfestigkeiten nur mit Hilfe einer maschinellen Holzsortierung anhand der Rohdichte und/oder des Elastizitätsmoduls gewährleistet werden können.

Weiterhin zeigten diese Untersuchungen, daß Keilzinkenverbindungen, bei denen in mindestens einer Stoßhälfte eine Markröhre auftrat, im Mittel eine etwa 7 % geringere Biegefestigkeit aufwiesen als die Keilzinkenverbindungen ohne Markröhre.

Zwischen den Keilzinkenverbindungen mit Harnstoff- und Resorcinharzleim konnte kein Unterschied in der Tragfähigkeit festgestellt werden.

Die hier durchgeführten Versuche bestätigten weiterhin die Bedeutung der Keilzinkengeometrie (vgl. **Bild 8**) für die Tragfähigkeit der Keilzinkenverbindungen. So wiesen die Keilzinkenverbindungen mit einer Zinken-Nennlänge von $l = 15 \text{ mm}$ im Mittel eine etwa 8 % höhere Biegefestigkeit auf als die Proben mit

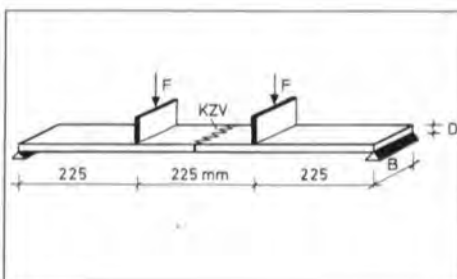


Bild 6: Versuchsaufbau zur Ermittlung der Biegefestigkeit von Keilzinkenverbindungen

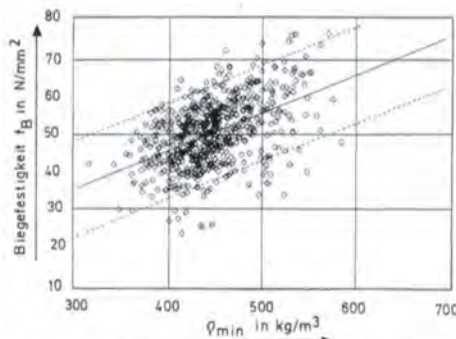


Bild 7: Biegefestigkeit von Keilzinkenverbindungen in Abhängigkeit von der kleineren Rohdichte ρ_{\min} der beiden Stoßhälften; 845 Proben

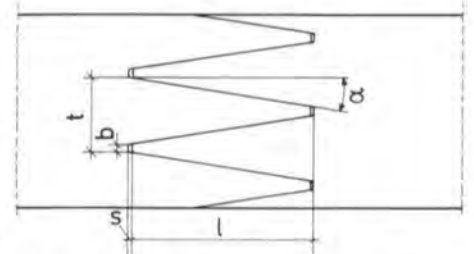


Bild 8: Keilzinkengeometrie; Bezeichnungen nach DIN 68 140

* Ehlbeck, J.; Colling, F.; Wenz, J.: Prüfung der Tragfähigkeit von Keilzinkenverbindungen der Lamellen für Brettschichtholz. Forschungsbericht der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, Abt. Ingenieurholzbau, Universität Karlsruhe.

einem 20-mm-Profil. Dies konnte auf die beim 15-mm-Profil festgestellten günstigeren Profileigenschaften – Zinkengrundbreite b (0,7 mm im Vergleich zu 1,1 mm) und Verhältnis $\varphi = 2/l/t$ (7,1 im Vergleich zu 6,0) – zurückgeführt werden. Der Verhältniswert φ ist hierbei ein Maß für die pro Breitereinheit zur Kraftübertragung zur Verfügung stehende Leimfläche.

Mit Hilfe dieser Untersuchungen konnten somit wertvolle Erkenntnisse gewonnen werden, die auch für die Herstellung von Brettschichtholzträgern mit hoher Tragfähigkeit von großer Bedeutung sind.

Eine ausführlichere Veröffentlichung über dieses Forschungsvorhaben ist in Vorbereitung.

3.4 Biegefestigkeit von Brettschichtholzträgern

Ziel eines z. Z. noch laufenden Forschungsvorhabens* ist es, die Tragfähigkeit von Brettschichtholzträgern in Abhängigkeit von den festigkeitsrelevanten Holzeigenschaften Ästigkeit, Rohdichte und Elastizitätsmodul der Brettlamellen sowie den Festigkeitseigenschaften der Keilzinkenverbindungen im Hinblick auf Normungsvorschläge zu untersuchen. Aufgrund der vielfältigen Kombinationsmöglichkeiten der o. a. Einflußgrößen war es nicht mehr möglich, diese Untersuchungen ausschließlich mit Hilfe von Trägerversuchen durchzuführen. Aus diesem Grunde wurde neben einem Rechenmodell auf der Basis der Finiten Elemente (Ehlbeck et al. 1985) noch ein statistisches Modell (Colling 1990) entwickelt, mit deren Hilfe es möglich ist, das Tragverhalten von Brettschichtholzträgern in Abhängigkeit von den o. a. Einflußgrößen sowie von der Trägergröße (»Volumeneffekt«) rechnerisch zu beschreiben.

Die berechneten Tendenzen sollten mit Hilfe von Trägerversuchen überprüft werden. Hierzu wurden insgesamt sechs Versuchsreihen mit jeweils sieben Trägern geprüft. Die Trägerabmessungen und die Belastungsart sind in **Bild 9** angegeben. Die Anforderungen, die an die Holzeigenschaften der jeweils drei äußeren Lamellen dieser Träger gestellt wurden, sind in **Tabelle 3** angegeben. Aus dieser Tabelle ist ersichtlich, daß die Decklamellen der drei ersten Versuchsreihen nach rein visuellen Gesichtspunkten ausgewählt wurden, während bei den Versuchsreihen IV und V die mittlere Brettrohdichte und der mittlere Brett-Elastizitätsmodul die alleinigen Auswahlkriterien ohne Rücksicht auf die Ästigkeit darstellten. Die Decklamellen der Reihe VI wurden in Anlehnung an eine mögliche kombinierte visuelle/maschinelle Holzsortierung ausgewählt.

In **Bild 10** sind die Versuchsergebnisse dargestellt; $e f_{0B}$ entspricht hierbei der effektiven Biegezugspannung zum Zeitpunkt des Versagens unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Lamellen-Elastizitätsmoduln.

Aus diesem Bild sind folgende Tendenzen zu erkennen:

– Schärfere Anforderungen an die Ästigkeit der Bretter bewirken nur bedingt höhere Tragfähigkeiten der Brettschichtholzträger: eine geringere Ästigkeit erhöht zwar die Festigkeit der Brettlamel-

len selbst, die Festigkeit der Keilzinkenverbindungen bleibt hiervon jedoch unbeeinträchtigt, so daß mit geringer werdender Ästigkeit die Auftretenshäufigkeit eines Keilzinkenversagens zunimmt (vgl. Reihe I–III). Somit ist es nicht sinnvoll, die Festigkeitseigenschaften nur eines der beiden festigkeitsrelevanten Faktoren Holz und Keilzinkenverbindung zu erhöhen, weil sich dann das Endprodukt Brettschichtholz verstärkt am schwächeren der beiden »Materialien« orientiert und diese höhere Festigkeit nur bedingt ausgenutzt werden kann.

– Erst mit höherer Rohdichte und/oder Elastizitätsmodul der Bretter sind höhere Tragfähigkeiten möglich, weil diese Holzeigenschaften sowohl die Festigkeitseigenschaften des Holzes als auch die der Keilzinkenverbindungen günstig beeinflussen. Unter Berücksichtigung der im Abschnitt 3.3 beschriebenen Untersuchungen über die Tragfähigkeit von Keilzinkenverbindungen deuten die hier durchgeführten Trägerversuche erneut darauf hin, daß es nur mit Hilfe einer maschinellen Holzsortierung anhand der Rohdichte und/oder des Elastizitätsmoduls der Bretter möglich sein wird, Brettschichtholzträger mit hoher Tragfähigkeit herzustellen und vor allem zu gewährleisten.

3.5 Harmonisierung der europäischen Baubestimmungen EUROCODE 5 – Holzbauwerke –

Zahlreiche Bauweisen des Holzbaues haben sich traditionell entwickelt. Die Sicherheit der Konstruktionen kann häufig aufgrund langer Erfahrung beurteilt werden. Die Nachweise im Ingenieurholzbau werden nach dem deterministischen System geführt. Hier bringt auch die neue DIN 1052 keine Veränderung. Die Bestrebungen im In- und Ausland gehen dahin, das Sicherheitskonzept auf probabilistischer Grundlage einzuführen. Dies ist bereits im Entwurf zum EUROCODE 5 »Gemeinsame einheitliche Regeln für Holzbauwerke« der Kommission der Europäischen Gemeinschaften vorgesehen. Die beiden Bemessungskonzepte unterscheiden sich grundsätzlich, so daß es aus Gründen der Sicherheit und Wirtschaftlichkeit notwendig war, die bisherigen Berechnungsweisen mit den zu erwartenden neuen Berechnungsmethoden zu vergleichen.

Ziel und Zweck eines Forschungsvorhabens* war es, die Bemühungen um die internationale Harmonisierung der Holzbaubestimmungen zum Abbau von Handelshemmnissen für die deutsche Bauwirtschaft fortzusetzen und die deutschen Forschungs-, Normungs- und Zulassungsergebnisse wirkungsvoll in die europäischen Bestimmungen einzubringen.

Alle Mitgliedsstaaten wurden offiziell von der Kommission der Europäischen Gemeinschaften aufgefordert, eine Stellungnahme zu dem von Fachleuten erarbeiteten EUROCODE-5-Entwurf abzugeben.

Der Spiegelausschuß »Holzbau« erarbeitete in Abstimmung mit dem Koordinierungsausschuß »Holzbau« des Normenausschusses Bauwesen im DIN eine deutsche Stellungnahme zu diesem Entwurf. Weitere Stellungnahmen wurden von den EG-Ländern

* Ehlbeck, J.; Colling, F.: Biegefestigkeit von Brettschichtholz in Abhängigkeit von den Eigenschaften der Brettlamellen im Hinblick auf Normungsvorschläge (Teil 3).

* Ehlbeck, J.; Werner, H.: Vergleichende Berechnungen für Bauteile und Verbindungsmittel auf der Grundlage des neuen Sicherheitssystems – EUROCODE 5 – Holzbauwerke; Teilprojekt III: Berechnung und Ausführung von Verbindungen.

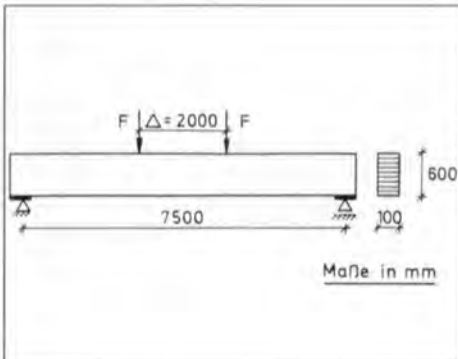


Bild 9: Abmessungen und Belastung der Versuchsträger

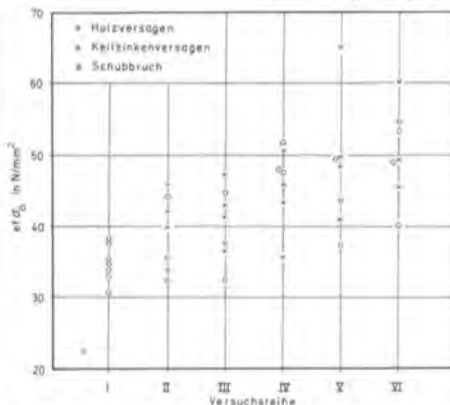


Bild 10: Versuchsergebnisse; Unterscheidung nach Versuchsreihe und Versagensart

Versuchsreihe	Anforderungen
I	$0,35 \leq KAR$
II	$0,20 \leq KAR \leq 0,35$
III	$KAR \leq 0,20$
IV	$500 \text{ kg/m}^3 \leq \rho^1$
V	$15000 \text{ N/mm}^2 \leq E$
VI	$15000 \text{ N/mm}^2 \leq E$ und $KAR \leq 0,20$

¹ Rohdichte bei einer Holzfeuchte von 12 - 14%

Tabelle 3: Anforderungen an die Holzeigenschaften der jeweils drei äußeren Lamellen

Frankreich, Großbritannien, Griechenland, Irland, Dänemark, Portugal und den Niederlanden sowie den EFTA-Ländern Finnland, Norwegen, Schweden und Schweiz abgegeben. Die Ergebnisse dieser Forschungsarbeit sind in die deutsche Stellungnahme zum EUROCODE 5 eingeflossen. Im Rahmen des Teilprojekts III wurden die Ausführungs- und Bemessungsregeln von Verbindungen des EUROCODE-5-Entwurfs vom Oktober 1987 mit den entsprechenden Regeln der DIN 1052, Ausgabe April 1988, verglichen und kritisch bewertet. Aufgrund der unterschiedlichen Sicherheitssysteme wurden für verschiedene Lastfälle globale Sicherheitszahlen ermittelt, um die Ergebnisse vergleichbar zu machen. Die Teilsicherheitsbeiwerte im EUROCODE 5 bilden dabei eine feste Grundlage für die Gegenüberstellung. Im allgemeinen wurden die einzelnen Kapitel über die Nagel-, Klammern-, Stabdübel-, Bolzen-, Holzschrauben- und Leimverbindungen nach folgendem Schema gegliedert:

Gegenüberstellung der Regeln
 Vergleich der Ausführungs- und Bemessungsregeln, gegebenenfalls mit Beispielen
 Kommentar und Beurteilung der Regeln
 Änderungsvorschläge

Bei dem Vergleich wurden zum Teil geringe, aber auch große Unterschiede sowohl positiver als auch negativer Art bei den einzelnen Ausführungs- und Bemessungsregeln aufgedeckt. Oft fehlen noch wichtige Details bei einzelnen Bestimmungen. Die Berechnung der Tragfähigkeit einer mechanischen Verbindung mit stiftförmigen Verbindungsmitteln nach EUROCODE 5 beruht auf einem theoretischen Rechenmodell, welches auch unterschiedliche Biege widerstände der Verbindungsmittel und Lochleibungsfestigkeiten der verschiedenen Holzarten und Holzwerkstoffe berücksichtigt. Die zulässige Belastung dieser Verbindungen nach DIN 1052 wurde aus Versuchen ermittelt. Der Aufwand für die Bemessung einer Verbindung nach EUROCODE 5 erhöht sich zwar, jedoch bleibt dem Ingenieur wesentlich mehr Freiraum bei der Dimensionierung. Für gebräuchliche Verbindungsmitteltypen (z. B. runde Nägel nach DIN 1151) und Holzarten (z. B. Nadelholz der Sortierklasse S10 mit $\rho_k = 380 \text{ kg/m}^3$) können die allgemeingültigen Gleichungen ausgewertet und als Bemessungshilfen (z. B. als Anhang oder gesondertes Tabellenwerk) den Tragwerksplanern zur Verfügung gestellt werden. Exemplarisch soll am Nachweis einer mechanischen Verbindung unter Berücksichtigung der im Holz auftretenden Querspannungen bei einer Anschlußkraft unter einem Winkel zur Faserrichtung die Vorgehensweise bei den Untersuchungen erläutert werden.

Gegenüberstellung und Vergleich der Regeln

DIN 1052, Teil 2, Abschnitt 3.5
In besonderen Fällen ist die zulässige Beanspruchung einer mechanischen Verbindung auch unter Berücksichtigung der im Holz auftretenden Zugspannungen rechtwinklig zur Faserrichtung zu ermitteln.
 EUROCODE 5, Kapitel 5.3.1
Falls die Kraft unter einem Winkel zur Holzfaserrichtung wirkt, sollen auch die Zugspannungen rechtwinklig zur Faserrichtung berücksichtigt werden.
Falls kein genauere Nachweis geführt wird, sollte gezeigt werden, daß die empirische Beziehung

$$V_d \leq 2/3 \cdot f_{v,d} \cdot b_e \cdot t \quad (5.3.1)$$

erfüllt ist. Dabei ist V_d die Querkraft, die durch die Nägel, Dübel usw. erzeugt wird, t die Holzdicke und b_e der Abstand der vom beanspruchten Holzrand am weitesten entfernt angeordneten Nägel, Bolzen oder Dübel von diesem Holzrand, siehe Bild 5.3.1.

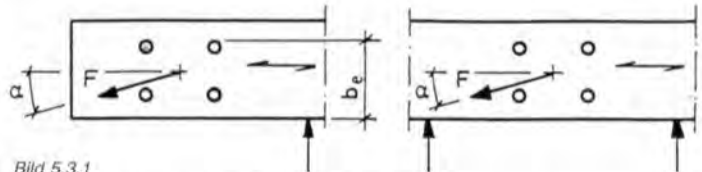


Bild 5.3.1
 Im Fall a) $V = F \cdot \sin \alpha$; im Fall b) $V = 0,5 \cdot F \cdot \sin \alpha$
 Die Kreise kennzeichnen Nägel, Bolzen, Stabdübel, Schrauben, Dübel besonderer Bauart usw.

Für die praktische Anwendung stehen zur Zeit in Deutschland folgende Bemessungsverfahren zur Verfügung:
 – für Queranschlüsse mit Dübeln besonderer Bauart, Stabdübeln oder Nägeln an BSH-Trägern oder Vollholzbalken (Möhler, Siebert 1981);
 – für Queranschlüsse mittels Stahlblechformteilen (Ehlbeck, Görlacher 1985).

Kommentar und Beurteilung

Der ersatzweise geführte Schubspannungsnachweis im Restquerschnitt nach Gl. (5.3.1) bietet vor allen Dingen bei angehängten Lasten an hohe Brettschichtträger nach deutschen Untersuchungen keine ausreichende Sicherheit gegen Quersversagen. Insbesondere bleiben beim Nachweis mit Gl. (5.3.1) folgende Einflußfaktoren unberücksichtigt:
 – Anordnung, Größe und Anzahl der Verbindungsmittel und ihre Verteilung über die Trägerhöhe
 – Querszugfestigkeit des Holzes in Abhängigkeit von der wirksamen Anschlußfläche
 – Verhältnis des Abstandes der obersten Verbindungsmittelreihe vom beanspruchten Rand zur Trägerhöhe.
 Die vorgeschlagene vereinfachte Überprüfung der Querszugrißgefahr bei einer Anschlußkraft unter einem Winkel zur Faserrichtung sollte durch einen wirklichkeitsnäheren Nachweis ersetzt werden. Aufgrund vorliegender Untersuchungen theoretischer und experimenteller Art von Möhler, Lautenschläger (1978), Möhler, Siebert (1981) und Ehlbeck, Görlacher (1985) wird ein Nachweis der Querszugspannungen bei Anschlüssen mit stiftförmigen Verbindungsmitteln vorgeschlagen. Einzelheiten sind in dem CIB- W18 Paper 22-7-2 von Ehlbeck, Görlacher, Werner (1989) erläutert.

Neuer Textvorschlag für EUROCODE 5, Kapitel 5.3.1 Absatz 10

Es ist nachzuweisen, daß die Bedingung

$$\alpha_{t,90,d} = \eta \cdot k_r \cdot \frac{F_{90,d}}{ef A} \leq 15 \cdot ef A^{-0,2} \cdot f_{t,90,d} \quad (5.3.1a)$$

erfüllt ist (siehe Bild 11). Dabei errechnet sich der Anteil der Kraft $F_{90} = F \cdot \sin \alpha$ welche im Holz über Querszugspannungen eingeleitet wird zu

$$\eta = 1 - 3 \cdot \left(\frac{a_r}{h}\right)^2 + 2 \cdot \left(\frac{a_r}{h}\right)^3 \quad (5.3.1b)$$

sowie der Anteil k_r der gesamten anzuschließenden Kraft der in

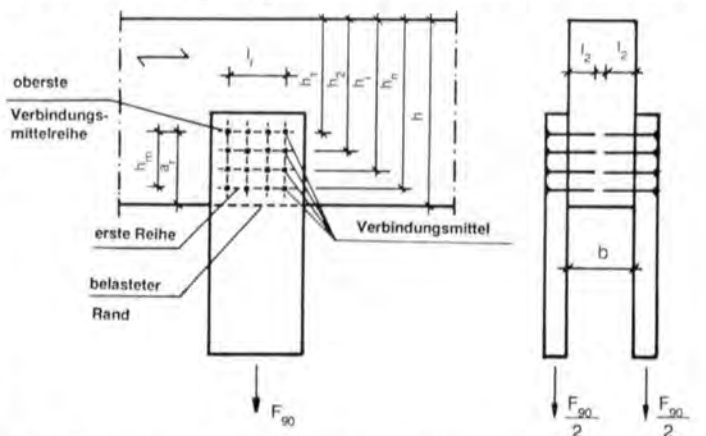


Bild 11: Rechtwinklig zur Faserrichtung belastete Verbindung (Bezeichnungen)

Höhe der obersten Verbindungsmittelreihe vom belasteten Rand Querspannungen erzeugt zu

$$k_r = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \left(\frac{h_1}{h_i}\right)^2 \quad (5.3.1c)$$

Bei einer größeren Anzahl von Verbindungsmittelreihen ($n > 3$) kann Gl. (5.3.1c) ersetzt werden durch

$$k_r = \frac{h_1}{h_n} \quad (5.3.1d)$$

Die wirksame Anschlußfläche $ef A$ errechnet sich mit der wirksamen Anschlußlänge

$$ef l_r = \sqrt{l_r^2 + (c \cdot h)^2} \quad (5.3.1e)$$

$$c = \frac{4}{3} \cdot \sqrt{\frac{a_r}{h} \cdot \left(1 - \frac{a_r}{h}\right)^3} \quad (5.3.1f)$$

und der wirksamen Breite

$$ef b = \sum l_2 \leq b \quad (5.3.1g)$$

$$l_2 \leq 15 \cdot d$$

zu

$$ef A = ef l_r \cdot ef b \quad (5.3.1h)$$

Sind zwei Verbindungsmittelgruppen in der Nähe voneinander mit einem Abstand l_1 der Schwerpunkte angeordnet, dann erhöht sich dadurch die gesamte Anschlußlänge $tot ef l_r$ zu

$$tot ef l_r = ef l_r \cdot \left(1 + \frac{l_1}{l_1 + a_r}\right) \quad (5.3.1k)$$

Ist ein Queranschluß weniger als die Trägerhöhe h vom Hirnholzende entfernt, so ist nur die Hälfte der rechnerisch ermittelten wirksamen Anschlußfläche anzusetzen.

3.6 Hirnholzdübelverbindungen bei Brettschichtholz und Nadelvollholz

Die Weiterentwicklung des Ingenieurholzbau ist eng verbunden mit der Forschung im Bereich der Verbindungstechnik. Neben der Neuentwicklung von Verbindungsmitteln gehört hierzu auch das Untersuchen von Verbindungen mit bereits bekannten Verbindungsmitteln im Hinblick auf ihren Einsatz in neuen Anwendungsgebieten des Ingenieurholzbau.

Zu den Verbindungsmitteln, die sich seit vielen Jahren bewährt haben, gehören die Dübel besonderer Bauart. Nach Art ihres Einbaus in das Holz wird zwischen den Einlaßdübeln, den Einpreßdübeln und den Einlaß-Einpreßdübeln unterschieden.

Ursprünglich wurden diese Verbindungsmittel bei Anschlüssen von Fachwerken, bei gelaschten Stößen und zusammengesetzten Querschnitten eingesetzt. Heute verwendet man sie hauptsächlich zur örtlichen Einleitung großer Lasten, die z. B. bei Quer-



Bild 12: Versuchseinrichtung mit einem Prüfkörper nach den Versuchen

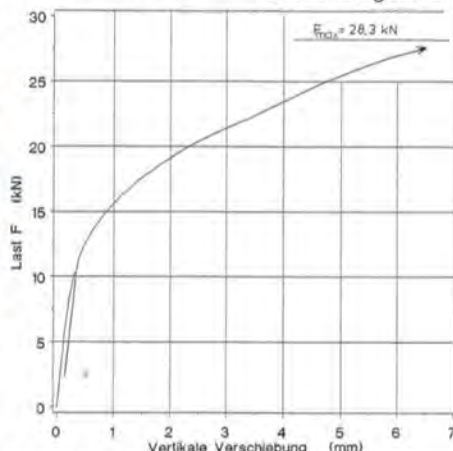


Bild 13: Zusammenhang zwischen der Belastung einer Dübelverbindung und ihrer vertikalen Verschiebung

träger- oder bei Verbandsanschlüssen auftreten. Diesen Anwendungen gemeinsam ist der Einbau der Dübel besonderer Bauart in die Seitenflächen der zu verbindenden Hölzer.

Bedingt durch die Entwicklung neuer Konstruktionsarten im Ingenieurholzbau hat sich in den letzten Jahren die Notwendigkeit von Anschlüssen bei Trägerrosten, Anschlüssen von Trägern an Stützen und von Nebenträgern an Hauptträger ergeben. Mit dem Einbau von Dübeln besonderer Bauart in die Hirnholzflächen können diese Anschlüsse nicht nur wirtschaftlich hergestellt werden, sondern bringen auch durch die von außen kaum sichtbare Verbindung optische und brandschutztechnische Vorteile mit sich. In Versuchen, die von Möhler, Ehlbeck (1971) durchgeführt wurden, hat es sich gezeigt, daß Anschlüsse im Hirnholz mit Dübeln besonderer Bauart ausreichende Tragsicherheit und Steifigkeit aufweisen können. Die Ergebnisse der darauf aufbauenden Untersuchungen von Möhler, Hemmer (1979) führten zu den Bestimmungen über Hirnholzdübelverbindungen in der DIN 1052, Teil 2. Da nur Untersuchungen mit den Einlaßdübeln des Dübeltyps A (System Appel) in der Hirnholzfläche von Brettschichtholz durchgeführt wurden, konnten bisher nur Regelungen für diesen Anschlußtyp festgelegt werden.

In einem laufenden Forschungsvorhaben* soll deshalb geklärt werden, ob auch die Einpreßdübel der Typen C (System Bulldog) und D (System Geka) für Hirnholzanschlüsse verwendet werden können. Außerdem soll untersucht werden, ob diese Anschlußart außer an Bauteilen aus Brettschichtholz auch an Bauteilen aus Nadelvollholz ausgeführt werden kann.

Dazu werden in systematisch durchgeführten Versuchen folgende Einflüsse auf das Trag- und Verformungsverhalten dieser Verbindungen untersucht:

- Dübeltyp,
- Dübeldurchmesser,
- Abstand der Hirnholzfläche vom Klemmittel,
- Winkel zwischen der Hirnholzfläche und der Faserrichtung ($\varphi \geq 45^\circ$),
- Anzahl der in der Hirnholzfläche hintereinanderliegenden Dübel bei Brettschichtholz-Anschlüssen,
- Holzfeuchte bei Nadelvollholz-Anschlüssen.

In **Bild 12** ist die Versuchseinrichtung dargestellt mit einem Prüfkörper nach den Versuchen. Die Versuchseinrichtung und die h-förmig gebauten Prüfkörper sind so konstruiert, daß damit nacheinander zwei Versuche an einem Prüfkörper durchgeführt werden können. Während der Versuche werden kontinuierlich die Kraft der Prüfmaschine und die Auflagerkraft des vom zugehörigen Hirnholzende weg liegenden Auflagers gemessen, so daß daraus die Belastung der Dübelverbindung bestimmt werden kann. Außerdem werden mittels induktiver Wegaufnehmer die Verschiebungen des Anschlusses in horizontaler und vertikaler Richtung aufgenommen. In **Bild 13** wird an einem ausgesuchten Beispiel der Zusammenhang zwischen der gemessenen Belastung einer Dübelverbindung und der zugehörigen vertikalen Verschiebung aufgezeigt.

Nach Durchführung sämtlicher Versuche und Auswertung der Versuchsergebnisse sollen Angaben zur Berechnung von Hirnholzdübelverbindungen hinsichtlich ihrer Tragfähigkeit und ihrer Gebrauchstauglichkeit (Verformungen) vorgelegt werden.

Außerdem ist beabsichtigt, Vorschläge zur konstruktiven Ausbildung derartiger Verbindungen in Brettschichtholz und in Nadelvollholz auszuarbeiten.

3.7 Eingeleimte Gewindestangen unter Axialbelastung

Die Ergebnisse aus Teil 1 dieser Forschungsreihe sowie ein Überblick über Versuchsaufbau und die in Teil 2 verwendeten Materialien wurden in Belchior-Gaspard et al. (1987) gegeben.

* Ehlbeck, J.; Schlager, M.: Hirnholzdübelverbindungen bei Brettschichtholz und Nadelvollholz.

Ziel des zweiten Forschungsabschnittes* war es, die Beanspruchungen der Verbindung Stahl-(Leim-)Holz durch Klimawechsel zu untersuchen unter Anwendung und Erweiterung der bisherigen Erfahrungen. Dies geschieht mittels zweier Versuchsreihen (Reihe I siehe **Tabelle 4**; Reihe II siehe **Tabelle 5**) und den in **Bild 14** dargestellten Versuchskörpern. Beide Tabellen sind Teil des Forschungsberichtes. Der Bohrl Lochdurchmesser entsprach bei den Stangen mit metrischem Gewinde dem Außen- bzw. Nenn-durchmesser; bei den Stangen mit Holzschraubengewinde dem arithmetischen Mittel aus Kern- und Außendurchmesser und bei den Spannstählen dem Nenndurchmesser zuzüglich der Dicke der aufgewalzten Profilierung. Zur Ermittlung des Haftspannungsverlaufes entlang der eingeleimten bzw. eingedrehten Gewindestangen wurden in die Stangen Nuten eingefräst (**Bild 15**), um darin Dehnungsmeßstreifen (DMS) anzubringen. Die Versuche unter reiner Klimabeanspruchung ohne äußere Lasteinwirkung (**Reihe I**) konnten mit der Ermittlung der verbleibenden Auszieh-

kraft abgeschlossen werden. Die folgenden Ausführungen sollen daher über Versuchsdurchführung und -ergebnisse dieser Reihe berichten.

3.7.1 Versuche unter reiner Klimabeanspruchung (Reihe I)

Versuchsdurchführung

a) Klimabeanspruchung

Versuchsumfang sowie Reihenfolge und Dauer der klimatischen Einwirkungen sind aus **Tabelle 4** zu ersehen. Die Einbindelänge betrug einheitlich 40 cm.

Für die Untersuchung der Klimabeanspruchung bei wechselnder Luftfeuchte wurden zwei Gruppen von Körpern bereitgestellt: Die Gruppe I.1 bestand aus acht Körpern mit metrischem Gewinde

* Ehlbeck, J.; Belchoir-Gaspard, P.; Gerold, M.: Wirkungsweise von eingeleimten Gewindestangen unter Axialbelastung bei Übertragung von großen Kräften und bei Aufnahme von Querkzugkräften in Biegeträgern, Teil 2: Einfluß von Klimaeinwirkung und Langzeitbelastung.

Versuch		Gewindestange		Kleber		Beanspruchungen		
Gruppe	Bezeichnung	Richtung zur Faser	1)	2)	Klima*)	Z _u **)	r _{u,m} ***)	
						[kN]	[N/mm ²]	
I.1	P M20 R1	⊥	M20	R	wechselnde Luftfeuchte	121	4,8	
	S M20 R1			R		90	3,6	
	P M20 P1	⊥	M20	PUR	20/30	122	4,9	
	S M20 P1			PUR	20/52	128	5,1	
	P M20 W1	⊥	M20	W	30/40	103	4,1	
	S M20 W1			W	30/90	146 +	5,8	
	P M20 R2	⊥	M20	R		81	3,2	
	S M20 R2			R		119	4,7	
I.2	P S20 O1	⊥	S20	-	wechselnde Temperatur	27	1,1	
	S S20 O1			-		64	2,6	
	P S20 R1	⊥	S20	R	20/30	76	3,0	
	S S20 R1			R	30/90	119	4,7	
	P S20 O2	⊥	S20	-	30/40	60	2,4	
	S S20 O2			-	30/90	73	2,9	
	P S20 R2	⊥	S20	R		104	4,1	
	S S20 R2			R		103	4,1	
	Wechsel nach ca. 6 Wochen							
	I.3	P M20 R3	⊥	M20	R	wechselnde Temperatur	140	5,6
S M20 R3		R			60/65		151	6,0
P S20 O3		⊥	S20	-	10/70	43	1,7	
S S20 O3				-	60/65	65	2,6	
Wechsel alle zwei Tage								
I.4	P M20 R4	⊥	M20	R	Normalklima	89	3,5	
	S M20 R4			R		20/65	115 +	4,6
	P S20 O4	⊥	S20	-	konstant	43	1,7	
	S S20 O4			-		67	2,7	

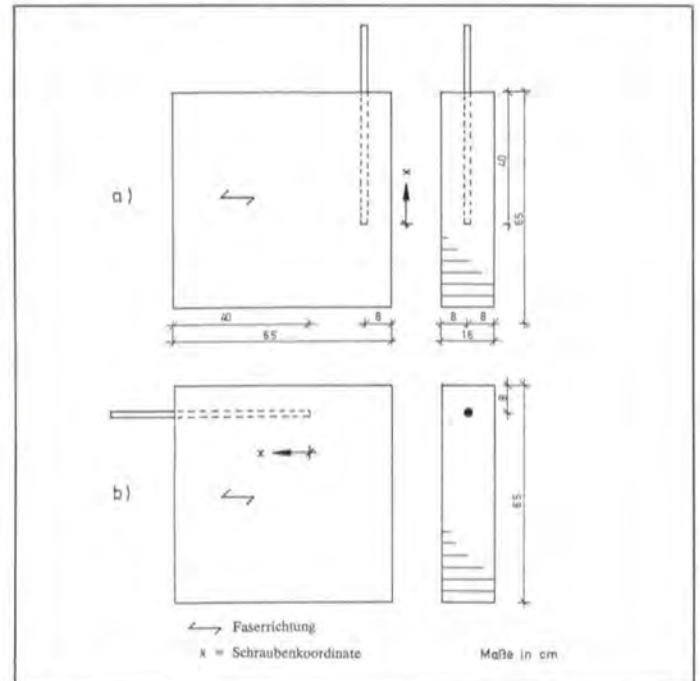


Bild 14: Schematische Darstellung der Prüfkörper für die Versuche Reihe I sowie der Gruppen II.2 und II.4

Versuch		Gewindestange		Kleber		Beanspruchung	
Gruppe	Bezeichnung	Einbindelänge [cm]	1)	Querschnitt*)	2)	Klima	r _{u,m} **)
							[N/mm ²]
II.1	M20 / 8R	80	M20	v e r s c h l e d e n	R	in Karlsruhe	1,46
	M20 / 8P	80	M20		PUR		1,49
II.2	M20 / 4R	40	M20	v e r s c h l e d e n	R	seit 11/87 gegen direkten Niederschlag geschützt	1,62
	M20 / 4P	40	M20		PUR		1,62
II.3	S20 / 8O	80	S20	v e r s c h l e d e n	-	direkten	1,35
	S20 / 8R	80	S20		R		1,35
II.4	S20 / 4O	40	S20	v e r s c h l e d e n	-	Niederschlag geschützt	1,36
	S20 / 4R	40	S20		R		1,36
II.5	G26 / 10R	100	G26	v e r s c h l e d e n	R		1,26
	G32 / 10P	100	G32		PUR		1,49

1) M.. = metrisches Gewinde Stahl 8.8; Bohrlochdurchmesser d_B = { 20 mm
S.. = Schlüsselschraube } 18 mm
mit Außen- bzw. Nenndurchmesser d = 20 mm (= const.)
Einbindelänge l_E = 40 cm (= const.)

2) R = Resorcinharzleim } kalt härtende
PUR = Polyurethanleim } Zweikomponentensysteme
W = Wevo-Kleber (Epoxydharz) mit Füllmittel Plastorit
- = ohne Leim eingedrehte Gewindestangen

*) Querschnitt durch Gewindestange;
- Allgemeine Form siehe EHLBECK, SIEBERT 1987 bzw. Bild 16
- Genaue Form siehe EHLBECK et al. 1990

**) Über die gesamte Einbindelänge gemittelte Haftbeanspruchung infolge konstanter, äußerer Belastung

Tabelle 4: Versuchsübersicht Reihe I (reine Klimabeanspruchung ohne äußere Lasteinwirkung)

Tabelle 5: Versuchsübersicht Reihe II (Langzeitbeanspruchung mit konstanter Lasteinwirkung)

M20; die Gruppe I.2 aus acht Körpern mit Holzschrauben-Gewinde. Einige der Versuchskörper besaßen Stangen ohne DMS. Sie konnten jederzeit aus der Kammer entnommen werden, um durch Feuchtemessungen in verschiedenen Tiefen die Feuchteverteilung in den Körpern zu ermitteln. Es wurde ein Erreichen der Ausgleichsfeuchte in 3,5 cm Tiefe angestrebt. Bei den Versuchen der Gruppe I.3 sollte der Einfluß einer plötzlichen Temperaturänderung bei Anschlüssen, z. B. im Brandfall, untersucht werden. Da die freien Enden der Stangen sofort auf die neue Umgebungstemperatur reagieren, waren die kurzzeitigen Spannungsspitzen von Interesse.

Um später eine Aussage über den Einfluß klimatischer Einwirkungen machen zu können, standen vier Körper mit DMS bestückten Stangen ohne äußere Lasteinwirkung in einem Klimaraum mit dem Normklima DIN 50 014 - 20/65 - 1 (Gruppe I.4). Die Auftragung der Versuchsergebnisse ist exemplarisch anhand der Ergebnisse des Körpers SM20R1 in Bild 16 und 17 wiedergegeben. In Bild 16 sind für die sich gegenüberliegenden Dehnungsmeßstreifen Nr. 4 und 12 die gemittelten Meßwerte geradlinig verbunden über der Zeit dargestellt. Sieben Meßwerte sind dabei auf der Abszisse mit ihrer laufenden Ordnungsnummer versehen. Diese ausgewählten Ablesungen kennzeichnen i. d. R. Extremwerte oder aber Unregelmäßigkeiten der Dehnungen während der einzelnen Beanspruchungsperioden. In einem zweiten Schritt wurden für diese Ablesungen die Dehnungen über der Schraubenlänge aufgetragen (Symbol: \oplus) einschließlich ihrer Ordnungsnummer (Bild 17). Die Schraubenkoordinate $x = 0$ mm kennzeichnet das Stangenende im Holzkörper; hier sind die Dehnungen gleich Null. Die einzelnen Meßwerte jeder Ablesung wurden dann mittels Regressionsrechnung durch Polynome vierten Grades angenähert und daraus durch Differenzieren die auf den Außendurchmesser bezogenen Haftspannungen berechnet.

b) Ausziehversuche
Nach Abschluß der Versuche unter reiner Klimabeanspruchung wurden bei allen Prüfkörpern die Stangenauszugskräfte Z_u ermittelt (vgl. Tabelle 4). Trotz der Klimawechsel konnten im Vergleich zu den Versuchen aus dem Teil 1 dieser Forschungsreihe hinsichtlich der Bruchbilder keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Anschließend wurden aus den Ausziehkräften Z_u die Bindefestigkeiten $\tau_{u,m}$ errechnet (Tabelle 4) unter Zugrundelegung der Nenn- bzw. Außendurchmesser. Als Bindefestigkeit wird die über die gesamte Einschraub- bzw. Einleimlänge l_E gemittelte Haftfestigkeit bezeichnet.

b) Ausziehversuche

Nach Abschluß der Versuche unter reiner Klimabeanspruchung wurden bei allen Prüfkörpern die Stangenauszugskräfte Z_u ermittelt (vgl. Tabelle 4). Trotz der Klimawechsel konnten im Vergleich zu den Versuchen aus dem Teil 1 dieser Forschungsreihe hinsichtlich der Bruchbilder keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden.

Anschließend wurden aus den Ausziehkräften Z_u die Bindefestigkeiten $\tau_{u,m}$ errechnet (Tabelle 4) unter Zugrundelegung der Nenn- bzw. Außendurchmesser. Als Bindefestigkeit wird die über die gesamte Einschraub- bzw. Einleimlänge l_E gemittelte Haftfestigkeit bezeichnet.

Versuchsergebnisse

a) Einleimvorgang, Materialien:

Hinsichtlich des Einleimvorganges wird auf die in Teil 1 dieses Forschungsvorhabens empfohlenen Methoden hingewiesen:

Bei Verwendung von Gewindestangen nach DIN 976 mit metrischem Gewinde kann auf die früher vorgeschlagene Leimentlastungsnut verzichtet werden, wenn die Bohrung im Holz mit dem Gewindeaußendurchmesser ausgeführt und die Stange eingeleimt wird. Das letzte Stück muß allerdings eingeschraubt werden, damit eine vollständige Leimverteilung zwischen den Gewindegängen erreicht wird. Die zweite Möglichkeit ist die Verwendung von Stangen mit dem Gewinde von Sechskant-Holzschrau-

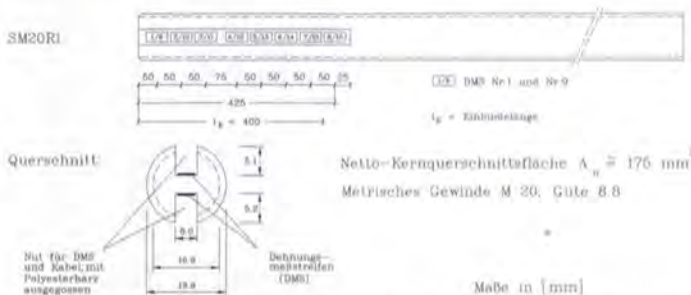


Bild 15: Längs- und Querschnitt für die Gewindestange des Körpers SM20R1

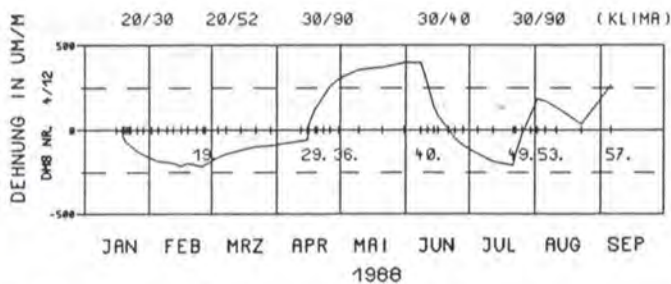


Bild 16: Darstellung der Dehnungen des Körpers SM20R1 unter wechselnder Luftfeuchte an der Stelle $x = 225$ mm über der Zeit

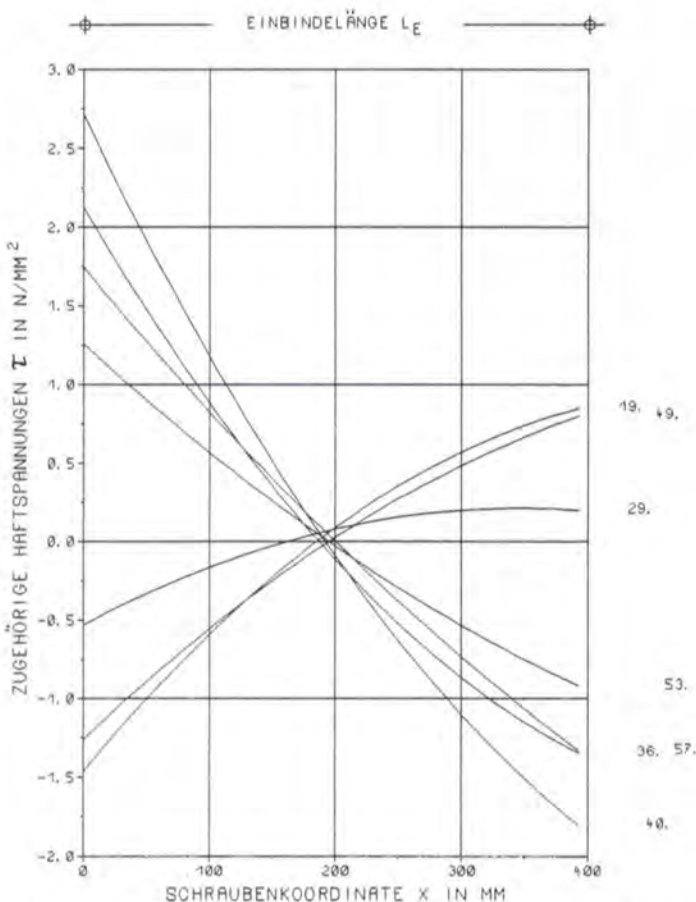
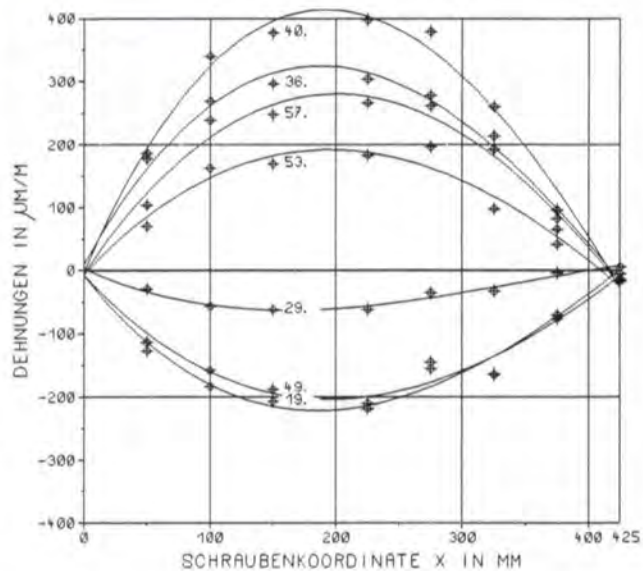


Bild 17: Dehnungs- und Haftspannungsverteilungen über der Einschraubtiefe für den Körper SM20R1

ben nach DIN 571, sog. »Schlüsselschrauben«. Das Eindrehen kann mit Hilfe eines Schlagschraubers zügig durchgeführt werden. Bei Verwendung von Spannstählen als dritte Möglichkeit muß unbedingt mit dem Außendurchmesser vorgebohrt werden. Diese Betonrippenstähle nach Zulassung Nr. Z – 12.1 – 2 sind grundsätzlich einzuleimen.

Darüber hinaus konnte für die untersuchte Einbindelänge von 40 cm festgestellt werden, daß sich alle Stangentypen manuell leicht einbringen lassen, sofern man durch gefühlvolles Eindrehen dem Leim ausreichend Zeit läßt, sich zu verteilen. Bei Stangen mit metrischem Gewinde genügt es, nur die ersten 2 bis 3 cm des Loches mit Leim zu füllen und die Stange zusätzlich während des Eindrehvorganges von außen mit Leim zu bestreichen; bei Stangen mit Holzschraubengewinde ohne Nut ist der Kleber bis zur Hälfte ins Loch einzufüllen.

b) Versuchsergebnisse:

Die Aufzeichnung der Haftspannungen über der Einschraubtiefe führt zu der allgemeinen Feststellung, daß die beiden Beanspruchungsarten Quellen und Schwinden eine gleichartige Verteilung der Haftspannungen verursachen. Ein Unterschied besteht im »Wechsel des Vorzeichens«. Die qualitative Verteilung der Dehnungen und der zugehörigen Haftspannungen entlang der Stangen scheint unabhängig vom Winkel zwischen Holzfasern und Stangenlängsrichtung zu sein. Bei den Versuchskörpern mit rechtwinklig zur Faserrichtung eingeleimten Stangen sind die Werte jedoch größer (insbesondere während der Befeuchtungsperioden) als die vergleichbaren Werte bei faserparalleler Einleimung. Dies dürfte im wesentlichen auf die unterschiedlichen Schwind- und Quellmaße zurückzuführen sein. Eine Reduzierung der Bindefestigkeiten infolge der wechselnden Klimabeanspruchungen konnte nicht festgestellt werden. Die geringsten Tragfähigkeiten besaßen die ohne Leim eingedrehten Stangen.

c) Konstruktive Hinweise:

Resorcinharzleime sollten zur Einleitung von großen äußeren Zugkräften in Brettschichtholz-Binder nur dann verwendet werden, wenn eine ausreichende mechanische Verzahnung gewährleistet ist. Ferner wird empfohlen, unter den Schraubenköpfen von Gewindestangen, bei denen in größerem Maße mit Tauwasserbildung oder Feuchtigkeit zu rechnen ist, eine Abdichtung (z. B. ein Gummi) anzuordnen. Dies betrifft insbesondere Außenbereiche.

3.7.2 Ausblick

Die Langzeitprüfkörper mit konstanter äußerer Lasteinwirkung (**Reihe II**) stehen noch in einer offenen Halle. Hier werden weiterhin über die DMS die Haftspannungen kontrolliert. In einem dritten Forschungsabschnitt werden abschließend praxisnahe Trägerformen wie gekrümmte Träger, Satteldachträger oder Auflagerausklinkungen in die Untersuchungen einbezogen, da sich die Krafteinleitungen in solchen Fällen von denen in den bisherigen Untersuchungen wesentlich unterscheiden. Ziel der gesamten Forschungsreihe ist es, praxisnahe Angaben zur Anordnung von Gewindestangen zur Verhinderung von Querschlüssen in Brettschichtholzbauteilen oder zur Einleitung hoher Einzellasten zu machen.

3.8 Tragfähigkeit von Laubholzverbindungen

Über die Tragfähigkeit von Bolzen- und Stabdübelverbindungen der in DIN 1052 neu aufgenommenen Hölzer der Laubholzgruppen A, B und C liegen kaum Untersuchungen vor. Auch unter Beachtung

der Erkenntnisse aus den Versuchen von Ehlbeck, Werner (1989) bleiben noch offene Fragen zu klären. So zeigten zum Beispiel Verbindungen von gedämpften Buchenhölzern eine ähnlich gute Tragfähigkeit wie die von Bongossihölzern, obwohl die Rohdichte der Buche erheblich geringer als diejenige von Bongossi ist. Auch wurde die bei Nadelhölzern bekannte Abhängigkeit der Lochleibungsfestigkeit vom Stabdübelndurchmesser beispielsweise bei Bongossiholz bisher nicht eindeutig nachgewiesen. Da die Tragfähigkeit einer Verbindung mit stabförmigen Verbindungsmitteln außerdem nicht unerheblich von der Spaltbarkeit der jeweiligen Holzart abhängt, reicht eine Einordnung der Laubhölzer in Gruppen entsprechend ihrer Biege-, Druck- und Zugfestigkeiten allein nicht aus, um die Tragfähigkeit der damit hergestellten Verbindungen zuverlässig beurteilen zu können.

Weiterhin sind die Werkstoffeigenschaften der verwendeten Stahlstifte für die Tragfähigkeit solcher Verbindungen von Bedeutung. Gleiches gilt auch für die Maßhaltigkeit und Oberflächenbeschaffenheit (z. B. blank, warmgewalzt, feuerverzinkt oder profiliert) des Verbindungsmittels.

Im Zuge der schrittweisen Umstellung der technischen Baubestimmungen auf ein neues Bemessungskonzept werden außerdem charakteristische Werte der Lochleibungsfestigkeit der einzelnen Laubhölzer benötigt, um rechnerische Grundlagen für die Bestimmung der Tragfähigkeit der Verbindung bereitstellen zu können.

Dabei ist auch der Einfluß des Winkels zwischen Kraft- und Holzfaserrichtung zu untersuchen.

Es wurde im Rahmen eines laufenden Forschungsvorhabens* ein umfangreiches Versuchsprogramm erstellt, das sich in die folgenden drei Teilschnitte gliedert:

- Bestimmung der Lochleibungsfestigkeit verschiedener Holzarten der Laubholzgruppen A, B und C
- Untersuchung des Einflusses des Winkels zwischen Kraft- und Holzfaserrichtung
- Zug- und Druckscherversuche an zweiseitigen Laubholzverbindungen mit stabförmigen Verbindungsmitteln

Bestimmung der Lochleibungsfestigkeit

Die Bestimmung der Lochleibungsfestigkeit der verschiedenen Holzarten erfolgt nach dem europäischen Norm-Entwurf EN TC 124.104 »Holzbauwerke – Bestimmung der Lochleibungsfestigkeit«. Die Lochleibungsfestigkeit ist eine Systemeigenschaft, da sie sowohl von dem Verbindungsmittel selbst, dessen Anordnung sowie der Art des Einbringens als auch vom Holz bzw. von der Holzart abhängig ist.

In dem o. g. EN-Entwurf ist die Lochleibungsfestigkeit definiert als die mittlere Spannung, bei der Höchstlast unter einem steifen, geraden Verbindungsmittel, das in einem Rechteckprobekörper aus Holz oder Holzwerkstoff so eingebaut ist, daß die Verbindungsmittelachse rechtwinklig zur Probekörperoberfläche verläuft und das rechtwinklig zu seiner Achse belastet wird. Um eine gleichmäßige Spannungsverteilung unter dem Verbindungsmittel

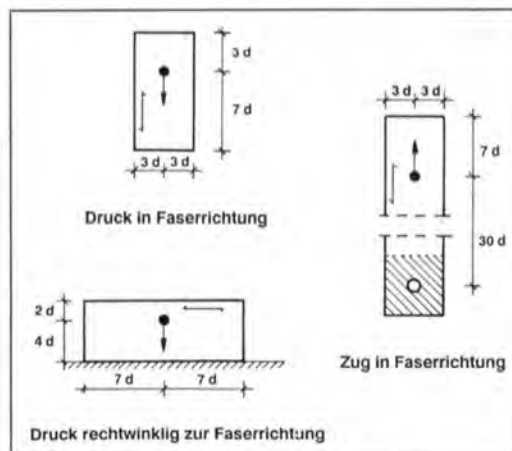


Bild 18: Probekörper zur Bestimmung der Lochleibungsfestigkeit unter einem Stabdübel bei unterschiedlichen Belastungsarten



Bild 19: Versuchsanordnung bei einer Zugbelastung in Faserrichtung

* Ehlbeck, J.; Werner, H.: Tragfähigkeit von Laubholzverbindungen mit stabförmigen Verbindungsmitteln.

zu garantieren, muß die Dicke t des Probekörpers $2 \cdot d$ betragen. Die Verbindungsmittel müssen, der Anwendung entsprechend, praxisgerecht eingebracht werden. Die Abmessungen der Probekörper zur Bestimmung der Lochleibungsfestigkeit unter einem Stabdübel sind in **Bild 18** dargestellt. Dabei wird zwischen den Belastungsarten Druck in Faserrichtung, Zug in Faserrichtung und Druck rechtwinklig zur Faserrichtung unterschieden. **Bild 19** zeigt die Versuchsanordnung bei einer Zugbelastung in Faserrichtung. Die Höchstlast F_{\max} ist definiert als die Bruchlast oder wenn die Eindrückung des Verbindungsmittels in den Versuchskörper 5 mm beträgt. Die Last ist mit einer konstanten Vorschubgeschwindigkeit aufzubringen, die so anzupassen ist, daß die Höchstlast innerhalb von 300 ± 120 Sekunden erreicht ist. Aus dem Last-Verformungsdiagramm lassen sich die einzelnen Verformungswerte ermitteln und daraus den Anfangsbettungsmodul, den elastischen Bettungsmodul und den Bettungsmodul berechnen.

Für die Holzarten Buche, Eiche, Teak (Laubholzgruppe A), Merbau, Afzelia (Laubholzgruppe B) und Bongossi (Laubholzgruppe C) sollen unter Berücksichtigung von Zug- und Druckbeanspruchung für die Stabdübeldurchmesser 8, 12, 16, 24 und 30 mm die Lochleibungsfestigkeiten in Faserrichtung bestimmt werden. Über die Ergebnisse soll zu gegebener Zeit nach Abschluß aller Versuchsreihen berichtet werden.

Einfluß des Winkels zwischen Kraft- und Holzfaserrichtung

Um den Einfluß des Winkels zwischen Kraft- und Holzfaserrichtung zu ermitteln, werden in Anlehnung an den EN-Entwurf zur Bestimmung der Lochleibungsfestigkeit Versuche unter den Winkeln 30° , 45° , 60° und 90° mit den Laubhölzern Buche und Bongossi und den Verbindungsmitteldurchmessern 8, 16 und 30 mm durchgeführt. Die typische Last-Verformungskurve bei einer Belastung parallel der Faserrichtung (**Bild 20**) hat in erster Näherung einen linear elastisch-plastischen Verlauf und erfüllt die Voraussetzungen der von Johansen (1949) entwickelten Plastizitätstheorie. Dagegen zeigt die Last-Verformungskurve bei einer Belastung rechtwinklig zur Faserrichtung (**Bild 21**) einen elastischen Verlauf bis zu einer Art Proportionalitätsgrenze und danach einen flacheren kontinuierlichen Anstieg, ohne dabei eine eindeutige Bruchlast zu erreichen. Daher kann die Plastizitätstheorie für diesen Fall nur angewandt werden, wenn die Eindrückung der Verbindungsmittel im Bruchzustand einer Verbindung mit der Eindrückung bei der definierten Höchstlast eines Lochleibungsversuchs in etwa übereinstimmt.

Für die Lochleibungsfestigkeit unter einem Winkel zur Faserrichtung sind geeignete Interaktionsbeziehungen zu finden.

Zug- und Druckscherversuche an zweiseitigen Verbindungen

Mit Hilfe der Zug- und Druckscherversuche sollen die folgenden Einflüsse auf die Tragfähigkeit von Laubholzverbindungen untersucht werden:

- Unterschied zwischen Zug- und Druckscherbelastung bei den verschiedenen Holzarten

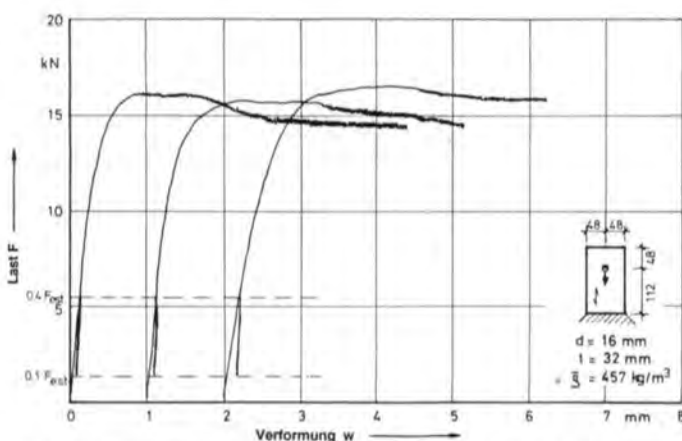


Bild 20: Last-Verformungskurve bei einer Belastung parallel der Faserrichtung

- Einfluß von Verbindungsmitteldurchmesser und Schlankheit
- Einfluß der Stahlgüte
- Einfluß der Oberflächenbeschaffenheit des Schaftes.

Pro Anschluß werden vier Verbindungsmittel mit den Mindestabständen nach DIN 1052, Teil 2, angeordnet. Das Verhältnis Seitenholzdicke a_s zur Mittelholzdicke a_m soll bei allen Versuchen konstant bleiben. **Bild 22** zeigt verschiedene Versuchskörper aus Buchenholz. Nach Abschluß der Tragfähigkeitsversuche wird die Entwicklung von Bemessungsregeln angestrebt.

3.9 Entwicklung und Prüfung neuer Verbindungsmittel

Der Einsatz von Verbindungsmitteln aus Metall im Holzbau wird häufig durch Fragen des Brandschutzes, des Korrosionsschutzes sowie der Ästhetik begrenzt. Durch die Entwicklung hochwertiger holzhaltiger Werkstoffe der Holzverarbeitenden Industrie, die für tragende Verbindungen geeignet erscheinen, ist es das Ziel dieses in mehreren Stufen durchzuführenden Forschungsvorhabens, bestehende holzhaltige Werkstoffe auf ihre Eignung als mechanische Verbindungsmittel zu untersuchen und aufgrund theoretischer und versuchstechnischer Arbeiten für die Bemessung und Ausführung derartiger Verbindungen entsprechende Grundlagen zu schaffen.

Aufbauend auf früheren Forschungsergebnissen nach Ehlbeck, Freiseis und Hättich (1985) wurden im 2. Teil des Forschungsvorhabens* das Tragfähigkeits- und Verformungsverhalten von Brettschichtholzverbindungen mit Stabdübeln aus Kunstharzpreßschichtholz (KPH) untersucht sowie Kerbuntersuchungen an Platten aus KPH durchgeführt, deren Ergebnisse in den folgenden zwei Kapiteln dargestellt werden.

3.9.1 Brettschichtholzverbindungen mit Stabdübeln aus Kunstharzpreßschichtholz

Zur Bestimmung der Biegefestigkeit β_b des Rundmaterials aus geschichtetem KPH wurden zunächst Biegeversuche durchgeführt. Vorversuche ergaben, daß weder bei Variation des Verhält-



Bild 22: Verschiedene Druckscherkörper aus Buchenholz

* Ehlbeck, J.; Eberhart, O.: Entwicklung und Prüfung neuer Verbindungsmittel aus Hartholz, Preßschichtholz und ähnlichen holzhaltigen Werkstoffen für tragende Verbindungen im Holzbau, 2. Teil: Tragfähigkeits- und Verformungsverhalten von Verbindungen.

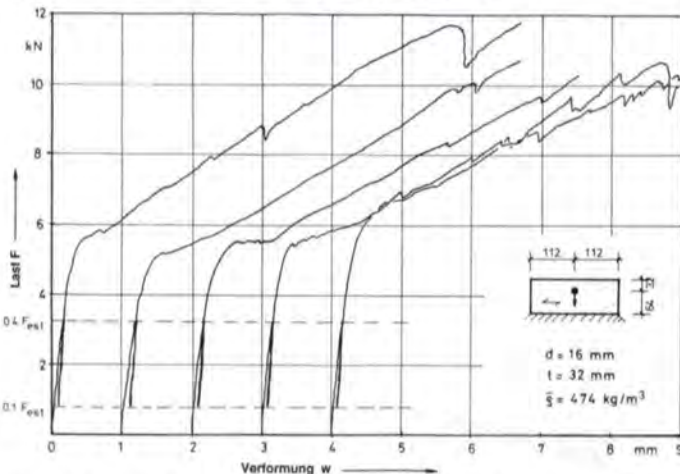


Bild 21: Last-Verformungskurve bei einer Belastung rechtwinklig zur Faserrichtung

nisses der Stützweite l_s zum Durchmesser d noch bei Variation des Winkels zwischen Furnierebene und Belastungsrichtung ein signifikanter Einfluß auf die Biegefestigkeit des Stiftmaterials vorhanden ist. Die Biegefestigkeit der Stifte des Herstellers C (Herstellerbezeichnung nach der Definition des 1. Teils des Forschungsberichtes) betrug dabei im Mittel 236 N/mm^2 bei einer Standardabweichung von 23 N/mm^2 , die des Herstellers D im Mittel 279 N/mm^2 bei einer Standardabweichung von 20 N/mm^2 .

Danach wurden die Tragfähigkeitshypothesen von Johansen (1941) für Verbindungen mit metallischen Stiften um einen neuen Versagensfall, dem einzelnen spröden Biegebruch des Dübels im Mittelholz zweischnittiger Verbindungen (siehe **Bild 23**), erweitert.

Mit der dargestellten Annahme der Lochleibungsspannungsverteilung ergibt sich die Tragfähigkeit rechnerisch zu

$$R_u = \left[\sqrt{\left(a_s + \frac{a_m}{2}\right)^2 + \frac{\beta + 1}{\beta} \cdot \left(\frac{4 \cdot M_{\max}}{d \cdot f} + a_s^2 + \frac{\beta}{4} \cdot a_m^2\right)} - \left(a_s + \frac{a_m}{2}\right) \right] \cdot \frac{\beta}{\beta + 1} \cdot d \cdot f$$

- mit
- R_u rechnerische Tragfähigkeit eines Stiftes pro Scherfläche
 - f Lochleibungsfestigkeit des Seitenholzes
 - β Verhältnis Lochleibungsfestigkeit des Mittelholzes f_m zur Lochleibungsfestigkeit des Seitenholzes f
 - a_m Mittelholzdicke
 - a_s Seitenholzdicke
 - d Stiftdurchmesser
 - M_{\max} Bruchmoment eines Stiftes.

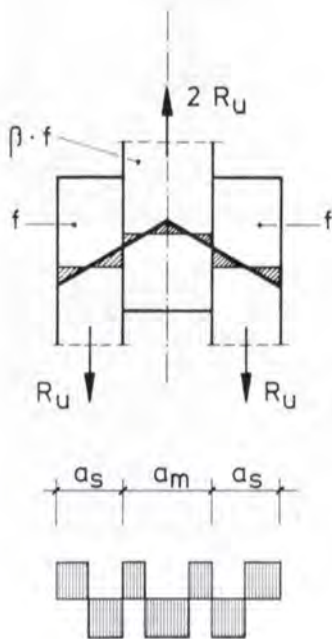


Bild 23: Versagensfall und Verteilung der Lochleibungsspannungen

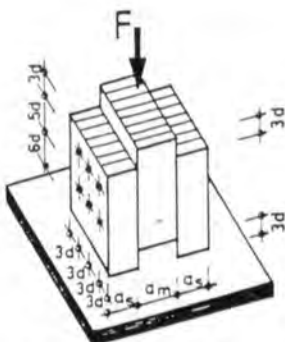


Bild 24: Druckscherkörper

$$\lambda = \frac{a_m}{d}$$

$$\frac{a_s}{a_m} = 0,75$$

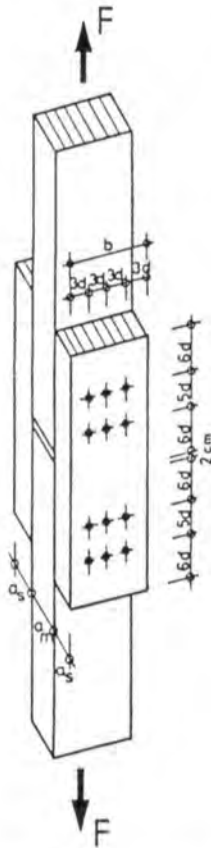


Bild 25: Zugscherkörper

Zur Überprüfung des Rechenmodells und zur Bestimmung des Trag- und Verformungsverhaltens der Stiftverbindungen wurden unter Variation der Schlankheit $\lambda = a_m/d$ von 1,5 bis 5 und des Durchmessers d von 8 bis 20 mm insgesamt 128 zweischnittige Druckscherkörper, 9 einschnittige Druckscherkörper sowie 15 Zugscherkörper aus Brettschichtholz geprüft. Die Belastung erfolgte grundsätzlich in Faserrichtung des Holzes.

Die Prüfkörper entsprachen den Angaben der **Bilder 24 und 25**, die Wahl der Stiftabstände untereinander und von den Holzrändern erfolgte nach den Bestimmungen der DIN 1052 für Stabdübel aus Stahl. Das Verhältnis Seitenholzdicke a_s zu Mittelholzdicke a_m war mit 0,75 bei allen Versuchen konstant. Das Vorbohren der Löcher erfolgte mit dem Nenndurchmesser der Stifte. Die Durchführung und Auswertung der Versuche erfolgte nach ISO 6891 (»Timber structures – Joints made with mechanical fasteners – General principles for the determination of strength and deformation characteristics«, 1983).

Als erwartete Höchstlast F_{est} wurde dabei die nach dem Rechenmodell maßgebende kleinste Tragfähigkeit definiert, wobei zu deren Bestimmung folgende Annahmen getroffen wurden:

- das Bruchmoment M_{\max} eines Stiftes beträgt

$$M_{\max} = \beta_B \cdot \pi \cdot d^3/32$$

- die Lochleibungsfestigkeit f des Holzes ist abhängig von der Rohdichte des Holzes und dem Durchmesser des Stiftes und wird zu

$$f = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho$$

f in $[\text{N/mm}^2]$ d in $[\text{mm}]$ ρ in $[\text{kg/m}^3]$

angenommen.

Die Versuche mit zweischnittigen Druckscherkörpern zeigten, daß bei Schlankheiten $\lambda = 1,5$ das Mittelholz versagte, während für größere Schlankheiten die Dübel brachen (entweder ein Bruch im Mittelholz – siehe **Bild 23** – oder vier Bruchstellen in jedem Dübel). **Bild 26** zeigt einen direkten Vergleich der Versuchshöchstlasten $F_{\text{max,s}}$ mit den rechnerischen Tragfähigkeiten $R_{u,\text{min}}$. Der Verschiebungsmodul C_{mod} kann annähernd berechnet werden zu:

$$C_{\text{mod}} = (1,9 \cdot d - 9,5) \cdot \rho_m$$

$$C_{\text{mod}} \text{ in } [\text{N/mm}] \quad d \text{ in } [\text{mm}] \quad \rho_m \text{ in } [\text{kg/m}^3].$$

Dabei entspricht ρ_m der mittleren Rohdichte der miteinander verbundenen Brettschichtholzteile. Einige Tastversuche wurden mit einschnittigen Druckscherkörpern unter Verwendung von Dübeln durchmessern $d = 12 \text{ mm}$ und Schlankheiten $\lambda = a_m/d$ von 1,5 bis 2,0 ausgeführt. Die Versuchskörper entsprachen dem **Bild 24**, im Gegensatz zu den zweischnittigen Verbindungen waren die Stifte jedoch in der Mitte des Mittelholzes stumpf gestoßen.

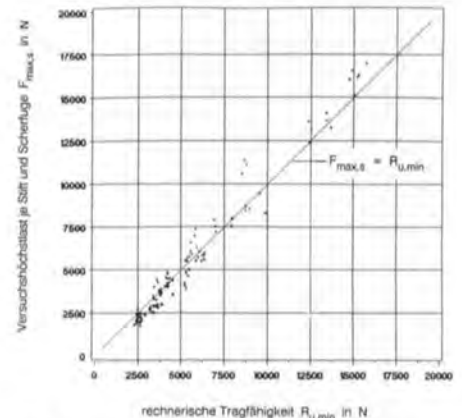


Bild 26: Vergleich von Versuch und Rechnung bei den zweischnittigen Druckscherkörpern

Auch bei diesen Versuchen zeigten sich zwischen den Versuchshöchstlasten und den berechneten Tragfähigkeiten gute Übereinstimmungen mit $F_{\max,s}/R_{u,\min}$ im Mittel von 1,04.

Versuche mit zweischnittigen Zugscherkörpern wurden mit Dübeldurchmessern von $d = 12$ mm durchgeführt, die Schlankheiten λ wurden von 2 bis 4 variiert. In allen Fällen war der in **Bild 23** beschriebene Versagensfall für die Berechnung maßgebend, was sich stets bei den Versuchen bestätigte. Das Verhältnis $F_{\max,s}/R_{u,\min}$ betrug allerdings nur 0,9 mit einer Standardabweichung von 0,05. Zugscherkörper mit diesen Stabdübeln scheinen also eine um etwa 10% geringere Tragfähigkeit zu besitzen als gleiche Verbindungen unter Druckscheren. Diese Erscheinung ist auch schon von Verbindungen mit Stabdübeln aus Stahl bekannt, bei denen sogar ein Tragfähigkeitsabfall um etwa 20% beobachtet wurde.

3.9.2 Kerbuntersuchungen an Platten aus Kunstharzpreßholz

Prinzipiell wird plattenförmiges Kunstharzpreßholz (KHP) auf drei verschiedene Arten (Plattentyp) geschichtet:

– als **Kunstharz-Preßschichtholz (KPSCH)**:

Die Faserrichtungen der einzelnen Furnierschichten verlaufen parallel zueinander. Dabei kann die Faserrichtung von bis zu 15% der Furniere aus herstellungstechnischen Gründen auch rechtwinklig zur eigentlichen Faserhaupttrichtung verlaufen.

– als **Kunstharz-Preßperrholz (KPSp)**:

Die Faserrichtungen der benachbarten Furniere sind um 90° gegeneinander verdreht.

– als **Kunstharz-Preßsternholz (KPSN)**:

Die Faserrichtungen der benachbarten Furniere sind in Winkeln von 15° bis 75° gegeneinander gekreuzt.

Zur Bestimmung des Einflusses der Kerbempfindlichkeit bei Zugbeanspruchung von KPH wurden Versuche mit auf dem Markt befindlichem Plattenmaterial unter Variation der Parameter Plattentyp, Plattendicke t , Lochdurchmesser d , Verhältnis Lochdurchmesser/Stabbreite d/b und Lage der Deckfurniere bezüglich der Krafrichtung durchgeführt.

Da in den Veröffentlichungen zu der Thematik der Kerbwirkung unterschiedliche Definitionen für den Kerbeinfluß benutzt werden, wird in diesem Bericht der Begriff des Kerbfaktors folgendermaßen definiert:

Der Kerbfaktor α_k ist das Verhältnis der Bruchspannung σ_k eines gekerbten Zugstabes zur Zugfestigkeit β_z des Materials.

$$\alpha_k = \sigma_k / \beta_z$$

mit σ_k = Bruchlast/Nettoquerschnitt
 β_z = Zugfestigkeit des Materials.

Für die Versuche mit KPH wurde eine Auswahl aus der Vielzahl verschiedener KPH-Typen und Hersteller getroffen, die in **Tabelle 6** zusammengestellt sind. Die Tabelle enthält Angaben über den Hersteller, den Plattentyp, die Plattendicke und die Furnierdicken der verdichteten Furniere. Das Plattenmaterial erhielt die internen Herstellerbezeichnungen A bis D.

Die Prüfkörper zur Bestimmung der Zugfestigkeit des ungeschwächten Plattenmaterials entsprachen den Angaben in **Bild 27**, **Bild 28** zeigt die einheitliche Prüfkörperform der gelochten Zugstäbe.

Die Versuche ergaben nachfolgende Ergebnisse:

– **Kunstharz-Preßschichtholz (KPSCH)**

In **Tabelle 7** sind die aus den Zugfestigkeiten und den Mittelwerten der Bruchspannungen ermittelten Kerbfaktoren zusammengestellt. Bei allen Platten aus KPSCH war nur bei einem

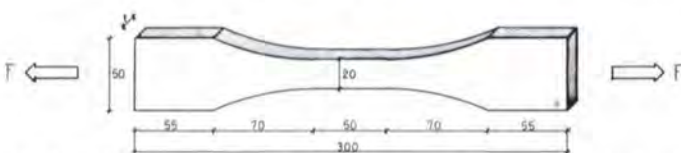


Bild 27: Form und Maße der Zugkörper zur Bestimmung der Zugfestigkeit

Hersteller	Plattentyp	interne Firmenbezeichnung	Plattendicke [mm]	Furnierdicken (verdichtet) [mm]	Plattenbezeichnung
A	KPSp		6	0,5	A1
			12		A2
			20		A3
B	KPSp	B15	8 12 20	1,0	B1 B2 B3
		B25	8 12 20		B4 B5 B6
		A15	8 12 20		B7 B8 B9
C	KPSp	8225	8 12 20	0,3	C1 C2 C3
		8121	8 12 20		C4 C5 C6
		8321	8 12 20		C7 C8 C9
D	KPSp	HII/2/30	12	2,5	D1
		HI/2/30	12		D2

Tabelle 6: Versuchsmaterial

Lochanteil am Gesamtquerschnitt a_n [%]	Winkel zwischen Belastungsrichtung und Furniertrichtung γ [°]	Platte	Kerbfaktoren $\alpha_k = \sigma_k / \beta_z$							
			16	24	32	40	48	60		
0 45 60 90	B	B	0,85 0,85 1,00 1,02	0,83 0,96 0,98	0,82 0,78 0,85 0,92					
0 30 45 60 90			C	C	0,56 0,73 0,85 0,82 0,88	0,50 0,67 0,79 0,81				
0 45 60 90					D	D	0,51 0,70 0,76 0,72	0,51 0,68 0,71 0,70	0,53 0,70 0,68 0,60	0,54 0,68 0,75 0,69

Tabelle 7: Gemittelte Kerbfaktoren der Platten aus KPSCH (3 Prüfkörper je Versuchsreihe)

Winkel $\gamma = 0^\circ$ ein deutlicher Einfluß des Lochanteils a_n auf die Bruchspannung festzustellen. Bei einem Abfall der Zugfestigkeit um bis zu 90% bei Winkeln $\gamma > 0^\circ$ hat eine zusätzliche Querschnittsschwächung keinen signifikanten Einfluß auf die Bruchspannung (vgl. **Bild 29**).

– **Kunstharz-Preßperrholz (KPSp)**

In **Tabelle 8** sind die aus den Zugfestigkeiten und den Mittelwerten der Bruchspannungen ermittelten Kerbfaktoren zusammengestellt. **Bild 30** zeigt beispielhaft eine deutliche Abhängigkeit des Kerbfaktors vom Winkel γ . Bei Winkeln $\gamma = 0^\circ$ und 90° (hohe Zugfestigkeit) ist α_k deutlich geringer als bei $\gamma = 45^\circ$ (geringste Zugfestigkeit). Beim Hersteller D, wo die Zugfestigkeit unabhängig vom Winkel γ ist, ergibt sich auch keine Abhängigkeit des Kerbfaktors vom Winkel.

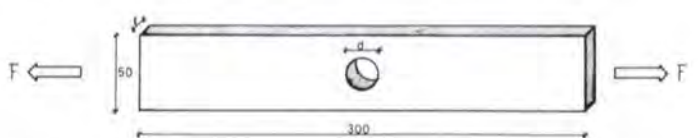


Bild 28: Form und Maße der gelochten Prüfkörper

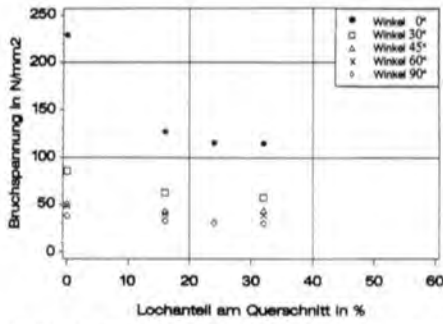


Bild 29: Bruchspannung der Platten aus KPSCH des Herstellers C (Gemeinsame Mittelwerte der Platten C4, C5 und C6)

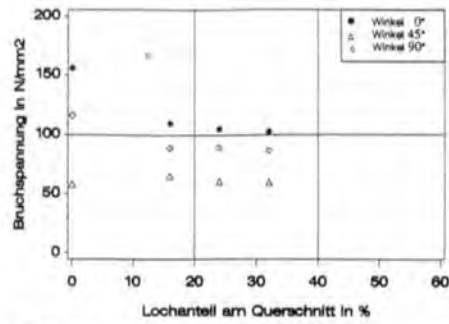


Bild 30: Bruchspannung der Platten aus KPSP des Herstellers B (Gemeinsame Mittelwerte der Platten B1, B2 und B3)

Die Ergebnisse deuten außerdem darauf hin, daß die Zugfestigkeiten, die Bruchspannungen und damit auch die Kerbfaktoren abhängig von der Dicke der Einzelfurniere der Platten sind. Dies wird bei den zwei unterschiedlichen Platten des Herstellers B deutlich, bei denen die Furnierdicken 1,0 mm (B1, B2 und B3) und 0,5 mm (B4, B5 und B6) betragen.

Kunstharz-Preßsternholz (KPSN)

In **Tabelle 9** sind die aus den Zugfestigkeiten und den Mittelwerten der Bruchspannungen ermittelten Kerbfaktoren zusammengestellt, dabei ist zu sehen, daß der Kerbfaktor weder vom Winkel γ noch vom Lochanteil a_n abhängig ist.

Zusammenfassend kann gesagt werden:

- Ein Einfluß der Plattendicke t auf den Kerbfaktor konnte nicht festgestellt werden.
- Ein Einfluß des Verhältnisses Lochdurchmesser/Stabbreite d/b ist bei allen drei Plattentypen (KPSCH, KPSP und KPSN) vernachlässigbar.
- Bei Platten mit einer vom Winkel γ zwischen Belastungsrichtung und Richtung der Deckfurniere abhängigen Zugfestigkeit β_z (z. B. bei KPSCH für $\gamma > 0^\circ$ und KPSP für $\gamma = 45^\circ$) ist der Kerbfaktor um so größer, je geringer der Absolutwert der Zugfestigkeit ist.
- Ein Einfluß der Dicke der verdichteten Furniere auf den Kerbfaktor scheint vorhanden. Dieser Einfluß war allerdings nicht genau feststellbar, was unter anderem auch durch die unterschiedlichen Produktionsverfahren der Plattentypen bedingt sein wird.
- Für eine praktische Anwendung und Berechnung von gelochten Platten aus Kunstharzpreßholz ist es erforderlich, daß die Materialeigenschaften (insbesondere die Elastizitätsmodul parallel und rechtwinklig zur Richtung der Deckfurniere und der Schubmodule) bekannt und genau definiert sind.

Die ermittelten Versuchsdaten sind für die Entwicklung eines Bemessungsverfahrens** für tragende Lochstäbe aus Kunstharzpreßschichtholz von großer Bedeutung und können in Form von rechnerisch reduzierten, fiktiven Festigkeiten des Materials Berücksichtigung finden.

Lochanteil am Gesamtquerschnitt a_n [%]		16	24	32	40	48	60
Winkel zwischen Belastungsrichtung und Furnierrichtung γ [°]	Platte	Kerbfaktoren $\alpha_k = \sigma_k / \beta_z$					
		0	0,64	0,62	0,60		
30	C			0,55			
45		0,67		0,62			
60		0,62		0,56			
90		0,68	0,67	0,67			

Tabelle 9: Gemittelte Kerbfaktoren der Platten aus KPSN (3 Prüfkörper je Versuchsreihe)

3.10 Zum Zusammenwirken von Verbindungsmitteln in mechanischen Holzverbindungen*

Anschlüsse und Stöße begrenzen im Holzbau in vielen Fällen die Tragfähigkeit von Bauteilen. In der Regel ist es nicht möglich, die Tragfähigkeit z. B. eines Zugstabes in einem Fachwerkträger auszunutzen, da der notwendige Anschluß des Stabes eine Querschnittsfläche erfordert, die größer ist als diejenige, die für die Übertragung der Zugkraft im Stab selbst benötigt wird. Maßnahmen zur Verbesserung des Wirkungsgrades von Verbindungen beeinflussen die Wirtschaftlichkeit ganzer Holzkonstruktionen, da mit einer höheren Tragfähigkeit der Verbindungen auch der erforderliche Holzquerschnitt der anzuschließenden Bauteile verringert wird. Das Hauptaugenmerk der Forschung richtete sich bei mechanischen Holzverbindungen bisher auf die Tragfähigkeit der verschiedenen Verbindungsarten, z. B. von Nägeln, Stabdübeln oder von Dübeln besonderer Bauart. Im Rahmen der Umstellung der Bemessungsnormen auf ein wahrscheinlichkeitsorientiertes Sicherheitskonzept wurden zahlreiche Untersuchungen (Ehlbeck und Werner 1988; Hilson et al. 1987; Masse et al. 1989; Rodd et al. 1987; Smith and Whale 1984, 1985a, 1985b, 1987; Whale and Smith 1986a, 1986b; Whale et al. 1989) zur Bestimmung charakteristischer Werte der Tragfähigkeit von mechanischen Holzverbindungen durchgeführt.

Die Tragfähigkeit stiftförmiger Holzverbindungen läßt sich dabei gut mit dem von Johansen (1949) entwickelten Modell bestimmen, solange als Versagensart das Erreichen der Lochleibungsfestigkeit im Holz gegebenfalls zusammen mit dem Erreichen der Fließgrenze des Verbindungsmittelstahles auftritt.

Lochanteil am Gesamtquerschnitt a_n [%]		16	24	32	40	48	60
Winkel zwischen Belastungsrichtung und Furnierrichtung γ [°]	Platte	Kerbfaktoren $\alpha_k = \sigma_k / \beta_z$					
		0	0,58	0,49	0,46		
60	A	0,87	0,85	0,79			
90		0,62	0,51	0,49			
0	B1-B3	0,71	0,68	0,66			
45		1,13	1,04	1,02			
90		0,77	0,77	0,75			
0	B4-B6	0,63	0,56	0,54			
45		1,03	1,00	1,00			
90		0,63	0,57	0,56			
0	C	0,65	0,66	0,63			
30		0,94		0,89			
45		0,89		0,93			
60		0,79		0,72			
90		0,61	0,55	0,56			
0	D	0,76	0,66	0,66	0,62	0,58	0,77
30		0,80	0,73	0,75			
45		0,68	0,70	0,63	0,60	0,57	0,48
60		0,77	0,68	0,65	0,61	0,57	0,53
90		0,77	0,67	0,62	0,62	0,57	0,69

Tabelle 8: Gemittelte Kerbfaktoren der Platten aus KPSP (3 Prüfkörper je Versuchsreihe)

* Ehlbeck, J.; Kürth, J.: Entwicklung und Prüfung neuer Verbindungsmittel aus Hartholz, Preßschichtholz und ähnlichen holzhaltigen Werkstoffen für tragende Verbindungen im Holzbau, 3. Teil: Optimierung der Anschlußbilder und Entwicklung von Bemessungsgrundlagen.

** Blaß, H. J.: Reliability of connections. Canadian Forest Service Project No. 5410P015. Forintek Canada Corp., Western Laboratory, Wood Engineering Department.

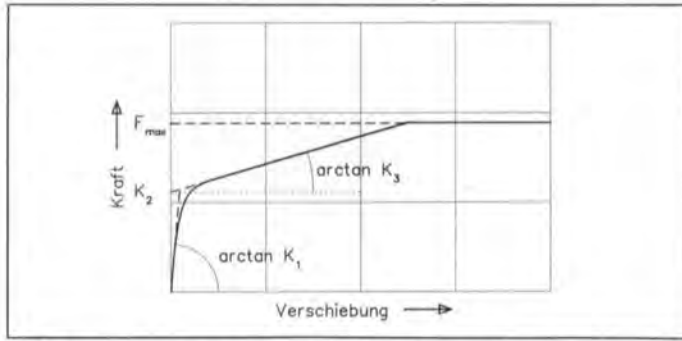


Bild 31: Grundsätzlicher Verlauf der Last-Verschiebungskurve

Das Verhalten einer Holzverbindung bis zum Erreichen dieser Versagensart ist dabei gekennzeichnet durch einen zunächst steilen Anstieg der Last-Verschiebungskurve (s. **Bild 31**), danach durch einen Bereich, in dem die Kurve bei immer noch steigender Last wesentlich flacher verläuft und anschließend durch einen nahezu horizontalen Abschnitt, in dem die Last bei zunehmender Verschiebung nicht mehr zunimmt, also die Fließgrenze der Verbindung erreicht ist.

Während zur Tragfähigkeit von mechanischen Holzverbindungen und der verschiedenen sie beeinflussenden Parameter wie z. B. Lochleibungsfestigkeit des Holzes oder Biegezugfestigkeit des Verbindungsmittels in den letzten Jahren umfangreiche Untersuchungen durchgeführt wurden, blieb ein Aspekt weitgehend außer Betracht: das Zusammenwirken der einzelnen Verbindungsmittel in einem Anschluß. Da sich auch unter idealen Bedingungen – nämlich identische Last-Verschiebungskurven der einzelnen Verbinder – die von einer Verbindung zu übertragende Kraft nicht gleichmäßig auf die Verbindungsmittel verteilt, wenn diese in Krafrichtung hintereinander angeordnet sind, wird z. B. in DIN 1052, Teil 2 (1988) die zulässige Last pro Verbindungsmittel abgemindert, wenn eine bestimmte Anzahl hintereinanderliegender Verbindungsmittel im Anschluß überschritten wird. Der Grund für diese ungleichmäßige Lastverteilung liegt zum Teil darin, daß sich die zu verbindenden Holzteile ungleichmäßig ausdehnen. Betrachtet man den Schnitt durch eine verformte Verbindung in **Bild 32**, so wird zwischen dem ersten und zweiten Nagel von links der Stab 1 durch die Kraft F abzüglich der vom ersten Nagel übertragenen Kraft belastet, Stab 2 hingegen nur von der durch den ersten Nagel übertragenen Kraft. Die Längsdehnung des Stabes 1 zwischen den ersten beiden Nägeln wird bei gleicher Dehnsteifigkeit also größer sein als diejenige des Stabes 2. Diese unterschiedlichen Längsdehnungen müssen von unterschiedlichen Verschiebungen der Verbinder kompensiert werden. Unterscheiden sich aber die Verschiebungen der Verbinder, so unterscheiden sich, zumindest solange die Fließgrenze nicht erreicht ist, auch die Lasten der einzelnen Verbindungsmittel.

Theoretische Lösungen dieses Problems wurden fast gleichzeitig von Lantos (1969) und Cramer (1968) vorgelegt. Grundlage ihrer Modelle ist die Annahme eines linear-elastischen Verhaltens der Last-Verschiebungskurven, die allerdings nur im unteren Lastbereich näherungsweise Gültigkeit hat. Daher kann mit diesen Modellen von Lantos und Cramer auch lediglich die Lastverteilung im Gebrauchslastbereich ermittelt werden, eine Anwendung bei höheren Lasten ist nicht mehr wirklichkeitsgerecht. Wird die Last über die Gebrauchslast hinaus gesteigert, so beginnen sich die meistbeanspruchten Verbinder an den Enden des Anschlusses plastisch zu verformen. Außerdem wird unter diesen Verbindern die Lochleibungsfestigkeit des Holzes erreicht, so daß weitere Laststeigerungen nun von den dann steiferen Verbindern im Mittelbereich des Anschlusses übertragen werden und damit ein Ausgleich zwischen den zuvor ungleichmäßig belasteten Verbindern stattfindet. Haben alle Verbinder ihre Höchstlast erreicht, ist die Lastverteilung zwischen ihnen wieder ausgeglichen und die Gesamtverbindung hat ihre Fließgrenze erreicht. Bedeutet dies nun, daß das Zusammenwirken der einzelnen Verbinder in einem

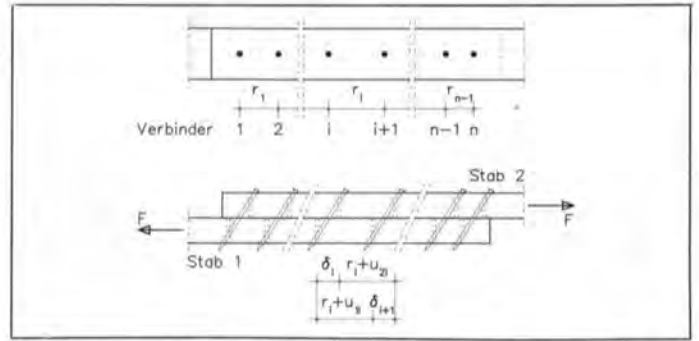


Bild 32: Draufsicht auf den unverformten (oben) und Längsschnitt durch den verformten (unten) Anschlußbereich

Anschluß gar keine Auswirkungen auf die Tragfähigkeit der Gesamtverbindung hat, da im Bruchzustand ohnehin alle Verbinder ihre Fließgrenze erreicht haben? Versuchsergebnisse verschiedener Forscher (Potter 1969; Nozynski 1980; Masse et al. 1989) deuten darauf hin, daß die Traglast pro Verbinder mit steigender Anzahl der in einem Anschluß in Krafrichtung hintereinander angeordneten Verbindungsmittel zum Teil deutlich abnimmt. Die Ursache hierfür ist, daß in vielen Verbindungen als Versagensart nicht das Erreichen einer Fließgrenze auftritt, sondern daß die Tragfähigkeit schon vorher durch ein Aufspalten des Holzes erreicht wird. Dies hat zur Folge, daß die mögliche Tragfähigkeit der Verbindung nicht erreicht wird, weil die Last-Verschiebungskurven vor Erreichen der Höchstlast abbrechen oder abknicken und dadurch ein Ausgleich der Lasten zwischen den einzelnen Verbindern nur noch begrenzt möglich ist. Sind zusätzlich Herstellungstoleranzen vorhanden, wie dies z. B. bei Bolzenverbindungen mit übergroßen Löchern oder Verbindungen mit Einlaßdübeln unvermeidlich ist, so verschlechtert dies die Situation noch weiter: durch den unterschiedlichen Anfangsschlupf der einzelnen Verbinder ist die Lastverteilung zwischen ihnen sehr ungleichmäßig. Dies kann dazu führen, daß einzelne Verbinder ihre Höchstlast schon fast erreicht haben, wenn andere in derselben Verbindung wegen eines größeren Schlupfes gerade erst mit der Lastübertragung beginnen.

Ein wirklichkeitsnahes Konzept, welches das Zusammenwirken einzelner Verbinder in mechanischen Holzverbindungen erfassen soll, muß daher in der Lage sein, neben den unterschiedlichen Längsdehnungen der miteinander verbundenen Bauteile auch die Einflüsse aus Herstellungstoleranzen und tatsächlichem Verlauf der Last-Verschiebungsbeziehungen zu berücksichtigen. Ein Modell zur Berechnung der Lastverteilung in Bolzenverbindungen wurde von Wilkinson (1986) vorgestellt. Kennt man den Verlauf der Last-Verschiebungskurven der einzelnen Verbinder in einem Anschluß – wegen der streuenden Materialeigenschaften des Holzes variieren diese auch innerhalb einer Verbindung –, läßt sich mit diesem Modell die Lastverteilung in der Gesamtverbindung bis zum Bruch berechnen. Ein Beispiel für die Anwendung dieses Modells auf Nagelverbindungen zeigen **Bild 33 bis 35**. In **Bild 33** sind Last-Verschiebungskurven aus Zugversuchen mit demselben Prüfkörper und jeweils einem Nagel als Verbindungsmittel dargestellt. Solche Last-Verschiebungskurven wurden dann als Eingangswerte für das oben genannte Modell verwendet und diejenige Lastverteilung berechnet, die sich in der Verbindung eingestellt hätte, wenn alle 10 Nägel gemeinsam an der Lastübertragung beteiligt gewesen wären. **Bild 34** zeigt ein sehr gleichförmiges Verhalten der einzelnen Nägel, während in **Bild 35** zwei Nägel deutlich höhere Lasten übertragen als die übrigen Nägel in der Verbindung. Die Ursache für diese höheren Lasten war im vorliegenden Fall die Tatsache, daß diese beiden Nägel jeweils einen Ast im Mittel- oder Seitenholz durchdrangen und wegen der höheren Rohdichte des Astholzes auch höhere Bruchlasten aufwiesen.

Gegenwärtig ist in Zusammenarbeit mit Forintek Canada Corp. ein Forschungsvorhaben in Bearbeitung, das auf wahrscheinlichkeitsorientierter Grundlage zu einer wirklichkeitsnäheren Beurteilung

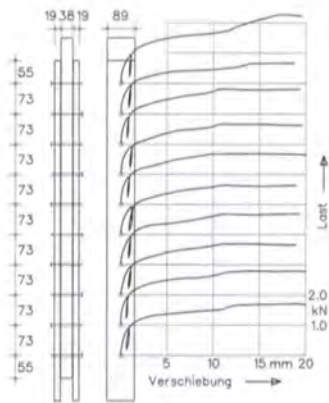


Bild 33: Last-Verschiebungskurven aus zehn Versuchen mit jeweils einem Nagel als Verbindungsmittel

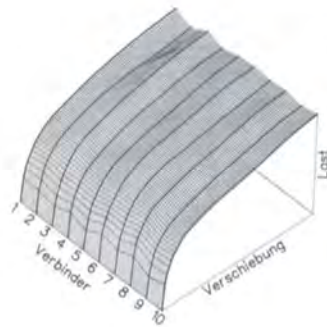


Bild 34: Rechnerische Lastverteilung im Anschluß mit zehn Nägeln – Beispiel für gleichförmige Last-Verschiebungskurven

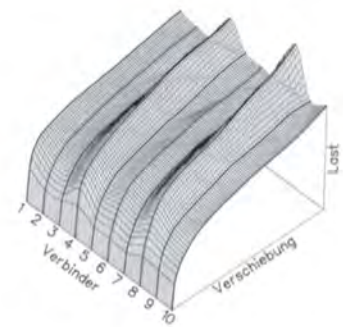


Bild 35: Rechnerische Lastverteilung im Anschluß mit zehn Nägeln – Beispiel für ungleichförmige Last-Verschiebungskurven

lung von mechanischen Holzverbindungen mit mehreren Verbindungsmitteln führen soll. Zur Ableitung von Bemessungsfaktoren, die den Einfluß der Anzahl der Verbindungsmittel im Anschluß berücksichtigen, ist das Vorhaben in folgende Teiluntersuchungen gegliedert:

- Ermittlung der Variation des Last-Verschiebungsverhaltens innerhalb von Verbindungen (Blass, 1990a)
- Ermittlung der Variation des Anfangsschlupfes infolge Herstellungstoleranzen innerhalb von Verbindungen mit Bolzen oder Einlaßdübeln
- Herleitung eines Rechenmodells, das neben den Längsdehnungen der Bauteile, den Herstellungstoleranzen und unterschiedlichen Last-Verschiebungskurven im Anschluß auch den Einfluß plastischer Verformungen bei wiederholter Be- und Entlastung auf die Lastverteilung berücksichtigt (Blass, 1990b)
- Simulation einer Vielzahl von Verbindungen mit unterschiedlicher Verbindungsmittelanzahl unter Berücksichtigung der Korrelation der Kennwerte der Last-Verschiebungsbeziehungen im Anschluß
- Berechnung der Bruchlasten der simulierten Verbindungen mit dem Rechenmodell und daraus Ermittlung charakteristischer Werte der Traglast für Verbindungen mit unterschiedlicher Verbindungsmittelanzahl
- Ableitung von Bemessungsfaktoren durch einen Vergleich der charakteristischen Werte in Abhängigkeit von der Anzahl der Verbindungsmittel im Anschluß

Obwohl die Untersuchung noch nicht abgeschlossen ist, zeigen erste Ergebnisse, daß sich die folgenden Maßnahmen bei der Konstruktion und Herstellung von mechanischen Holzverbindungen positiv auf das Last-Verschiebungsverhalten und die Traglast auswirken:

- Verwendung von dünnen, schlanken Verbindern mit einem ausgeprägt plastischen Verhalten im Bruchzustand

- Verringerung von Querkzug- bzw. Spaltkräften z. B. durch das Vorbohren von Nagelverbindungen
- Wahl größerer Verbindungsmittelabstände vor allem in Faserichtung und zwar untereinander und vom Rand
- Verwendung von Material hoher Querkzugfestigkeit, z. B. Sperrholz oder Kreuzlagenholz
- Verstärkung der Anschlußbereiche durch aufgeleimte Sperrhölzer
- Verwendung von Knotenplatten mit absperrender Wirkung, z. B. Sperrholz oder Stahl
- Vermeidung von Herstellungstoleranzen durch präzises Bohren oder Fräsen z. B. durch computergesteuerte Bohr- bzw. Fräsmaschinen
- Vermeidung übergroßer Bohrlöcher bei vorgebohrten Verbindungen.

4 Materialprüfung und Qualitätssicherung

4.1 Ingenieurholzbau

Ein umfangreiches Betätigungsfeld sind die Vorbereitung von Prüfungen und deren Durchführung im Labor sowie die Erstellung von Prüfzeugnissen, wobei in der Regel das Trag- und Verformungsverhalten von Bauteilen, Verbindungen oder Verbindungsmitteln untersucht und dokumentiert wird.

An die Prüfungen werden die unterschiedlichsten Anforderungen gestellt: Die Klimatisierung der Prüfkörper hat gerade bei Holz und Holzwerkstoffen einen signifikanten Einfluß auf die Prüfergebnisse, bestimmte Lagerbedingungen müssen eingehalten werden, und Größe, Richtung und Geschwindigkeit der Belastung bzw. der Lastkombinationen sind äußerst vielfältig und erfordern häufig die Konstruktion spezieller aufwendiger Prüfvorrichtungen. Die **Bilder 36, 37** zeigen beispielhaft unterschiedliche Versuchsanordnungen zur Aufbringung von Scherbeanspruchungen.



Bild 36: Zugscherkörper – Prüfung einer Stahlblech-Holz-Nagelverbindung



Bild 37: Vorrichtung zur Prüfung von Nagelverbindungen unter Beanspruchung auf Abscheren, Herausziehen oder einer Kombination beider Lastfälle



Bild 38: Druckscherkörper – Prüfung einer Nagelplattenverbindung

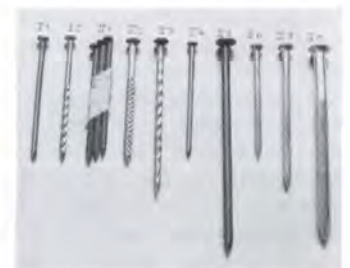


Bild 39: Runde Drahtnägeln nach DIN 1151 und Sondernägeln nach DIN 1052, Teil 2

In vielen Fällen wird die Erlangung einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung angestrebt. Die Prüfergebnisse bilden dabei die Grundlage für die Festlegung zulässiger Beanspruchungen. Beispiele hierfür sind Nagelplatten, Balkenschuhe, neu entwickelte Holzwerkstoffe oder Anschlüsse. Sondernägel (Bild 39) und Klammern waren früher zulassungspflichtig; ihre Verwendung wird jedoch seit April 1988 in DIN 1052, Teil 2 geregelt. Sondernägel werden aufgrund von Prüfungen nach Anhang A der DIN 1052, Teil 2 in eine Tragfähigkeitsklasse eingestuft, für Klammern werden Prüfungen nach Anhang B der DIN 1052, Teil 2 durchgeführt und die Erfüllung der gestellten Anforderungen durch eine Prüfbescheinigung bestätigt. Lediglich für Klammern, die langfristig oder ständig auf Herausziehen beansprucht werden, ist außer der Prüfbescheinigung noch eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung – allerdings weniger umfangreich als früher – erforderlich.

Für die Eignungsprüfungen sind vom Antragsteller Werkszeichnungen mit genauer Form, Abmessungen und Toleranzen der Sondernägel oder Klammern anzuliefern, sowie Angaben über den Werkstoff und die Materialeigenschaften der Rohdrähte und den Korrosionsschutz der Verbindungsmittel zu machen.

Materialprüfung ist die Ermittlung von charakteristischen Eigenschaften wie z. B. Rohdichte, Feuchte, Druck-, Zug-, Biege-, Scherfestigkeit von Holz oder Holzwerkstoffen, Härte, Zug- und Biegefestigkeit der für Verbindungsmittel verwendeten metallischen Werkstoffe und deren Korrosionsschutz, und i. a. existieren hierfür einschlägige Prüfnormen.

Gelegentlich besteht ein Prüfauftrag aus reiner Materialprüfung wie z. B. die Ermittlung der Verleimungsart einer Span- oder Furnierplatte, die Bestimmung der Härte eines Parkettholzes oder die Feststellung der charakteristischen Holzeigenschaften eines Bauteils. Dies sind jedoch Ausnahmen. Beim überwiegenden Teil der Aufträge ist die Materialprüfung zwar unerlässlich zur Beschreibung der Werkstoffe und zur Beurteilung der Prüfergebnisse (ohne die Kenntnis von Rohdichte, Druckfestigkeit und Feuchte des verwendeten Holzes sind die Ergebnisse von Tragfähigkeitsversuchen praktisch wertlos), sie nimmt jedoch nur einen kleinen Teil des gesamten Prüfvolumens ein.

Das umfangreiche Gebiet der Qualitätssicherung umfasst neben der laufenden Kontrolle der in Zulassungsbescheiden festgelegten Werte und Angaben (z. B. Holzschalungsträger), die Fremdüberwachung bei Fertighausfirmen, bei den Nagelplattenherstellern und -verwendern und den Holzleimbaubetrieben.

Für die Leimbaufirmen wurde von der Studiengemeinschaft Holzleimbau e. V., Düsseldorf, zur Sicherung eines qualitativ hochwertigen Holzleimbaues bereits im Jahre 1965 ein Gütezeichen beantragt, das an die Firmen, die sich einer verschärften Gütekontrolle unterwerfen, verliehen werden kann. Diese Firmen, die verleimte tragende Holzbauteile nach DIN 1052 im eigenen Betrieb herstellen und den Nachweis der Eignung zum Leimen tragender Holzbauteile nach den bauaufsichtlichen Vorschriften erbracht haben, unterwerfen sich zusätzlich halbjährlichen Prüfungen, in denen sowohl die betrieblichen Voraussetzungen (Holztrocknungsanlagen, Maschinen, Produktionsräume, Preßwerkzeuge, Fachpersonal) als auch die Durchführung der laufenden innerbetrieblichen Qualitätskontrolle und die Herstellung von Holzleimbauteilen überwacht werden. In jedem wichtigen Arbeitsgang sind Kontrollen mit Aufzeichnungen vorgeschrieben. An die Gütesortierung des Holzes, Festigkeit der Leimverbindung und die Güte der Bearbeitung werden strenge Anforderungen gestellt. Ähnlich sind auch die Prüfbedingungen für die in der Gütegemeinschaft Deutscher Fertighaus e. V., Stuttgart, und in der Bundes-Gütegemeinschaft Montagebau und Fertighäuser e. V., Hamburg, aufgenommenen Firmen, die vorgefertigte Wand-, Decken- und Dachtafeln herstellen. Hier wird bei der Fremdüberwachung besonders auf den Feuchtegehalt des Vollholzes beim Einbau, die normgerechte Kennzeichnung der Holzwerkstoffe, der Gipskartonplatten, der Holzwolleleichtbauplatten und der Dämmstoffe geachtet. Verbindungsmittel dürfen nur dann als tragend angenommen werden, wenn sie den Normen entsprechen oder wenn

für sie eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung vorliegt. Hinsichtlich der Dampfsperren sind strenge Dickenangaben vorgegeben. Auf den normgerechten Holzschutz wird besonders geachtet.

Betriebe, die Nagelplattenprodukte fertigen, haben sich in der Gütegemeinschaft Nagelplattenverwender e. V., Koblenz, zusammengeschlossen und unterwerfen sich einer zweimal jährlichen Fremdüberwachung auf der Grundlage der gegenüber DIN 1052, Teil 2 verschärften Güte- und Prüfbestimmungen für Nagelplattenprodukte.

4.2 Baukonstruktionen

Vom Ordinarius des Lehrstuhls für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen und Mitglied der kollegialen Leitung der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine werden, wie in den Namenstiteln schon ausgedrückt, nicht nur die Aufgabengebiete Ingenieurholzbau bzw. Holz in Lehre, Forschung und Materialprüfung wahrgenommen, sondern gleichermaßen auch das breitgefächerte Gebiet der Baukonstruktionen bzw. der Steine.

Die – gegenüber dem Ingenieurholzbau kleinere – Abteilung Baukonstruktionen beschäftigt sich sowohl mit den mechanisch-technologischen Eigenschaften von mineralischen Baustoffen wie Natursteine, künstliche Steine (Mauerziegel, Dachziegel, Keramikplatten), Schonsteinbaustoffe (Schamotteinnenrohre, Wärmedämmstoffe, Leichtbetonformstücke) und Mauerwerk als auch mit der Untersuchung der Verformungseigenschaften, der Tragfähigkeit, der Gebrauchsfähigkeit und Stabilität von Bauteilen, wie z. B. Trag- und Fassadengerüste, Gerüstbauteile, Hausschornsteine einschließlich Reinigungsverschlüsse und Dacheindeckungselemente.

Neben einer vergleichsweise in kleinerem Umfang betriebenen Forschung mit Vorhaben wie z. B. »Ermittlung von Kenndaten für Schornsteinbaustoffe« oder »Vergleichende Brandversuche an Hausschornsteinen« kommt vor allem der Qualitätssicherung eine dominierende Bedeutung zu. Diese im Auftrag der Bauaufsichtsbehörden, der Industrie oder im Auftrag von Güteschutzgemeinschaften durchgeführte Qualitätssicherung oder auch Güteüberwachung erstreckt sich auf der Grundlage von abgeschlossenen, teilweise bauaufsichtlich geforderten Überwachungsverträgen im wesentlichen auf Fertigungsüberwachungen von Gerüstbauteilen (Baustützen, Spindeln) Mauerziegeln, vorgefertigten Mauerwerkswänden, Schornsteinformstücken, Dämmstoffen und Reinigungsverschlüssen. Daneben steht für vorgenannte Baustoffe oder Bauteile die Durchführung von Zulassungsprüfungen, welche als Brauchbarkeitsnachweise im Zusammenhang mit der Erteilung von bauaufsichtlichen Zulassungen erforderlich sind. Dies kann selbstverständlich auch bei der Erteilung von sog. Genehmigungen im Einzelfall durch die Bauaufsicht notwendig sein.

Die auf der Grundlage von Normen und Richtlinien oder genehmigten und abgestimmten Prüfprogrammen im Labor oder auch auf Baustellen durchzuführenden Materialprüfungen und in Ergänzung hierzu auch Konstruktionsprüfungen dürfen jedoch kein Eigenleben führen, sondern müssen stets im funktionellen Zusammenhang mit der Forschungstätigkeit gesehen werden. Daneben ist die Mitarbeit auf den Fachgebieten »Mauerwerksbau« und »Hausschornsteine« in Sachverständigenausschüssen des Instituts für Bautechnik, Berlin, sowie bei der Erarbeitung von nationalen und internationalen Baustoff-, Bemessungs- und Prüfnormen, Vorschriften und Richtlinien z. B. CEN TC 125 »MASONRY« und CEN TC 166 »CHIMNEYS« gefordert.

Die Aufklärung von Schadensfällen z. B. an Mauerwerk aus Natursteinen oder Mauerziegeln oder an Schornsteinanlagen, die auch als gutachterliche Tätigkeit für Streitfälle bei Gericht angelegt sein kann, gehört selbstverständlich ebenso zum Arbeitsgebiet der Baukonstruktionen wie eine entsprechende Beratungstätigkeit.

Literatur

- Barrett, J. D.; Foschi, R. O.; Fox, S. P. (1975): Perpendicular-to-grain strength of Douglas-fir. *Canadian Journal of Civil Engineering* 2 (1): 50–57.
- Belchior-Gaspard et al. (1987): Karlsruher Forschung im Ingenieurholzbau 1987. *bauen mit holz* 89 (6–8): 384–391, 450–456, 504–512.
- Blass, H. J. (1990): Untersuchungen über die Variation des Last-Verhaltens in Nagelverbindungen – Variation in Faserrichtung. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 48: 327–332.
- Blass, H. J. (1991): Untersuchungen zur Lastverteilung in Nagelverbindungen. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 49: 21–26.
- Colling, F. (1986a): Einfluß des Volumens und der Spannungsverteilung auf die Festigkeit eines Rechteckträgers. *Holz als Roh- und Werkstoff* 44: 121–125, 179–183.
- Colling, F. (1986b): Influence of volume and stress distribution on the shear-strength and tensile-strength perpendicular to grain. *CIB-W 18 Paper*, 19-12-3, Florenz, Italien.
- Colling, F. (1990): Tragfähigkeit von Biegeträgern aus Brettschichtholz in Abhängigkeit von den festigkeitsrelevanten Einflußgrößen. Dissertation der Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen der Universität Karlsruhe.
- Cramer, C. O. (1968): Load distribution in multiple-bolt tension joints. *Journal of the Structural Division, ASCE* 94 (ST5): 1101–1117.
- Deutsches Institut für Normung (1988): DIN 1052 Teil 1 »Holzbauwerke; Berechnung und Ausführung«, Ausgabe 04.88, Berlin.
- Ehlbeck, J.; Colling, F. (1987): Die Biegefestigkeit von Brettschichtholzträgern in Abhängigkeit von den Eigenschaften der Brettlamellen. *bauen mit holz* 89 (10): 646–655.
- Ehlbeck, J.; Colling, F.; Görlacher, R. (1985): Einfluß keilgezinkter Lamellen auf die Biegefestigkeit von Brettschichtholzträgern, *Holz als Roh- und Werkstoff* 43: 333–337, 369–373, 439–442.
- Ehlbeck, J.; Colling, F.; Wenz, J. (1989): Prüfung der Tragfähigkeit von Keilzinkenverbindungen der Lamellen für Brettschichtholz. *Forschungsbericht der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, Abt. Ingenieurholzbau, Universität Karlsruhe*.
- Ehlbeck, J.; Freisels, R.; Hättich, R. (1985): Entwicklung und Prüfung neuer Verbindungsmittel aus Hartholz, Preßschichtholz und ähnlichen holzhaltigen Werkstoffen für tragende Verbindungen im Holzbau. 1. Abschnitt: Mechanische und physikalische Eigenschaften von ausgewählten holzhaltigen Werkstoffen. Karlsruhe, Universität (TH), Forschungsbericht der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, Abt. Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen.
- Ehlbeck, J.; Görlacher, R. (1985): Zum Querschnittsnachweis bei Anschlüssen mittels Stahlblechformteilen. *bauen mit holz* 87 (7): 468–473.
- Ehlbeck, J.; Görlacher, R. (1988): Erste Ergebnisse von Festigkeitsuntersuchungen an altem Konstruktionsholz. *Erhalten historisch bedeutsamer Bauwerke, Jahrbuch 1987 des SFB 315, Ernst & Sohn, Berlin*.
- Ehlbeck, J.; Görlacher, R. (1990): Probleme bei der Beurteilung der Tragfähigkeit von altem Konstruktionsholz. *bauen mit holz* 92 (2): 117–121.
- Ehlbeck, J.; Görlacher, R.; Werner, H. (1989): Determination of perpendicular-to-grain tensile stresses in joints with dowel-type fasteners. *CIB-W 18 Paper 22-7-2, Berlin, DDR*.
- Ehlbeck, J.; Hättich, R. (1987): Über die Erforschung des Trag- und Verformungsverhaltens von Knotenpunkten und Verbindungsmitteln alter Holzkonstruktionen. *Jahrbuch 1986 des SFB 315, Ernst & Sohn, Berlin*.
- Ehlbeck, J.; Hättich, R. (1989): Tragfähigkeit und Verformungsverhalten von ein- und zweischneitig beanspruchten Holznägeln. *Jahrbuch 1988 des SFB 315, Ernst & Sohn, Berlin*.
- Ehlbeck, J.; Werner, H. (1988): Untersuchungen über die Tragfähigkeit von Stabdübelverbindungen. *Holz als Roh- und Werkstoff* 46 (8): 281–288.
- Ehlbeck, J.; Werner, H. (1989): Tragverhalten von Stabdübeln in Brettschichtholz und Vollholz verschiedener Holzarten bei unterschiedlichen Riblinienanordnungen. *Forschungsbericht der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, Abt. Ingenieurholzbau, Universität Karlsruhe*.
- Görlacher, R. (1987): Zerstörungsfreie Prüfung von Holz: Ein »in-situ«-Verfahren zur Bestimmung der Rohdichte. *Holz als Roh- und Werkstoff* 45: 273–278.
- Görlacher, R.; Hättich, R. (1990): Untersuchung von altem Konstruktionsholz: Die Bohrwiderstandsmessung. *bauen mit holz* 92 (6): 455–459.
- Hilson, B. O.; Whale, L. R. J.; Pope, D. J.; Smith, I. (1987): Characteristic properties of nailed and bolted joints under short term lateral load. Part 3 – Analysis and interpretation of embedment test data in terms of density related trends. *Journal of the Institute of Wood Science* 11 (2): 65–71.
- Johansen, K. W. (1941): Forsoeg med traeforbindinger. *Bygningsstatistiske Meddelelser* No. 2.
- Johansen, K. W. (1949): Theory of Timber Connections. *International Association for Bridge and Structural Engineering* Vol. 9: 249–262.
- Kolb, H.; Frech, P. (1975): Biegeversuche zur Ermittlung der Querschnittsfestigkeit von gekrümmten Trägern aus Brettschichtholz. *Prüfbericht Nr. H 30667, FMPA Stuttgart*.
- Kommission der Europ. Gemeinschaften (1987): EUROCODE 5, Gemeinsame einheitliche Regeln für Holzbauwerke (1. Entwurfsfassung).
- Lantos, G. (1969): Load Distribution in a Row of Fasteners Subjected to Lateral Load. *Wood Science* 1 (3): 129–136.
- Masse, D. I.; Salinas, J. J.; Turnbull, J. E. (1989): Lateral strength and stiffness of single and multiple bolts in glued laminated timber loaded parallel to grain. *Contribution No. C-029, Engineering and Statistical Research Centre, Research Branch, Agriculture Canada, Ottawa, Ontario*.
- Möhler, K.; Ehlbeck, J. (1971): Versuche über das Trag- und Formänderungsverhalten von Ringkeil-Dübelverbindungen in Brettschicht-Hirnholz-Anschlüssen. *bauen mit holz* 73 (9): 430–432.
- Möhler, K.; Hemmer, K. (1979): Hirnholzdübelverbindungen bei Brettschichtholz. Karlsruhe, Universität (TH), Forschungsbericht der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, Abt. Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen.
- Möhler, K.; Lautenschläger, R. (1978): Großflächige Queranschlüsse bei Brettschichtholz. *Forschungsbericht des Lehrstuhls für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen, Universität Karlsruhe*.
- Möhler, K.; Siebert, W. (1981): Queranschlüsse bei Brettschichtträgern oder Vollholzbalken. *bauen mit holz* 83 (2): 84–89.
- Nozynski, W. (1980): Investigation on the effect of nails number in a joint on its load carrying ability. *Paper 13-7-2, Proceedings, CIB-W 18 Meeting, Otaniemi, Finland*.
- Potter, F. H. (1969): The strength and stiffness of multiple-nailed joints. *Proceedings, International Union of Forestry Research Organizations, Working Group on Structural Utilization, London, United Kingdom, Volume 1: 107–122*.
- Rodd, P. D.; Anderson, C.; Whale, L. R. J.; Smith, I. (1987): Characteristic properties of nailed and bolted joints under short term lateral load. Part 2 – Embedment test apparatus for wood and wood-based sheet material. *Journal of the Institute of Wood Science* 11 (2): 60–64.
- Smith, I.; Whale, L. R. J. (1984): Mechanical properties of nails and their influence on mechanical properties of nailed timber joints subjected to lateral loads. *Paper 17-7-1, Proceedings, CIB-W 18 Meeting, Rapperswil, Switzerland*.
- Smith, I.; Whale, L. R. J. (1985): Mechanical properties of nails and their influence on mechanical properties of nailed timber joints subjected to lateral load. Part 1. Background and tests on nails of UK origin. *Research Report 4/85, Timber Research and Development Association, High Wycombe, Buckinghamshire, United Kingdom*.
- Smith, I.; Whale, L. R. J. (1985): Mechanical properties of nails and their influence on mechanical properties of nailed timber joints subjected to lateral load. Part 2. Tests on nails of mainland-European origin, comparison of results with those for nails of UK origin and conclusions. *Research Report 9/85, Timber Research and Development Association, High Wycombe, Buckinghamshire, United Kingdom*.
- Smith, I.; Whale, L. R. J. (1987): Characteristic properties of nailed and bolted joints under short term lateral load. Part 1 – Research philosophy and test programme. *Journal of the Institute of Wood Science* 11 (2): 53–59.
- Steck, G.; Görlacher, R. (1987): Methoden zur zerstörungsfreien und zerstörungssarmen Prüfung von Bauholz – eine Literaturlauswertung. *Erhalten historisch bedeutsamer Bauwerke, Jahrbuch 1986 des SFB 315, Ernst & Sohn, Berlin*.
- Whale, L. R. J.; Smith, I. (1986): Mechanical joints in structural timber – information for probabilistic design. *Research Report 17/86, Timber Research and Development Association, High Wycombe, Buckinghamshire, United Kingdom*.
- Whale, L. R. J.; Smith, I. (1986): The derivation of design clauses for nailed and bolted joints in Eurocode 5. *Paper 19-7-6, Proceedings, CIB-W 18 Meeting, Florence, Italy*.
- Whale, L. R. J.; Smith, I.; Hilson, B. O. (1989): Characteristic properties of nailed and bolted joints under short term lateral load. Part 4. The influence of testing mode and fastener diameter upon embedment test data. *Journal of the Institute of Wood Science* 11 (5): 156–161.
- Wilkinson, T. L. (1986): Load Distribution among Bolts Parallel to Load. *Journal of Structural Engineering* 112 (4): 835–852.