

Untersuchung der dynamischen und duktilen Eigenschaften von mechanischen Verbindungsmitteln im Hinblick auf die Beschreibung der Eigenschaften in den europäischen Regelwerken (EC 8)

T 2616

T 2616

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Die Originalmanuskripte wurden reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00
Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de



Abschlußbericht für das Forschungs-Vorhaben

**VERGLEICHENDE BETRACHTUNGEN EUROPÄISCHER
BAUPRODUKTEN-NORMEN MIT NATIONALEN BESTIMMUNGEN**

Teilprojekt:

**UNTERSUCHUNG DER DYNAMISCHEN UND DUKTILEN
EIGENSCHAFTEN VON MECHANISCHEN VERBINDUNGSMITTELN IM
HINBLICK AUF DIE BESCHREIBUNG DER EIGENSCHAFTEN IN DEN
EUROPÄISCHEN REGELWERKEN (EC 8)**

Forschungsleiter: Prof. Dr.-Ing. Klausjürgen Becker
Sachbearbeiter: Dipl.-Ing. Helmut Zeitter
Forschungsstelle: Technische Hochschule Darmstadt
Fachgebiet Holzbau
Alexanderstr. 35
6100 Darmstadt

Juni 1993

GLIEDERUNG

- 1 Einleitung**
- 2 Zielsetzung**
- 3 Untersuchungsmethodik**
 - 3.1 Literaturlauswertung
 - 3.2 Konzept zur Einarbeitung in die Normung
- 4 Mechanische Verbindungsmittel**
 - 4.1 Materialien
 - 4.2 Nägel
 - 4.2.1 Glatte Nägel
 - 4.2.2 Oberflächenbehandelte und profilierte Nägel
 - 4.3 Klammern
 - 4.4 Schrauben
 - 4.5 Stabdübel und Bolzen
 - 4.6 Sonderdübel
 - 4.7 Nagelplatten
 - 4.8 Andere Verbindungsmittel
 - 4.9 Tabellarische Übersicht
- 5 Zusammenfassung und Ausblick**
- 6 Literatur**

Die Bemessung von Holzbauwerken unter Erdbebenlasten, insbesondere nach dem neuesten Entwurfskriterien des Eurocode 8, erfordert Kenntnisse über die dissipativen Zonen in der Struktur, die über hysteretische und andere Dämpfungsmechanismen in der Lage sind, die von der dynamischen Belastung eingetragene Energie zu vernichten, ohne daß es zu einem Versagen der Struktur kommt. Im Holzbau werden für diese Zonen die Verbindungen der einzelnen Bauglieder herangezogen; im Gegensatz dazu versucht beispielsweise der Stahlbau, die dissipativen Zonen und deren plastische Verformungsreserven in die Bauteile selbst (z.B. die Riegel) zu verlagern. Daher wird die Verbindungsmittel-Technik zu einem zentralen Punkt einer Betrachtung der erdbebenspezifischen Eigenschaften von Holzkonstruktionen.

Die im folgenden getroffenen Aussagen beziehen sich auf eine Betrachtung der Problematik unter dem Aspekt dynamischer und/oder zyklischer Beanspruchung, die sich aus einer gegenseitigen Verschiebung im der verbundenen Bauteile ergibt. Zum Teil werden die für die üblichen Beanspruchungen im elastischen Bereich geltenden Erkenntnisse kurz angesprochen und für den hier betroffenen Bereich erweitert. Die Verformungen gehen dabei u.U. weit über den elastisch anzusehenden Bereich hinaus. Die Art der Verbindungen läßt sich über den Mechanismus unterscheiden, der für die Übertragung der Lasten von einem zu dem anderen Bauteil verwendet wird. So gibt es Verbindungen (z.B. Bolzen mit Lochspiel und einige Sonderdübelverbindungen), die über reine Lochreibung die Kräfte aus dem und in das Holz übertragen. Bei den meisten stiftförmigen Verbindungsmitteln wird zusätzlich zu dem Scherwiderstand der Verbindungsmittel die Reibung genutzt, die zwischen den Bauteilen vorhanden ist. Die Größe dieser Rei-

bung ist im Hinblick auf den dynamischen zyklischen Lastfall Erdbeben besonders wichtig, da von ihr die Dämpfungseigenschaften der Struktur maßgeblich abhängen. Während der dynamischen Beanspruchung im postelastischen Bereich ändern sich allerdings die Randbedingungen für die Reibung (z.B. Änderung des Anpreßdrucks und der

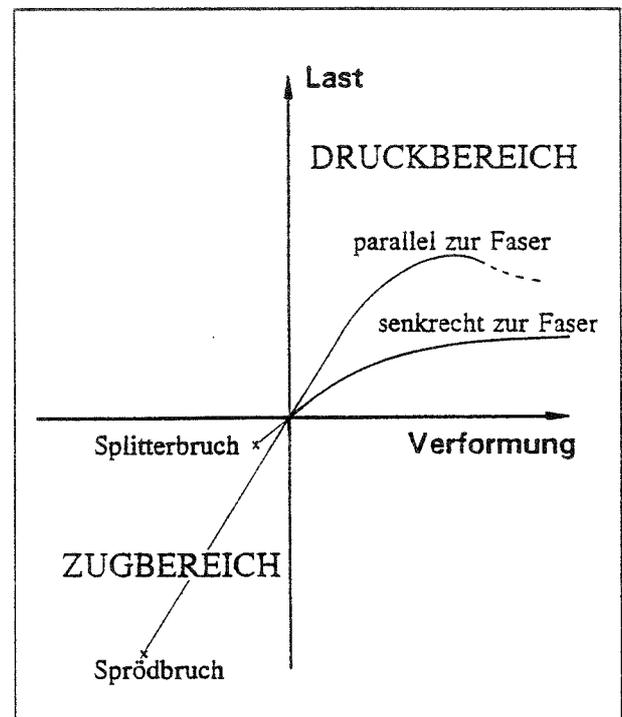


Abb. 1 Bruchverhalten von Holz nach Buchanan

Oberflächenbeschaffenheit). Eine Schraubenverbindung oder eine nach dem Schwinden des Holzes nachgezogene (Paß-) Bolzenverbindung kann diesen Reibungsmechanismus länger aufrecht erhalten als z.B. eine Klammerverbindung oder glattschäftige Nägel. Die höchste Stufe der Reibungsverbindung stellt die Leimverbindung dar, bei der die 'Reibung' auf die innere Reibung des Holzes bzw. die Scherfestigkeit des Werkstoffes gesteigert wird, da die Kohäsions- und Adhäsions-Festigkeiten in der Leimfuge

größer sind als die Festigkeiten des angrenzenden Holzes oder Holzwerkstoffes. Geleimte Verbindungen zeigen daher eine Versagensform, die vom Bruchverhalten des Werkstoffes Holz (siehe Abbildung 1) geprägt wird. Diese Verbindungen sind im Sinne einer dissipativen Zone keine Verbindung mehr, sondern als monolithische Weiterführung der Bauteile aufzufassen. Die Betrachtung geleimter Verbindungen unter zyklischen, dynamischen Lasten kann daher auf ein Minimum reduziert werden. In Kap. 4.8 wird z.B. auf Verbindungen eingegangen, bei denen eine Kombination aus mechanischen Verbindungsmitteln und einer Leimung vorliegt (eingeleimte Gewindestangen, Nagelpreßleimung).

Zimmermannsmäßige Verbindungen bedienen sich hauptsächlich der Lastabtragung über druckbeanspruchte Flächen. Unabhängig von der Größe der Beanspruchung wird für zimmermannsmäßige Verbindungen relevant, daß sie gegen seitliches Verschieben empfindlich sind. Für die Bemessung auf Erdbebenlasten ist daher in der Regel der Nachweis erforderlich, daß die zu verbindenden Bauteile sich im Verlauf des Bebens nicht voneinander separieren und jederzeit die Lastabtragung gewährleisten bleibt. Unter anderem infolge der vertikalen Beschleunigungskräfte können Druckglieder kurzzeitig auf Zug belastet werden. In der Praxis erfolgt diese Lagesicherung meist wiederum

über mechanische Verbindungsmittel (Nägel). Ferner sind zimmermannsmäßige Verbindungen in ihrer Vielfältigkeit so gut wie gar nicht erfaßbar. Insbesondere im Hinblick auf die Tatsache, daß die Verbindungen in den Ländern des Geltungsbereiches des Eurocode auch sehr unterschiedlich verbreitet sind, wird die Erarbeitung normativer Vorschriften unter Beachtung der jeweiligen Relevanz in übersichtlicher Form stark erschwert. In Bezug auf die Normung sollten daher die entsprechenden Regelungen für die zimmermannsmäßigen Verbindungen den nationalen Autoritäten vorbehalten bleiben. Ein allgemeiner Hinweis in der Norm auf die o.g. Prinzipien muß in diesem Fall genügen.

Weiterhin werden vorgefertigte Befestigungsmittel (Balkenschuhe, Stützenfüße usw.) wegen der großen Produktvielfalt und der sehr unterschiedlichen Anwendungsbereiche nicht berücksichtigt, obwohl deren Verhalten für einige Details sicher sehr wichtig ist. Die später aufgeführten Kriterien zum Material sind aber selbstverständlich auch für diese Verbindungsteile gültig.

Für die übrigen Verbindungsmittel, die das sie umgebende Holz bzw. den Holzwerkstoff im weitesten Sinne auf Leimung beanspruchen, muß noch differenziert werden, welcher der o.g. Mechanismen zur Lastweiterleitung tatsächlich wirkt.

2 ZIELSETZUNG

Die Ergebnisse sollen Grundlagen und Hintergrundinformationen für die Bearbeitung des Eurocode 8, Teil 1.3, Kapitel 5 bereitstellen. Die Betrachtungen beziehen sich auf die Eigenschaften der o.g. Verbindungsmittel unter dynamischen respektive zyklischen quasi-statischen Lasten mit großen Amplituden in Form eines Bewertungskataloges. Aus

den bisherigen Forschungen zum Verhalten der Verbindungsmittel gehen kaum Aussagen über das postelastische Verhalten hervor. Eine umfangreiche Studie der einschlägigen Literatur und Forschungsergebnisse unter Einbeziehung verschiedener nationaler Normen aus dem europäischen und außereuropäischen Ausland war daher notwendig, um

für die Europäische Normung konsistente Information hinterlegen zu können. Die Notwendigkeit einer übersichtlichen Darstellung des Status Quo auf diesem Wissensgebiet ergibt sich auch aus der zunehmenden Zahl der Nachfragen entsprechender Konstruktionen in deutschen Erdbebengebieten.

Da die konkrete Bearbeitung des Kapitels 5 im Teil 1.3 des Eurocode 8 zum Zeitpunkt dieses Abschlußtermins bereits weitgehend abgeschlossen ist (die noch vom SC 8 zu ratifizierende Fassung für den ENV liegt bereits vor), orientiert sich das Vorhaben abweichend von den im Antrag aufgeführten Zielen an der Bereitstellung der notwendigen Hintergrundinformationen. Die Regelungen, die in dieser ENV-Fassung vom Juni 1993 getroffen werden, bedürfen einer Erläuterung

3 UNTERSUCHUNGSMETHODIK

3.1 LITERATURAUSWERTUNG

Die aus der Literaturrecherche hervorgehenden Daten und Zusammenhänge müssen im Hinblick auf die Anwendung und Übertragbarkeit überprüft werden. Viele der vorliegenden Veröffentlichungen beziehen sich auf Lastfälle, die andere Schwerpunkte bei der Bemessung der Verbindungsmittel setzen als die im Zusammenhang mit der Erdbebenbemessung bestehenden Randbedingungen. So sind die in Deutschland gängigen Verbindungsmittel durch deren Bauaufsichtliche Zulassungen oder deren Fertigung nach den entsprechenden DIN-Regelwerken eingeführt. Der Aspekt der zyklischen Verformung bei großen Amplituden war für diese Einführung nicht notwendig; daher wurden praktisch bisher keine aussagefähigen Versuche gemacht, so daß selbstverständlich auch keine geeignete Prüfnorm existiert. Aus den bestehenden Werten für die Verbindungsmittel kann daher nur bedingt auf deren Ei-

in dem Sinne, welche Verbindungsmittel explizit in der Norm genannt werden müssen und für welche eine allgemeine Angabe der Eigenschaften ausreicht. In beiden Fällen erscheint es sinnvoll, daß für die Bandbreite der Verbindungsmittel der Stand des Wissens prägnant dargestellt wird. Für vertiefende Problemstellungen sei darauf verwiesen, daß ein ausführliches Literaturverzeichnis (Kap. 6) weiterführende Stellen enthält.

Eine Kategorisierung der Verbindungsmittel hinsichtlich ihrer Eigenschaften setzt einheitliche Maßstäbe für deren Bewertung voraus. In Kap. 4 sollen, bevor auf die einzelnen Verbindungsmittel eingegangen wird, die Kriterien zur Bewertung beschrieben werden. Eine tabellarische Übersicht wird in Kap. 4.9 gegeben.

enschaften unter Erdbebenlasten geschlossen werden. Die Grundlagen (Sicherheitsphilosophie, Bemessungsmodell) für Normen und Regelwerke aus anderen Ländern sind darüberhinaus meist nicht uneingeschränkt identisch mit denen, die für die Eurocodes existieren.

Ehlbeck und *Melchior-Gaspard* geben in [35] einen ausführlichen Überblick über die zum Teil bereits seit vielen Jahren durchgeführten Untersuchungen zu den dynamischen Eigenschaften der Holzkonstruktionen. Diese Literatursammlung bezieht sich aber auf die Dauerschwing- und Schlagfestigkeit der Bauteile, Werkstoffe und Verbindungen. Weder die sehr kleinen Amplituden der Dauerschwingversuche, noch die einmaligen, zum Teil lokal definierten Stoßlasten lassen sich auf die Verhältnisse unter Erdbebenlasten übertragen.

Einige der Veröffentlichungen auf dem Gebiet der Verbindungsmittel beziehen sich auf die Modellierung des Lastverformungsverhaltens unter zyklischen (zum Teil auch dynamischen) Beanspruchungen. Die Zielsetzung dieser Untersuchung war meist die Einbindung des gefundenen Modells in einen Berechnungsalgorithmus zur Kalkulation einer ganzen Struktur mit einer vorgegebenen Bauweise bzw. Verbindungsmitteltechnik. Schwierigkeiten bei der Modellierung macht die Form der Hysterese-Schleifen ('pinched loops'). Hierbei sind *Kivell et. al.* [42], *Loferski/Polensek* [44], *Malhotra/Thomas* [45], *Smith et. al.* [51] und einige Veröffentlichungen von *Foschi* [36,37] zu erwähnen. Für die Berechnung des Lastverformungsverhaltens wurden bei den ersten Modellen Anleihen bei dem Verhalten von Beton unter Schubbeanspruchung genommen, der ähnliche Eigenschaften zeigt. Schnell wurden die Grenzen aufgezeigt und es wurden eigene Modelle entwickelt.

Häufig fand die Modellierung des Verbindungsmittelverhaltens im Zusammenhang mit Untersuchungen an Bauteilen oder ganzen Strukturen statt. Die Verbindung zwischen Bepankung und Holzrahmen für die verschiedenen Bauteile von Strukturen, die über Scheiben ausgesteift sind, lieferte immer wieder die Notwendigkeit, das Verhalten der Verbindungsmittel zu quantifizieren. Meist wurden jedoch nur Modelle für das gesamte Bauteil (z.B. eine Wandscheibe) entwickelt, aus der das reine Verbindungsmittelverhalten nicht gefiltert werden kann. Für die Holztafelbauweise des deutschsprachigen Raumes sind bei *Raschper* [49] entsprechende Modelle zu finden. Die auf dem nordamerikanischen Kontinent verbreitete Holzrahmenbauweise wurde von *Dolan* in [32] betrachtet. Zahlreiche Versuche fanden in Neuseeland statt, deren Bauweisen ebenfalls vergleichbar sind. Dort gehen entsprechende Kriterien

auch in die dortige Erdbeben und Holzbau-normung ein.

Die meisten dieser Veröffentlichungen haben jedoch den Nachteil, daß mit ihrer Hilfe keine vergleichende Bewertung der Verbindungsmittel untereinander möglich wird. Eine Ausnahme diesbezüglich bilden die Veröffentlichungen von *Dean* aus Neuseeland, der ausführliche Untersuchungen über Nagelverbindungen für die Holzrahmenbauweise durchführte [29-31].

3.2 KONZEPT ZUR EINARBEITUNG IN DIE NORMUNG

Im Rahmen des Eurocode 8, der als Bemessungsnorm für Bauwerke in Erdbebengebieten konzipiert ist, können nicht alle Verbindungsmittel mit deren Eigenschaften aufgeführt werden. Aufgrund der Charakteristik des Eurocode 8 als Bemessungs-Regelwerk sollten dort keine Prüfvorschriften gegeben werden. An den Stellen, wo die Eigenschaften eines Bauteiles in die Bearbeitung eingehen wird bei anderen Eurocodes auf zugehörige europäische Prüfnormen verwiesen. Diese Prüfnormen enthalten das Verfahren, mit dessen Hilfe die Eigenschaften quantifiziert und/oder verifiziert werden können oder müssen. Diese übliche Methode war beim Eurocode 8 nur stark eingeschränkt anwendbar. Im Entwurf des Eurocode 8 von 1988 waren bezüglich der Verbindungsmittel Regelungen enthalten, welche Bedingungen (in einer Prüfung) erfüllt sein müssen, damit die Verbindungsmittel für den Anwendungszweck zugelassen werden. Da auf europäischer Ebene derzeit und in absehbarer Zukunft keine Prüfnorm für die relevanten Eigenschaften zu erwarten ist, muß auf diese Bedingung zurückgegriffen werden. Besser wäre es, wenn zu den einzelnen gängigen Verbindungsmitteln die Eigenschaften bereits abgeschätzt und damit die Verbindungsmittel

den entsprechenden Kategorien zugeordnet würden. Aber auch die Beschreibung der Eigenschaften in einem Regelwerk gestaltet sich problematisch. Sofern sich die Notwendigkeit ergibt, können zusätzliche Vorgaben in Form von Anwendungsregeln ('Application rules') eingebracht werden. Da der Eurocode 8 zunächst in der ENV-Version erscheinen wird, bleibt die Möglichkeit einer Ergänzung in dieser Phase erhalten. Als Handwerkszeug für diese Vorgaben innerhalb der Norm stehen beispielsweise die Teilsicherheitsfaktoren zur Verfügung, die

für die Materialseite unter den besonderen Anforderungen eines Erdbebens strenger formuliert werden können.

Weiterhin besteht die Möglichkeit, das noch zu erwartende Nationale Anwendungsdokument (NAD) dahingehend zu nutzen, für verschiedene Verbindungsmittel über Eurocode hinausgehende Maßgaben zu treffen. Der Geltungsbereich dieser Zusätze ist dann auf Deutschland beschränkt und bedarf daher nicht der aufwendigen Abstimmungsarbeit in den europäischen Gremien.

4 MECHANISCHE VERBINDUNGSMITTEL

Folgende Parameter sind für die Eigenschaften hauptverantwortlich:

- Material (Festigkeiten, Verformungseigenschaften)
- Herstellungsverfahren (bei Stahl z.B. kalt- oder warmverformte Produkte)
- Oberflächenbeschaffenheit (Verzinkung, Rauigkeit)
- Einfluß aus Vorbohrung
- Tragmechanismus im Holz (Reibung, Lochleibung usw.)
- Einbindelänge
- Holzdicke der zu verbindenden Holzteile
- Kopfform bzw. Verformungsverhalten im Kopfbereich
- Dämpfungseigenschaften aus Reibung
- Dämpfungseigenschaften aus Material/Tragmechanismus.

Die bereits im Eurocode 5 für stiftförmige Verbindungsmittel berücksichtigten und sich mit den o.g. teilweise überschneidenden Einflußparameter (siehe [17]) sind:

- Lochleibungsfestigkeit der an der Verbindung beteiligten Hölzer und Holzwerkstoffe
- Geometrie der Verbindung
- Biege- und Torsionswiderstand und Durchmesser der Verbindungsmittel

Die Lochleibungsfestigkeit hängt ab von:

- der Rohdichte der Hölzer und Holzwerkstoffe
- dem Verbindungsmitteldurchmesser
- dem Winkel zwischen Kraft- und Faserichtung
- den Verbindungsmittelabständen

Ferner spielt der Regelanwendungsbereich eine Rolle, da beispielsweise eine Klammerverbindung in der Anwendung als Befestigungsmittel zwischen Beplankung und Holzrahmen einer Wandscheibe sehr gute Eigenschaften hat, für biegesteife Verbindungen zweier (kleiner) Holzquerschnitte jedoch wenig geeignet ist. Die Bewertung erfolgt daher jeweils unter Berücksichtigung des Regelan-

wendungsbereiches, ohne diesen genauer zu definieren.

Eng mit den Verhaltenseigenschaften verbunden ist auch die Holzfeuchtigkeit. Schwindprozesse und besonders das Verhalten einer eventuell vorhandenen Beschichtung (Beharzung) hängen stark von der im Holz oder den Holzwerkstoffen enthaltenen Feuchtigkeit ab.

4.1 MATERIALIEN

Der Werkstoff des Verbindungsmittels spielt eine entscheidende Rolle. Die Ermüdungsfestigkeit und Zähigkeit des Verbindungsmittels bei unterschiedlicher Beanspruchung (Abscheren, Zug usw.) beeinflussen maßgeblich die Duktilität. Ein Verbindungsmittel aus einem spröden Werkstoff kann durchaus Teil einer dissipativen Zone mit guten duktilen Eigenschaften sein, vorausgesetzt, daß die dissipativen Mechanismen nicht im Verbindungsmittel untergebracht sind (sondern z.B. im umgebenden Holz) und daß eine Überbeanspruchung des Verbindungsmittels verhindert wird. Für den Werkstoff Stahl werden in den jeweiligen Normen für die Verbindungsmittel keine präzisen Angaben über die zu verwendende Stahlsorte gemacht. Die Vorgaben bestehen meist in Form von Grenzwerten für Festigkeiten. Alle weiteren Eigenschaften (Kohlenstoffgehalt, Sprödigkeit, Oberflächenrauigkeit, Schweißbarkeit) werden dann von den Herstellern nach den Anforderungen des Produktes frei gewählt. Diese Anforderungen bestehen zum einen aus fertigungstechnischen Randbedingungen, die Voraussetzung für eine wirtschaftliche Produktion sind; andererseits fordert der Anwendungsbereich z.T. bestimmte Eigen-

schaften über die nach DIN geforderten Grenzwerte hinaus. Die Oberfläche z.B. muß bei bestimmten Verbindungsmitteln gut verzinkbar sein. Der Verzinkungsprozeß führt jedoch in der Regel zu einer Wasserstoffversprödung des Stahls. Auch der Auszugswiderstand bei einer Verzinkung ändert sich. Bestimmte Imprägnierungen des Holzes zeigen u.U. eine Unverträglichkeit mit dem Material des Verbindungsmittels (Aluminium).

Es ist daher aufgrund der Komplexität der sich gegenseitig beeinflussenden Parameter nicht möglich, für die Verbindungsmittel allgemein gültige Zuordnungen zu bestimmten Stahlsorten zu machen, auch wenn für einige Bereiche Ausschlüsse möglich sind. Folgende Materialien müssen demnach für die Mehrheit der Verbindungsmittel unterschieden werden:

- Grauguß-Stahl: Die Sprödigkeit des Werkstoffes bedingt ein ungünstiges Bruchverhalten. Daher keine Eignung als dissipative Elemente.
- Holz: Für manche Verbindungen werden Holzteile (Ringkeile, Rechteckdübel, Holzdübel) verwendet. Meist werden Harthölzer dafür eingesetzt. Je nach Dimensionierung sind nur begrenzte dissipative Mechanismen aktivierbar.
- Stahl St 37 und St 52: Für diese beiden Werkstoffe sind die Eigenschaften bekannt und im Eurocode 8, Teil 1.3 Kap. 3 geregelt. Für Stabdübel wird meist St 37 verwendet.

- Schrauben-Stahl: Für Sechskantschrauben wird häufig die Festigkeitsklasse 4.6 (4.8) maßgebend, für Bolzen Klasse 3.6. Die höhere Stahlfestigkeit muß jedoch nicht zu einer Verbesserung der Eigenschaften führen. Dies wiederum hängt mit der Schlankheit des Verbindungsmittels zusammen (siehe unten).
- Nageldraht: Für Nägel und Klammern wird ein blank gezogener Walzdraht verwendet, dessen Eigenschaften zu einem großen Teil von dem Herstellungsprozeß bestimmt wird (z. B. 4-fache Kaltverformung bis zum endgültigen Durchmesser).
- Aluminium: Für manche vorgefertigte Stahlteile wird Aluminium oder verwandte Legierungen (nach DIN 4113 Teil 1) eingesetzt. Bei diesen Materialien spielen neben der höheren Zähigkeit auch andere Eigenschaften eine Rolle (z.B. spezielle Schweißtechnik).

4.2 NÄGEL

Das weite Feld der Nägel an dieser Stelle übersichtlich abzudecken, ist fast nicht möglich. Zu viele verschiedene Produkte mit ganz unterschiedlichen Anwendungsbereichen sind auf dem Markt, als daß für alle Nägel Angaben gemacht werden könnten. Die wesentlichen Kriterien lassen sich allerdings definieren. Der Tragmechanismus beruht hauptsächlich auf der Lochleibung des Nagels im Holz bzw. Holzwerkstoff und damit auf der Schubbeanspruchung des Nagels in der Fuge. Dennoch ist es der Biege widerstand des Verbindungsmittels, der bei Nagelversagen

(nicht bei Lochleibungsversagen des Holzes) maßgebend wird. Näheres zur Beschreibung der Bruchursachen und Modelle für den statischen Lastfall findet sich im Eurocode 5, den begleitenden Werken (z.B. *Blaß, Ehlbeck, Werner* in [17]) und in der weiterführenden Verbindungsmittel-Literatur. Trotz der unten aufgeführten negativen Einflußparameter, die zwar signifikante Unterschiede zwischen den unterschiedlichen Nagelverbindungen aufzeigen, kann die Nagelverbindung allgemein in Bezug auf die hysteretisch-dissipativen Eigenschaften sehr gut überzeugen. Selbstverständlich gehen Dimensionierung der Verbindung und Bemessungsschnittgrößen in die Eigenschaften, nicht aber in die Bewertung ein.

Für Nägel gibt es verschiedene Kopfformen, die unterschiedliche Eigenschaften zur Folge haben. Die in der Mehrheit verwendeten Flachköpfe verhindern das Durchziehen auch für zyklische Beanspruchungen, vorausgesetzt, der Kopf wurde nicht bereits beim Einschlagen zu tief unter die Oberfläche getrieben. Bei Verwendung von Holzwerkstoffen, die unter der Oberfläche eine deutlich reduzierte Dichte (z.B. Spanplatten) aufweisen, kann dies insbesondere bei zyklischen Beanspruchungen zu vorzeitigem Versagen durch Durchziehen des Kopfes führen. Bei magazinierten Nägeln kommt es vor, daß aus maschinentechnischen Gründen der Kopf halbmondförmig ausgeschnitten ist. Der Einfluß daraus dürfte jedoch nur marginal sein. Senkköpfe und die bei Drahtnägeln häufigen Stauchköpfe sind etwas empfindlicher gegen Durchziehen und erleichtern so ein direktes Verdrehen des Nagelkopfes; die Doppelkrümmung des Schaftes kann dadurch besonders bei der Befestigung von dünnen Bauteilen (Beplankungen) mit dickeren Nägeln

nicht eintreten und für plastische Verformungsmechanismen sorgen.

In der breiten Mehrheit werden Nägel für einschnittige Verbindungen verwendet. Das kann bei der Bewertung der Kontinuität der Verbindung zu ungünstigem Verhalten führen. Wesentliches Kriterium ist dabei das Verhältnis der Abmessungen der zu verbindenden Holzteile. Wird ein dünnes Bauteil an ein wesentlich dickeres angeschlossen, kann bei richtiger Wahl der Nagelabmessungen (Einschlagtiefe, Durchmesser) wiederum eine hohe Duktilität erwartet werden. Da unter diese Anwendung auch die Verbindung einer Beplankung an den Rahmen von z.B. Wandscheiben fällt, die sehr günstige Eigenschaften haben, kann nicht generell von einem ungünstigen Einfluß der Einschnittigkeit gesprochen werden. Bei zwei und mehrschnittigen Verbindungen sind die Voraussetzungen aufgrund der dort angestrebten Symmetrie prinzipiell günstiger.

Zusätzlich können planmäßig auch Beanspruchungen längs der Nagelachse (Herausziehen) bei entsprechenden Vorgaben aufgenommen werden. Aber auch bei Verbindungsmitteln, die nicht auf Beanspruchungen längs der Nagelachse beansprucht werden dürfen, spielt deren Auszugswiderstand eine wichtige Rolle für das Verhalten unter Erdbelastungen (näheres zu diesem Zusammenhang wird in Kap. 4.9 zum Tragmechanismus erläutert).

Der Einfluß aus Vorbohrung kann folgendermaßen beschrieben werden: Aufgrund der Spaltgefahr bei größeren Durchmessern und dichteren Hölzern ($> 500 \text{ kg/m}^3$) müssen bzw. sollten die Nagellöcher vorgebohrt werden. Die zyklische und/oder dynamische

Beanspruchung bildet in Bezug auf die bereits in Eurocode 5 und DIN 1052 getroffenen Regelungen keine zusätzliche Gefahr.

4.2.1 GLATTE NÄGEL

Für gewöhnliche Nägel (z.B. nach DIN 1151) ohne Profilierung gibt es verschiedene weitere Kriterien, die das Verhalten maßgeblich bestimmen können. Unabhängig vom Material (meist recht zäher Walzdraht) ist die Oberflächenbeschaffenheit von Bedeutung. Blanke, glatte Nägel werden (wenn überhaupt) in der Praxis nur als Sparrennägel mit entsprechend großer Länge und Durchmesser angewendet. Aber selbst bei diesen ist oft ein Teil des Schaftes profiliert (siehe Kap. 4.2.2). Aufgrund der großen Schlankheit dieser Nägel werden sie ferner nachträglich gehärtet. Für den Härtingsprozeß gilt das gleiche wie für die unten aufgeführte Verzinkung. Die Oberflächenrauigkeit wird von dem Herstellungsprozeß beeinflusst. Der Auszugswiderstand ist nicht ausreichend, um in Rechnung gestellt werden zu können. Eine ausgewogene Steuerung des Auszugswiderstandes in Bezug auf eine zyklische Beanspruchung kann jedoch über die Einschlagtiefe erfolgen.

Der Steifigkeitsabfall bei zyklischer Verformung (Degradation) ist im Bereich um die Ausgangslage stark, wird aber durch den Steifigkeitsanwachs im Bereich der letzten Verformungsmaxima gemildert. Die hysteretische Dissipation ist daher bei richtiger Nagelwahl gut. Aufgrund des zähen Grundmaterials haben Nagelverbindungen in der Regel gute Ermüdungseigenschaften. Die Dämpfung aus Reibung wird relativ schnell nach wenigen Zyklen verschwindend gering,

da kein Anpreßdruck mehr vorhanden ist bzw. sich zwischen den Bauteilen eine offene Fuge bildet.

4.2.2 OBERFLÄCHENBEHANDELTE UND PROFILIERTEN NÄGEL

Neben den blanken Nägeln existieren noch profilierte und beschichtete Nägel für Anwendungsbereiche, bei denen planmäßig Kräfte längs der Nagelachse auftreten. Die Beschichtung besteht entweder aus einer Kunststoffbeharzung oder einer Verzinkung.

Die Beharzung wird als Coating (Beschichtung) sowohl auf glatte als auch auf profilierte Verbindungsmittel aufgebracht. Sie dient zwei Zwecken: Der Auszugswiderstand kann dadurch so erhöht werden, daß glatte Nägel auch langfristig mit (relativ geringen) Zugkräften längs der Nagelachse beaufschlagt werden können (siehe jeweilige Zulassungen); ferner dient sie der Verringerung des Eintreibwiderstandes (vorallem bei maschineller Nagelung). Über die langfristige Wirkung (nach Austrocknung und Schwinden des umgebenden Holzes) der Beschichtung ist allerdings nicht genug bekannt, um das Verhalten unter zyklischen Lasten abzuschätzen. Es ist jedoch davon auszugehen, daß die Beharzung "nur einmal" wirkt. Verläßt das im Holz befindliche Verbindungsmittel diese "verklebte" Position und wird zyklisch beansprucht, unterscheidet sich weder Widerstand noch Reibung (und damit die Dämpfung) wesentlich von einem unbeharzten Nagel.

Die Verzinkung (auch aus Korrosionsschutzgründen) bringt zwar eine Änderung der Oberflächen-Rauhigkeit mit sich, die jedoch

nicht zu einer Verwendung bei planmäßiger Zugbeanspruchung herangezogen werden kann. Entscheidender ist jedoch bei der Verzinkung, daß durch den Galvanisierungsprozeß der Rohlinge eine Wasserstoff-Verprödung in den äußeren Schichten des Nagels eintritt. Damit werden die zähen und duktilen Kapazitäten des Nagelrohlings zum Teil wieder vernichtet. Auch bei diesen Verbindungsmitteln wird der Auszugswiderstand im wesentlichen über die Einschlagtiefe gesteuert

Die Eigenschaften glatter, beschichteter Nägel sind mit denen glatter, blanker Nägel vergleichbar. Da die Beschichtung entweder nur im Initialzustand wirkt (s.o. Beharzung) oder nur marginale Unterschiede zu blanken Nägeln bestehen (Verzinkung), sind Duktilitäts-, Dämpfungs- und Ermüdungseigenschaften den blanken Nägeln weitgehend gleichzusetzen. Lediglich die Reibungsdämpfung dürfte etwas höhere Werte liefern.

Die Profilierung der Nägel kann eine für zyklische Beanspruchungen sehr ungünstige Komponente in die Eigenschaften bringen. Je nach der Art der Profilierung (Rillen, Schuppen, Schrauben usw.) und dem Verfahren, mit dessen Hilfe die Profilierung aufgebracht wurde, wird der Schaft sehr kerbempfindlich. Da die meisten Profilierungen in einem Kaltwalz-Prozeß aufgebracht werden, entsteht zusätzlich zu der geometrischen Generierung von Spannungsspitzen eine Schwächung des Materials aufgrund der kristallinen Umlagerungen in den äußeren Bereichen des Schaftes. Ein Versagen an der meistbeanspruchten Stelle (in der Regel der Übergang vom glatten zum profilierten Teil des Nagelschaftes) tritt somit plötzlich ein. Für zyklische Beanspruchungen der Nägel

wird diese Problematik besonders kritisch. In den Versuchen an Wandscheiben mit Rillennägeln als Verbindungsmittel wurde deutlich, daß unter dieser speziellen Beanspruchung das Verhalten der Wandscheiben signifikant weniger duktil war, als bei Verwendung von (beharzten) Klammern als Verbindungsmittel.

Die Länge der Profilierung am Schaft spielt demzufolge eine wichtige Rolle, da die Eigenschaften wiederum gut sein können, wenn die Verformung im Nagel aufgrund der gegenseitigen Verschiebung der verbundenen Bauteile im nicht profilierten Teil des Schaftes stattfindet. Andererseits darf z.B. nach DIN 1052 nur der profilierte Teil des Schaftes als Einschlagtiefe rechnerisch herangezogen werden. Bei profilierten Nägeln wirkt sich eine Verzinkung und die damit verbundene, oben beschriebene Wasserstoffversprödung zusätzlich ungünstig aus.

Von der Kerbempfindlichkeit und der damit verbundenen schlechten Ermüdungsfestigkeit abgesehen gelten für profilierte Nägel die gleichen Aussagen wie oben für beschichtete Nägel.

4.3 KLAMMERN

Das Verhalten von Klammern kann prinzipiell mit dem von dünnen, glatten Nägeln verglichen werden, wobei jeder der beiden Klammerschenkel als ein Nagel betrachtet wird. Es ist jedoch darauf zu achten, daß aufgrund der nahe beieinanderliegenden Schenkel die Spaltgefahr erhöht ist, wenn der Klammerrücken in Faserrichtung verläuft.

Der Haupt-Anwendungsbereich von Klammern liegt in der Verbindung von Beplankungen für aussteifende Scheiben (horizontal und vertikal). Dabei werden die Klammern meist beharzt eingesetzt. Versuche *Becker* und *Zeitter* an Wandelementen [15] und die Erfahrungen aus der Praxis zeigen ein sehr günstiges Verhalten von Klammerverbindungen in diesem Anwendungsbereich.

Aufgrund der zyklischen Beanspruchungen ist ein Durchziehen des Nagelrückens kaum zu erwarten. Voraussetzung ist natürlich, daß die Klammer nicht zu tief eingetrieben wurde und der Kopf bereits die Randfasern des Querschnittes (Holz oder Holzwerkstoff) "durchschnitten" hat. Vielmehr ziehen sich die Klammern so weit aus dem angeschlossenen Bauteil heraus, daß eine Doppelkrümmung in der Klammer möglich wird. Näheres zu den günstigen und ungünstigen Verformungsbildern in einer Verbindung findet sich in Kap. 4.9.

Die von *Werner* und *Siebert* [56] vorgeschlagene Formel zur Bestimmung des Fließmomentes kann genau genommen nicht angewendet werden, da die meisten Klammern im Querschnitt nicht ganz rund gewalzt sind. Für die Einschätzung der Eigenschaften liefert diese Formel allerdings ausreichend genaue Ergebnisse.

Aufgrund der in der Regel angewendeten kleinen Klammerdurchmesser haben sich Klammerverbindungen besonders bei der Beplankungsbefestigung als sehr dissipatives Verbindungsmittel herausgestellt. Bezüglich der Eigenschaften wird Bezug auf das unter Kap. 4.2.1 gesagte genommen.

4.4 SCHRAUBEN

Schrauben werden noch häufiger für einschneidige Verbindungen eingesetzt. Sie zeigen prinzipiell bis 8 mm Durchmesser ein ähnliches Verhalten wie vorgebohrte Nägel. Ab ca. 10 mm Durchmesser entspricht das Verhalten dem von Stabdübel- und Bolzenverbindungen (besonders bei Verwendung von Unterlegscheiben). Ein wichtiger Unterschied besteht jedoch in der Beurteilung der Dämpfung. Aufgrund der Tatsache, daß Schrauben unter zyklischer Belastung einen gewissen Anpreßdruck der verbundenen Bauteile aufrecht erhalten können, geht die Reibung zwischen den Bauteilen nicht nach den ersten postelastischen Zyklen verloren. Die in der Verbindung dissipierbare Energie wird dadurch erhöht. Bezüglich der Verformungseigenschaften sind die gleichen Kriterien aus Durchmesser, Holzdicken und Einbindelänge maßgebend wie bei den Nägeln. Hierbei ist wie bei den profilierten Nägeln auf die Länge des Gewindes bzw. des glatten Teils des Schaftes zu achten. Der Unterschied zwischen dem Durchmesser des glatten Schaftteiles und dem Kerndurchmesser des Gewindes ist wesentlich größer als bei den profilierten Nägeln, so daß die Stellen, an denen sich plastische Verformungen ergeben, bereits gut vorherzusehen sind.

Andererseits ergibt sich aus der Schraubung bezüglich der Kerbwirkung ansatzweise eine ähnliche Problematik wie bei den profilierten Nägeln. Erfahrungen mit verschraubten BFU-Bepankungen bei einem speziell unter Erdbebenaspekten konzipierten Bauwerk auf der schwäbischen Alb [16], zeigten sehr gute Ergebnisse in Bezug auf die duktilen und dissipativen Eigenschaften.

Der Einfluß aus Vorbohrung ist bei einer Schraubenverbindung deutlich größer. Da sie aber prinzipiell vorzubohren sind, kann lediglich darauf verwiesen werden, die in den Regelwerken vorgeschriebenen Bohrdurchmesser und -tiefen genau zu beachten. In diesem Zusammenhang tritt ein weiterer besonders bei den Schrauben wichtiger Parameter hinzu. Die Form des Schraubenkopfes bzw. dessen Detailausführung. Senkköpfe (DIN 97) neigen eher zum Durchziehen als Halbrundköpfe (DIN 96) und Sechskantköpfe (DIN 571); bei entsprechender zyklischer Verdrehung des Schraubenkopfes infolge der Verformung des Schaftes "wandern" die Senkköpfe über Verdrängung der begrenzenden Holzfasern in die Oberfläche hinein, während die Ränder der Rundkopf- und Sechskantschraubenköpfe aufgrund der größeren Auflagefläche umliegende Holzfasern mitbeanspruchen.

Von der Gefahr des Durchziehens oder des Durchstanzens abgesehen spielt die Kopfform eine untergeordnete Rolle, da meist größere Durchmesser als bei Nägeln zum Einsatz kommen und somit die günstige Doppelkrümmung des Schaftes nicht eintritt. Bei Beanspruchung auf Herausziehen wird u.U. eine Unterlegscheibe erforderlich, die die Biegeverformung aus einer Scherbeanspruchung im Bereich des Schraubenkopfes beeinflusst. Dann kommen meist Sechskantschrauben nach DIN 571 zum Einsatz, deren Materialeigenschaften sich aus den Festigkeiten der Klasse 4.6 ergeben. Bei Verwendung von Unterlegscheiben wird das Verhalten dem von Bolzenverbindungen sehr ähnlich (siehe dort).

4.5 STABDÜBEL UND BOLZEN

Stabdübel haben sich in Knotenverbindungen von Rahmentragwerken z.B. in Leimbinderkonstruktionen als sehr duktile Verbindungsmittel herausgestellt, solange deren Durchmesser bis ca. 12 mm beschränkt bleibt. Bei größeren Durchmessern sind immer noch akzeptable Duktilitätsraten aufgrund der Verformungsmechanismen im Holz zu erwarten. Umfangreiche Untersuchungen wurden dazu von *Ceccotti* [21,23,24,27] durchgeführt. Dort findet sich auch eine entsprechende rechnerische Modellierung dieser Verbindungen. Das Optimum der Ausnutzung der Stabdübel- und Paßbolzenverbindungen hinsichtlich ihrer Tragfähigkeit im Bereich der Grenzschlankheit (siehe [17]) liegt auch ungefähr in dem Bereich, der für die Duktilität die besten Voraussetzungen bietet. Die Eigenschaften von Stabdübeln ergeben sich aus den Materialwerten für die Stahlsorte St 37 und der Festigkeitsklasse 3.6 für Bolzen.

Die Klemmwirkung der paßgenauen Bohrung im Holz bei Stabdübeln reicht nur für statische Beanspruchungen aus. Bei dynamischen, mehrachsialen Spannungszuständen, wie sie unter Erdbebenlasten sehr wahrscheinlich auftreten, können sich die zu verbindenden Bauteile leicht voneinander trennen und so die Gesamtstabilität gefährden, sofern anderweitig keine Klemmwirkung vorhanden ist. Es ist daher zu empfehlen, bei duktil ausgelegten Stabdübelverbindungen mindestens ein Drittel der erforderlichen Querschnitte als Paßbolzen auszubilden, die die gleichen Verformungs- und Steifigkeitseigenschaften haben. Ein auch aus anderen Gründen empfohlenes Nachziehen der Verbindung zum Ausgleich der Schwindverfor-

mungen wird auch bei seismischer Gefährdung dringend empfohlen.

Die Dissipation aus Reibungs-Dämpfung kann bei Bolzenverbindung über einen langen Zeitraum aufrecht erhalten werden, sofern die Verbindungen nach den anfänglichen Schwindprozessen nachgezogen werden.

Dübel (bzw. Nägel) aus Holz sind in historischen und auch modernen Konstruktionen wichtige Bestandteile der Tragwirkung. Die Verbindungen sind jedoch meist nicht als zuverlässig duktil zu bezeichnen. Da häufig nur Sicherungsfunktion einer zimmermannsmäßigen Verbindung besteht, und für die anderen Anwendungen keine aussagefähigen Untersuchungen vorliegen, wurde auf Holzdübel in der Übersicht (Kap. 4.9) verzichtet.

4.6 SONDERDÜBEL

Für Dübel besonderer Bauart nach der Zuordnung und Klassifikation, die sich in DIN 1052 findet, ist es sehr schwer, adäquate Aussagen über deren Verhalten im postelastischen Bereich zu machen. Die Hersteller sind aufgrund der Zulassungskriterien nicht gezwungen, die Eigenschaften unter großen Verformungen jenseits der zulässigen Lasten und Verformungen noch zu quantifizieren. Insbesondere Angaben über Versuche mit zyklischen Schwell- und Wechselbelastungen waren nicht zu erhalten. Ferner ist die Bandbreite der unterschiedlichen Dübel recht groß.

Bei fast allen Dübelverbindungen beruht die Kraftübertragung auf einer gegenüber der Stabdübel-, Paßbolzen- oder Bolzenverbindung wesentlich vergrößerten Leibungs-

druckfläche. Um zwei Hölzer miteinander zu verbinden, wird daher immer ein Schraubenbolzen angeordnet, der den Verbleib der Dübel an den eingelassenen und/oder eingepreßten Stellen sichert. Dieser Bolzen kann für die Betrachtung der Eigenschaften unter zyklischen und dynamischen Beanspruchungen aufgrund der Kontinuität der Verbindung entscheidende Reserven in Bezug auf die Versagensverformung bereitstellen.

Häufig werden die Dübel selbst aus spröden Materialien hergestellt. Bei Hartholz-Rechteckdübeln und Einlaß-/Einpreßdübeln aus Leichtmetall- oder Grauguß sind die Materialeigenschaften von sich aus bereits spröde. Das Abscheren der Zähne nach einigen Zyklen verlagert dann die Kraftübertragung ausschließlich auf den Bolzen, der infolge seiner zähen Materialeigenschaften eine (geringere) Kraftübertragung bei großen Verformungen gewährleisten kann. Andere Dübeltypen sind aus gewöhnlichen Stahlsorten hergestellt.

Die Genauigkeit bei der Herstellung der Verbindung (Ausfräsen der Einlassungen, Übereinstimmung der Bohrungsabstände usw.) spielt auch eine wesentliche Rolle. Insbesondere bei der Betrachtung von Verbindungen von Stahlblechen mit Holzteilen unter Verwendung von Dübeln besonderer Bauart werden die einflußnehmenden Parameter unüberschaubar. Entsprechende Untersuchungen wären notwendig, um das Verhalten der wichtigsten Dübeltypen zu erfassen.

4.7 NAGELPLATTEN

Bei den Nagelplatten sind begrifflich die aufgenagelten Laschen aus Stahl, Holz, BFU oder anderen Plattenwerkstoffen von den im englischen Sprachraum "toothplates" genannten Nagelplatten (z.B. Gangnail) zu unterscheiden. Die Eigenschaften der ersteren sind unter den bereits aufgeführten Verbindungsmitteln (Nagelung, Verschraubung, Klammerung, u.U. Verdübelung) erläutert, sofern es sich nicht um die Verbindung von Stahlblechen mit Holz oder Holzwerkstoffen handelt.

Edwards [34] untersuchte die verschiedenen Varianten unter dem Aspekt der zyklischen Eigenschaften. Er kommt dabei zu folgenden Schlüssen:

- Die Energiedissipation pro Zyklus, die Tangentialsteifigkeit und die äquivalente Dämpfung lassen sich aus einfachen Tests ausreichend genau vorher-sagen.
- Nagelplatten aus Stahl haben ein steiferes Verhalten, in der Verbindung neigen aber die Nägel zu Ermüdung.
- Nagelplatten aus Sperrholz zeigen wegen der geringeren Neigung zur Degradation duktilere Eigenschaften als Stahlplatten.
- Gravierende Einflüsse aus Reibung sind auf kleine (Gebrauchs-) Amplituden beschränkt. Bei größeren Amplituden und steigender Zahl der Zyklen verschwindet dieser Einfluß fast völlig.

- Auch für Nagelplatten ist die Beanspruchungsrichtung zur Faserrichtung in die Rechnung einzubeziehen, da die Nageleigenschaften bekanntlich stark von der Faserrichtung abhängen.

Einen Einfluß hat auch die Abstimmung der Abmessungsproportionen der Platte im Verhältnis zu den angeschlossenen Holzquerschnitten, um Querspannungen zu verhindern. Entsprechende Regelungen sind jedoch im Eurocode 5 bzw. der DIN 1052 getroffen.

Nagelplatten im Sinne der DIN 1052 mit aus einem Stahlblech ausgestanzten "Nägeln" haben in der Regel sehr schlechte duktile Eigenschaften, da die zahnförmigen, aus der Blechebene ausgebogenen und in das Holz eingepreßten Stahlblechnägel aufgrund des Herstellungsprozesses sehr empfindlich für zyklische Beanspruchungen sind. Der Bruch tritt meist ohne Vorankündigung auf und führt häufig zum kompletten Durchreißen der Nagelplatte. Das sich so ergebende Ribild wird auch als "Briefmarkenriß" bezeichnet. Die Dämpfung ist ebenfalls nur ganz am Anfang der Verformung anrechenbar, so daß insgesamt in diesen Verbindungen so gut wie keine Energie dissipiert werden kann.

4.8 ANDERE VERBINDUNGSMITTEL

Weitere Verbindungsmitteltechniken, die unter den bisher genannten nicht eindeutig unterzubringen sind, sollen an dieser Stelle noch einmal kurz Erwähnung finden. Auch wenn der Anwendungsbereich von einigen dieser Techniken zur Zeit sehr beschränkt sein mag, kann unter Umständen die Betrachtung der Eigenschaften die Eignung für

neue Anwendungsgebiete erschließen. Die Kombination aus einem mechanischen Verbindungsmittel und der Leimung liefert völlig andere Ergebnisse bezüglich Degradation, Dämpfung und Duktilität in den verschiedenen Verformungsphasen.

Eingeleitete Gewindestangen

Bisher war der Anwendungsbereich von eingeleimten Gewindestangen weitgehend auf zwei Gebiete im Holzleimbau beschränkt: Erstens die Einleitung hoher Einzellasten bei kombinierter Beanspruchung aus Kräften längs und quer zur Stabachse; zweitens die Verstärkung bzw. Sicherung von querzuggefährdeten Bereichen (ausgeklinte Träger, gekrümmte BSH-Binder im Firstbereich). Für eine Verbindung zweier Bauteile im herkömmlichen Sinne war die Betrachtung dieser Verbindungsmitteltechnik bisher nicht erforderlich, da die reine Verdübelung (bzw. Verleimung) aus statischer und wirtschaftlicher Sicht befriedigende Ergebnisse liefert.

Es ist vorstellbar, daß mit dieser Verbindungsmitteltechnik ein sehr steifes Verhalten im Regelfall mit einer guten Duktilität im Erdbebenfall kombiniert werden kann. In Abhängigkeit der verschiedenen Parameter (Verhältnis Gewindestangen-/Bohrungsdurchmesser, Leimart und Eigenschaften können Steifigkeit, Dämpfung und Reibung gesteuert werden. In dieser Verbindungsmitteltechnik steckt ein Potential, dessen Erfassung im Rahmen der für die regulären Beanspruchungen noch notwendigen Forschungen integriert werden kann, um das zyklische, postelastische Verhalten zu untersuchen.

Diese vorallem in der Tafelbauweise gebräuchliche Technik für die Verbindung mit einem dünnen Bauteil (Beplankung) verhält sich wie eine rein geleimte Verbindung, allerdings unter Umständen jenseits der maximal aufnehmbaren Last mit einer Reserve aus der Vernagelung, die ein vollständiges Versagen der Verbindung verhindert oder verzögert. Unter dem Gesichtspunkt einer erdbebeninduzierten Verformungsbeanspruchung könnte das relevant werden. Problematisch allerdings ist die Tatsache, daß die Leimfuge höhere Festigkeiten besitzt als die verbundenen Bauteile, so daß der Bruch meist nicht mehr im Bereich der Fuge auftritt, wo die Vernagelung entsprechende Verformungsreserven bietet. Eine auf den speziellen Anwendungsfall abgestimmte Detaillierung kann jedoch eine derartige Redundanz bewerkstelligen. Auch hier müßten spezielle unter diesem Gesichtspunkt konzipierte Forschungen den Sachverhalt klären.

Individuell vorgefertigte Stahlteile

Besonders im Holzleimbau werden immer wieder spezielle Stahlteile (in der Regel St 37) gefertigt, die in Knotenbereichen die Verbindung der Bauteile herstellen. Meist werden sie über Stabdübel angeschlossen. Bei diesen Stahlteilen ist darauf zu achten, daß die Duktilität, die prinzipiell im Anschluß des Holzes an das Stahlteil steckt, nicht im Stahlteil selbst wieder aufgrund von kerbempfindlichen Details oder lokalen Instabilitäten (Beulen, Kippen) zunichte gemacht wird. Auf eine adäquate Lagesicherung ist daher zu achten.

Die folgenden Tabellen sollen eine Hilfe sein, in übersichtlicher Form die jeweiligen Kriterien der einzelnen Verbindungsmittel vergleichend gegenüberzustellen. Dabei tauchen Begriffe auf, die hier jeweils immer unter dem Blickwinkel der zyklischen bzw. dynamischen Beanspruchung die Eigenschaften des Verbindungsmittels beschreiben. Zunächst werden daher die Begriffe kurz erläutert:

In Tabelle 1 - 3 werden für die Verbindungsmittel die Einflußparameter vergleichend gegenübergestellt. Folgende Parameter gehen in die Bewertung ein:

- Kopfform: Solange der außenliegende Teil eines Verbindungsmittels groß ist (z.B. bei Verwendung von Unterlegscheiben), verhindert er, daß sich der Schaft des Verbindungsmittels unmittelbar verdreht. In der Fuge zwischen den zu verbindenden Bauteilen kann dadurch die Entstehung einer Doppelkrümmung gefördert werden (bei schlanken Verbindungsmitteln) oder behindert werden (bei dickeren Verbindungsmitteln bzw. dünnen angeschlossenen Bauteilen). Andererseits spielt die Kopfform speziell bei der Verwendung als Beplankungsverbindungsmittel eine große Rolle in Bezug auf den Widerstand gegen Durchziehen/Durchstanzen. Wichtige Voraussetzung ist die Vermeidung von zu tief eingetriebenen Köpfen. Bei Klammern bietet der Bügel, der die beiden Schenkel verbindet den Widerstand gegen Durchziehen.

- Kontinuität: Die Kontinuität einer Verbindung beschreibt das Verformungsbild der Verbindung. Sobald sich aus der gegenseitig-

| | | NÄGEL | | | | | | STABDÜBEL (PASSBOLZEN) | KLAMMERN (u.U. beharzt) |
|-----------------|----------------------------|-------|---------|----------|--------------|---------------|--------------|---------------------------|----------------------------|
| | | glatt | | | Profilierung | | | | |
| | | blank | beharzt | verzinkt | Ring/Rillen | Schuppen o.ä. | Schraubnägel | | |
| Material | Kopfform | + 1) | + 1) | + 1) | + 1) | + 1) | + 1) | / | siehe Text |
| | Kontinuität der Verbindung | ±0 2) | ±0 2) | ±0 2) | ±0 2) | ±0 2) | ±0 2) | + | ±0 2) |
| | Oberfläche | - | + | ±0 | 4) | 4) | 4) | / | + |
| | Auszugswiderstand | ±0 3) | 5) | ±0 3) | + | + | + | / | ±0 3) |
| | Spaltempfindlichkeit | ±0 6) | ±0 6) | ±0 6) | ±0 6) | ±0 6) | ±0 6) | + | ±0 |
| | Kerbempfindlichkeit | ++ | ++ | ++ | -- | - | - | / | ++ |
| | Zähigkeit/Sprödigkeit | ++ | ++ | + | - | - | - | + 7) | ++ |
| Tragmechanismus | Reibung Holz/Holz | (X) | (X) | (X) | X | X | X | / | (X) |
| | Reibung Holz/Verb.-mittel | / | / | / | / | / | / | / | / |
| | Leibungsdruck | X | X | X | X | X | X | X | X |
| | Abscheren | X | X | X | X | X | X | X | X |

- signifikanter negativer Einfluß auf die Eigenschaften
- eher negativer Einfluß auf die Eigenschaften
- ±0 kein direkter Einfluß auf die Eigenschaften
- + eher positiver Einfluß auf die Eigenschaften
- ++ signifikanter positiver Einfluß auf die Eigenschaften
- / Parameter nicht vorhanden/relevant
- ? ungeklärter Sachverhalt --> Forschungsdefizit
- 1) meist Flachkopf, sonst siehe Text
- 2) meist 1-schnittige Verbindungen
- 3) Steuerung über Einbindelänge
- 4) im Vergleich zu den Einflüssen aus der Profilierung vernachlässigbar
- 5) stark zeitabhängig
- 6) je nach Nageldurchmesser verhalten sich vorgebohrte Verbindungen etwas besser
- 7) stark vom Durchmesser abhängig

Tabelle 1 Eigenschaften von Nägeln, Stabdübeln und Klammern

| | | DÜBEL BESONDERER BAUART | | | | | | | BOLZEN | EINGELEIMTE GEWINDE- STANGEN | NAGEL- PRESS- LEIMUNG |
|-----------------|----------------------------|-------------------------|------|-------------|----------|-----------------------|-------|-------|--------|------------------------------------|-----------------------------|
| | | Rechteckdübel | | Einlaßdübel | | Einlaß-/Einpressdübel | | | | | |
| | | Stahl | Holz | LM-Guß | Hartholz | Typ C | Typ D | Typ E | | | |
| Material | Kopfform | / | / | / | / | / | / | / | ++ | / | / |
| | Kontinuität der Verbindung | + | + | + | + | + | + | + | ++ | / | / |
| | Oberfläche | / | / | / | / | / | / | / | / | / | / |
| | Auszugswiderstand | / | / | / | / | / | / | / | ±0 | ? 5) | ? 5) |
| | Spaltempfindlichkeit | - | - | ±0 | ±0 | ±0 | ±0 | ±0 | - | ? | ++ |
| | Kerbspfindlichkeit | ? | ? | + 2) | + 2) | + (?) | + (?) | + (?) | / | ? | ++ |
| | Zähigkeit/Sprödigkeit | 1) | 1) | - | - | ? | ? | ? | + 4) | + (?) | -- |
| Tragmechanismus | Reibung Holz/Holz | (X) | (X) | (X) | (X) | (X) | (X) | (X) | X | / | X |
| | Reibung Holz/Verb.-mittel | / | / | / | / | / | / | / | / | / | / |
| | Leibungsdruck | X | X | X | X | X | X | X | X | X | / |
| | Abscheren | X 3) | X 3) | X 3) | X 3) | X 3) | X 3) | X 3) | (X) | (X) | / |

- signifikanter negativer Einfluß auf die Eigenschaften
- eher negativer Einfluß auf die Eigenschaften
- ±0 kein direkter Einfluß auf die Eigenschaften
- + eher positiver Einfluß auf die Eigenschaften
- ++ signifikanter positiver Einfluß auf die Eigenschaften
- / Parameter nicht vorhanden/relevant
- ? ungeklärter Sachverhalt --> Forschungsdefizit
- 1) (Paß-)Bolzen bzw. Schrauben der Sonderdübelverbindung maßgebend
- 2) (Paß-)Bolzen bzw. Schrauben der Sonderdübelverbindung nicht maßgebend
- 3) durch Vergrößerung der 'Lochleibungsfläche'
- 4) stark vom Durchmesser abhängig
- 5) auf die Duktilitätsproblematik bezogen

Tabelle 2 Eigenschaften von Dübeln, Bolzen, eingeleimten Gewindestangen und Nagelpreßleimung

| | | NAGELPLATTEN | | | HOLZSCHRAUBEN | | | | |
|-----------------|----------------------------|----------------|-------|-------|---------------|------------|--------|--------|---------|
| | | z.B. Gang-nail | Stahl | Holz | Spax | Schnellbau | DIN 96 | DIN 97 | DIN 571 |
| Material | Kopfform | / | / | + | - | - | ±0 | - | ±0 |
| | Kontinuität der Verbindung | - | ±0 | ±0 1) | + | + | + | + | + |
| | Oberfläche | / | + 2) | + 2) | 5) | 5) | 5) | 5) | 5) |
| | Auszugswiderstand | -- | 3) | 3) | + | + | + | + | + |
| | Spaltempfindlichkeit | -- | 3) | 3) | ? | ? | ? | ? | ? |
| | Kerbempfindlichkeit | -- | 3) | 3) | - | - | - | - | - |
| | Zähigkeit/Sprödigkeit | ? | 3) | 3) | ? | ? | + | + | + |
| Tragmechanismus | Reibung Holz/Holz | / | / 4) | / 4) | X | X | X | X | X |
| | Reibung Holz/Verb.-mittel | (X) | (X) | (X) | / | / | / | / | / |
| | Leibungsdruck | X | X | X | X | X | X | X | X |
| | Abscheren | X | X | X | X | X | X | X | X |

- signifikanter negativer Einfluß auf die Eigenschaften
- eher negativer Einfluß auf die Eigenschaften
- ±0 kein direkter Einfluß auf die Eigenschaften
- + eher positiver Einfluß auf die Eigenschaften
- ++ signifikanter positiver Einfluß auf die Eigenschaften
- / Parameter nicht vorhanden/relevant
- ? ungeklärter Sachverhalt --> Forschungsdefizit
- 1) meist 1-schnittige Verbindungen
- 2) Kombination aus Platten- und Nageloberflächen-Eigenschaften
- 3) je nach Nagelverwendung, siehe dort
- 4) die (gelochten) Platten (oder Laschen) zählen zum Verbindungsmittel
- 5) im Vergleich zu den Einflüssen aus der Schraubung vernachlässigbar

Tabelle 3 Eigenschaften von Nagelplatten und Holzschrauben

gen Verschiebung der Holzteile Zustände ergeben, die duktile mehrfache zyklische Verformungen behindern oder ausschließen, wird die Grenzlast geringer. Für symmetrische Verbindungen sind die Kontinuitätsbedingungen daher besser gegeben als für unsymmetrische. Dieser Zusammenhang hat nur begrenzt etwas mit der in den Regelwerken vorgesehenen Bemessung dieser Bauteile mit erhöhten Lasten etwas zu tun.

- Oberfläche: Die Beschaffenheit der Oberfläche und damit die Reibung zwischen Verbindungsmittel und umliegenden Holz hat bei stiftförmigen Verbindungsmittel einen Einfluß aus den Auszugswiderstand. Dieser wiederum bestimmt die Verformungsfreiheiten des Verbindungsmittels. Bei Verbindungsmitteln, deren dissipative Eigenschaften zusätzlich direkt von dieser Reibung abhängen (Nagelplatten), spielt die Rauigkeit und deren Herkunft aus Herstellung, Vergütung oder Beschichtung eine wichtige Rolle.

- Auszugswiderstand: Hierbei ist bei stiftförmigen Verbindungsmitteln die Bedeutung des Auszugswiderstandes für die dissipativen Eigenschaften gemeint. Maßnahmen, die den Auszugswiderstand erhöhen, haben nicht nur positive Effekte (Rillung). Ein zu großer Auszugswiderstand kann u.U. zu weniger duktilen Verformungsbildern führen. Auch ein sehr steifes Verbindungsmittel, das keine Möglichkeit hat, sich innerhalb des Holzes längs der Achse zu verschieben (z.B. ein dicker Bolzen), wird keine elastisch-plastischen Verformungsreserven bereitstellen können.

- Spaltempfindlichkeit: Unter zyklischen Lasten können im Sinne einer Rißfortschreitung Versagensmechanismen entstehen, die

ursächlich auf die spaltende Wirkung des Verbindungsmittels zurückzuführen ist. Nicht vorgebohrte Nägel mit Stahlflaschen zeigen ein derartiges Verhalten.

- Kerbempfindlichkeit: Die im Kap. 4.2.2 bereits erläuterten Zusammenhänge gelten allgemein für die Verbindungsmittel. Nagelplatten mit ausgestanzten Nägeln sind an den Ansatzpunkten der Nägel extrem Kerbempfindlich. Unter zyklischer Beanspruchung reißt das Stahlblech aufgrund der dort vorhandenen Spannungsspitzen durch (sogenannter Briefmarkenriß).

- Zähigkeit/Sprödigkeit: Mit diesem Kriterium wird das Material im Hinblick auf die reinen Materialeigenschaften bewertet (z.B. Grauguß sehr spröde, Aluminium sehr zäh)

Der Tragmechanismus soll als Grundlage ebenfalls noch einmal dargestellt werden, um die möglichen Einflüsse aus Reibung zu erfassen. Dabei ist zu betonen, daß es sich einerseits um die Lastweiterleitung vom Bauteil in das Verbindungsmittel handelt (z.B. Leibungsdruck eines Trägers in einen der Dübel der Verbindung) und andererseits um die Weiterleitung der Last innerhalb des Verbindungsmittels (Abscheren des Dübels in der Fuge). Eine doppelte Krümmung des Verbindungsmittels in der Fuge stellt dabei wesentlich bessere duktile Verformungseigenschaften zur Verfügung als eine einfache Krümmung. Das Entstehen der Doppelkrümmung hängt von folgenden Faktoren ab:

- Schlankheit des Verbindungsmittels
- Dicke der verbundenen Bauteile
- Möglichkeit der Bildung einer Fuge (keine Klemmwirkung)

| Klammern | Nägel | | | |
|----------|-----------|---------|--------------|--------|
| | glatt | | Profilierung | |
| beharzt | unbeharzt | beharzt | Rillen | andere |

| | |
|-----------------------------|--------------------------|
| Nageldurchmesser d [mm] | gute Duktilität |
| | mittlere Duktilität |
| | geringe/keine Duktilität |
| Beplankungsdicke [x * d] | gute Duktilität |
| | mittlere Duktilität |
| | geringe/keine Duktilität |
| Einbindelänge [x * d] | gute Duktilität |
| | mittlere Duktilität |
| | geringe/keine Duktilität |

| | A | B | C | D | E |
|---|--------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 1 | 1,4 - 3,1 | 1,8 - 3,1 | 1,8 - 3,1 | 2,0 - 2,5 | 2,0 - 2,8 |
| 2 | / | 3,1 - 4,0 | 3,1 - 4,0 | 2,5 - 2,8 | 2,8 - 3,1 |
| 3 | / | > 4,0 | > 4,0 | > 2,8 | > 3,1 |
| 4 | 6d - 8d | 4d - 7d | 4d - 7d | 5d - 7d | 5d - 7d |
| 5 | 4d - 6d | 3d - 4d | 3d - 4d | 3d - 5d | 3d - 5d |
| 6 | < 4d | <3d | <3d | <3d | <3d |
| 7 | 14d - 24d | 14d - 18d | 12d - 16d | 10d - 14d | 10d - 14d |
| 8 | > 24d und 8d - 14d | 18d - 24d und 8d - 14d | 8d - 12d und 16d - 20d | 14d - 20d und 8d - 10d | 14d - 20d und 8d - 10d |
| 9 | < 8d | > 24d | > 20d | > 20d | > 20d |

Bemerkungen:

zu A1: Gleiche Maximalwerte wie glatte, beharte Nägel, aber nur gebräuchlich bis 2,0 mm

zu A2 - 3: Gebräuchliche Klammerdurchmesser haben durchweg gute Duktilitätseigenschaften

zu B1: Gleiche Werte wie glatte, beharte Nägel, da sich die Beharzung auf die Werte für die Einbindelänge auswirkt

Tabelle 4 Abmessungskriterien für Verbindungsmittel bei Beplankungen

Abb. 2 Verformungsbild der Rillennägel

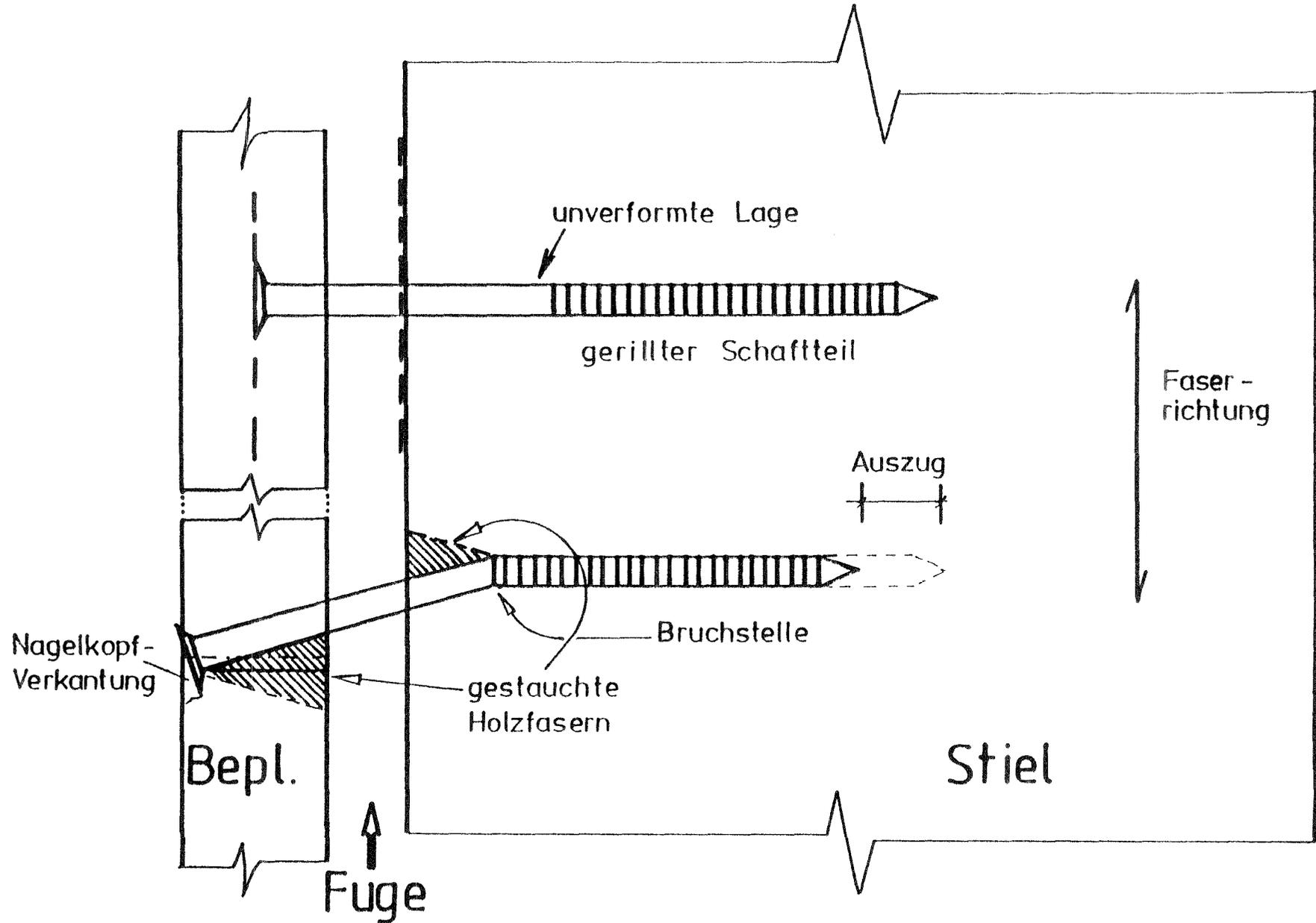
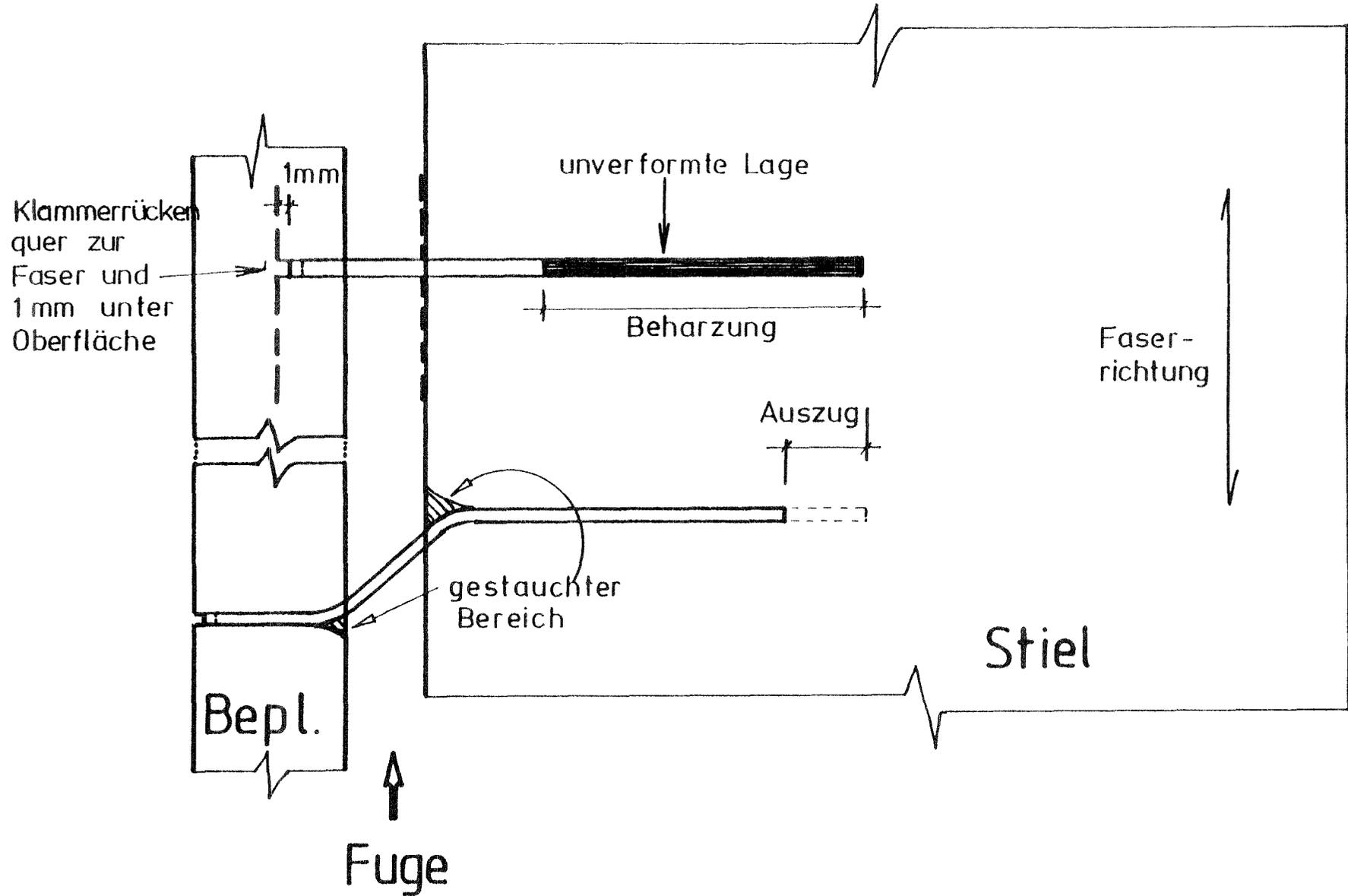


Abb. 3 Verformungsbild der Klammern



- Festigkeit/Rohdichte des umgebenden Holzes
- Auszugswiderstand des Verbindungsmittels

Anhand der Abbildungen 2 und 3 (aus [15]) wird dies am Beispiel der Verbindung zwischen Beplankung und Holzrahmen deutlich. Die Verbindung mit dem Rillennagel zeigt

5 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Mechanische Verbindungsmittel stellen den maßgeblichen Beitrag zum duktilen Verhalten der Holzkonstruktionen unter Erdbebenlasten. Das Werkstoffverhalten des Holzes und der meisten Holzwerkstoffe ist von spröden Bruchmechanismen bei Schub- und Zugbeanspruchungen und damit auch unter Biegung geprägt. Werden dissipative Eigenschaften von einer Struktur erwartet oder gefordert, so besteht neben der Reibungsdämpfung nur die Möglichkeit die Verbindungen als dissipative Zonen heranzuziehen. Holzbauten zeichnen sich durch ein hohes Maß an Duktilität aus, wenn neben der korrekten planerischen Gestaltung auch im Detail, an den entscheidenden Stellen mechanische Verbindungsmittel zur Anwendung kommen. Die Breite der auf dem Markt befindlichen Produktpalette erfordert unter Betrachtung der jeweils zugehörigen Konstruktionsart eine Sortierung und Bewertung der Verbindungsmittel. So können die sehr guten Eigenschaften von Klammerverbindungen nicht unabhängig davon gewertet werden, daß sie praktisch nur in Holzkonstruktionen angewendet werden können, die über Beplankungen (aus Spanplatten, BFU, OSB usw.) ausgesteift sind. Jede einzelne Klammer hat dabei wesentlich geringere Kräfte

nur ein plastisches Gelenk, während bei den Klammern eine doppelte Krümmung für höhere Duktilitäten sorgen kann. In Tabelle 4 werden für Nägel und Klammern in ihrer Anwendung bei der Beplankungsbefestigung Abmessungskriterien gegeben, die zu einer guten Duktilität in der Verbindung führen. Dabei wird von einer Beplankung aus Spanplatten oder Sperrholzplatten ausgegangen.

bei gleicher Verformung zu übertragen als eine Stabdübelverbindung in einem Leimbinder-Rahmentragwerk. Die Kriterien zur Bewertung der Verbindungsmittel deuten allerdings in der Tendenz darauf hin, daß die Distribution der zu übertragenden Kräfte und Verformungen auf Verbindungsmittel kleineren Querschnitt günstig auf die duktilen Eigenschaften wirkt.

Dämpfende Einflüsse aus der Reibung können nur für den Anfang in Rechnung gestellt werden können, da durch das Loslösen der zu verbindenden Teile nach entsprechender Zahl von Zyklen in größeren Amplitudenbereichen über große Bereiche der verbundenen Fläche keine Reibung mehr vorhanden ist. Für alle mechanischen Verbindungen gilt daher, daß deren Eigenschaften stark von der Belastungsgeschichte abhängig sind. Eine bereits zu einem früheren Zeitpunkt eingetretene Verformung in der Verbindung kann nachhaltig auf Reibung und damit Dämpfung wirken.

Zimmermannsmäßige Verbindungen zum Beispiel in Fachwerkhäusern zeigen aufgrund der vorhandenen Redundanz in der Praxis zum Teil gutmütiges Verhalten. Vorausset-

zung dafür ist, daß verschiedene Kriterien (zum Beispiel Lagesicherung) erfüllt sind. Für zimmermannsmäßige Konstruktionen können keine allgemeingültigen Regeln oder gar Verhaltensfaktoren angegeben werden. Eine saubere Ausführung aufgrund einer durchdachten Planung wird hier besonders wichtig.

Der Forschungsbedarf geht aus den tabellari-schen Übersichten hervor. Bei der Entwick-lung neuer Verbindungsmittel-Techniken, auch wenn diese nicht explizit auf den An-wendungsbereich in seismisch gefährdeten Gebieten ausgerichtet sein soll, sollten o.g. Kriterien berücksichtigt werden, um zu ge-währleisten, daß das Informationsdefizit auf diesem Sektor nicht weiter wächst. An-schlüsse, bei denen verschiedene mechani-sche Verbindungsmittel kombiniert werden,

deren unterschiedliche Eigenschaften sich während der Beanspruchung beeinflussen. Dabei ist es vorstellbar, daß redundante Me-CHANISMEN unterschiedlicher Duktilität die Anforderungen "alltäglicher" Lastfälle (möglichst hohe Steifigkeit) mit der erforderlichen Zähigkeit unter Erdbebenlasten vereinen.

Es soll jedoch an dieser Stelle noch einmal auf die folgenden Themen hingewiesen wer-den, deren Erforschung unter zyklischen, großen Verformungen nicht nur unter dem Aspekt der Erdbebensicherheit eine Lücke im Kenntnisstand der Verbindungsmitteltechnik schließen würde:

- Eingeleimte Gewindestangen
- Dübel besonderer Bauart
- Zimmermannsmäßige Verbindungen

Normen, Richtlinien, Vorschriften:*Europäische Normen im Rahmen der Harmonisierung:*

- [1] **"EC 1 Gemeinsame einheitliche Regeln für verschiedene Bauarten und Baustoffe"**
Kommission der Europäischen Gemeinschaften
Ausgabe 1984
- [2] **"EC 5 Gemeinsame einheitliche Regeln für Holzbauwerke"**
Kommission der Europäischen Gemeinschaften
Ausgabe 1988
- [3] **"EC 8 Bauten in Erdbebengebieten - Entwurf und Bemessung - Teil 1: Allgemeines und Gebäude"**
Kommission der Europäischen Gemeinschaften
Ausgabe Mai 1988
- [4] **"EC 8 Bauten in Erdbebengebieten - Entwurf und Bemessung - Teil 1.3 Kap. 5 Besondere Regeln für Holzbauwerke"**
Kommission der Europäischen Gemeinschaften
Entwurf März 1993
- [5] **"Recommended testing procedure for assessing the behaviour of structural steel elements under cyclic loads"**
Europäische Konvention für Stahlbau (ECCS), 1986

Deutsche Normen:

- [6] **"DIN 1052 Holzbauwerke"**
Fassung 1988
- [7] **"DIN EN 409 Holzbauwerke - Bestimmung des Fließmomentes von stiftförmigen Verbindungsmitteln - Nägel"**
Deutsche Fassung prEN 409:1990

Amerikanische Normen:

- [8] **"UBC Standards 1991 Edition"**
International Conference of Building Officials
- [9] **"Recommended lateral force requirements and tentative commentary"**
Seismology Committee, Structural Engineers Association of California (SEAOC)
San Francisco, 1988 (+ 1990)
- [10] **"Standard methods of testing metal fasteners in wood"**
ASTM D 1761-74, 1974

Neuseeländische Normen:

- [11] **"Code of practice for timber design"**
NZS 3603:1981
Standards Association of New Zealand

- [12] **"Code of practice for light timber frame buildings not requiring specific design"**
NZS 3604:1984
Standards Association of New Zealand
- [13] **"Specification for strength properties and design methods for construction plywood"**
NZS 3615:1981
Standards Association of New Zealand
- [14] **"Code of practice for general structural design and design loadings for buildings"**
Draft Revision NZS 4203:1986
Standards Association of New Zealand

Alphabetisch nach Autoren:

- [15] **"Holzbau: Theoretische und experimentelle Untersuchungen für die Anwendung des EC 8"**
K. Becker, H. Zeitter
Forschungsbericht der Technischen Hochschule Darmstadt im Auftrag des BMBau, 1992
- [16] **"Erdbebenaussteifung von mehrgeschossigen Holzskelettbauten"**
H.J. Blaß
Bautechnik 67, 1990
- [17] **"Grundlagen der Bemessung von Holzbauwerken nach dem EC 5 Teil 1 - Vergleich mit DIN 1052"**
H.J. Blaß, J. Ehlbeck, H. Werner
Betonkalender 1992, Verlag Ernst & Sohn, Berlin 1992
- [18] **"Seismic design of wood structures"**
A.H. Buchanan, J.A. Dean, B.L. Deam
Wood Design Focus, Vol. 1, No. 4, Winter 1990
- [19] **"Timber use manual"**
'Section B 3 - Bracing and diaphragms'
A.H. Buchanan
'Section B 11 - Nailed connections'
D. Dowrick, P. Smith, W. Stewart
New Zealand Timber Industry Federation, Wellington, 1989
- [20] **"A general purpose multi-degree-of-freedom time-history dynamic response computer programm"**
A.J. Carr
Department of Civil Engineering, University of Canterbury, 1983
- [21] **"The effects of seismic events on the behaviour of semirigid-joint timber structures: a simulation of the influence of structural scheme and of joint characteristic"**
A. Ceccotti
Background documents Eurocode 8
- [22] **"On the evaluation of the 'seismic behaviour factor' value of engineered timber structures: an italian experience"**
A. Ceccotti
Proceedings of the workshop: Structural behaviour of timber constructions in seismic zones, Florence, Italy, May 1989
- [23] **"The effects of seismic events on the behaviour of semirigid-joint timber structures"**
A. Ceccotti
Proceedings of the International Timber Engineering Conference, Seattle, 1988

- [24] **"A device for cyclic load testing of glue-laminated timber joints: Experimental evaluation of hysteretic ductility of dowelled connections"**
A. Ceccotti, S. Giordano
Appendix of proceedings of the workshop: Structural behaviour of timber constructions in seismic zones, Florence, Italy, May 1989
- [25] **"Specific rules for timber structures"**
A. Ceccotti, H.J. Larsen
Background documents Eurocode 8
- [26] **"Eurocode 8 Chapter 1.3.5. Timber - Example of applications"**
A. Ceccotti, H.J. Larsen
Seminar on Eurocode 8, May 1988
- [27] **"A hysteretic behavioural model for semi-rigid joints"**
A. Ceccotti, A. Vignoli
European Earthquake Engineering, March 1989
- [28] **"On a better evaluation of the seismic behaviour factor of low dissipative timber structures"**
A. Ceccotti, A. Vignoli
CIB-W19A/23-15-5
- [29] **"Ductility properties of nails in timber-based sheathing"**
J.A. Dean
Proceedings of the 2nd Pacific Timber Engineering Conference, Auckland 1989
- [30] **"The ductility properties of nailed joints in timber frame shearwalls subjected to cyclic loading"**
J.A. Dean
Report CE 88/14, Department of Civil Engineering, University of Canterbury, 1988
- [31] **"Reverse cyclic load tests on twelve timber seismic bracing frames"**
J.A. Dean
Research Report CE 87/3, Department of Civil Engineering, University of Canterbury, 1987
- [32] **"The dynamic response of timber shear walls"**
J.D. Dolan
PhD Thesis, University of British Columbia, Canada, October 1989
- [33] **"Hysteresis loops for timber structures"**
D.J. Dowrick
NZ Journal of Timber Construction, 2 (3), 1986
- [34] **"Cyclic properties of nail plated timber joints"**
M.R. Edwards
Report No. 391, Department of Civil Engineering, University of Auckland, New Zealand, 1985
- [35] **"Dynamische Beanspruchung von Holz und Holzkonstruktionen"**
J. Ehlbeck, P. Belchior-Gaspard
Literatursammlung und -auswertung der Uni Karlsruhe, 1989
- [36] **"Load-slip characteristics of nails"**
R.O. Foschi
Wood Science, Vol. 7, No. 1, 1974

- [37] **"Load/Slip results for nailed connections using waferboard panels. Supplementary Report A"**
R.O. Foschi
Report to the Canadian Waferboard Association by Forintek Canada Corp., Vancouver, 1982
- [38] **"Lateral nail resistance for ten common sheathing materials"**
D.S. Gromala
Forest Products Journal, Vol. 35, Nr. 9, September 1984
- [39] **"Mechanics of laterally loaded nail joints in timber"**
R.D. Hunt
Report No. 393, Department of Civil Engineering, University of Auckland, New Zealand, 1987
- [40] **"Laterally loaded nail joints in wood"**
R.D. Hunt, A.H. Bryant
Journal of Structural Engineering, Vol.116, No. 1, January 1990
- [41] **"A simple test for the alternate loading of timber joints"**
E.S. Katsaragakis
Proceedings of the workshop: Structural behaviour of timber constructions in seismic zones, Florence, Italy, May 1989
- [42] **"Hysteretic modelling of moment-resisting nailed timber joints"**
B.T. Kivell, P.J. Moss, A.J. Carr
Bulletin of the NZ National Society for Earthquake Engineering, Vol. 14, No. 4, 1981
- [43] **"Requirements for stiffness and ductility of timber joints"**
J.M. Leijten
Proceedings of the workshop: Structural behaviour of timber constructions in seismic zones, Florence, Italy, May 1989
- [44] **"Predicting inelastic stiffness moduli of sheathing to stud nail joints"**
J.R. Loferski, A. Polensek
Wood Science, Vol. 15, No. 1, 1982
- [45] **"Behaviour of nailed timber joints with interface characteristics"**
S.K. Malhotra, B. Thomas
Wood Science, Vol. 15, No. 2, 1982
- [46] **"An investigation of the structural damping characteristics of composite wood structures subjected to cyclic loading"**
K. Medearis
PhD Thesis, Staford University, 1962
- [47] **"Seismic performance of moment-resisting joints in timber frames"**
P.J. Moss
Proceedings of the Pacific Timber Engineering Conference, Auckland, New Zealand, 1984
- [48] **"Seismic performance of a multistoried timber frame having moment-resisting nailed joints"**
P.J. Moss
Proceedings of the International Timber Engineering Conference, London, 1991
- [49] **"Zur Berechnung von Wandscheiben in Holztafelbauart"**
N. Raschper
Dissertation am FB Bauingenieurwesen der TU Braunschweig, 1990

- [50] **"Study on evaluation of aseismatic performance of neoconventional wooden frame structures assembled by using highly ductile connection fittings"**
K. Sadakata
Proceeding of the International Timber Engineering Conference, Seattle, 1988
- [51] **"An integrated approach to modelling load-slip behaviour of timber joints with dowel type fasteners"**
I. Smith, L.R.J. Whale, B.O. Hilson
Proceedings of the International Timber Engineering Conference, Seattle, 1988
- [52] **"Strength of nailed wood joints subjected to dynamic load"**
L.A. Soltis, P.V.A. Mtenga
Forest Products Journal, Vol. 35, No. 11/12, 1985
- [53] **"Generalized load-slip [53] "Generalized load-slip curve for nailed connection"**
J.L. Stone, M.D. Vanderbilt, M.E. Criswell, J. Bodig
Colorado State University, Bd. 30, 1980
- [54] **"Derivation of allowable loads on nailed joints in diaphragms"**
G.B. Walford
Forest Research Institute, NZ Forest Service, Forest Products Laboratory Report No. FB/TE 68 68, May 1976 (unpublished)
- [55] **"Tests on nailed joints for use in diaphragms"**
G.B. Walford, A. Cooper
Forest Research Institute, NZ Forest Service, Forest Products Laboratory Report No. FP/TE 58, February 1976 (unpublished)
- [56] **"Neue Untersuchungen mit Nägeln für den Holzbau"**
H. Werner, W. Siebert
Holz als Roh- und Werkstoff 49 (1991)

Proceedings von Konferenzen:

- [57] **"Structural Behaviour of Timber Constructions in Seismic Zones"**
Proceedings of the workshop: Structural behaviour of timber constructions in seismic zones, Florence, Italy, May 1989 with papers from:
P. G. Touliatos, A. Vignoli, C.K.A. Stieda, A. Ceccotti, H.J. Blaß, A.H. Buchanan, B. Zakic, Y. Lobel, I. Sakamoto, J.M. Leijten, P.G. Touliatos, E.S. Katsaragakis, S. Ohlsen, J. Srpčić, A. Vergne, R. Racher, A. Ceccotti, S. Giordano, A. Buchanan, J.A. Dean, A. Ceccotti, H.J. Larsen
- [58] **"Seismic considerations"**
Proceedings of the sub-conference 16 of the International Timber Engineering Conference, London, 1991 with papers from:
M. Yasamura, T. Murota, K. Gramatikov, P. Gavrilovich, J.D. Dolan, P. Touliatos, H.J. Blaß, A. Bargone, R. Roccati, Y. Kataoka, D.H. Brown, S. Zdravkovic
- [59] **"Redrafting Eurocode 8, Part 1.3, Chapter 5"**
Minutes of the 1st meeting of the subpanel PT1B, Lugnorre, Switzerland, August 1992, unveröffentlicht
K. Becker, A. Ceccotti, H. Charlier, P. Haller, K. Hollinsky, E. Katsaragakis, H. Larsen, J. Natterer, H. Zeitter, E. Zeller
- [60] **"Redrafting Eurocode 8, Part 1.3, Chapter 5"**
Minutes of the 2nd meeting of the subpanel PT1B, Lausanne, Switzerland, May 1993, unveröffentlicht
K. Becker, A. Ceccotti, H. Charlier, H. Zeitter