

Untersuchung der Tragfähigkeit von  
Holzverbindungen mit Holznägeln für  
Sanierung und Rekonstruktion von alter  
Bausubstanz

Textband

**T 2566/1**

T 2566/1

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

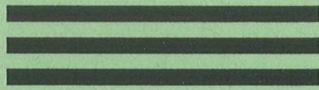
Nobelstraße 12  
70569 Stuttgart

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

E-Mail [irb@irb.fraunhofer.de](mailto:irb@irb.fraunhofer.de)

[www.baufachinformation.de](http://www.baufachinformation.de)

13.9.1

 Fachhochschule  
Hildesheim/  
Holzminden

Fachbereich  
Bauingenieurwesen  
in Hildesheim



Labor für Holztechnik  
Prof. Dr.-Ing. Martin H. Kessel

LHT

Hohnsen 1  
D 31134 Hildesheim  
Telefon 05121/881-230 -262 -266 -267 -268  
Telefax 05121/881125

**Bericht 3/1992**

M.H. Kessel, R. Augustin

Forschungsprojekt:

**Untersuchung der Tragfähigkeit von Holzverbindungen mit  
Holznägeln für Sanierung und Rekonstruktion von alter  
Bausubstanz**

**E-89/18**

Förderung:

Institut für Bautechnik, Berlin

Deutsche Gesellschaft für Holzforschung, München

## Inhalt

<b>1.</b>	<b>Einleitung</b>	S. 5
<b>2.</b>	<b>Versuche</b>	S. 6
2.1	Versuchsprogramm	S. 6
2.2	Versuchskörper	S. 7
2.3	Holznägel	S. 9
2.4	Versuchseinrichtung und Versuchsdurchführung	S. 10
<b>3.</b>	<b>Ergebnisse</b>	S. 14
3.1	Bruchursachen	S. 14
3.2	Meßergebnisse	S. 21
3.3	Ultraschalluntersuchung der Holznägel	S. 23
<b>4.</b>	<b>Auswertung</b>	S. 24
4.1	Einflüsse der Materialeigenschaften	S. 24
4.2	Einflüsse der Anschlußparameter	S. 25
<b>5.</b>	<b>Bemessungsempfehlung</b>	S. 27
<b>6.</b>	<b>Zusammenfassung</b>	S. 28

## Literatur

## 1. Einleitung

Ingenieure und Zimmermeister stehen bei der Sanierung und Rekonstruktion sowie bei dem Neubau von Fachwerkkonstruktionen immer wieder vor dem Problem, einerseits die Anforderungen der Denkmalpflege erfüllen zu müssen, andererseits aber Holznägel nicht als tragend ansetzen zu dürfen, da in der Norm hierfür keine zulässigen Tragfähigkeiten angegeben werden. In der Regel werden zur Übertragung auch nur geringer, kurzzeitig wirkender Zugkräfte, wie sie aus Wind, Erdbeben oder Stoßlasten resultieren, Stahldetails verwendet. Die jahrhundertealten Fachwerkhäuser zeigen jedoch, daß auch ohne Stahldetails die Standsicherheit gewährleistet ist.

Zur Tragfähigkeit von Holznagelverbindungen wurden deshalb am LHT im Jahr 1987 im Auftrag der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung Vorversuche an einfachen Schlitz-Zapfen-Verbindungen, die gegen Zugkräfte durch Holznägel gesichert waren, durchgeführt [1]. Bei Stiel- und Schwellenabmessungen von 10/14 cm, einem Durchmesser der Holznägel von 32 mm und den geringen Randabständen von 1,5 d ergaben sich für die zweischnittigen Verbindungen Bruchlasten von 18 kN pro Nagel.

Die vielversprechenden Ergebnisse führten zu einer weiteren, von der Bürgergemeinschaft Marktplatz Hildesheim GmbH in Auftrag gegebenen Untersuchung, deren Ziel es war, einen größeren Holznagelanschluß mit einer Tragfähigkeit von 100 - 150 kN zu entwickeln [2]. Versuche an Verbindungen mit vier Holznägeln des Durchmessers von 40 mm ergaben Bruchlasten von 25 kN pro Nagel.

Parallel zu den Untersuchungen am LHT in Hildesheim wurden auch an der Universität Karlsruhe (Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, Abt. Ingenieurholzbau) im Rahmen des Sonderforschungsbereiches 315 Untersuchungen an hauptsächlich einschnittigen Holznagelverbindungen mit Holznageldurchmessern bis zu 30 mm durchgeführt [3].

Die aus den Untersuchungen [1-3] gewonnenen Erkenntnisse sind Grundlage dieses von der DGfH und dem Institut für Bautechnik geförderten Forschungsprojekts, dessen Ziel die Ermittlung von Mindestwerten der Anschlußparameter und von zulässigen Anschlußkräften für zweischnittige Holznagelverbindungen ist.

## 2. Versuche

### 2.1 Versuchsprogramm

Das beantragte Versuchsprogramm umfaßte insgesamt 21 Versuchsserien von je 5 Proben. Nach Durchführung der ersten 15 Versuche der Serie A fand am 13.01.1992 eine Arbeitsgruppensitzung der DGfH statt, die die folgenden Änderungen und Ergänzungen des Versuchsprogramms zur Folge hatte:

- zusätzliche Versuche mit Holznageldurchmesser  $d=40$  mm,
- Bauteile und Verbindungsmittel aus Eichenholz (EI/EI) als Schwerpunkt der Untersuchung, Bauteile aus Fichtenholz und Verbindungsmittel aus Eichenholz (FI/EI) in geringer Versuchsanzahl zum Vergleich
- Herstellung und Prüfung der Eichenholzproben (EI/EI) in nassem Zustand, Herstellung und Prüfung der Fichtenholzproben (FI/EI) in trockenem Zustand,
- Ultraschalluntersuchung der Holznägel vor und nach den Versuchen.

Aus der Zielsetzung des Forschungsprojektes und den Ergänzungen ergaben sich schließlich für drei unterschiedliche Holznageldurchmesser sieben Versuchsserien à fünf Versuche, wovon fünf Serien mit  $90^\circ$ -Anschlußwinkel und zwei Serien mit  $0^\circ$ -Anschlußwinkel ausgeführt wurden. Zusätzlich wurde zum Abschluß der Untersuchung eine weitere Versuchsserie (E.32.EI) mit in das Programm aufgenommen. In Tabelle 1 sind alle Versuche mit den zugehörigen Randabständen und Holzbreiten zusammengestellt. Die Kennzeichnung der Versuchsserien erfolgte nach folgender Systematik:

Mit Großbuchstaben A, B, C, D, E werden die Abstände der Nägel und Holzbreiten unterschieden, die Zahlen 24, 32 und 40 geben den Nageldurchmesser in mm an, die Abkürzungen EI und FI geben die für Schwelle und Stiel verwendete Holzart an und 0 kennzeichnet die Versuchsserie mit einem Anschlußwinkel von  $0^\circ$ .

Des weiteren wurden folgende Bezeichnungen benutzt:

- |       |  |
|-------|--|
| d     | Holznageldurchmesser                   |
| h     | Querschnittshöhe                       |
| b     | Querschnittsbreite                     |
| $t_s$ | Dicke Seitenholz                       |
| $t_m$ | Dicke Mittelholz                       |
| $a_r$ | Randabstand Schwelle bzw. Seitenholz   |
| $a_e$ | Verbindungsmittelabstand untereinander |
| $l_v$ | Vorholzlänge Zapfen                    |

Versuche Serien	Holznagel n x d[mm]	Anschl. Wink. [°]	Holzbreiten [mm]				Randabstände [mm]			Proben Anzahl
			h	b	t <sub>s</sub>	t <sub>m</sub>	a <sub>r</sub>	a <sub>e</sub>	l <sub>v</sub>	
A24.EI	2 x 24	90	140	140	45	50	2.0d	2.0d	2.0d	5
B24.EI	2 x 24	90	140	140	45	50	2.0d	1.5d	1.5d	5
C24.EI	2 x 24	90	140	140	45	50	1.5d	1.5d	1.5d	5
D24.EI	2 x 24	90	160	140	45	50	3.0d	2.0d	2.0d	5
B24.FI	2 x 24	90	140	140	45	50	2.0d	1.5d	1.5d	5
C24.EI.0	2 x 24	0	140	140	45	50	1.5d	1.5d	1.5d	5
C24.FI.0	2 x 24	0	140	140	45	50	1.5d	1.5d	1.5d	5
A32.EI	2 x 32	90	180	200	60	80	2.0d	2.0d	2.0d	5
B32.EI	2 x 32	90	180	200	60	80	2.0d	1.5d	1.5d	5
C32.EI	2 x 32	90	180	200	60	80	1.5d	1.5d	1.5d	5
D32.EI	2 x 32	90	200	200	60	80	3.0d	2.0d	2.0d	5
E32.EI	2 x 32	90	160	140	45	50	2.0d	1.5d	1.5d	5
B32.FI	2 x 32	90	180	200	60	80	2.0d	1.5d	1.5d	5
C32.EI.0	2 x 32	0	180	200	60	80	1.5d	1.5d	1.5d	5
C32.FI.0	2 x 32	0	180	200	60	80	1.5d	1.5d	1.5d	5
A40.EI	2 x 40	90	180	200	60	80	2.0d	2.0d	2.0d	5
B40.EI	2 x 40	90	180	200	60	80	2.0d	1.5d	1.5d	5
C40.EI	2 x 40	90	180	200	60	80	1.5d	1.5d	1.5d	5
D40.EI	2 x 40	90	200	200	60	80	3.0d	2.0d	2.0d	5
B40.FI	2 x 40	90	180	200	60	80	2.0d	1.5d	1.5d	5
C40.EI.0	2 x 40	0	180	200	60	80	1.5d	1.5d	1.5d	5
C40.FI.0	2 x 40	0	180	200	60	80	1.5d	1.5d	1.5d	5

Tabelle 1 Versuchsprogramm

## 2.2 Versuchskörper

Die Versuchskörper der insgesamt 75 Versuche mit einem Anschlußwinkel von 90° und 30 Versuche mit einem Anschlußwinkel von 0° sind in den Bildern 1a und b mit den festen Anschlußmaßen und den variablen Anschlußparametern abgebildet.

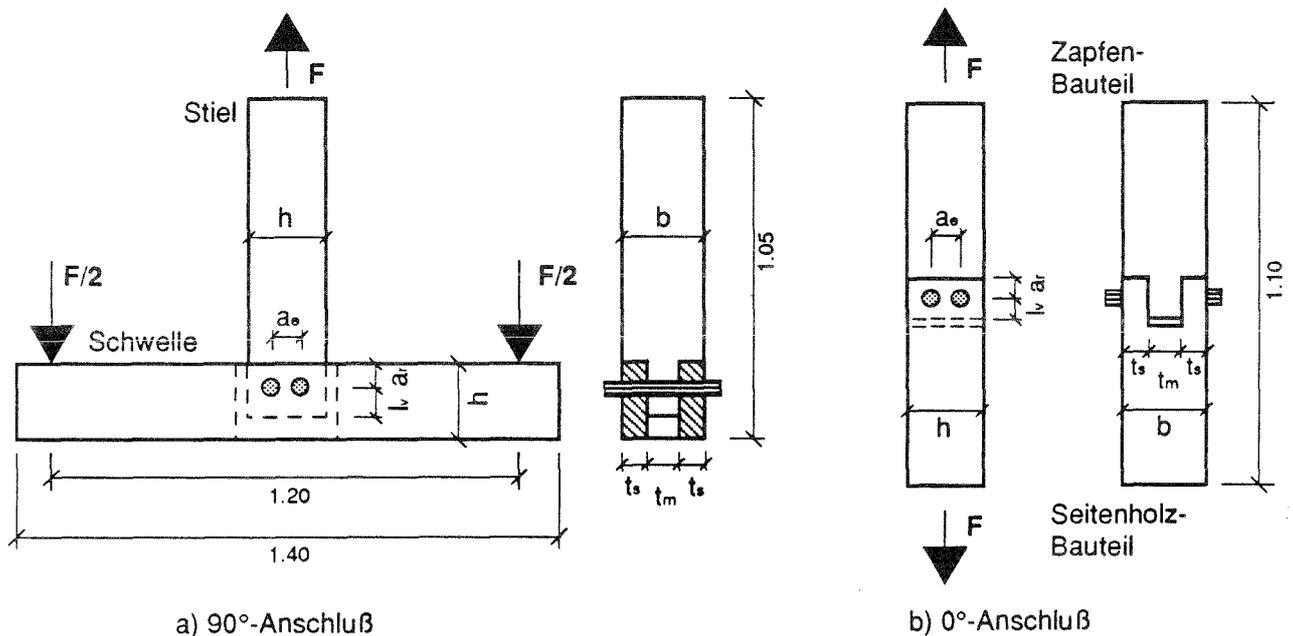


Bild 1: Versuchskörper

Die Versuchskörper nach Bild 1a wurden fertig abgebunden und mit Anschlußbohrungen versehen von der Zimmerei geliefert. Die Bohrungen für Stiel und Schwelle bzw. Seitenholz wurden bei sämtlichen Proben mittels Schlangenbohrer in einem Arbeitsgang gefertigt. Die Ausführung der Verbindung erfolgte jeweils unmittelbar vor der Prüfung. Wie in Bild 1a zu erkennen ist, wurde die Schlitzlänge größer als erforderlich gewählt, um einen günstigen Einfluß einer engen Passung zwischen Schlitz und Zapfen auf die Tragfähigkeit der Verbindung auszuschließen.

Das frisch eingeschlagene Eichenkantholz hatte bei der Anlieferung eine Holzfeuchtigkeit von mehr als 80%. Bis zur Prüfung wurde es in Kellerräumen (10°C, 60 % rel. Luftf.) gelagert, wobei die Lagerdauer höchstens einen Monat betrug. Das kammergetrocknete Fichtenkantholz wurde mit einem Feuchtigkeitsgehalt zwischen 15 bis 18% geliefert. Die Eichen- und Fichtenkanthölzer mit dem Querschnitt  $b/h = 20/18\text{cm}$  waren ausschließlich einstiellig eingeschnitten, während die Kanthölzer mit  $b/h = 14/14\text{cm}$  sowohl ein- wie auch mehrstiellig eingeschnitten waren.

Um eine weitestgehend zufällige Auswahl der Materialeigenschaften der Versuchskörper zu gewährleisten, wurden für die Fertigung der Versuchskörper innerhalb eines halben Jahres vier getrennte Aufträge an zwei Zimmereien vergeben. Aus Kostengründen wurden für die Serie D fünf Stiele aus den Serien B und C neu abgebunden und wiederverwendet. Des Weiteren wurden die Versuchskörper sämtlicher 0°-Versuche aus den Hölzern der Serien A bis D hergestellt. Die Auswahl dieser Kanthölzer erfolgte zufällig.

Die Anforderungen der DIN 28 970 an die Rohdichte wurden eingehalten. Für jedes Probenbauteil wurde die Darrdichte entsprechend DIN 52 182 an mindestens fünf kleinen Proben bestimmt, die jeweils, den ganzen Querschnitt erfassend, einer in Anschlußnähe gesägten Scheibe entnommen wurden. Die Umrechnung der aus den kleinen Proben gemittelten Darrdichte auf die Rohdichte bei 12% Holzfeuchte ( $Ro_{12\%}$ ) erfolgte nach DIN 52 182. Bild 2 zeigt die Häufigkeitsverteilung der Rohdichte aller Versuchskörper aus Eichenholz.

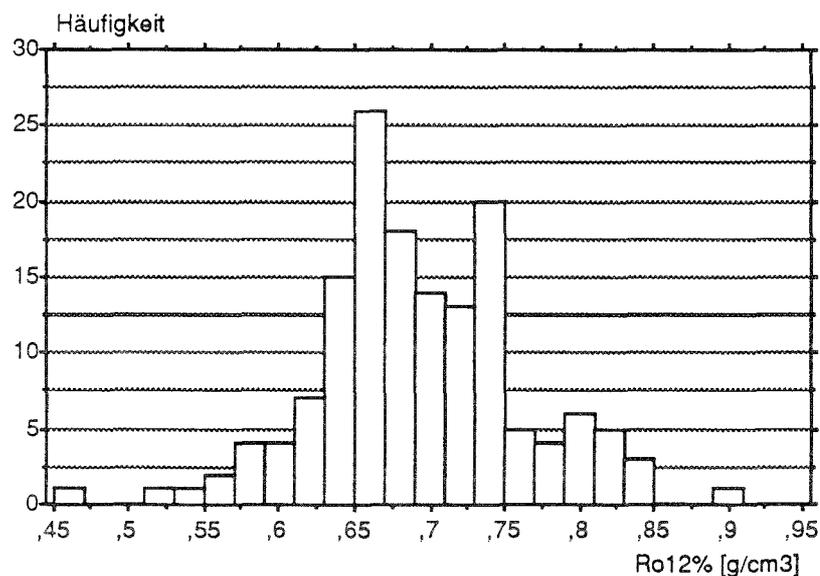


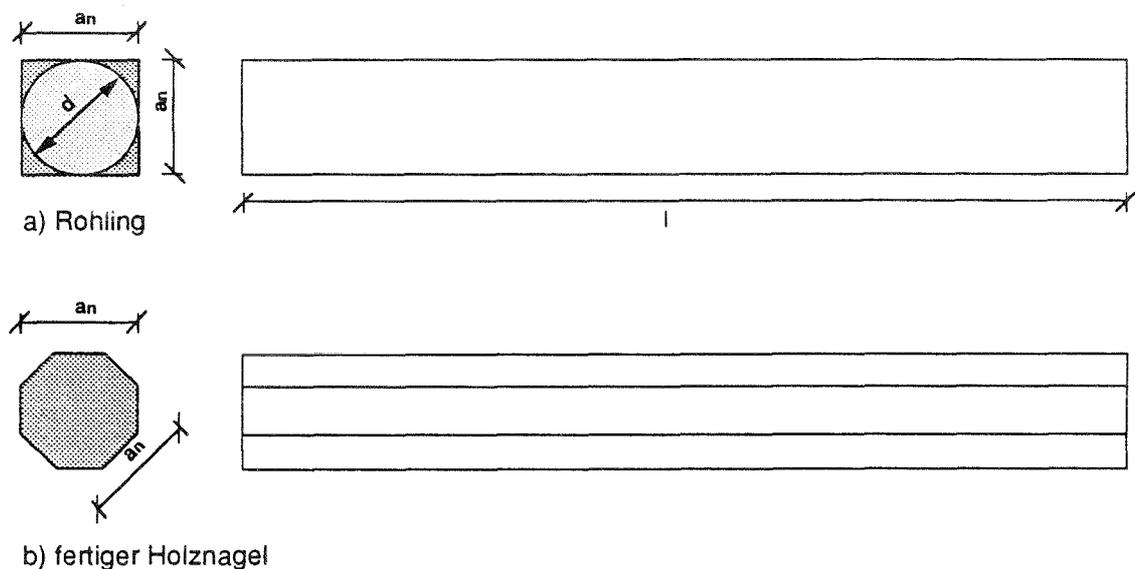
Bild 2: Häufigkeitsverteilung der Rohdichte  $Ro_{12\%}$  des verwendeten Eichenholzes

Unter der Annahme einer Normalverteilung ergab sich für das verwendete Eichenholz eine mittlere Rohdichte von  $0,694\text{ g/cm}^3$  mit einem Variationskoeffizient von 10,1 %. Die mittlere Rohdichte des verwendeten Fichtenholzes betrug  $0,443\text{ g/cm}^3$  mit einem Variationskoeffizient von 7,9 %.

### 2.3 Holznägel

Die in alten Holzkonstruktionen verwendeten Holznägel aus Nadel- oder Eichenholz wurden traditionell durch Spalten ausgesuchter Blöcke oder Bohlen hergestellt. Bedingt durch diese Fertigung waren sie stets astfrei und parallelfaserig, aber auch ungleichmäßig im Querschnitt. Im Hinblick auf einen statischen Nachweis ist jedoch ein konstanter Nagelquerschnitt erforderlich. Darüber hinaus müssen Nagel und Bohrung möglichst passgenau sein, um Schlupf und Verschieblichkeit der Verbindung gering zu halten. Deshalb wurden die in dieser Untersuchung verwendeten Holznägel maschinell hergestellt.

Visuell sortiertes, astfreies und parallelfaseriges Eichenholz wurde zunächst grob zugeschnitten und bis zur Gewichtskonstanz im Normklima 20/65-1 nach DIN 50014 gelagert. Danach wurden Leisten mit der dem Bohrlochdurchmesser  $d$  entsprechenden Querschnittsbreite  $a_n$  gesägt, wobei für die Durchmesser  $d=32$  mm und  $d=40$  mm das Maß  $a_n$  um 1 mm reduziert wurde (Bild 3a). In einem zweiten Arbeitsgang wurden diese Leisten von der quadratischen in die gleichmäßig achteckige Querschnittsform gebracht (Bild 3b). Eine abschließende grobe Anfasung der Querschnittskanten sowie ein vollständiger Wachsüberzug sollten das Eintreiben der Holznägel in die Bohrungen erleichtern.



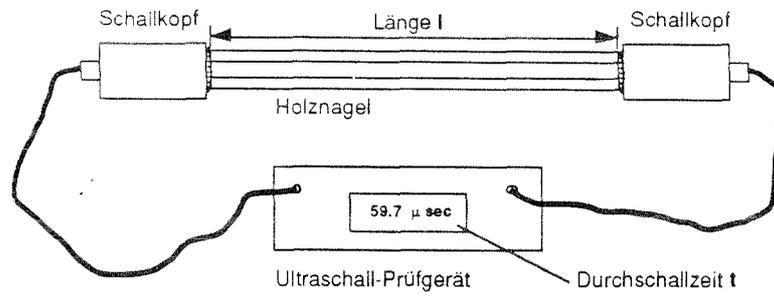
Bilder 3: Maschinelle Holznagelfertigung

Von jedem Eichenholznagel wurde die Darrdichte an ca. 1,5cm starken Querschnittsscheiben bestimmt und nach DIN 52 182 auf die Rohdichte bei 12% Holzfeuchte umgerechnet. In Tabelle 2 sind die Mittelwerte sowie die zugehörigen Standardabweichungen und Variationkoeffizienten getrennt nach Durchmessern aufgeführt.

Ø-Holznagel [mm]	R <sub>0</sub> 12% [g/cm <sup>3</sup> ]	Stand.-Abw. [g/cm <sup>3</sup> ]	Var.-Koeff. [%]	Anzahl
24	0,661	0,048	7,3	70
32	0,661	0,047	7,1	70
40	0,657	0,050	7,6	70

Tabelle 2: Verteilungsgrößen der Rohdichte der verwendeten Holznägel

Für jeden Holznagel wurde die Durchschallgeschwindigkeit vor ( $V_v$ ) und nach der Versuchsdurchführung ( $V_n$ ) nach dem in Bild 4a skizzierten Meßaufbau ermittelt. Die Ultraschallmessung nach der Versuchsdurchführung (Bild 4b) erfolgte in eingebautem Zustand.



Durchschallgeschwindigkeit:  $v = l / t$

Bild 4a: Meßaufbau der Ultraschallmessung

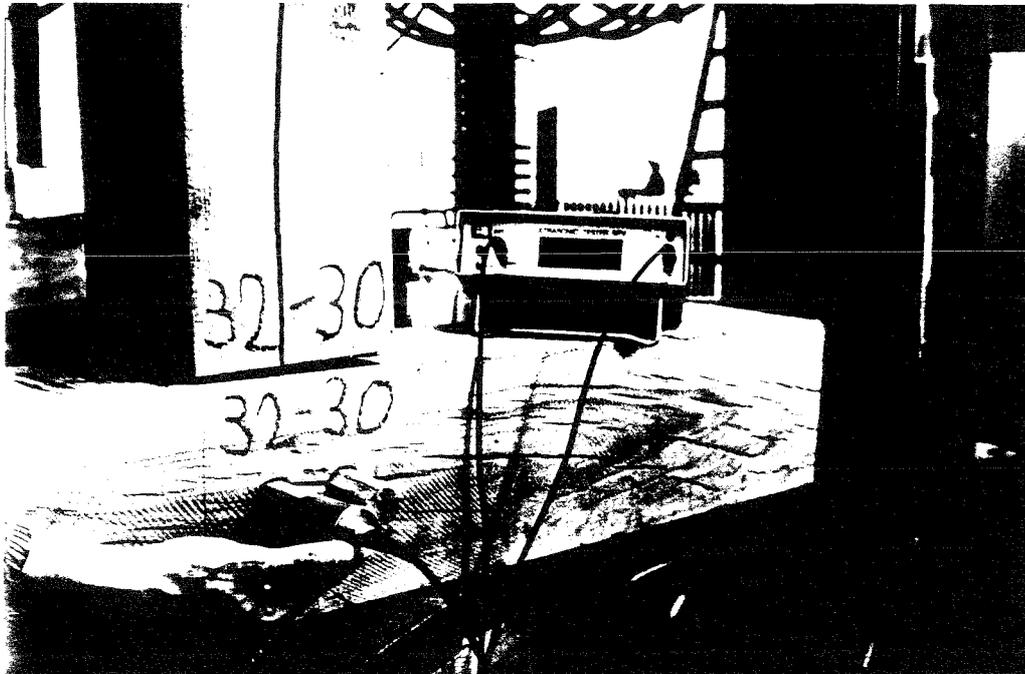


Bild 4b: Ultraschallmessung nach Versuchsdurchführung

## 2.4 Versuchseinrichtung und Versuchsdurchführung

Bild 5 zeigt einen 90°-Versuch im Belastungsrahmen. Über eine Stahlblech-Stabdübel-Verbindung ist der Stiel einachsrig gelenkig an ein Widerlager (Bild 6) angeschlossen. Die im Holznagelanschluß

wirkende Zugkraft resultiert aus der rechtwinklig zur Schwelle gerichteten Druckbelastung durch zwei symmetrisch zum Anschluß angeordnete Prüfzylinder, die synchron weggesteuert wurden.

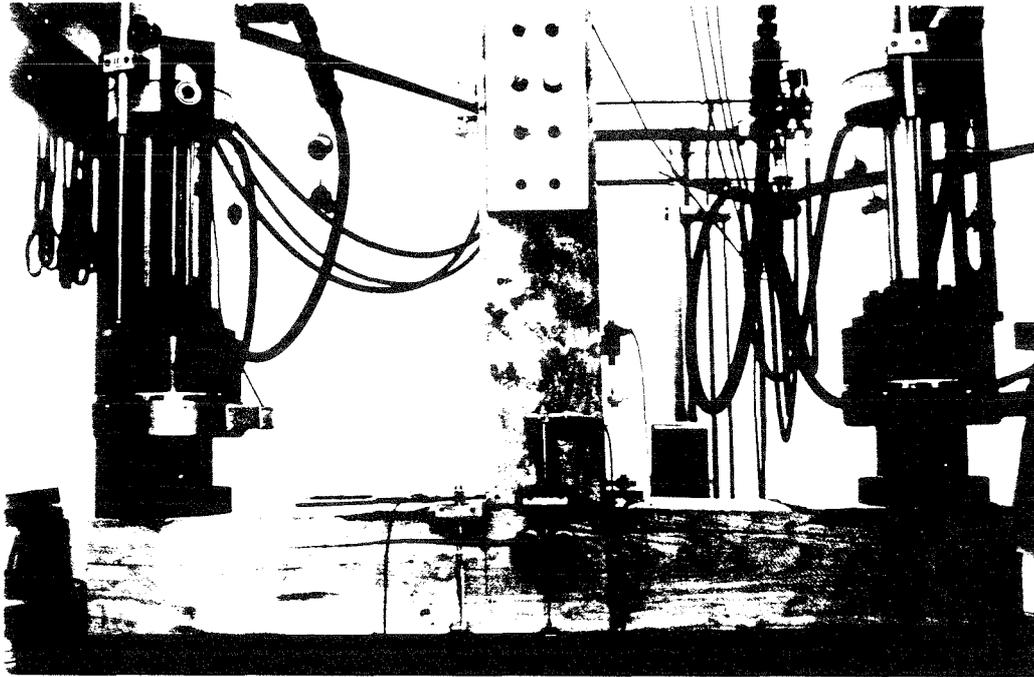


Bild 5: Versuchseinrichtung mit eingebauten 90°-Versuch

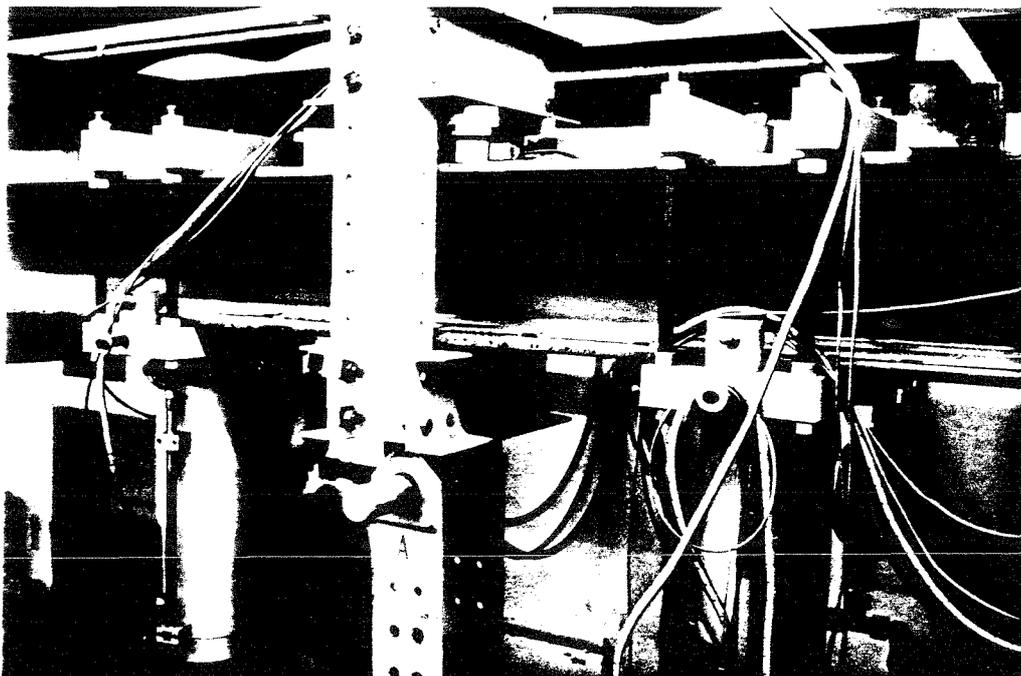


Bild 6: Widerlager der 90°-Versuche

Die Kraftmessung erfolgte durch vier am Widerlager angeordnete Kraftmeßdosen (Bild 6). In der Anschlußfuge der Holznagelverbindung wird die Verschiebung durch zwei gegenüberliegende induktive Wegaufnehmer, die mittig zwischen den Holznägeln angeordnet sind, aufgenommen (Bild 7).

Die gemessene Kraft wird in Abhängigkeit vom gemittelten Wert beider Verschiebungsmessungen als Last-Verschiebungs-Diagramm aufgezeichnet. Die größte auftretende Last  $F_{\max}$  wird von der Prüfanlage digital angezeigt und festgehalten.

Zur besseren Beurteilung des Bruches wird zusätzlich mittels induktiver Wegaufnehmer die Schwellenverformung rechtwinklig zur Faser in Anschlußnähe gemessen (Bild 7), sowie die Verformung des Zapfens qualitativ erfaßt. Bild 8 zeigt dazu die Meßvorrichtung, in der ein Faden durch zwei Umlenkpunkte doppelt über die ganze Zapfenquerschnittslänge geführt und an seinen Enden mit Hilfe einer am Stiel befestigten Schiene unter Federspannung gehalten wird. Scher- und Spaltbrüche des Zapfens bewirken über die Fadenwegänderung (Bild 9) eine Stauchung der Federn, die durch einen induktiven Wegaufnehmer aufgenommen wird.

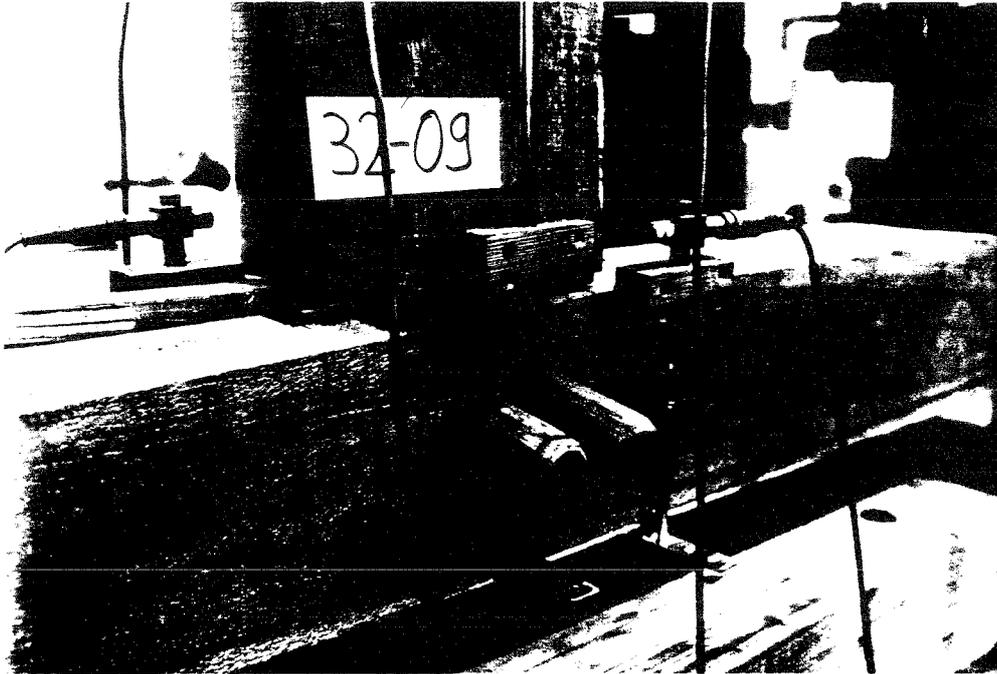


Bild 7: Aufnahme der Anschlußverschiebung und der Schwellenverformung

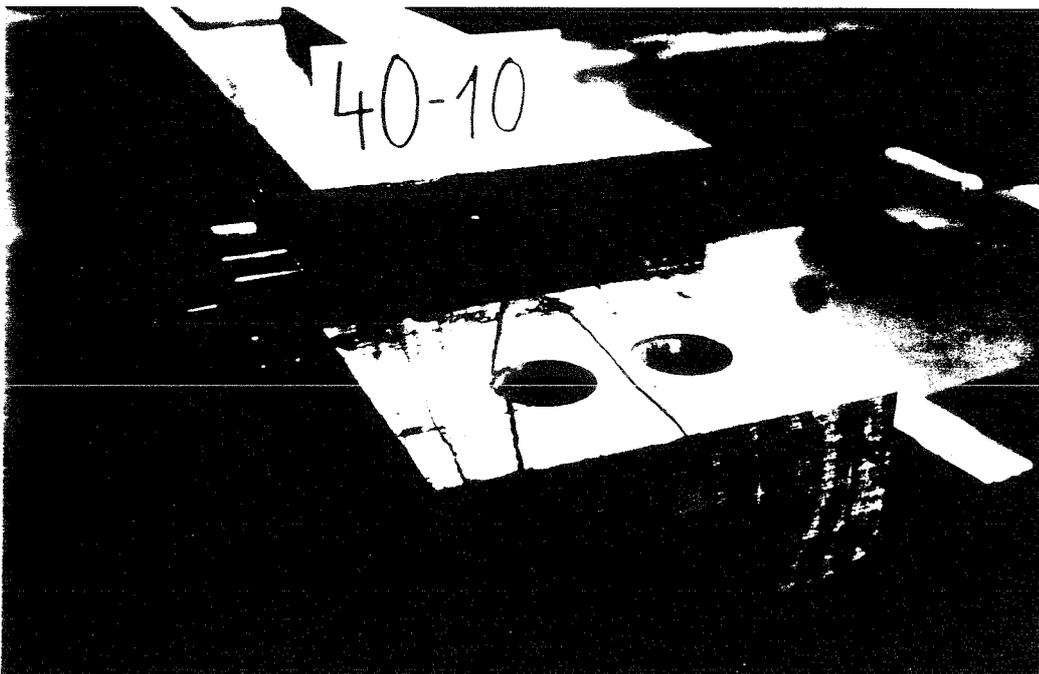


Bild 8: Meßvorrichtung zur Aufnahme der Verformung des Zapfens

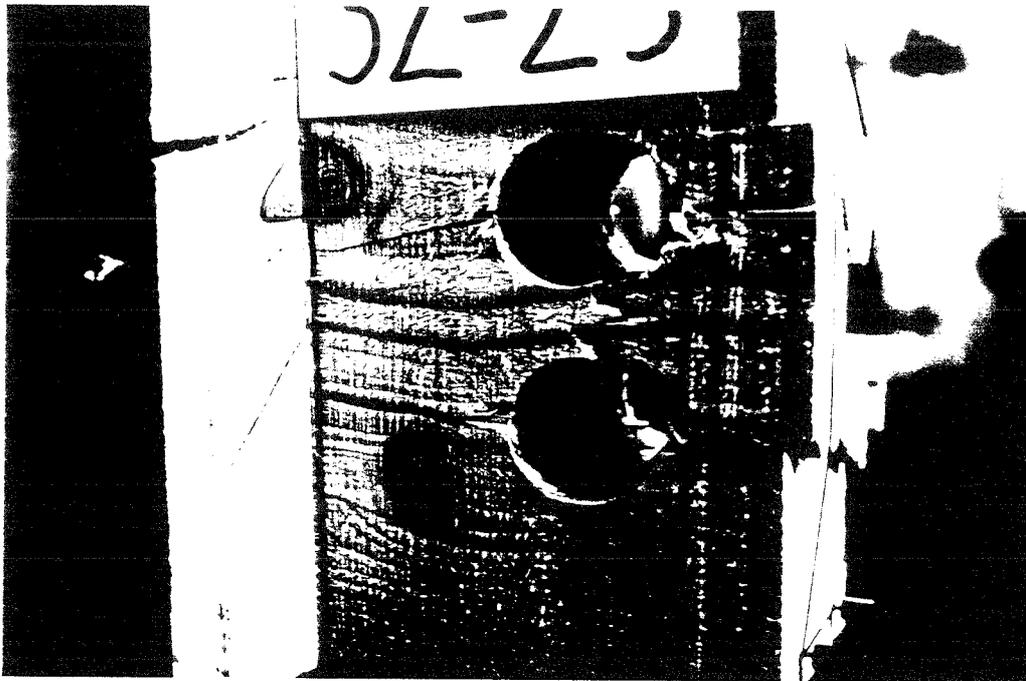


Bild 9: Fadenwegänderung durch Scherbruch des Zapfens

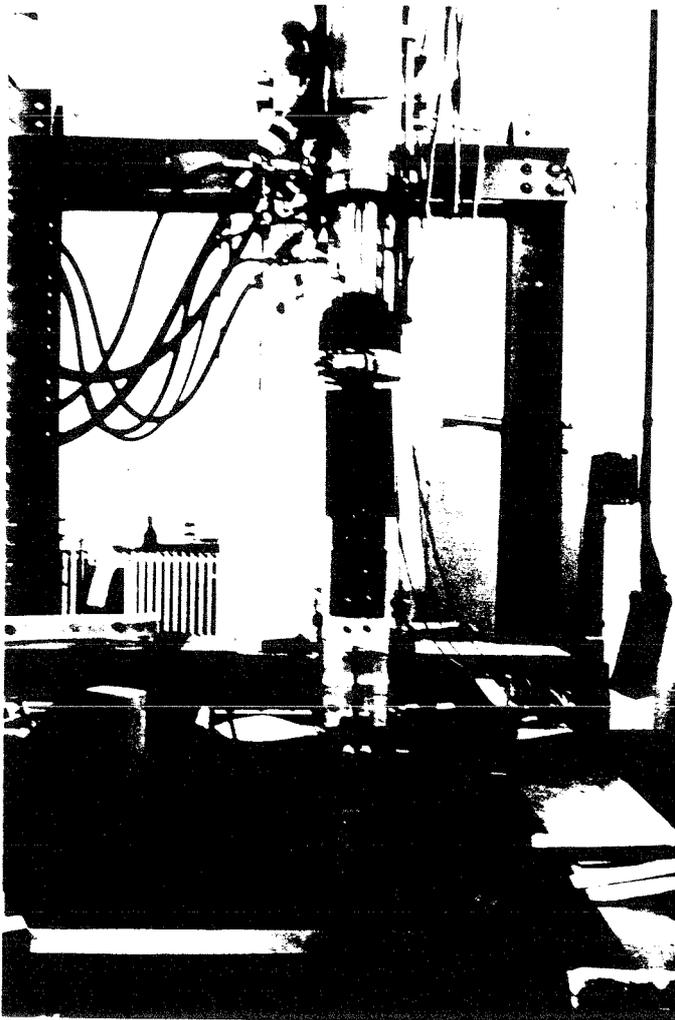


Bild 10: Versuchseinrichtung der 0°-Anschlüsse

Die Versuchseinrichtung der 0°-Anschlüsse ist in Bild 10 zu erkennen. Die von einem weggesteuerten Prüfzylinder ausgehende Zugkraft wird mittels Vorrichtung gelenkig über außen liegende Stahllaschen in das Zapfen-Bauteil eingeleitet. Ebenfalls durch Stahllaschen ist das Seitenholz-Bauteil der Probe am Widerlager, einem Stahlträger befestigt, der sich als Träger mit zwei Auflagern gegen den Belastungsrahmen abstützt. Die Kraftmessung erfolgt an den Auflagern des Stahlträgers mittels Kraftmeßdosens. Die Messung der Verschiebung im Anschluß sowie die Aufnahme der Zapfenverformung erfolgt wie bei den Versuchen mit 90°-Anschluß.

Vor der Versuchsdurchführung wurden im Anschlußbereich aller Versuchskörper Gewebespezialisierungen, Äste, Schrägfaserigkeit und Risse visuell erfaßt und protokolliert. Die Durchführung der Versuche erfolgte nach DIN 26 891. Die geschätzten Höchstlasten  $F_{est}$  der jeweiligen Versuchsserien wurden anhand der Ergebnisse aus den Vorversuchen [1,2] festgelegt.

Von den Versuchsserien A bis D wurde jeweils eine Probe nur bis zu einer Last von  $0,4 F_{est}$  belastet um sie als Vergleichsproben für eine Prüfung im getrockneten Zustand zu verwenden.

### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Bruchursachen

Als charakteristische Bruchursachen lassen sich das Versagen

- der Schwelle beim 90°-Anschluß
- des Seitenholzes beim 0°-Anschluß
- des Zapfens
- der Nägel

unterscheiden. Das Versagen von Seitenholz und Zapfen kann entweder durch einen Spaltbruch oder einen Scherbruch eintreten. Die Tragkraft der Nägel wird entweder durch einen Schub- oder Biegebruch begrenzt.

Während des Versuchablaufs konnte visuell nur das Versagen von Schwelle und Seitenholz erfaßt werden. Deshalb war für eine genaue Bruchanalyse die Demontage der Versuchskörper mit anschließender Begutachtung der Zapfen und Nägel notwendig. Exemplarisch wurde bei 10 Versuchskörpern (8 mit 0°-Anschluß und 2 mit 90°-Anschluß) der Anschluß in Belastungsebene durch einen Holznagel gehend aufgetrennt, während die restlichen Versuchskörper durch Herausschlagen der Holznägel demontiert wurden.

In den Bildern 11a bis c sind drei unterschiedliche Bruchbilder der Schwelle abgebildet, die bei den Versuchen wiederholt auftraten. Es handelt sich in Bild 11a um einen langfaserigen Querkzugbruch infolge Schrägfaserigkeit. Ein kurzfasriger Querkzugbruch bei parallelem Faserverlauf der Schwelle ist in Bild 11b zu sehen, während Bild 11c einen Querkzugbruch in der Nagellochebene zeigt, der zu einem Biegezugbruch des Schwellenrestquerschnitts führte.

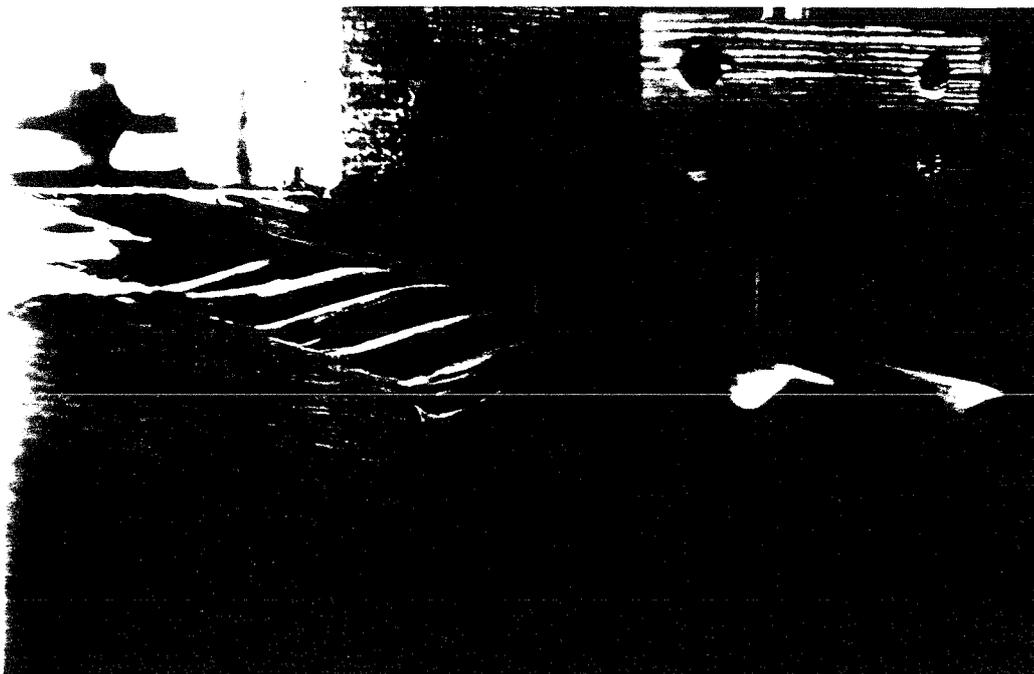


Bild 11: Schwellenbruch langfaserig

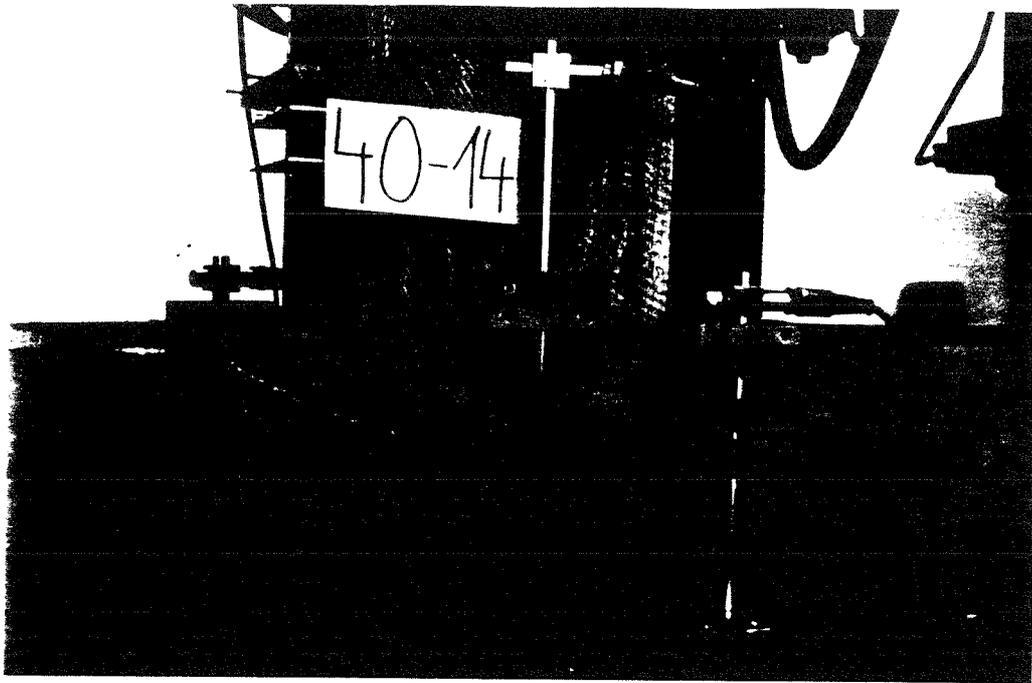


Bild 11b: Schwellenbruch kurzfaserig

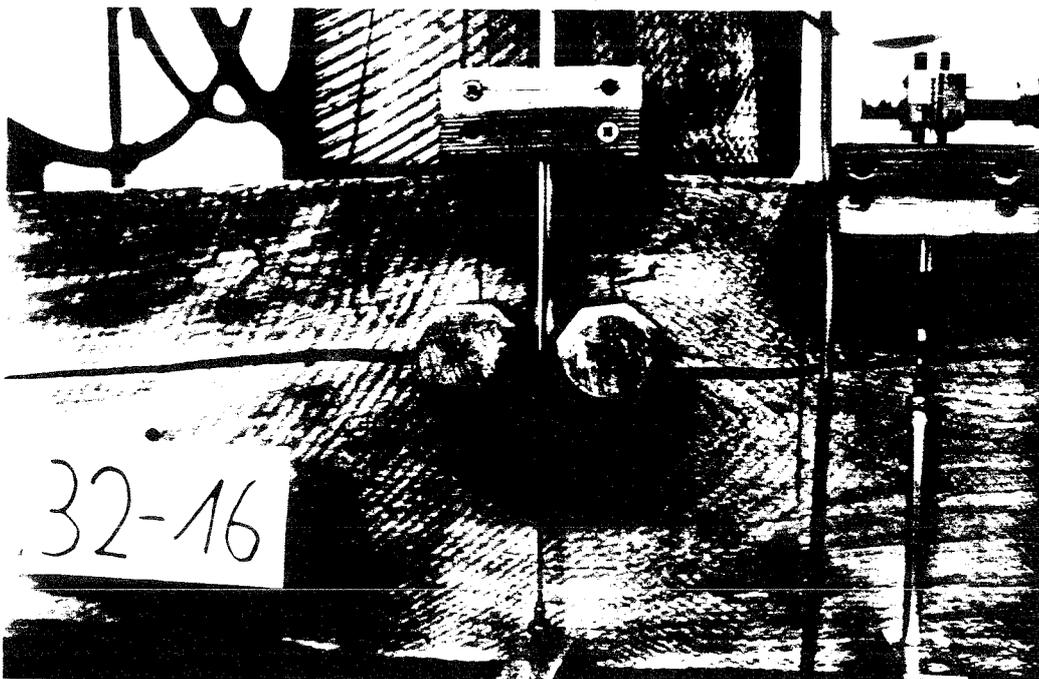


Bild 11c: Schwellenbruch mit Biegezugbruch

Das Versagen der Seitenhölzer bei den 0°-Versuchen zeigte sich ausschließlich in Form von Scherbrüchen, wie in Bild 12 zu erkennen ist.

Zapfenscherbrüche (Bild 13) traten in Abhängigkeit der Festigkeit der Holznägel an beiden oder nur an einem Nagelloch auf. Dazu zeigt Bild 14 die jeweils durch einen Holznagel gehenden Schnitte durch einen Versuchskörper. Während im linken Schnitt ein deutlicher Nagelbruch zu erkennen ist, zeigt der rechte Schnitt einen Zapfenscherbruch mit einem unbeschädigten Holznagel.



Bild 12: Bruch des Seitenholzes

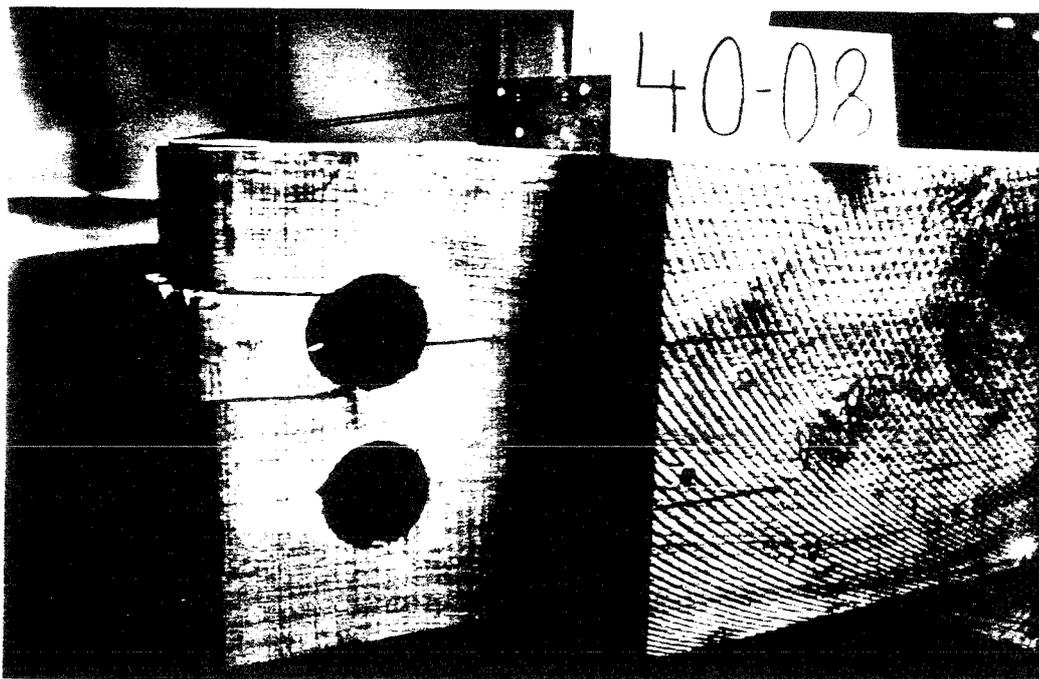


Bild 13: Zapfenscherbruch

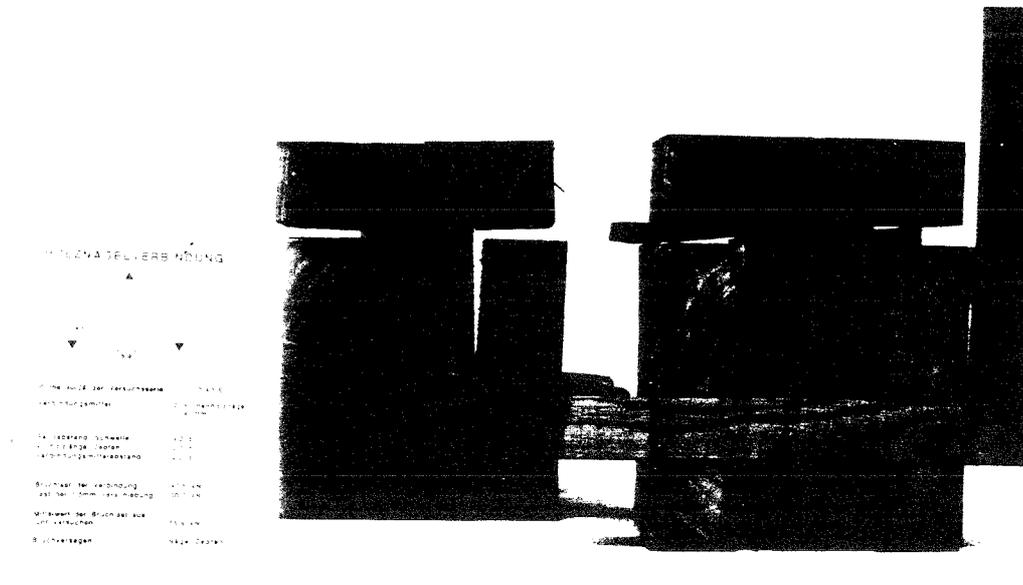


Bild 14: Aufgetrennter Versuchskörper Serie D40.EI Probe 40.28

Das Auftreten von mehr als einer Bruchursache (Kombinationsbruch) läßt sich am Verlauf des Lastverschiebungs- und der Lastverformungsdiagramme nachvollziehen.

Als Beispiel ist in Bild 14a das Lastverschiebungsdiagramm des Versuchskörpers 40-13 (Serie C40.EI) abgebildet. Die Ursachen der deutlich zu erkennenden Lastabfälle lassen sich mit Hilfe des in Bild 14b dargestellten Lastverformungsdiagramms von Schwelle (s. a. Beschreibung zu Bild 7) und Zapfen (s. a. Beschreibung zu Bild 8) feststellen. Zunächst versagt bei einer Last von ca. 50kN der Zapfen durch einen Spaltbruch (Punkt 1). Die folgende Lastaufnahme (Punkt 2 bis 3) führt zu einem Scherbruch des Zapfens, so daß ab Punkt 4 die Last nur durch einen Nagel übertragen wird, der dabei einen Scherbruch erfährt. Schließlich versagt in Punkt 5 die Schwelle infolge der Überschreitung der Querkzugfestigkeit bei einer Last von ca. 45 kN.

FACHHOCHSCHULE HILDESHEIM / HOLZMINDEN		
LABOR FÜR HOLZTECHNIK		
HOHNSEN 1 3200 HILDESHEIM TEL.: 05121-881230/62		
VERSUCH	ZEIT	DATUM
HNGL 40-13 <b>C</b>	16: 55: 45	07-04-1992

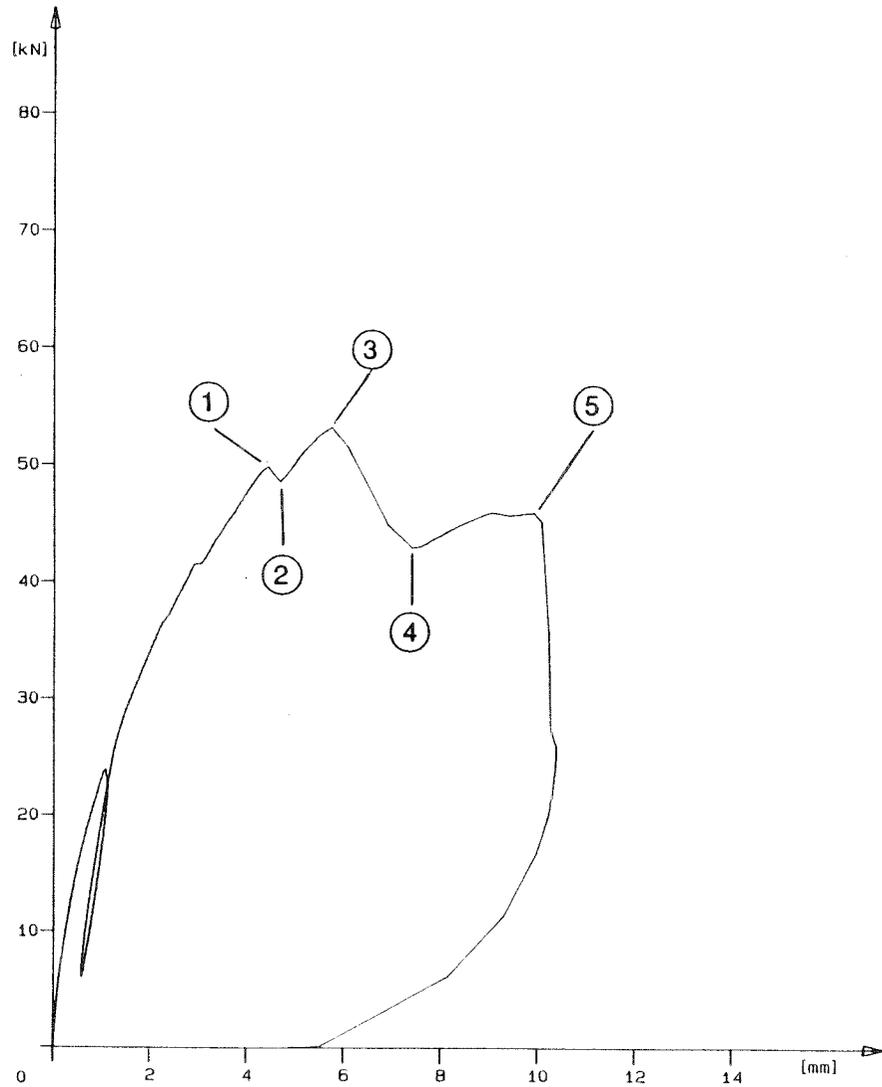


Bild 14a: Lastverschiebungsdiagramm C40.EI Probe 40-13

FACHHOCHSCHULE HILDESHEIM / HOLZMINDEN		
LABOR FÜR HOLZTECHNIK		
HOHNSEN 1 3200 Hildesheim TEL.: 05121-881230/62		
Last-Verformung von	— Zapfen	
40-13	— Schwelle	

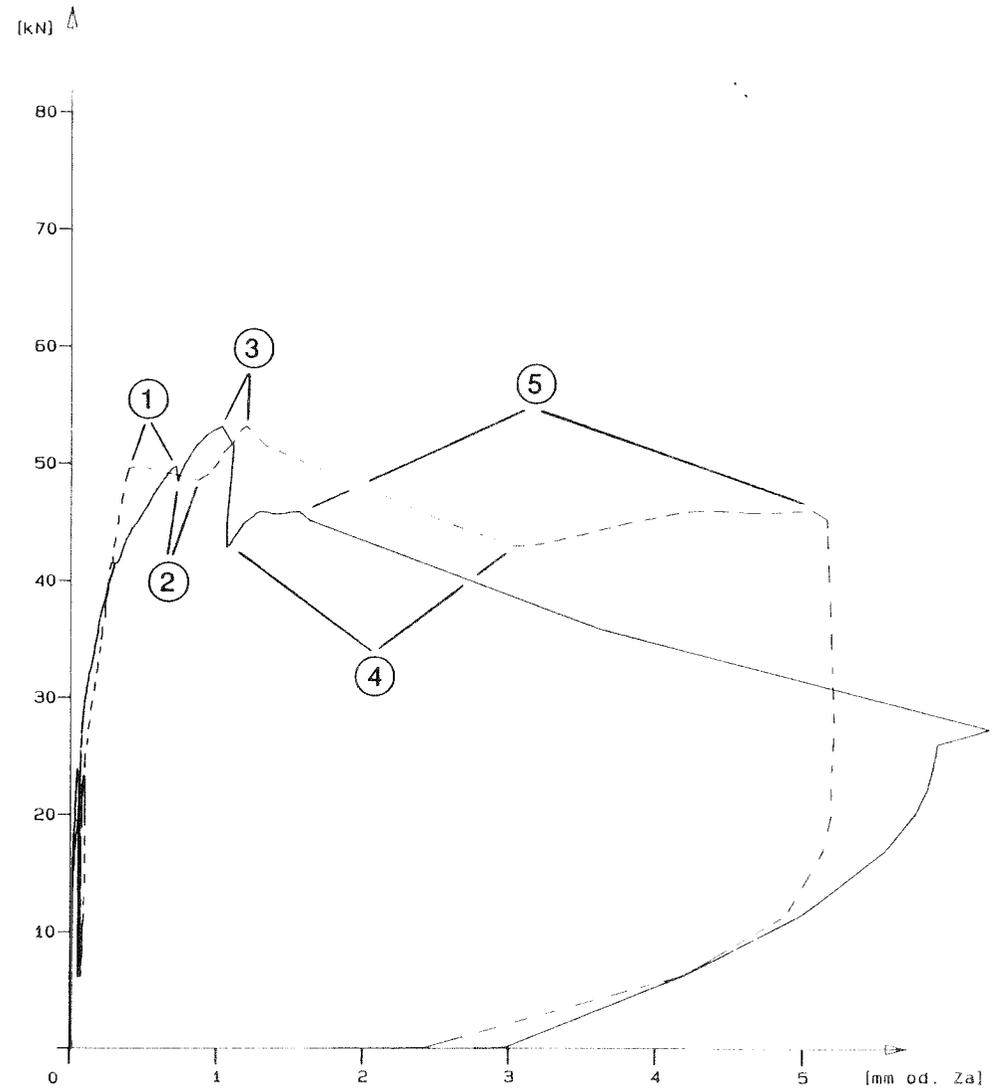


Bild 14b: Lastverformungsdiagramm C40.EI Probe 40-13

Eine Übersicht der Bruchursachen aller Versuche mit 90°-Anschluß zeigt Tabelle 3. Die Bruchursachen sind in Einzel- und Kombinationsbrüche unterteilt. Des weiteren ist die anteilige Häufigkeit einer Bruchursache innerhalb einer Versuchsserie sowie eine zusätzliche Unterteilung der Zapfenbrüche in Spalt- und Scherbruch angegeben. Die Ergebnisse der Serien A.EI bis D.EI sind für jeden Nageldurchmesser separat in einer Zeile (grau unterlegt) zusammengefaßt und als Balkendiagramm in Bild 15 grafisch dargestellt.

Versuchs- Serien mit 90° Anschluß- Winkel	Einzelbrüche			Kombinationsbrüche				anteilige Häufigkeit von			Zapfen	
	Zapfen	Schwelle	Nägel	Nägel-Schwelle	Nägel-Zapfen	Nä.-Schwe.-Zapf.	Schwelle-Zapfen	Zapfen	Schwelle	Nägel	Spaltbruch	Scherbruch
A24.EI		1	1	3					4	4		
B24.EI		2	1			2		2	4	3	1	1
C24.EI		1		1	2	1		3	3	4	1	2
D24.EI			1		4			4		5	1	3
Σ24.EI		7			13			9	11	16	3	6
B24.FI		2		2	1			1	4	3		1
A32.EI		2	1		2			2	2	3	2	
B32.EI		1	2		2			2	1	4	2	
C32.EI		1	2	1		1		1	3	4	1	
D32.EI				1	4			4	1	5	1	3
Σ32.EI		9			11			9	7	16	6	3
E32.EI	1		1		3			4		4	1	3
B32.FI	1	1			1	2		4	3	3	2	2
A40.EI		3		1	1			1	4	2	1	
B40.EI	2		1	1			1	3	2	2	1	2
C40.EI		1				1	3	4	5	1	4	
D40.EI			2		3			3		5		3
Σ40.EI		9			11			11	11	10	6	5
B40.FI	2	1					2	4	3		2	2

Tabelle 3: Bruchursachen der 90°-Versuche

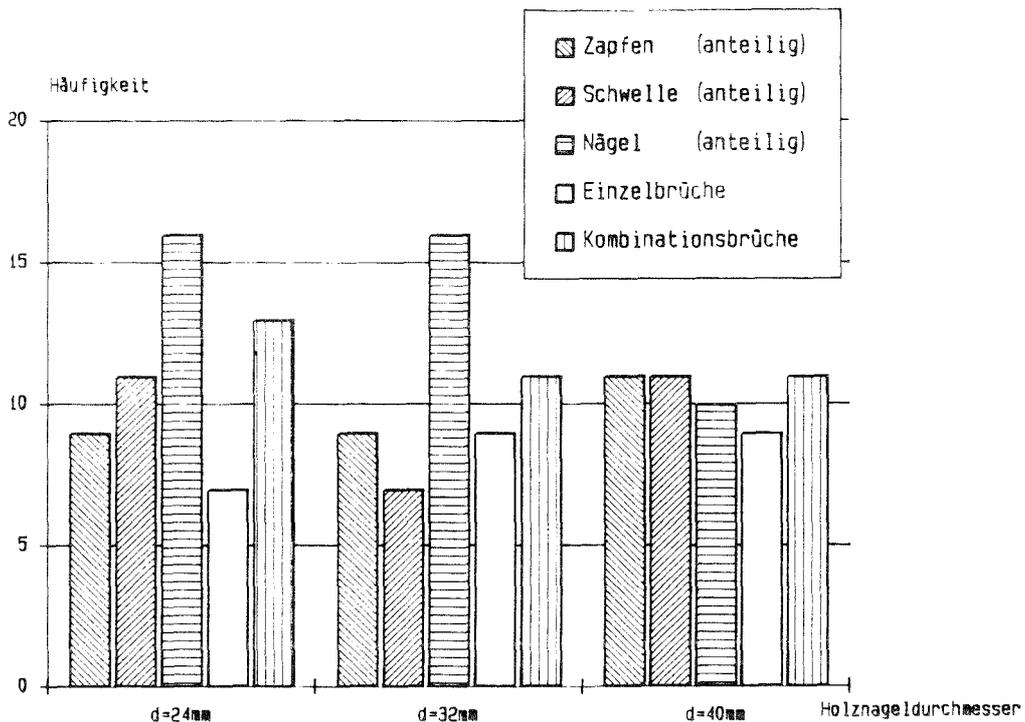


Bild 15: Zusammenfassung der Serien A.EI bis D.EI

Die Bruchursachen aller Versuche mit 0°-Anschluß sind in Tabelle 4 zusammengestellt.

Versuchs- Serien mit 0° Anschluß- Winkel	Einzelbrüche			Kombinationsbrüche				anteilige Häufigkeit von			Zapfen	
	Zapfen	Seitenholz	Nägel	Nägel-Seitenholz	Nägel-Zapfen	Nä.-Seith.-Zapf.	Seitenholz-Zapfen	Zapfen	Seitenholz	Nägel	Spaltbruch	Scherbruch
C24.EI.0				3		2		2	5	5		2
C24.FI.0				4			1	1	5	4		1
C32.EI.0				2	3			3	2	5		3
C32.FI.0			1	4					4	5		
C40.EI.0	1			2		2		3	4	4	1	2
C40.FI.0	1	1			1	1	1	4	3	2		4

Tabelle 4: Bruchursachen der 0°-Versuche

## 3.2 Meßergebnisse

In Tabelle 5 sind die Mittelwerte der Meßergebnisse aller Versuchsserien aufgeführt. Die Mittelwerte von  $F_{max}$  und  $F_{1,5mm}$  sind mit den Angaben der Variationskoeffizienten ergänzt. Die gemittelte Rohdichte und die gemittelte Durchschallgeschwindigkeit der in einem Anschluß verwendeten Nagelpaare, wurden zur Mittelwertbildung einer Serie verwendet. Die Einzelwerte von Anfangsverschiebungsmodul  $K_s$  und Verschiebungsmodul  $K$  wurden nach DIN EN 26 891 (Stand 1991) berechnet und beziehen sich auf einen Nagel und eine Scherfläche. Die Berechnung der Anschlußspannungen erfolgte nach den Beziehungen

$$\sigma_{v,(Zapf.)} = \frac{F_{max}}{4 l_v t_m}$$

Scherbruchspannung Zapfen  
(mit  $F_{max}$  nur aus Versuchen mit Zapfenbruch),

$$\sigma_{h,(SH)} = \frac{F_{max}}{4 d t_s}$$

Lochleibungsspannung Seitenholz und

$$\sigma_{h,(MH)} = \frac{F_{max}}{2 d t_m}$$

Lochleibungsspannung Mittelholz.

Versuchs- serien	[kN] [%]		[kN] [%]		[m/s]	Ro 12% [g/cm3]			[N/mm]		[N/mm2]		
	$\bar{F}_{max}$	V.K.	$\bar{F}_{1,5mm}$	V.K.	$\bar{W}$	Nägel	Stiel	Schwelle	$\bar{K}_s$	$\bar{K}$	$\bar{\sigma}_{v,Zapf.}$	$\bar{\sigma}_{h,SH}$	$\bar{\sigma}_{h,MH}$
A24.EI	24,5	23,9	19,7	19,7	4642	0,698	0,642	0,622	5694	7136	-	5,7	10,2
B24.EI	20,2	20,1	16,4	16,4	4790	0,676	0,702	0,635	4413	5234	3,3	4,7	8,4
C24.EI	20,7	14,1	18,0	10,5	4785	0,635	0,688	0,724	4840	5748	2,8	4,8	8,6
D24.EI	28,8	24,6	19,0	23,5	4863	0,642	0,704	0,803	5461	6355	2,4	6,7	12,0
B24.FI	17,3	13,9	11,0	17,0	4969	0,652	0,440	0,429	1993	2160	2,6	4,0	7,2
C24.EI.0	24,2	13,9	20,1	9,3	4738	0,660	0,677	0,702	5900	6601	3,5	5,6	10,1
C24.FI.0	20,7	12,8	16,5	6,7	4863	0,661	0,434	0,424	4651	4596	2,3	4,8	8,6
A32.EI	41,2	8,2	32,6	11,9	4552	0,634	0,645	0,705	10176	11111	-	5,4	8,1
B32.EI	36,6	13,7	26,5	19,5	4911	0,654	0,689	0,693	5786	6837	-	4,8	7,2
C32.EI	38,1	2,5	28,4	13,1	4794	0,622	0,677	0,736	6732	7907	-	5,0	7,4
D32.EI	41,0	28,1	25,0	27,3	4752	0,644	0,708	0,700	4938	6056	1,6	5,3	8,0
E32.EI	38,7	25,8	19,9	30,5	4752	0,640	0,699	0,804	3506	4320	1,6	6,7	12,1
B32.FI	27,1	24,1	10,5	24,4	4813	0,685	0,450	0,458	1951	2192	2,1	3,5	5,3
C32.EI.0	40,3	21,1	18,2	14,8	4890	0,660	0,707	0,735	2710	3181	2,1	5,3	7,9
C32.FI.0	34,3	11,9	16,6	13,5	4749	0,688	0,449	0,458	3216	3019	-	4,5	6,7
A40.EI	55,8	9,7	38,1	11,8	4759	0,680	0,731	0,696	9028	10510	-	5,8	8,7
B40.EI	52,3	18,0	40,3	19,3	4804	0,651	0,707	0,689	10027	11702	2,1	5,5	8,2
C40.EI	45,4	21,4	31,2	18,6	4611	0,663	0,669	0,621	6247	6771	-	4,7	7,1
D40.EI	55,6	10,4	31,6	13,3	4953	0,667	0,685	0,710	6469	7577	1,9	5,8	8,7
B40.FI	29,9	14,9	21,2	17,1	4860	0,661	0,433	0,447	5062	5716	1,7	3,1	4,7
C40.EI.0	40,9	7,3	27,2	17,6	4700	0,618	0,679	0,683	4809	5491	1,6	4,3	6,4
C40.FI.0	34,5	10,1	19,7	22,0	4781	0,626	0,447	0,451	3413	4056	1,9	3,6	5,4

Tabelle 5: Meßergebnisse aller Versuchsserien

Bild 16a zeigt die grafische Darstellung der Mittelwerte von  $F_{\max}$  sämtlicher  $90^\circ$ -Versuche jeweils mit Angabe des Größt- und Kleinstwertes ( $F_{gr}$  und  $F_{kl}$ ) einer Serie. Entsprechend sind in Tabelle 16b die Ergebnisse aller  $0^\circ$ -Versuche grafisch dargestellt.

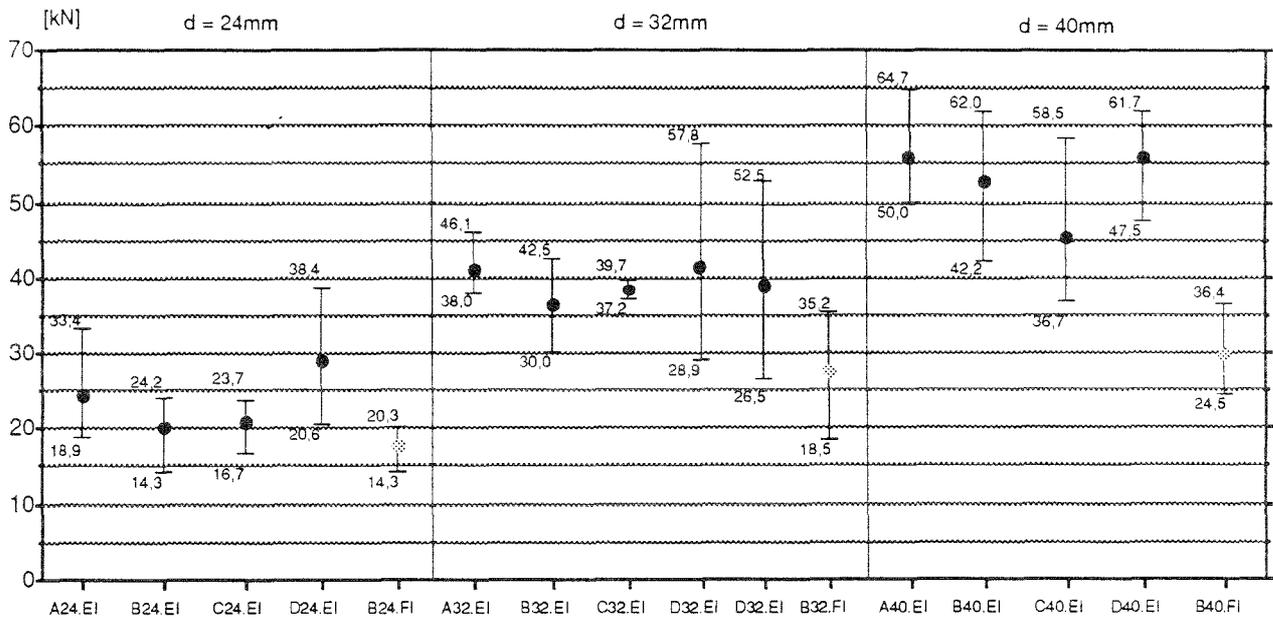


Bild 16a: Mittelwerte von  $F_{\max}$  sämtlicher  $90^\circ$ -Versuche

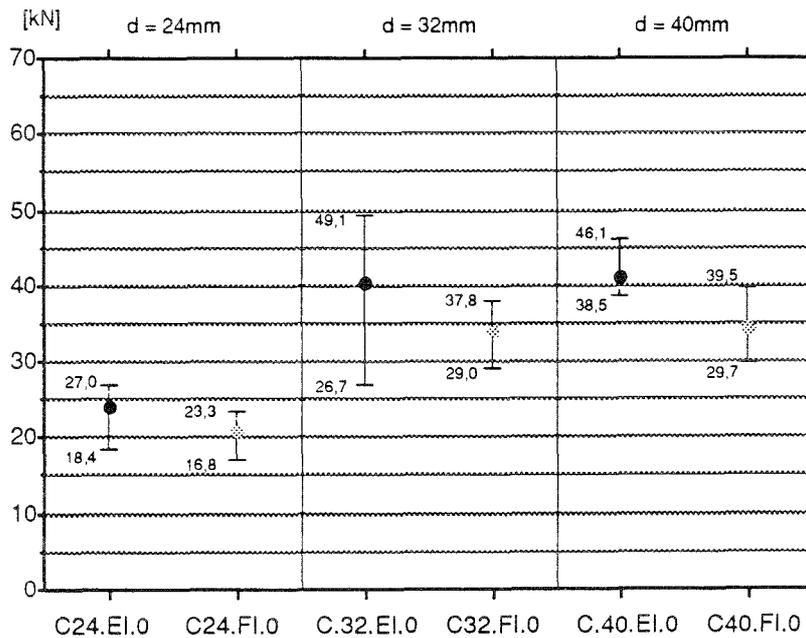


Bild 16b: Mittelwerte von  $F_{\max}$  sämtlicher  $0^\circ$ -Versuche

### 3.3 Ultraschalluntersuchung der Holznägel

Durch die Ultraschalluntersuchung der Eichenholznägel vor und nach der Versuchsdurchführung sollte geprüft werden, ob Beschädigungen der Holznägel mittels Ultraschalltechnik im eingebauten Zustand nachweisbar sind. Zu diesem Zweck wurden die Differenzwerte  $\Delta = V_v - V_{nv}$  der geschädigten Holznägel ( $\Delta$  m. Bruch) den unversehrten ( $\Delta$  o. Bruch) gegenübergestellt. Das Ergebnis dieser Gegenüberstellung zeigt Bild 17 für jeden Holznageldurchmesser. Die Angaben der mittleren Differenzwerte sind durch die jeweiligen Extremwerte ergänzt.

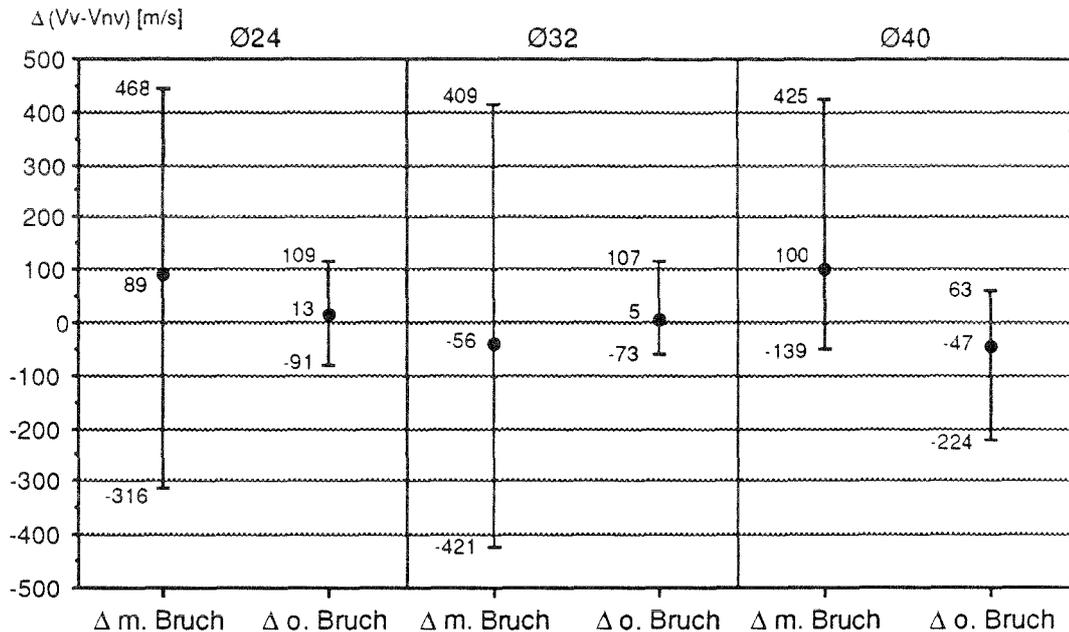


Bild 17: Differenzwerte der Ultraschallmessung von Holznägeln mit und ohne Bruch

Ein auf einen Holznagelbruch hinweisender Unterschied der Ultraschallgeschwindigkeit ist nur bei den Durchmessern  $d=24\text{mm}$  und  $d=40\text{mm}$  zu erkennen. Im Gegensatz dazu zeigen die geschädigten Holznägel mit  $d=32\text{mm}$  im Mittel sogar eine Zunahme der Ultraschallgeschwindigkeit gegenüber den ungeschädigten. Darüberhinaus fällt die regelmäßig größere Streuung bei den Differenzwerten der geschädigten Holznägel auf. Die Ursache der in Einzelfällen übermäßigen Zunahme der Ultraschallgeschwindigkeit nach dem Versuch von bis zu 10% wird noch untersucht.

Zusammenfassend bleibt zu sagen, daß durch Ultraschallmessungen Schädigungen der Holznägel gegebenenfalls nur statistisch nachweisbar sind. Für eine Einzelprüfung ist der Einfluß weiterer, hier noch nicht untersuchter Parameter zu berücksichtigen.

## 4. Auswertung

### 4.1 Einflüsse der Materialeigenschaften

#### Holzart

Die unterschiedliche Tragfähigkeit zwischen Holznagelverbindungen aus Eichen- und Fichtenholz mit gleicher Anschlußgeometrie ist in Bild 16a an den Ergebnissen der Serien B.24, 32, 40.EI und FI sowie in Bild 16b an den Ergebnissen der 0°-Versuche zu erkennen.

Die Abnahme der Tragfähigkeit bei 0°-Anschlüssen aus Fichtenkantholz gegenüber denen aus Eichenkantholz beträgt unabhängig vom Holznageldurchmesser 15%. Bei 90°-Anschlüssen aus Fichtenholz verringert sich die Tragfähigkeit bei Nageldurchmesser  $d=24\text{mm}$  um 15%, bei Nageldurchmesser  $d=32\text{mm}$  um 26% und bei Nageldurchmesser  $d=40\text{mm}$  um 43% gegenüber 90°-Anschlüssen aus Eichenholz. Daraus folgt, daß zumindest für Holznägel mit  $d=40\text{mm}$  größere Abstände gewählt werden müßten.

Das Bruchverhalten der Vergleichsserien ist für Holznageldurchmesser  $d=24\text{mm}$  beider Anschlußwinkel nahezu gleich. Der Zapfen zeigt die geringste Häufigkeit als Bruchursache, während Schwelle bzw. Seitenholz und Nägel annähernd in gleicher Häufigkeit als Bruchursache auftreten.

Für die Serien mit Holznageldurchmesser  $d=32\text{mm}$  und  $d=40\text{mm}$  ergeben sich für 90°- und 0°-Anschlüsse unterschiedliche Häufigkeiten der Bruchursachen zwischen Fichten- und Eichenkantholz. Das Fehlen der Bruchursache Zapfen in der Serie C32.FI.0 und Nägel in der Serie B40.FI ist hierbei auffällig.

#### Holzfeuchtigkeit

10 Versuchskörper der 90°-Anschlüsse aus verschiedenen Serien wurden im frischen Zustand zunächst nur bis  $0,4 F_{\text{est}}$  belastet, um sie nach einer Austrocknungszeit von 100 bis zu 321 Tagen bis zum Bruch zu belasten. In Tabelle 6 sind die Bruchlasten dieser nachgetrockneten Versuchskörper den Mittelwerten der restlichen vier Versuche der entsprechenden Serie gegenübergestellt. Des Weiteren sind die Bruchursache, der Verschiebungsmodul (frisch / nachgetrocknet) sowie die Restfeuchte von Stiel und Schwelle in Anschlußnähe angegeben.

Serie	B24.EI	C24.EI	D24.EI	A32.EI	B32.EI	C32.EI	D32.EI	B40.EI	C40.EI	D40.EI	
Mittelwert [kN] (frisch)	21,7	21,7	26,4	40,0	35,1	38,4	43,3	52,3	45,5	55,6	
$F_{\text{max}}$ [kN] (nachgetrocknet)	14,3	16,7	38,4	46,1	42,5	37,2	31,9	62,0	58,5	47,5	
Bruchursache	Nägel	Nägel- Zapfen	Nägel	Nägel	Nägel	Nägel	Nägel- Zapfen	Nägel- Schwelle	Schwelle- Zapfen	Nägel- Zapfen	
$K_s$ [N/mm]	frisch nachgetr.	4286 3000	4286 3333	5515 4360	12500 7500	7877 4973	6383 4167	2521 2632	11786 9146	12162 9375	9375 6944
Restfeuchte [%] (Stiel/Schwelle)	25/18	26/20	20/20	15/15	28/18	30/18	40/30	35/35	33/40	22/45	
Austrocknungs- zeit [d]	142	142	104	321	208	208	103	219	172	100	

Tabelle 6: Ergebnisse der nachgetrockneten Versuchskörper

Ein eindeutiger Einfluß der Holzfeuchtigkeit auf die Tragfähigkeit der Holznagelverbindung ist nicht erkennbar. Die Versuche an den nachgetrockneten Versuchskörpern ergaben ohne ersichtlichen Grund fünfmal die größte und dreimal die kleinste Bruchlast innerhalb einer Serie.

Mit Ausnahme der Serie D32.EI verminderte sich in den restlichen Serien der Verschiebungsmodul um 20 bis 40%.

## Rohdichte

Tabelle 7 zeigt eine Zusammenstellung von Korrelationskoeffizienten, die den Zusammenhang zwischen  $F_{max}$  und der Rohdichte von Nägel, Stiel und Schwelle beschreiben. Die Serien A bis D EI der 90°-Anschlüsse sind für jeden Holznageldurchmesser zusammengefaßt.

Serien	A-D24.EI	A-D32.EI	A-D40.EI
Nägel	0,435	0,490	0,363
Schwelle	0,555	0,179	0,630
Stiel	0,072	0,079	0,034

Tabelle 7: Einfluß der Rohdichte auf die Tragfähigkeit

Der zu erwartende Einfluß der Holznagelrohichte auf  $F_{max}$  zeigt sich sehr schwach. Kein Zusammenhang besteht zwischen der Stielrohichte und  $F_{max}$ , während der Einfluß der Schwellenrohichte bei den Versuchen mit  $d=24$  mm und  $d=40$  mm sehr deutlich vorhanden ist. Eine Erklärung für den deutlichen Abfall der Durchmessergruppe mit  $d=32$  mm könnte die geringere anteilige Häufigkeit der Schwelle als Bruchursache sein.

## 4.2 Einflüsse der Anschlußparameter

Die folgenden Betrachtungen beziehen sich nur auf die Versuchsserien der 90°-Anschlüsse aus Eichenkantholz, die im Unterschied zu den 0°-Anschlüssen bzw. zu den Anschlüssen aus Fichtenkantholz in ausreichender Zahl von vergleichbaren Versuchsserien geprüft wurden.

### Holznageldurchmesser

Der zu erwartende Zusammenhang zwischen der Tragfähigkeit der Holznagelverbindung und dem Holznageldurchmesser ist sehr deutlich in Bild 18a zu erkennen. Es wurden hier nur die Versuche aus den Serien A - D berücksichtigt, bei denen die Nägel als Bruchursache beteiligt waren.

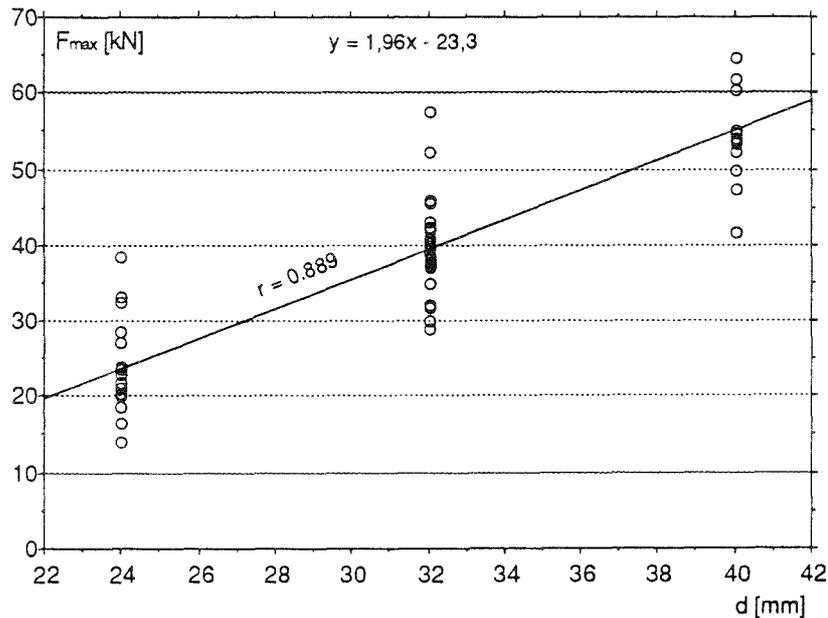
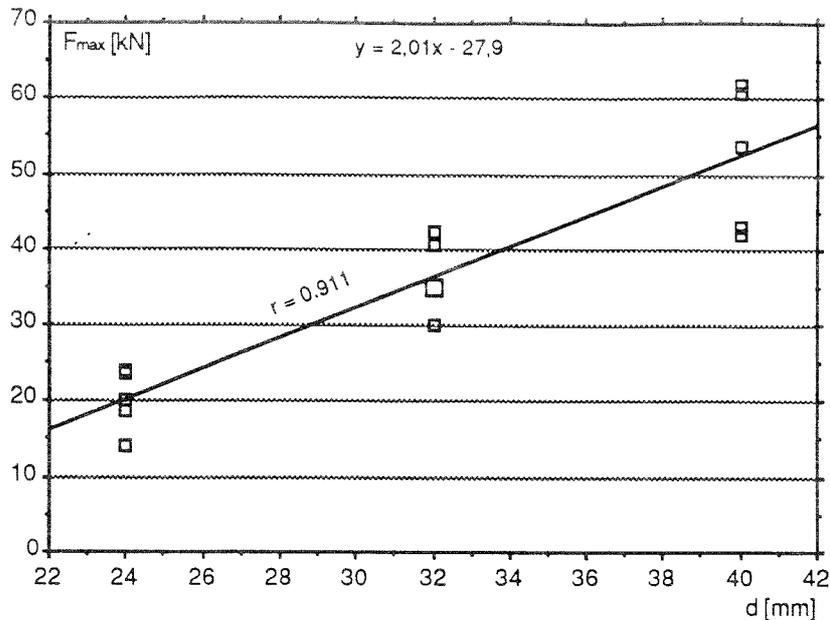


Bild 18a: Zusammenhang zwischen  $F_{max}$  und  $d$  aus den Serien A - D mit Nagelbruch

Aber auch wenn nur eine Serie, wie z.B. Serie B in Bild 18b, mit sämtlichen Versuchen für eine Regressionsanalyse herangezogen wird, ist der Zusammenhang deutlich.

Bild 18b: Zusammenhang zwischen  $F_{\max}$  und  $d$  aus der Serie B

## Anschlußwinkel

Wie durch einen Vergleich der Serien C in den Bildern 16a und 16b zu erkennen ist, liegen bei den Durchmessergruppen  $\varnothing 24$  und  $\varnothing 32$  die Mittelwerte von  $F_{\max}$  der  $0^\circ$ -Anschlüsse über denen der  $90^\circ$ -Anschlüsse. Die Zunahme beträgt 17% bzw. 6%. Für den Holznageldurchmesser  $d=40\text{mm}$  ist eine Minderung der Tragfähigkeit um 10% der  $0^\circ$ -Anschlüsse gegenüber denen der  $90^\circ$ -Anschlüsse zu verzeichnen.

## Randabstände

Tabelle 8 zeigt entsprechend der Tabelle 3 (Seite 19) eine Übersicht der Bruchursachen aus den Versuchen der Serien A - D, wobei die Durchmessergruppen  $\varnothing 24$ ,  $\varnothing 32$  und  $\varnothing 40$  zusammengefaßt sind.

Versuchs- Serien mit $90^\circ$ Anschluß- Winkel								anteilige Häufigkeit von		
	Zapfen	Schwelle	Nägeln	Nägel-Schwelle	Nägel-Zapfen	Nä.-Schwe.-Zapf.	Schwelle-Zapfen	Zapfen	Schwelle	Nägeln
A-Serien ( $\varnothing:24,32,40$ )	-	6	2	4	3	-	-	3	10	9
B-Serien ( $\varnothing:24,32,40$ )	2	3	4	1	2	2	1	7	7	9
C-Serien ( $\varnothing:24,32,40$ )	-	3	2	2	2	3	3	8	11	9
D-Serien ( $\varnothing:24,32,40$ )	-	-	3	1	11	-	-	11	1	15

Tabelle 8: Bruchursachen der  $90^\circ$ -Versuche (EI)

Anhand der anteiligen Häufigkeit von Zapfen, Schwelle und Nägeln als Bruchursache ist deutlich zu erkennen, daß die Randabstände der Serie B und C eine gleichmäßige Beteiligung aller Brucharten am Versagen der Holznagelverbindung gewährleisten. Demgegenüber wird bei den Versuchsserien A und D die maximale Tragfähigkeit von Zapfen bzw. Schwelle aufgrund der gewählten Randabstände kaum erreicht, obwohl die mittleren Bruchlasten dieser Serien für jede Durchmessergruppe größer als die der Serien B und C sind (siehe Bild 16a, Seite 22).

Ein Vergleich der Serien B und C zeigt, daß mit dem Schwellenrandabstand von  $a_r = 1,5d$  eine Zunahme der Schwellenbrüche und für die Durchmessergruppe  $\varnothing 40$  eine Verminderung der Tragfähigkeit verbunden ist.

## 5. Bemessungsempfehlung

Die Randabstände sind optimal ausgelegt, wenn alle Bruchkriterien gleichzeitig maßgebend werden. Nach Tabelle 8 erfüllt die Serie B diese Bedingung am besten und ist deshalb Grundlage für die in Tabelle 9 aufgeführte Empfehlung der zulässigen Belastung  $F^*$  einer Holznagelverbindung aus Eichenkantholz mit  $90^\circ$  Anschlußwinkel und zwei Holznägeln für kurzzeitige Belastungen.

Holznagel - durch- messer (Eiche)	[mm]						[kN]				[N/mm]	
	Mindest - abstände			Holzart	Mindest - holzbreiten			$\frac{\bar{F}_{\max}}{3}$	$\bar{F}_{1,5\text{mm}}$	$\frac{F_k}{2,25}$	$F^*$	k <sub>i</sub>
	a <sub>r</sub>	a <sub>e</sub>	l <sub>v</sub>		b	t <sub>s</sub>	t <sub>m</sub>					
24	48	36	36	Eiche	140	45	50	6,7	16,4	6,4	6,4	20000
32	64	48	48		200	60	80	12,2	26,5	13,3	12,2	24000
40	80	60	60		200	60	80	17,4	40,3	18,8	17,4	32000
24	48	36	36	Fichte	140	45	50	5,8	11,0	6,4	5,8	8000
32	64	48	48		200	60	80	9,0	16,6	8,2	8,2	8000

Tabelle 9: Bemessungsempfehlung für einen  $90^\circ$ -Anschluß mit zwei Holznägeln nach Bild 1a für kurzzeitige Belastungen

$F^*$  wurde als Kleinstwert folgender drei Größen festgelegt:

- Mittelwert der Bruchlast  $F_{\max}$  dividiert durch die Sicherheit 3
- Mittelwert der Last bei 1,5mm Anschlußverschiebung  $F_{1,5\text{mm}}$
- Kleinstwert der Bruchlast  $F_k$  dividiert durch die Sicherheit 2,25.

## 6. Zusammenfassung

Das Ziel der Untersuchung war die Ermittlung von Mindestholzbreiten, Mindestabständen der Holznägel und zulässigen Anschlußkräften für zweischnittige Holznagelverbindungen mit zwei Holznägeln.

Zu diesem Zweck wurden 80 Versuche mit Anschlußwinkel  $90^\circ$  und 30 Versuche mit Anschlußwinkel  $0^\circ$  unter Verwendung einstieler Probenquerschnitte mit  $b/h = 20/18\text{cm}$  und  $b/h = 14/14\text{cm}$  durchgeführt. Die verwendeten Holznägel mit den Durchmessern  $d=24\text{ mm}$ ,  $d=32\text{ mm}$  und  $d=40\text{ mm}$  wurden aus sortiertem Eichenholz maschinell hergestellt. Die Herstellung der Versuchskörper erfolgte aus frisch eingeschlagenem Eichen- und trockenem Fichtenkantholz im Zimmereibetrieb.

Die Durchführung der Versuche nach DIN 26 891 wurde mittels weggesteuerter Prüfzylinder in Verbindung mit einer elektronischen Meßkette zur Aufnahme aller wesentlichen Meßwerte realisiert.

Als charakteristische Bruchursachen ließen sich das Versagen des Zapfens und der Nägel, der Schwelle beim  $90^\circ$ -Anschluß und des Seitenholzes beim  $0^\circ$ -Anschluß unterscheiden. Diese Bruchursachen traten kombiniert oder einzeln auf.

Die mittlere Bruchlast für  $90^\circ$ -Anschlüsse aus Eichenkantholz betrug für Holznageldurchmesser  $d=24\text{mm}$  38,4 kN, für  $d=32\text{mm}$  57,8 kN, und für  $d=40\text{mm}$  64,7 kN. Die Holznagelverbindungen aus Fichtenholz wiesen gegenüber den Eichenholzverbindungen eine Minderung der Tragfähigkeit von bis zu 43 % auf. Die Versuchsergebnisse zeigten eine lineare Abhängigkeit der Tragfähigkeit vom Holznageldurchmesser. Ein Einfluß der Rohdichte konnte an Schwellen und Holznägeln nachgewiesen werden. Versuche mit einer Probenfertigung in feuchtem und der Prüfung in nachgetrocknetem Zustand ließen keinen eindeutigen Einfluß der Nachtrocknung auf die Tragfähigkeit der Holznagelverbindung erkennen.

Die Randabstände der Holznägel hatten auf die Tragfähigkeit und die Bruchursachen einen signifikanten Einfluß. Auf der Grundlage der gemessenen Tragfähigkeiten der Versuchsserie mit den günstigsten Holzbreiten und Nagelabständen wurde eine Bemessungsempfehlung erarbeitet.

Eine begleitende Untersuchung der Holznägel mittels Ultraschalltechnik zeigte, daß durch Ultraschallmessungen Schädigungen der Holznägel gegebenenfalls statistisch nachweisbar sind.

Hildesheim, im Juni 1993

**Fachhochschule Hildesheim/Holzminde**

**Labor für Holztechnik LHT**

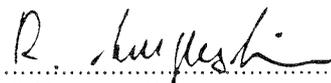
Prof. Dr.-Ing. M. H. Kessel

Hohnsen 1

31134 Hildesheim



Prof. Dr.-Ing. M. H. Kessel



Dipl.-Ing.(FH) R. Augustin

## Literatur

- [1] Kessel, M.H : Untersuchungen der Tragfähigkeit von Holznagelverbindungen (Vorversuche). Labor für Holztechnik LHT, Fachhochschule Hildesheim/Holzminde. Bericht 2/1987
  
- [2] Kessel, M.H. : Untersuchungen über das Tragverhalten von Verbindungen mit  
Augustin, R. Eichenholznägeln. "bauen mit holz" 92 (1990) S.246
  
- [3] Ehlbeck, J. : Tragfähigkeit und Verformungsverhalten von ein- und zweischnittig  
Hättich, R. beanspruchten Holznägeln. Erhalten historischer Bauwerke.  
Sonderforschungsbereich 315, Universität Karlsruhe, 1988.

T 2566/1-2

## Etude de la force portante de l'assemblage des bois avec des chevilles de bois dans la restauration et la reconstruction d'anciennes bâtisses

### Compte-rendu analytique

E-89/18

Que ce soit lors de restaurations et de reconstructions, ou pour de nouvelles constructions en ossature en bois, les ingénieurs et maîtres charpentiers se trouvent toujours confrontés au même problème, à savoir que d'une part ils doivent respecter les vœux des monuments historiques, et que d'autre part les chevilles de bois ne sont pas considérées comme force portante, aucune donnée de force portante n'étant mentionnée dans les normes. En règle générale, des détails métalliques sont utilisés pour parer aux légères forces de traction, n'opérant que momentanément, dues au vent, à ossature de bois séculaires sont bien la preuve que la stabilité peut être maintenue sans détails métalliques.

Les connaissances obtenues à partir d'anciennes études sur les chevilles d'assemblage de bois ont servi de point de départ à un projet encouragé par le DGfH et l'Institut für Bautechnik, dont le but était de fournir des valeurs minimales et fiables en matière de paramètres et forces de raccordement dans le cas de chevilles d'assemblage de bois à deux sections.

C'est la raison pour laquelle, on a entrepris 80 essais avec des raccords à 90° et 30 essais avec des raccords à 0° en utilisant des sections uniques de  $l/h = 20/18$  cm et  $l/h = 14/14$  cm. Les chevilles de bois de diamètre  $d = 24$  mm,  $d = 32$  mm et  $d = 40$  mm ont été confectionnées mécaniquement dans du bois de chêne sélectionné. Les éléments d'essai ont été élaborés en atelier à partir de bois de chêne équarri venant d'être abattu et de bois d'épicéa équarri sec.

Les essais selon DIN 26 891 ont été réalisés au moyen d'un cylindre d'essai hydraulique relié à une chaîne d'arpenteur électronique permettant d'effectuer les principales mesures.

Les principales causes de cassure à signaler furent dues à la rupture du goujon et des chevilles, de la sablière à la hauteur du raccord à 90° et à la hauteur du raccord à 0°. Ces causes de rupture sont apparues simultanément ou de manière isolée.

Le point de rupture moyen pour des raccords à 90° en bois de chêne équarri se situait à 38,4 kN pour des chevilles de diamètre  $d = 24$  mm, à 57,8 kN pour  $d = 32$  mm et à 64,7 kN pour  $d = 40$  mm. Les chevilles d'assemblage de bois d'épicéa accusaient jusqu'à 43% de moins de résistance par rapport à des chevilles de bois de chêne. Les résultats des essais ont démontré une dépendance linéaire de la force portante par rapport au diamètre de la cheville. Une influence de la densité a pu être observée au niveau des sablières et des chevilles de bois. Aucune influence notable sur la force portante des chevilles d'assemblage de bois n'a pu être constatée pour des fabrications effectuées dans une ambiance humide et des essais réalisés ensuite à sec.

Les distances du bord des chevilles de bois avaient une importance significative sur la force portante et les causes de rupture. Un tableau de mesures indicatives quant aux sections et aux espacements des chevilles a été élaboré sur la base des mesures de force portante obtenues lors de la série d'essais.

## Load-capacity of wood joints with wooden pegs for restoration and reconstruction of old structures

1 2566/1-2

E-89/18

Civil engineers and carpenters always have problems when restoring or reconstructing timber frame buildings in the way to fulfill the requirements of the curator of monuments. One problem deals with the fact that wooden pegs as original connectors cannot be used because this type of joint does not conform to standard building codes. Thus steel connectors are used usually for the transmission of small tension forces resulting from wind-loads, earth quake or impact-loads. However, century old timber framed houses show that even without any steel connectors stability is ensured. 104

This project was sponsored by the DGfH and the Institut für Bautechnik in Berlin. It was based on findings from previous investigations of pegged joints. The goal of this research was the determination of the load-carrying capacity as well as the determination of minimum connector spaces and edge distances of a double pegged mortise and tenon joint.

For this purpose tests were carried out on 80 samples with a  $90^\circ$  - joint angle and 30 samples with a  $0^\circ$  - joint angle. The used beams which were partly from fresh cut oak and dried spruce timber had cross-sections of width/height  $w/h = 18\text{cm}/20\text{cm}$  and  $w/h = 14\text{cm}/14\text{cm}$ . The tests were carried out according to EN 26891 by using a distance-controlled hydraulic jack combined with electronic measurement equipment to record the test-data.

The characteristic causes of rupture were considered like failure of tenon, failure of wooden peg and failure of sill for  $90^\circ$  - joints such as rupture-failure of side-wood for  $0^\circ$  - joints. These failures occurred either in combination or single. The mean of failure load for  $90^\circ$  - joints of oak wood were for the peg-diameter  $d=24\text{mm}$  38,4 kN,  $d=32\text{mm}$  57,8 kN and finally  $d=40\text{mm}$  64,7 kN. Compared to oak-joints the load-capacity of spruce joints ranged from 54% to 86%.

The test results showed a linear dependence of load-carrying capacity on the diameter of peg. The load-carrying capacity was also influenced by the density of sills and pegs as well as by the edge distances. By way of contrast subsequently drying revealed no significant influence on the rupture-load and the elasticity of the joint.

Based on the measured rupture-loads a proposal of dimensioning a double pegged mortise and tenon joint was achieved.