

ERMITTLUNG VON MINDESTHOLZABMESSUNGEN UND MINDESTNAGELABSTÄNDEN  
BEI NAGELVERBINDUNGEN MIT EUROPÄISCHEM DOUGLASIENHOLZ

von

Jürgen Ehlbeck und Wichard Siebert

Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine

Abt. Ingenieurholzbau

Universität Fridericiana Karlsruhe

o.Prof.Dr.-Ing. Jürgen Ehlbeck

1988

## V O R W O R T

Europäisches Douglasienholz wird in zunehmendem Maße im Ingenieurholzbau zum Einsatz gebracht. Die Neufassung der DIN 1052 "Holzbauwerke, Berechnung und Ausführung" hat daher diese Holzart aufgenommen, nachdem nachgewiesen worden war, daß die Festigkeiten denen des europäischen Fichtenholzes mindestens gleichwertig sind. Da aber eine erhöhte Spaltgefahr beim Eintreiben von Nägeln erkannt wurde, mußten hinsichtlich der Ausführung von Nagelverbindungen mit Douglasie in den Baubestimmungen zunächst Einschränkungen gemacht werden.

Die vorliegende Arbeit entstand mit finanzieller Unterstützung durch den Minister für Stadtentwicklung, Wohnen und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen (Zeichen VB 1 - 72.02 - 185/85) und hatte zum Ziel, die möglichen Grenzen hinsichtlich der Holzabmessungen und der Nagelabstände bei genagelten Douglasienholzverbindungen experimentell zu erforschen.

Die Arbeit wurde maßgeblich von Herrn Dipl.-Ing. W. Siebert geleitet. Die Versuche wurden von Herrn G. Köhler gewissenhaft durchgeführt. Bei den Auswertungen und ihrer Darstellung hat insbesondere Herr cand.ing. P. Schuler mitgewirkt. Allen Beteiligten gebührt für diese Arbeit Anerkennung.

Die Firma G. Rockenfeller KG in Hilchenbach stellte einen Großteil des verwendeten Nagelmaterials kostenlos zur Verfügung, wofür ganz besonders zu danken ist.

Jürgen Ehlbeck

## I N H A L T

1	Ziel des Forschungsvorhabens	1
2	Nagelbarkeit	2
3	Tragfähigkeit von Nagelverbindungen aus Holz	11
3.1	Zugscherkörper	11
3.2	Druckscherkörper	20
4	Tragfähigkeit von Nagelverbindungen mit Stahlblechen und Holz	29
5	Versuche mit Balkenschuhen	34
6	Versuche mit Fassadenlattungen	39
7	Zusammenfassung	44
8	Schrifttum	47

## 1 Ziel des Forschungsvorhabens

Douglasienholz wird in der Neufassung der DIN 1052 (April 1988) den anderen als Bauholz zugelassenen Nadelhölzern gleichgestellt. Verschiedene Untersuchungen hatten mindestens eine Gleichwertigkeit in Bezug auf die Festigkeiten bestätigt. Als Nachteil wurde jedoch die Spaltgefahr beim Nageln durch starke und harte Spätholzschichten erkannt, die mit zunehmender Rohdichte noch erhöht wird. In experimentellen Untersuchungen wurde dies durch Möhler und Beyersdorfer [1], [2] bestätigt, wobei sogar ein Aufspalten bei vorgebohrten Nagellöchern beobachtet wurde, wenn die Vorbohrung nicht über die ganze Nagellänge reichte. Bei vergleichbaren Versuchen von Teischinger und Krenn [3] mit Mindestabständen nach ÖNORM B 4100 wurde nur eine von insgesamt 24 Nagelverbindungen als brauchbar bezeichnet.

In dieser Arbeit sollten daher durch systematische Versuche Mindestholzdicken und Mindestabstände der Nägel untereinander und von den Rändern gefunden werden, bei denen das Holz ohne Vorbohrung der Nagellöcher noch nicht aufspaltet und somit tragfähige Nagelverbindungen mit Douglasienholz wirtschaftlich hergestellt werden können. Sämtliche Versuche wurden daher ohne vorgebohrte Nagellöcher durchgeführt.

## 2 Nagelbarkeit

An einfachen Probekörpern wurden zunächst Nageleinschlagversuche durchgeführt, wobei die Holzdicken und Nagelabstände variiert wurden. Neben glattschaftigen Nägeln unterschiedlicher Durchmesser wurden auch Schraub- und Rillennägel sowie spezielle, wegen der besonderen Form der Nagelspitze vom Hersteller als "Antispaltnägel" bezeichnete Nägel eingesetzt. Von über 150 Versuchskörpern werden einige besonders typische auf den folgenden Bildern gezeigt und erläutert.

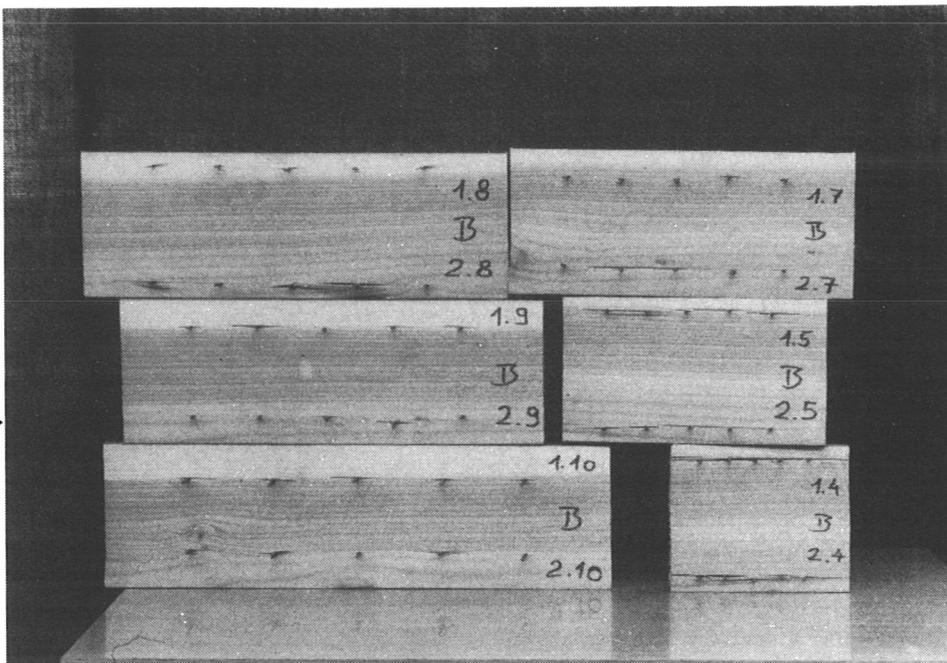


Bild 1: Holzdicke 30 mm, teilweise Splintholz

Für die 30 mm dicken Körper auf Bild 1 wurden mit Ausnahme von B 1.10 und B 2.10 Nägel 25 x 33 DIN 1151 verwendet. Die Reihen B 1.4 und B 2.4 hatten auf einer Seite  $10 d_n$  auf der anderen  $15 d_n$  Hirnholzabstand,  $10 d_n$  Nagelabstand in Faserrichtung und  $5 d_n$  Seitenabstand, was zum Aufreißen führte. B 1.5 und B 2.5 mit  $15 d_n$  bzw.  $20 d_n$  Hirnholzabstand (im folgenden = HA),  $15 d_n$  Abstand der Nägel in Faserrichtung (= NA) und  $5 d_n$  Abstand vom seitlichen Rand (= SA) zeigten ebenfalls Risse, während die übrigen Hölzer fast rissefrei blieben:

Reihe	HA	NA	SA
B 1.7, B 2.7	25 d <sub>n</sub>	20 d <sub>n</sub>	10 d <sub>n</sub>
B 1.8, B 2.8	25 d <sub>n</sub> /30 d <sub>n</sub>	25 d <sub>n</sub>	5 d <sub>n</sub>
B 1.9, B 2.9	25 d <sub>n</sub> /30 d <sub>n</sub>	25 d <sub>n</sub>	10 d <sub>n</sub>
B 1.10, B 2.10	25 d <sub>n</sub>	25 d <sub>n</sub>	10 d <sub>n</sub>

Für B 1.10 und B 2.10 wurden Nägel 31 x 65 DIN 1151 verwendet.

Auf Bild 2 ist versetzte und nicht versetzte Nagelung mit Nägeln 42 x 110 DIN 1151 zu erkennen.

Die Abstände betragen:

Reihe	HA	NA	SA	Nagelanordnung
C 1.8, C 2.8	20 d <sub>n</sub> /15 d <sub>n</sub>	15 d <sub>n</sub>	5 d <sub>n</sub>	versetzt
C 1.9, C 2.9	15 d <sub>n</sub> /20 d <sub>n</sub>	15 d <sub>n</sub>	7,5 d <sub>n</sub>	versetzt
C 1.10	30 d <sub>n</sub>	25 d <sub>n</sub>	7,5 d <sub>n</sub>	nicht versetzt.

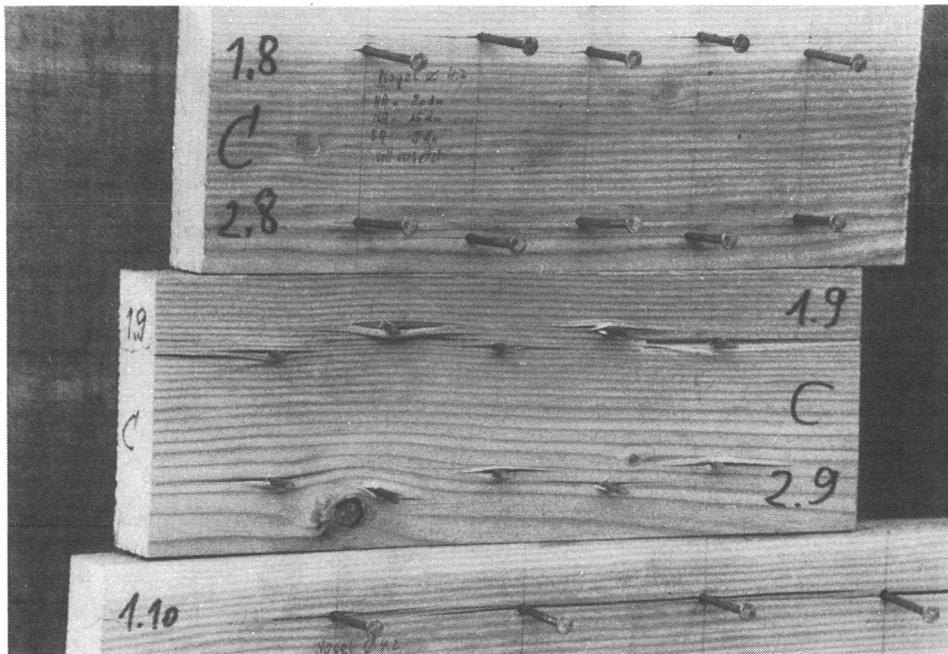


Bild 2: Holzdicke 37 mm, Nägel 42 x 110 DIN 1151

Es gab in allen Fällen Risse, bei C 1.8 und 2.8 nur kleine, vorwiegend auf der Seite der Nagelspitzen, bei C 1.10 trotz großer Abstände, jedoch wegen nicht versetzter Nagelung.

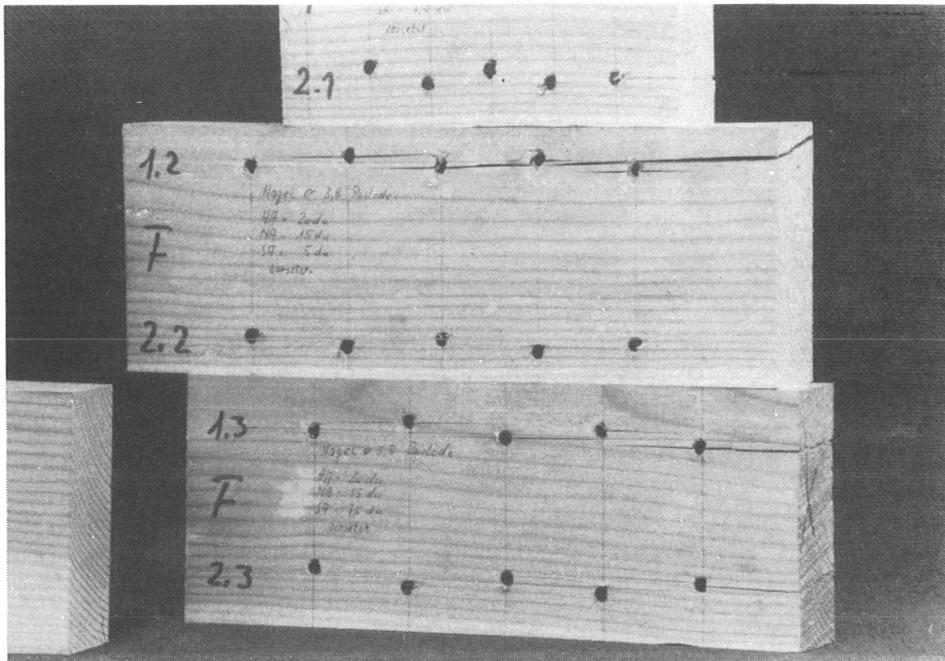


Bild 3: Holzdicke 60 mm, maschinell eingeschlagene Rillennägel 3,8 x 80

In Bild 3 ist zu erkennen, daß auch dickeres Holz leicht aufspaltet und zwar F 1.2 mit  $5 d_n$  Seitenabstand sowie F 1.3 und F 2.3 mit  $15 d_n$  Hirnholzabstand auf der rechten Seite.

Bild 4 zeigt einen Prüfkörper, 50 mm dick, mit Nägeln 55 x 140 DIN 1151, bei denen die Spitze abgezwickt wurde. Hier gab es selbst bei relativ geringen Abständen HA  $15 d_n$ , NA =  $10 d_n$ , SA =  $5 d_n$  kein Aufspalten, lediglich auf der Rückseite wurden einige Holzsplitter herausgerissen. Dies wird vermieden, wenn gegen eine Unterlage genagelt wird, wie das Beispiel auf Bild 5 mit ebenfalls  $5 d_n$  Seitenabstand zeigt.



Bild 4: Nägel mit abgezwickter Spitze



Bild 5: Nagel mit abgezwickter Spitze, auf Unterlage genagelt

Bild 6 zeigt zwei Prüfkörper mit gleicher Nagelanordnung:  $HA = 20 d_n$ ,  $NA = 15 d_n$ ,  $SA = 7,5 d_n$  und Abstand der Nägel untereinander rechtwinklig zur Faser =  $5 d_n$ . Der Körper mit schrägem Jahrringverlauf zeigte keinerlei Risse im Gegensatz zum radial genagelten Holz.

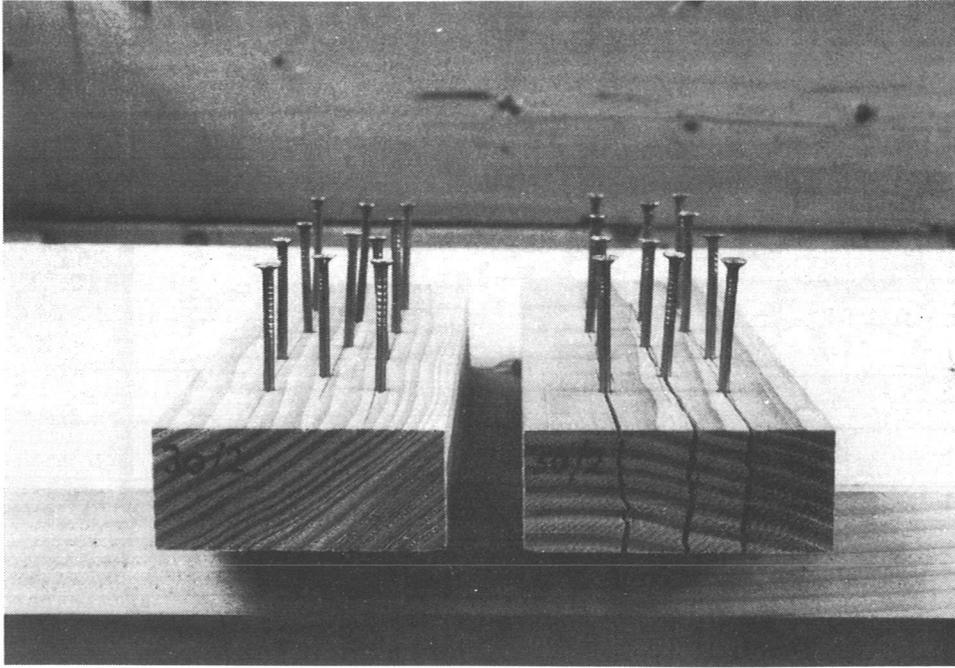


Bild 6: Holzdicke 30 mm, Nägel 28 x 65 DIN 1151

Die gleichen Abstände gelten bei den Prüfkörpern in Bild 7, bei denen Ankernägeln für die Stahlblech-Holz-Nagelung verwendet wurden, wobei das obere Holz mit radial zu den Jahrringen angeordneten Nägeln auf der Seite der Nagelspitzen kleine Risse zeigte, während das zweite Holz mit etwa tangential zu den Jahrringen verlaufender Nagelung keinerlei Rißbildung aufwies.

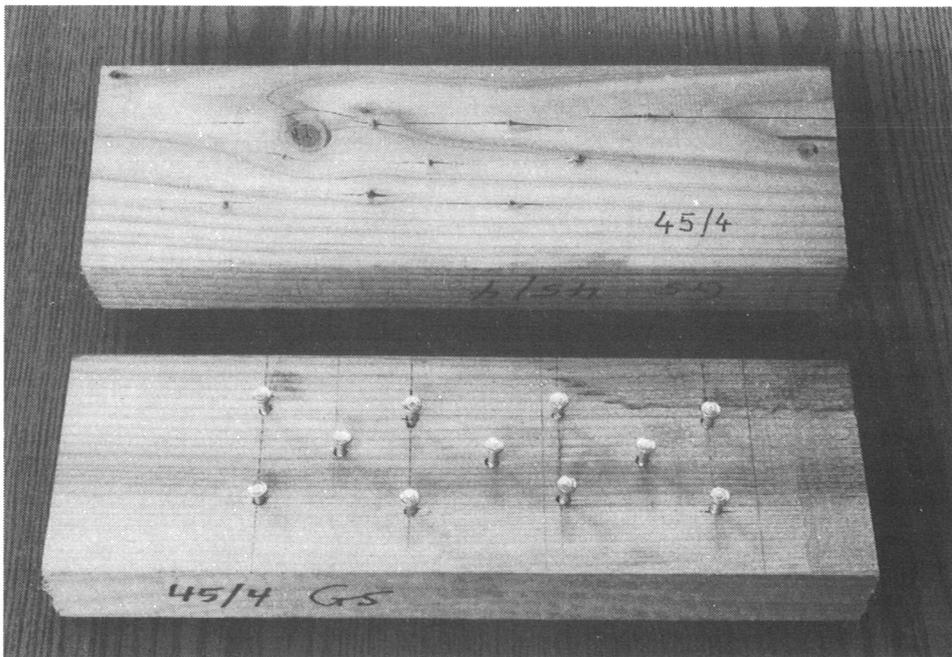


Bild 7: Holzdicke 45 mm, Ankernägel 4,0 x 50

Versuche mit den sog. "Antispaltnägeln" mit Schraubgewinde und speziell ausgebildeter Spitze erwiesen sich als günstig. Bild 8 zeigt drei gleiche Versuchskörper mit zwei Antispaltnägeln und in der Mitte einen Nagel mit gleicher Schaftausbildung, jedoch mit der üblichen Diamant-Nagelspitze. Die Abstände betragen: HA =  $20 d_n$  und  $15 d_n$ , NA =  $10 d_n$ , SA =  $5 d_n$  und der Nagelabstand rechtwinklig zur Faser ebenfalls  $5 d_n$ .

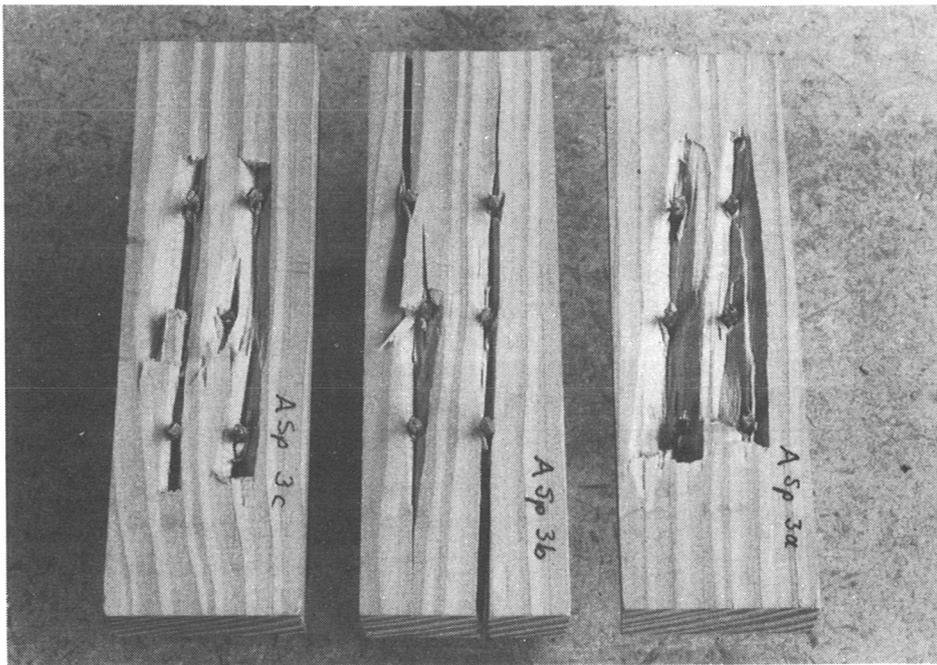


Bild 8: Holzdicke 26 mm, Nägel 4,2 x 90 (rechts und links "Antispaltnägel", in der Mitte mit Diamant-Nagelspitze)

Die Absplitterungen werden durch das Nageln ohne Unterlage ausgelöst. Im übrigen spaltet das Holz nicht auf.

An Vergleichsversuchen mit Fichtenholz wurde festgestellt, daß auch hierbei bei Einhaltung der Mindestholzdicken und Mindestabstände nach DIN 1052 das Holz leicht aufreißen kann, wie auf Bild 9 zu erkennen ist.

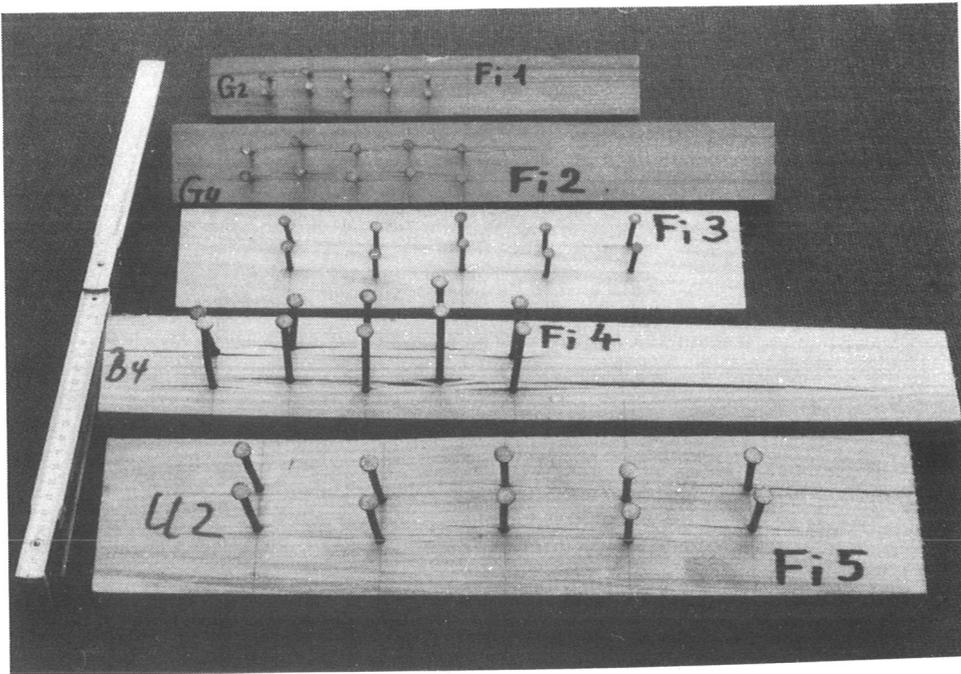


Bild 9: Fichtenholzproben

Reihe	Holzdicke (mm)	Nagel (DIN 1151)	HA	NA	SA
Fi 1	24	25 x 60	15 d <sub>n</sub>	10 d <sub>n</sub>	5 d <sub>n</sub>
Fi 2	24	31 x 70	15 d <sub>n</sub>	10 d <sub>n</sub>	5 d <sub>n</sub>
Fi 3	30	31 x 70	20 d <sub>n</sub>	15 d <sub>n</sub>	7,5 d <sub>n</sub>
Fi 4	24	38 x 100	15 d <sub>n</sub>	10 d <sub>n</sub>	5 d <sub>n</sub>
Fi 5	40	38 x 100	20 d <sub>n</sub>	15 d <sub>n</sub>	7,5 d <sub>n</sub>

Bild 10 zeigt, daß bei Verwendung einzelner Sparrennägel das Douglasienholz nicht gefährdeter ist als Fichte, auch wenn das Einschlagen wegen der höheren Festigkeit beim Douglasienholz schwieriger ist.

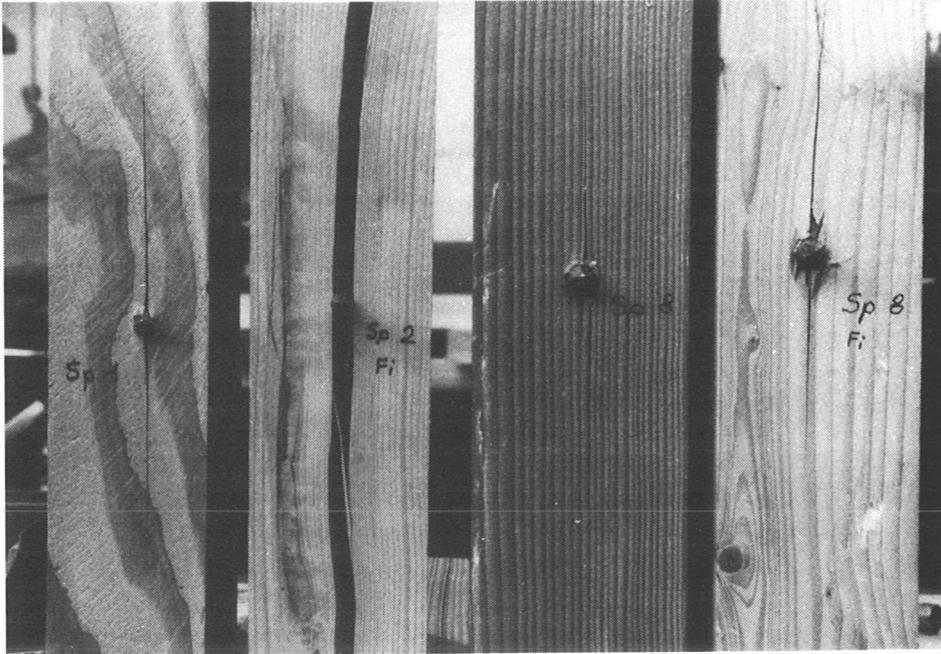


Bild 10: Sparrennägel in Douglasien- und Fichtenholz

Der erste Balken von links war aus Douglasie, 60 mm breit und 100 mm dick, der Nagel: 60 x 180 DIN 1151, der zweite bestand aus Fichtenholz der gleichen Abmessungen, die Nagelabmessungen: 70 x 210 DIN 1151. Dann folgt ein Douglasienholz mit 80 mm Breite und 120 mm Dicke mit einem Nagel 88 x 280 DIN 1151 und schließlich ein Versuchskörper aus Fichtenholz in gleichen Abmessungen.

Als Ergebnis der Nageleinschlagversuche wurden für die Nagelung von Douglasienholz folgende Schlüsse gezogen und für die Dimensionierung der weiteren Versuchskörper berücksichtigt:

1. Die Holzdicke sollte für Nägel mit  $d_n < 3,8$  mm 30 mm betragen.
2. Für Nägel mit Durchmessern  $\geq 3,8$  mm kann die Mindestholzdicke nach der Gleichung

$$\min a = (2 + 0,95 d_n)^2$$

ermittelt werden.

3. Als Nagelabstände werden empfohlen:

$$\begin{array}{l} \text{in Faserrichtung} \\ e_{R\parallel} = 20 d_n \\ e_{\parallel} = 15 d_n \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{rechtwinklig zur Faser} \\ e_{R\perp} = 7,5 d_n \\ e_{\perp} = 5 d_n \end{array}$$

Nägel mit Durchmessern  $> 5,0$  mm sollten jedoch nicht ohne Vorbohren verarbeitet werden. Das Einschlagen ohne Vorbohren erfordert sehr viel Geschick und Kraft und ist teilweise (bei weicheren Nägeln bzw. bei Douglasie hoher Rohdichte) nicht möglich.

In dieser Arbeit wurden keine Erfahrungen mit vorgebohrten Nagellöchern gemacht. Aufgrund der Untersuchungen von Möhler und Beyersdorfer [1] kann jedoch davon ausgegangen werden, daß für Nagelverbindungen von Douglasienholz mit vorgebohrten Nagellöchern DIN 1052 Teil 2, Abschnitt 6.2.5 gültig ist.

### 3 Tragfähigkeit von Nagelverbindungen aus Holz

#### 3.1 Zugscherkörper

In 7 Reihen mit insgesamt 72 Versuchskörpern gemäß Bild 11 wurden die in Tabelle 1 (Anlage 1) zusammengestellten Zugscherversuche entsprechend RILEM Recommendation TT - 1 B, Annex B "Nails" (1987), durchgeführt. Die Prüfung erfolgte i.a. einen Tag nach Herstellung der Prüfkörper nach ISO 6891, wobei die Verformungsgeschwindigkeit so gewählt wurde (etwa 2 mm/min), daß nach 10 bis 12 Minuten die aufnehmbare Höchstlast erreicht war.

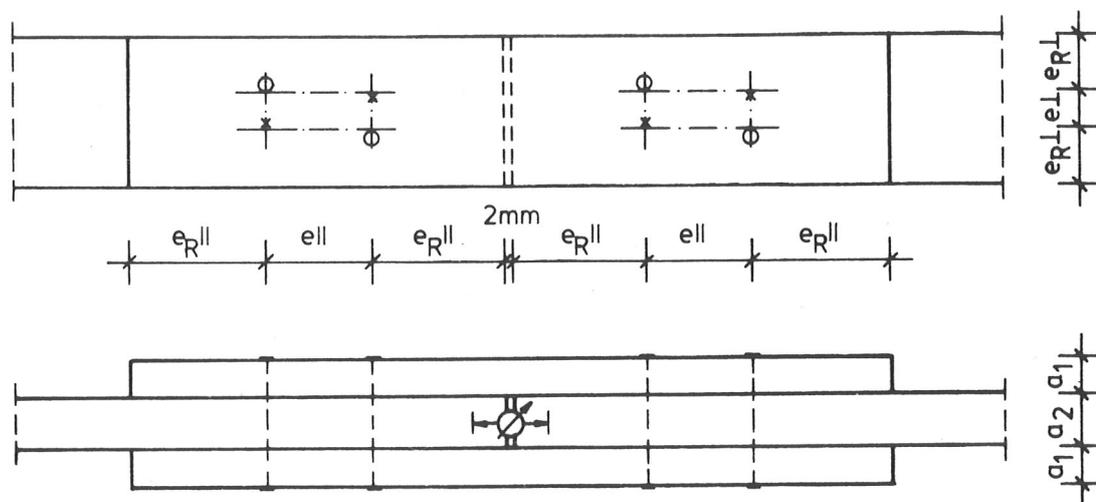


Bild 11: Zugscherkörper

Im ersten Versuchsabschnitt wurden runde Drahnägel mit 4,2 mm Durchmesser verwendet. In Reihe A I wurden die nach den Versuchen über die Nagelbarkeit gewählten Abstände konstant gehalten und die Holzdicke variiert. Mit der günstigsten Dicke wurden dann in Reihe A II unterschiedliche Abstände geprüft. Die in Reihe A Ib geprüften Abmessungen wurden für die Versuche der nachfolgenden Reihe beibehalten, da die Hölzer damit gerade noch ohne Aufspalten genagelt werden konnten.

Für Reihe A III wurden Hölzer mit geringer und hoher Rohdichte aus-  
sucht und für Reihe A IV Hölzer, bei denen die Nägel einmal tangen-  
tial und einmal radial zu den Jahrringen eingeschlagen wurden, wäh-  
rend bei den übrigen Versuchen die Nägel überwiegend unter einem  
Winkel von etwa  $45^\circ$  zu den Jahrringen angeordnet waren. Die Versuchs-  
körper der Reihe A V wurden mit einer Holzfeuchte von  $u_1 = 25\%$  her-  
gestellt. Die Prüfung von Reihe A Va erfolgte einen Tag später bei  
der gleichen Holzfeuchte. Reihe A Vb wurde nach dem Herabtrocknen auf  
 $u_2 = 14\%$  geprüft.

In einer weiteren Reihe A VI kamen unterschiedliche Nagelgrößen und  
-typen zur Anwendung, und zwar neben zwei runden Drahtnägeln nach  
DIN 1151 mit den Durchmessern 2,5 bzw. 5,5 mm (A VIa und b) ein  
mittels Preßluftnagler eingetriebener Rillennagel (A VIc), ein für  
die Stahlblech- Holz-nagelung zugelassener Ankernagel (A VI d), ein  
gerillter Sparrennagel (A VIe) sowie zwei "Antispaltnägel" unter-  
schiedlicher Größen (A VI f bis i), die zusätzlich zu den aus den  
Nageleinschlagversuchen festgelegten Abständen (A VI f und g) mit  
den nach DIN 1052 zulässigen Mindestabständen (A VI h und i) geprüft  
wurden. Die Holzdicken für die Versuche der Reihe A VI wurden für  
jeden Nageldurchmesser aufgrund der Ergebnisse der Nageleinschlag-  
versuche festgelegt, soweit nicht die Mindestholzdicke von 30 mm  
maßgebend wurde.

Zum Vergleich wurden in Reihe A VII gleichartige Proben aus Fichten-  
holz mit unterschiedlichen Holzdicken und Nagelabständen geprüft.

Die Ergebnisse dieser Versuche sind in den Tabellen 2 bis 10 (Anlagen  
2 bis 10) zusammengestellt. Außer den Höchstkräften  $\max F$ , den An-  
schlußverschiebungen bei der nach DIN 1052 zulässigen Nagelbela-  
stung und den Bruchursachen sind die wichtigsten Holzeigenschaften  
angegeben. Das Douglasienholz lagerte im Freien unter Dach und wurde  
bei der natürlichen Ausgleichsfeuchte (nach über einjähriger Lage-  
rung) verarbeitet und geprüft. Die Entnahme der Holzproben und deren

Prüfung erfolgte im allgemeinen unmittelbar nach den Versuchen. Lediglich bei Reihe A Vb wurden die Holzproben nach dem Herabtrocknen im Normalklima geprüft.

In den Reihen A I und A II bestätigte sich, daß die aus den Vorversuchen ermittelten Mindestholzdicken  $a = (2 + 0,95 d_n)^2$  und Mindestnagelabstände von  $20 d_n$  vom Hirnholz und  $15 d_n$  untereinander in Faser- und Kraftrichtung sowie  $7,5 d_n$  Randabstand und  $5 d_n$  Nagelabstand rechtwinklig zur Faser als Richtwerte für Douglasienholz angesetzt werden können. Sowohl geringere Holzdicken (Reihe A Ia) als auch kleinere Abstände der Nägel von den Rändern (Reihe A II) führen zu frühzeitigem Aufspalten des Holzes, meistens schon beim Nageln, was erhebliche Tragfähigkeitsverluste zur Folge hat. Die Bilder 12, 14 und 16 zeigen einige Prüfkörper vor dem Belastungsversuch. Die Risse in Körper A Ia 1 und A Ic 1 sind gut erkennbar, bei Körper A Ia 2 war ein Mittelholz beim Nageln aufgeplatzt. Die Hölzer der Reihe A Ib zeigten keine Anrisse. Bild 13 zeigt den Körper A Ia 1 nach dem Versuch: Die schon vorher vorhandenen Risse hatten sich weiter geöffnet.

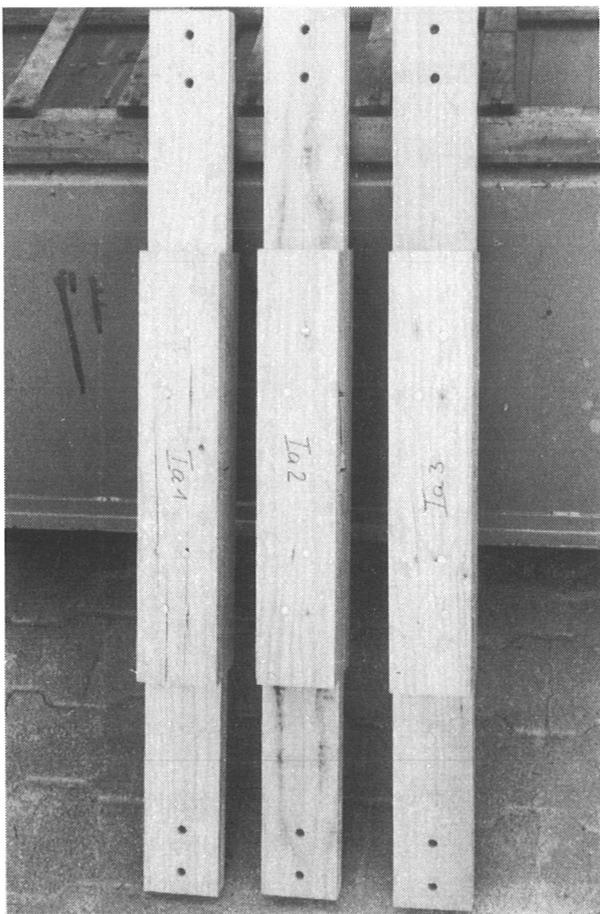


Bild 12: Reihe A Ia  
vor dem Versuch

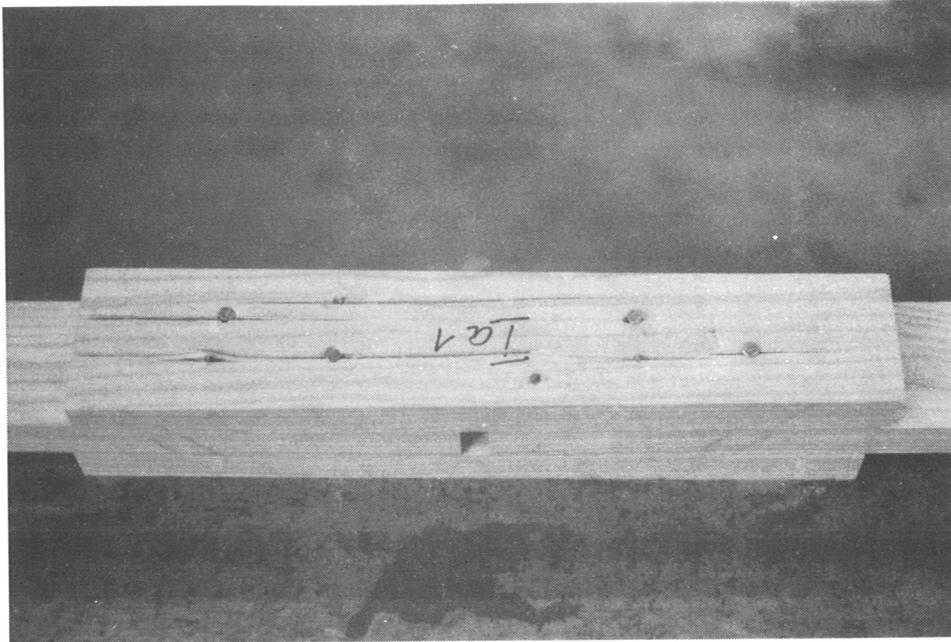


Bild 13: Körper A Ia 1 nach dem Versuch

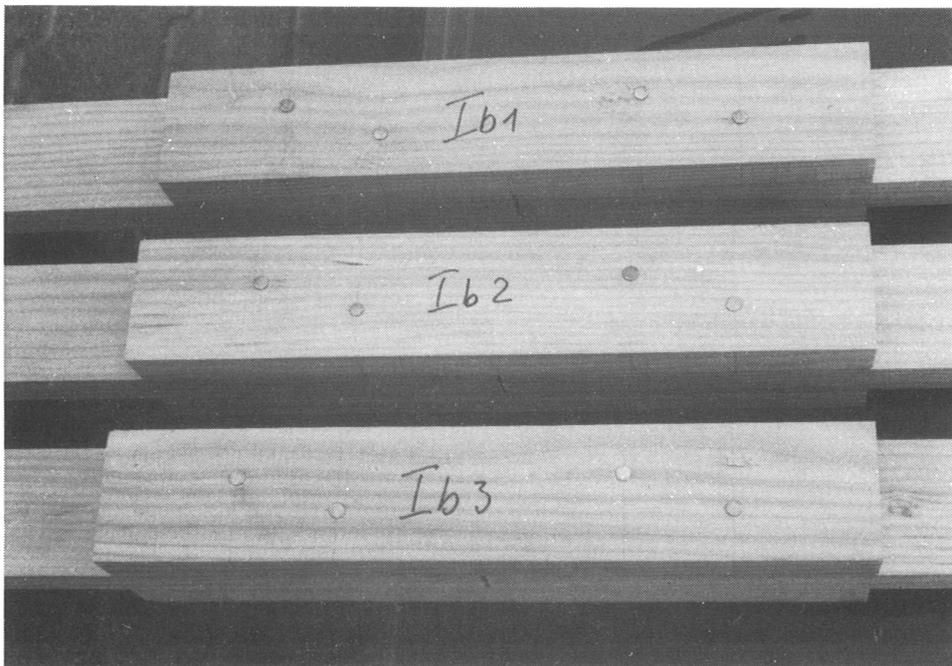


Bild 14: Reihe A Ib vor dem Versuch

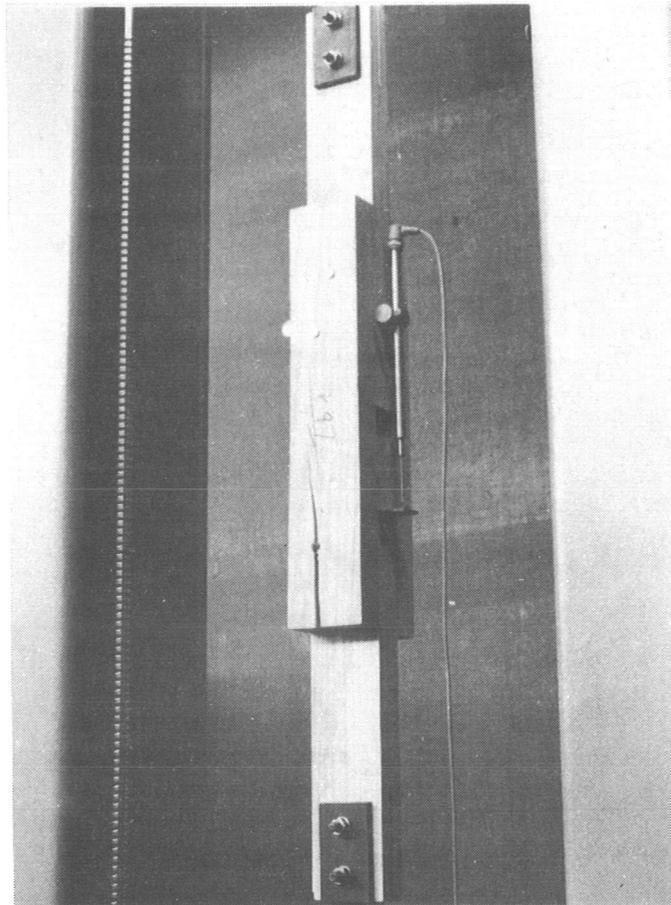


Bild 15:  
A Ib 1 nach dem  
Versuch

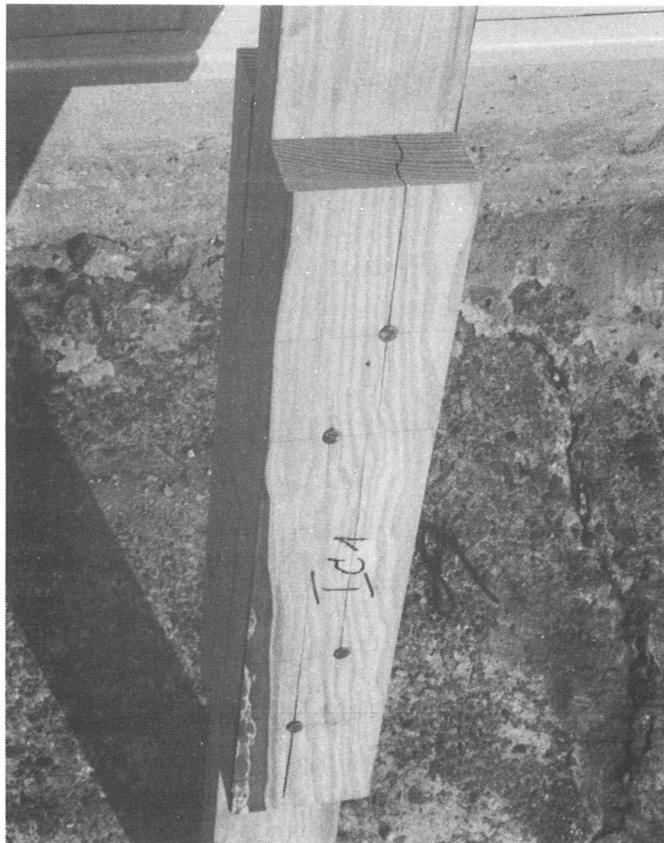


Bild 16:  
Körper A Ic 1  
vor dem Versuch

Reihe A IIIa mit geringer und A IIIb mit hoher Rohdichte bestätigten im wesentlichen die gewählten Holzdicken und Nagelabstände. Lediglich Körper A IIIa 3 mit vorwiegend tangential zu den Jahrringen eingeschlagenen Nägeln war bereits beim Nageln aufgerissen und Körper A IIIb 2 zeigte kleine Anrisse vor dem Versuch, die sich jedoch auf das Trag- und Verformungsverhalten nicht allzu ungünstig auswirkten.

Als sehr ungünstig bezüglich des Spaltverhaltens erwiesen sich liegende bzw. stehende Jahrringe. Sowohl bei tangentialem (Reihe A IV a) als auch radialem Verlauf der Nägel (Reihe A IV b) waren bereits je zwei von drei Versuchskörpern beim Nageln aufgerissen (Bild 17 und 18). Im ungünstigsten Fall wurde im Versuch gerade die nach DIN 1052 zulässige Belastung erreicht (A IVa 1).

Die Ergebnisse der Reihe A V zeigten, daß höhere Holzfeuchte beim Herstellen der Nagelverbindungen sich eher positiv auf das Spaltverhalten auswirkt und auch das Herabtrocknen keinen negativen Einfluß hat. Beim Nageln stellten sich keine Risse ein. Die Verformungen  $\bar{f}$  waren, wie zu erwarten, etwas größer als bei den Vergleichsproben ( $\bar{f} = 0,21$  mm bei Reihe A Ib,  $\bar{f} = 0,27$  mm bei Reihe A Va,  $\bar{f} = 0,37$  mm bei Reihe A V b). Die angegebenen Kräfte max F sind bei allen Versuchen dieser Reihe diejenigen Kräfte, bei denen eine Stoßaufweitung von 15 mm erreicht war. Die tatsächlichen Bruchlasten lagen durchweg höher, bei Reihe A Va betrug der Mittelwert 19,8 kN, bei Reihe A Vb sogar 22,3 kN.

Mit den Nägeln 25 x 60 DIN 1151 (Reihe A VIa) konnte nur einschnittig genagelt werden, so daß die zulässige Last abweichend von den übrigen Versuchsreihen nur  $4 \cdot \frac{500 d_n^2}{10 + d_n} = 1$  kN betrug. Das Holz spaltete nicht auf, und es wurden entsprechend hohe Tragfähigkeiten erzielt, während die Verformungen sehr klein blieben.

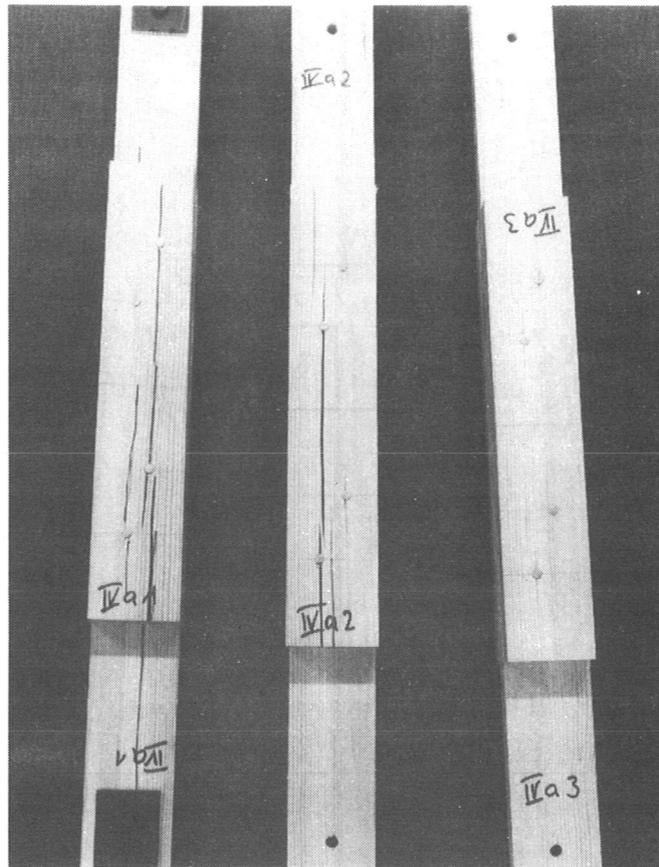


Bild 17:  
Nagelrichtung  
tangential vor dem  
Versuch

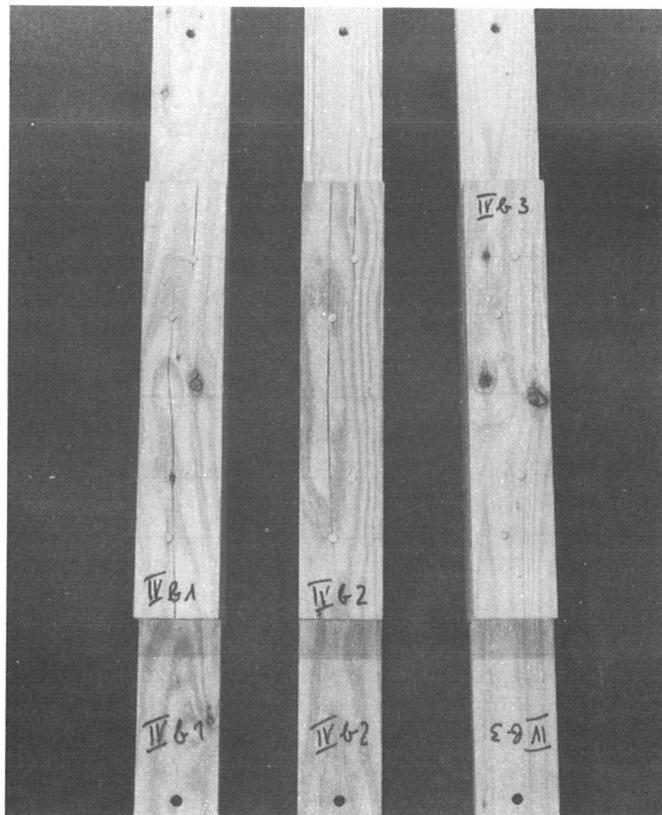


Bild 18:  
Nagelrichtung  
radial vor dem  
Versuch

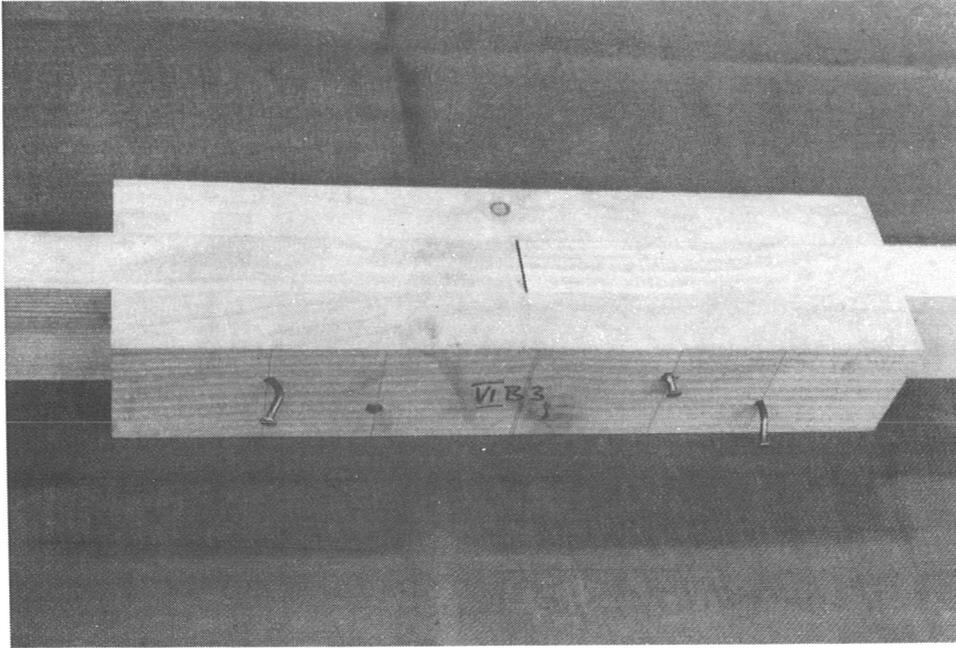


Bild 19: Nägel 55 x 160 DIN 1151 nicht nagelbar

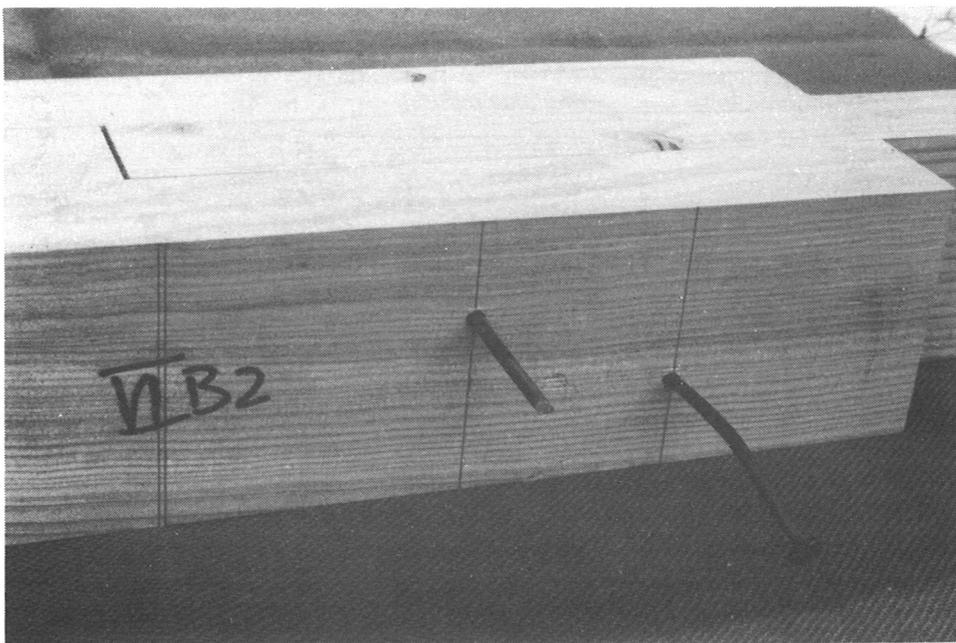


Bild 20: Sparrennägel 5,1/6,0 x 150 nicht nagelbar

Die Prüfkörper der Reihe A VIb mit Nägeln 55 x 160 DIN 1151 ließen sich nicht herstellen, da die Nägel sich frühzeitig verbogen (Bild 19). Auch beim Versuch mit speziell gehärteten Sparrenägeln verbogen sich die Nägel oder sie brachen beim Einschlagen ab, wie auf Bild 20 zu erkennen ist.

Die Ergebnisse mit maschinell eingetriebenen Rillennägeln 3,4 x 100 (Reihe A VIc) waren gut, jedoch gab es auch hier zunächst Schwierigkeiten beim Eintreiben der Nägel. Mit dem zunächst vorgesehenen Nagelgerät waren die Nägel nicht einzutreiben; erst ein wesentlich schwereres Gerät, welches für die Stahlblech-Holz-Nagelung ohne Vorbohren verwendet wird, war für das Eintreiben der Nägel geeignet, und auch dabei ragten einige Nagelköpfe noch bis zu 5 mm aus dem Holz.

Mit für Stahlblech-Holz-Nagelverbindungen zugelassenen Ankernägeln kam es in Reihe A VIId bei zwei Versuchskörpern beim Nageln bereits zum Aufreißen des Holzes (Bild 21).

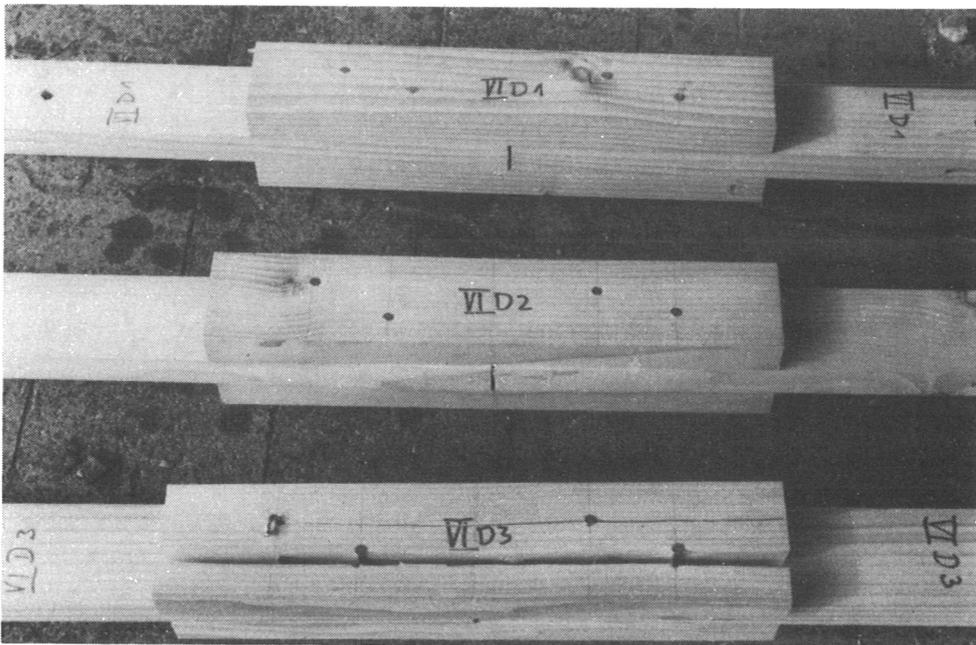


Bild 21: Versuchskörper mit Ankernägeln 4,0 x 100 nach dem Nageln

Ähnlich war es mit einem als Sparrennagel bauaufsichtlich zugelassenen Rillennagel in Reihe A VIe. Jedoch in beiden Fällen war ein ungünstiger Jahrringverlauf für das Aufspalten mit verantwortlich, denn die Nägel waren bei den aufgerissenen Versuchskörpern tangential zu den Jahrringen einzelner Hölzer eingeschlagen.

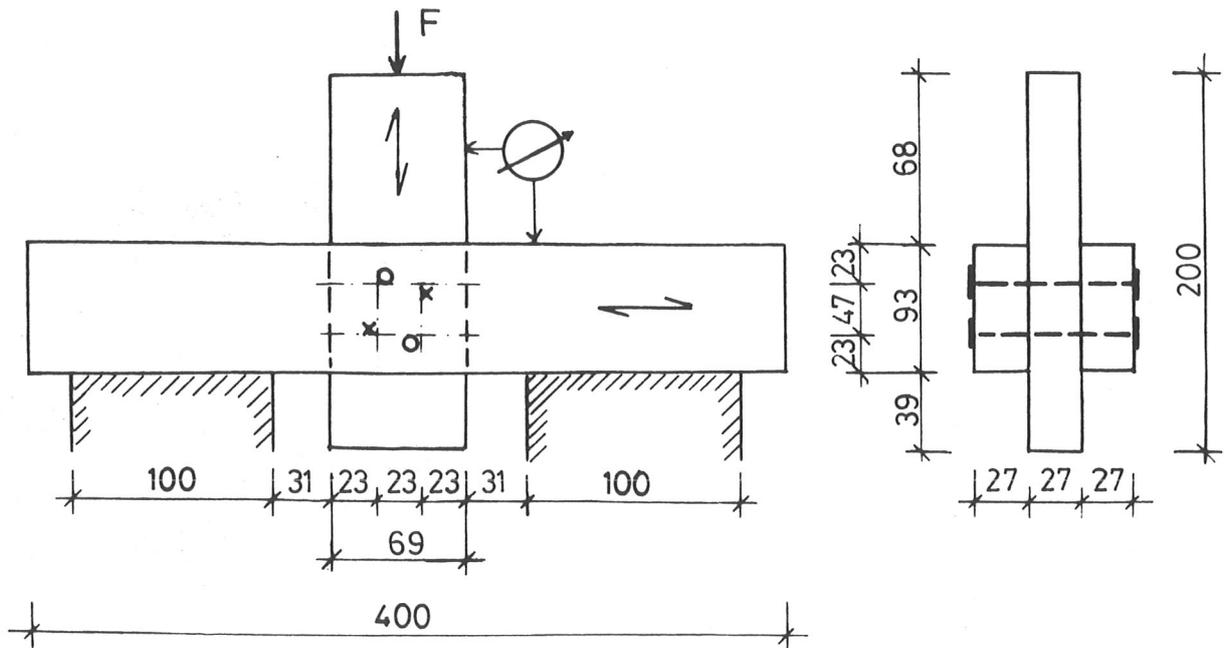
Die Versuche mit den sog. "Antispaltnägeln" (Reihe A VI f bis i) verliefen günstig. Nur bei einem Prüfkörper zeigten sich nach dem Nageln Anrisse, die Tragfähigkeiten waren sowohl bei den Reihen A VI f und g mit den größeren Nagelabständen als auch bei den Reihen A VI h und i mit den kleinen Nagelabständen ausreichend, und die Verbindungen waren sehr steif, wie die kleinen Verformungen zeigten. Als Bruchursache war bei einem Typ der Nägel (3,9 x 90) ein Abreißen der Nägel zu verzeichnen, dies trat aber erst bei einer Stoßaufweitung von 15 mm also einer sehr großen Verformung der Verbindung, auf.

Die Vergleichsversuche mit Fichtenholz (Reihe A VII) zeigten, daß bei Einhalten der Mindestholzdicken und Mindestnagelabstände nach DIN 1052 ein Aufspalten beim Nageln nicht immer vermieden werden kann, und daß auch bei größeren Holzdicken und Nagelabständen, auch ohne Aufspalten des Holzes, die Tragfähigkeit der Verbindungen mit runden Drahtnägeln kaum mehr als das zweifache der zulässigen Belastung betrug.

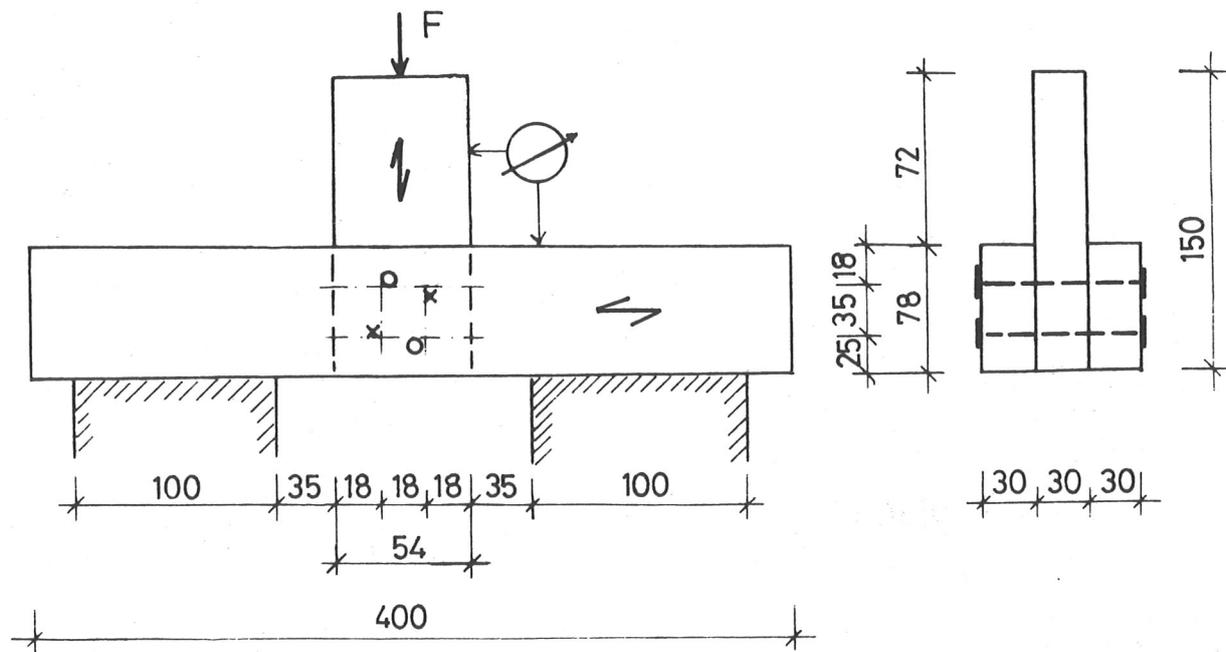
### 3.2 Druckscherkörper

An 24 Versuchskörpern wurde das Tragverhalten der Nagelverbindungen unter Druckscherbeanspruchung rechtwinklig zur Faserrichtung der Seitenhölzer geprüft (Prüfkörper nach RILEM Recommendation TT - 1 B, Annex B "Nails" (1987), Prüfung nach ISO 6891).





**Bild 23:** Reihe B Ib  
Nägel 31 x 80 DIN 1151, zul F = 3 kN  
3 Versuchskörper



**Bild 24:** Reihe B IIa  
Sog. "Antispaltnägel" 3,5/4,2 x 90, zul F = 3,6 kN  
3 Versuchskörper

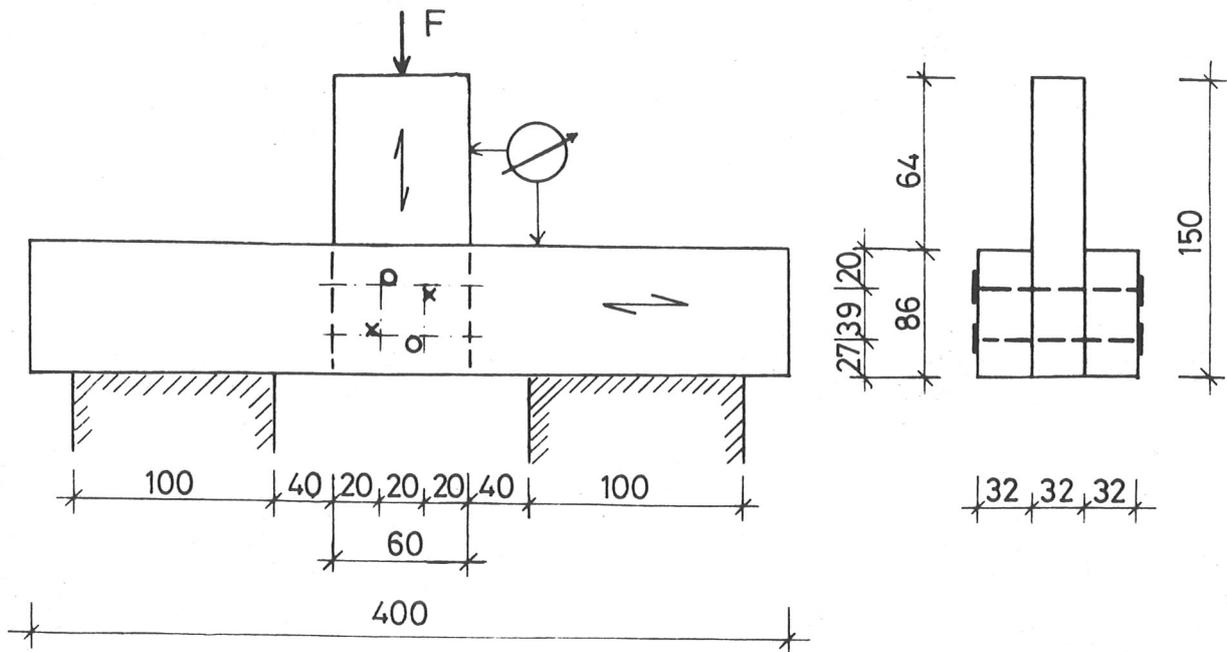


Bild 25: Reihe B IIb

Sog. "Antispaltnägel" 3,9/4,7 x 90, zul F = 4,4 kN

3 Versuchskörper

Die Versuchskörper der Reihe B III wurden aus Fichtenholz unter Einhaltung der Mindestabstände der Nägel nach DIN 1052 genagelt, wobei jeweils drei Körper aus Holz geringer und drei Körper aus Holz hoher Rohdichte gefertigt wurden. Bei Reihe B IIIa besaßen die Seitenhölzer die Mindestdicke nach DIN 1052, und die Dicke des Mittelholzes richtete sich nach der Nagellänge. Bei Reihe B IIIb waren alle Hölzer gleich dick.

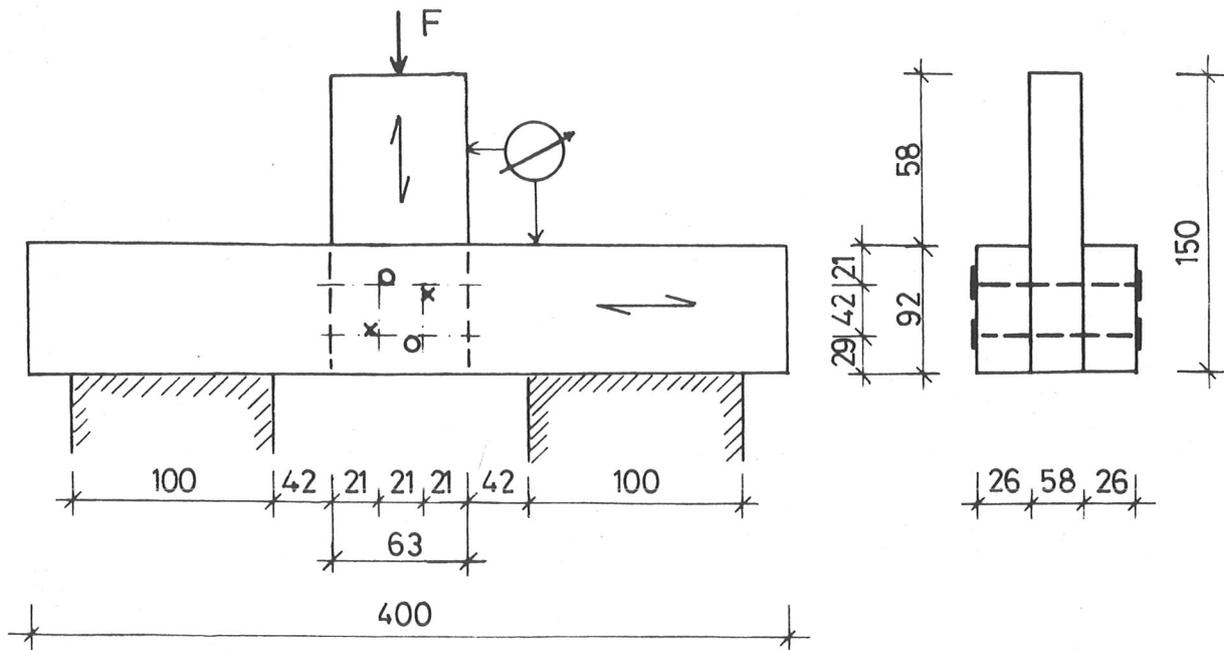


Bild 26: Reihe B IIIa

Nägel 42 x 110 DIN 1151, zu  $F = 5 \text{ kN}$

3 Versuchskörper mit hoher Rohdichte

3 Versuchskörper mit geringer Rohdichte

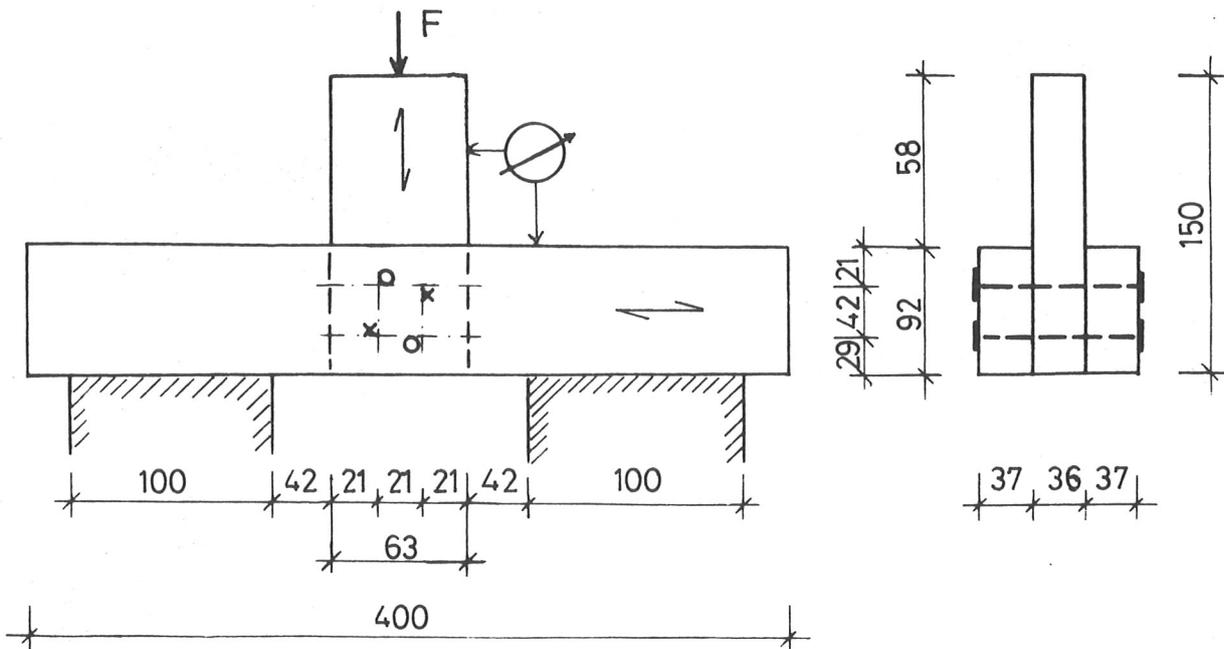


Bild 27: Reihe B IIIb

Nägel 42 x 110 DIN 1151, zu  $F = 5 \text{ kN}$

3 Versuche mit hoher Rohdichte

3 Versuche mit geringer Rohdichte

Die Ergebnisse der Versuche mit den beschriebenen Druckscherkörpern sind in den Tabellen 11 bis 14 (Anlagen 11 bis 14) zusammengestellt. Reihe B I ließ sich mit runden Drahtstiften und den vorgegebenen Nagelabständen ohne Risse nageln (siehe z.B. Bild 28). Die Höchstkräfte waren der Holzrohichte entsprechend hoch und die Verformungen klein.

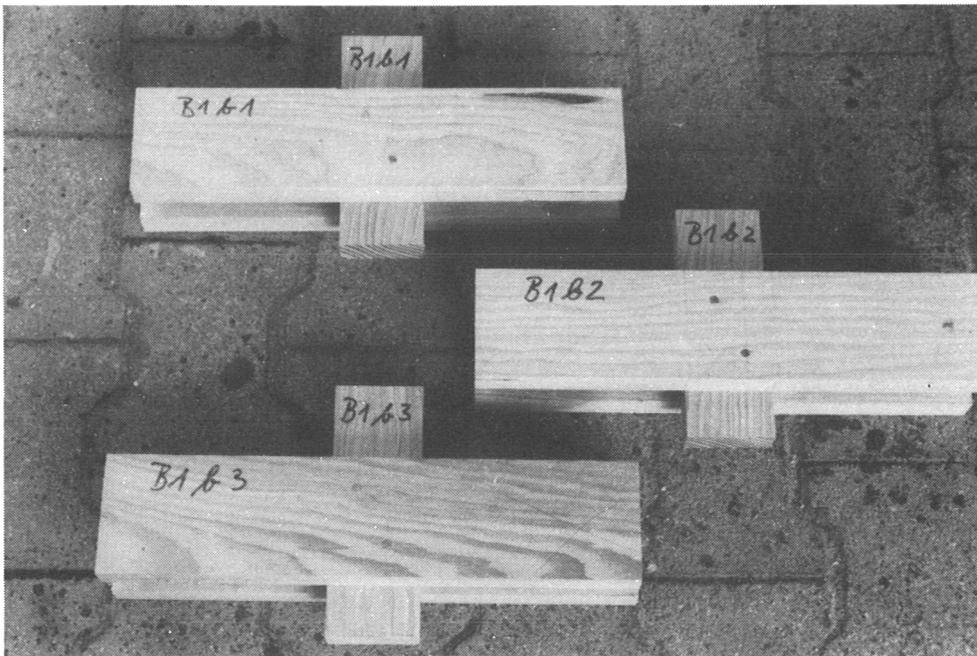


Bild 28: Reihe B Ib - ohne Risse

Reihe B IIa ließ sich mit sog. "Antispaltnägeln" ebenfalls gut nageln, obwohl für die Nägel die Mindestabstände der DIN 1052 gewählt wurden. Bild 29 zeigt einen Prüfkörper im Belastungsversuch.

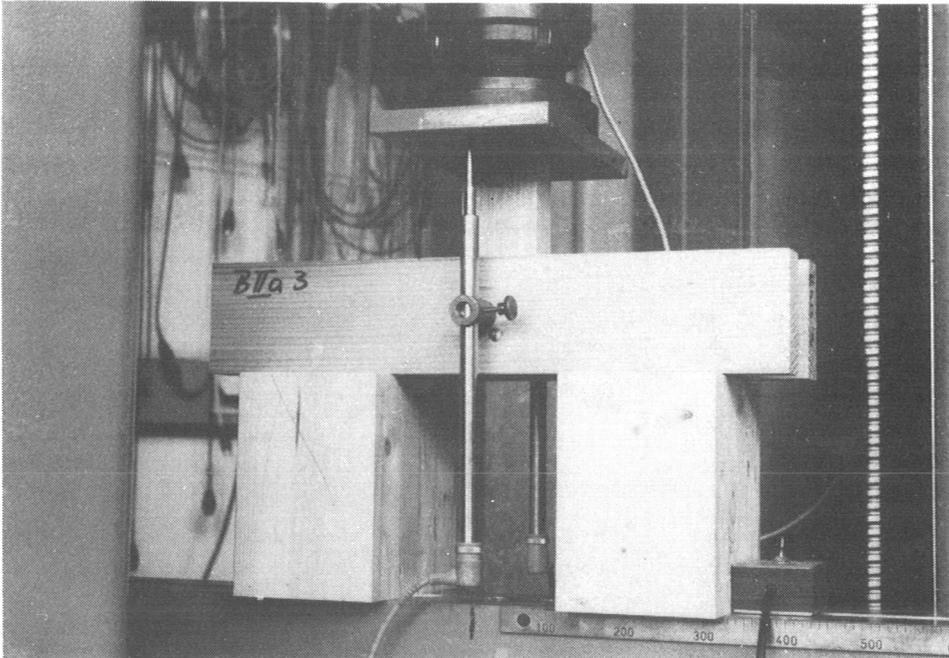


Bild 29: Versuchsaufbau

In Versuchsreihe B I Ib mit den etwas dickeren sog. "Antispaltnägeln" erwiesen sich die Abstände der Nägel nach DIN 1052 als zu gering. Die Mittelhölzer zweier Versuchskörper rissen beim Nageln auf, bei einem Versuchskörper wurde ein Holzteil entlang der Nagelrißlinie aufgetrennt, wie auf Bild 30 zu erkennen ist.

Reihe B III zeigte, daß auch bei Fichtenholz höherer Rohdichte die Mindestabstände nach DIN 1052 zu klein sein können. Bild 31 zeigt die Körper Nr. 1 bis 3 der Reihe B IIIa, bei denen hohe Rohdichte des Holzes vorlag.

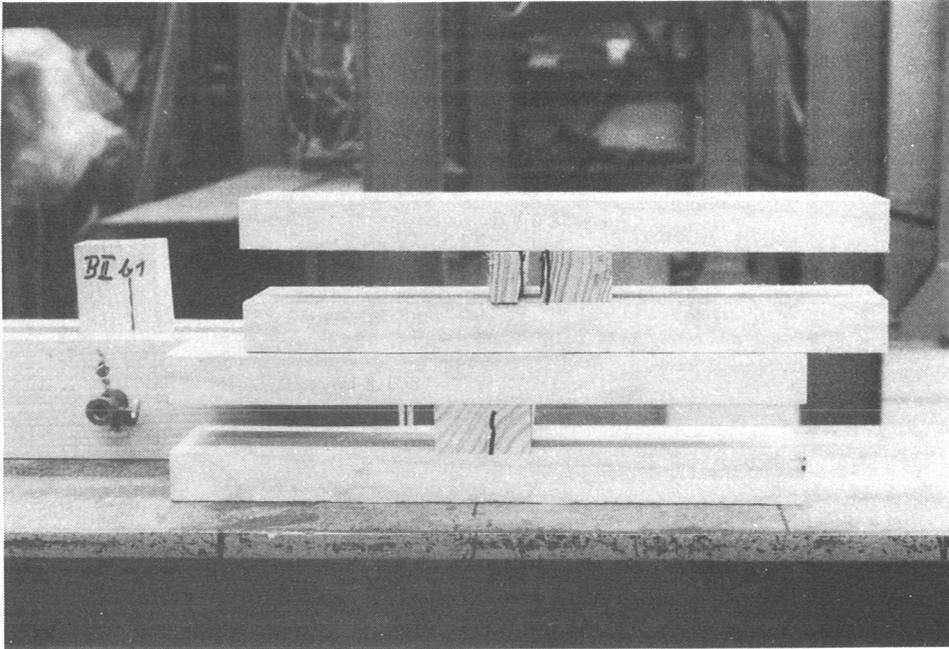


Bild 30: Reihe B IIb  
Sog. "Antispaltnägel"  
Mindestabstände der Nägel nach DIN 1052



Bild 31: Vergleichsproben aus Fichtenholz

Die beiden Mittelhölzer der Körper B IIIa 1 und B IIIa 2 rissen gänzlich auf, so daß die Körper nicht geprüft werden konnten. Obwohl die Holzdicke mit 58 mm mehr als das doppelte der zulässigen Mindestdicke (= 26 mm) betrug, führten die hohe Rohdichte des Holzes und die kleinen Hirnholzabstände zum Aufspalten. Beim dritten Körper dieser Reihe hatte das Mittelholz eine geringe Rohdichte und spaltete nicht auf. Ähnlich verhielt es sich bei den Versuchen mit den Körpern Nr. 4 bis 6, die wegen geringer Rohdichte beim Nageln nicht aufspalteten. Bei Reihe B IIIb mit anderen Holzdicken und den gleichen Nagelabständen kam es ebenfalls nur bei den Prüfkörpern mit hoher Rohdichte zum Aufspalten. Andererseits hatten die Körper mit geringer Rohdichte zum Teil auch geringere Tragfähigkeiten. In allen Fällen rissen nur die Mittelhölzer auf, nicht jedoch die Seitenhölzer, auch wenn sie eine hohe Rohdichte besaßen. Dies ist auf die kleinen Hirnholzabstände bei den Mittelhölzern und die großen Hirnholzabstände bei den Seitenhölzern zurückzuführen.

#### 4 Tragfähigkeit von Nagelverbindungen mit Stahlblechen und Holz

Das Spaltverhalten von Nagelverbindungen mit Douglasienholz und ebenen Stahlblechen wurde an den nachfolgend dargestellten Zugscherkörpern untersucht. Als Laschen wurden 2 mm dicke für Stahlblech-Holz-Nagelungen übliche Bleche verwendet, als Nägel bauaufsichtlich zugelassene Ankernägel.

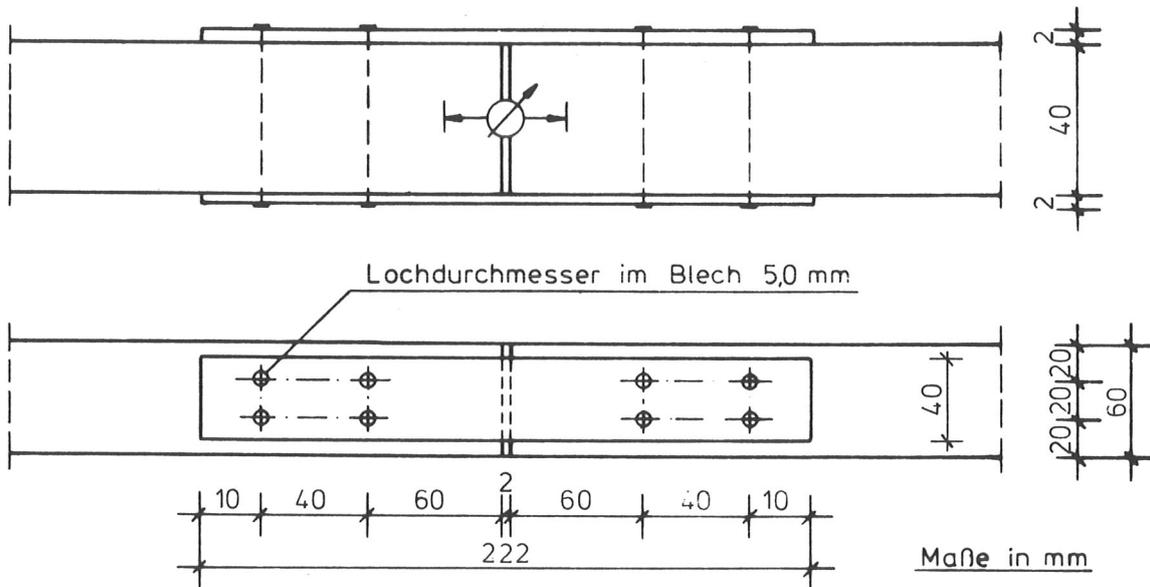


Bild 32: Reihe C Ia, Nägel 4,0/4,4 x 40

Bild 32 zeigt die Abmessungen der Prüfkörper der Reihe C Ia. Die Holzdicke entsprach mit 40 mm der Länge der Nägel, und als Nagelabstände wurden die nach DIN 1052 zulässigen Mindestabstände gewählt. In Reihe C Ib wurden die gleichen Nägel und die gleiche Holzdicke verwendet, jedoch wurden die Nagelabstände vergrößert (Bild 33).

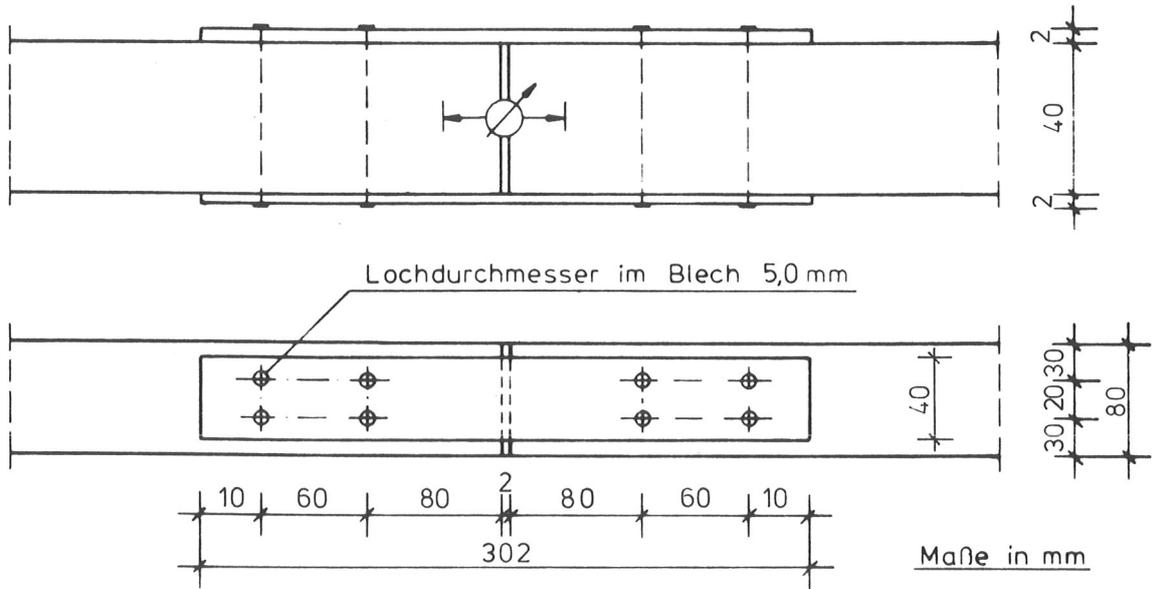


Bild 33: Reihe C Ib, Nägel 4,0/4,4 x 40

In Reihe C II wurden die gleichen Nägel mit den gleichen Abständen verwendet, jedoch betrug die Holzdicke mit 80 mm das doppelte wie bei den Versuchen der Reihe C I.

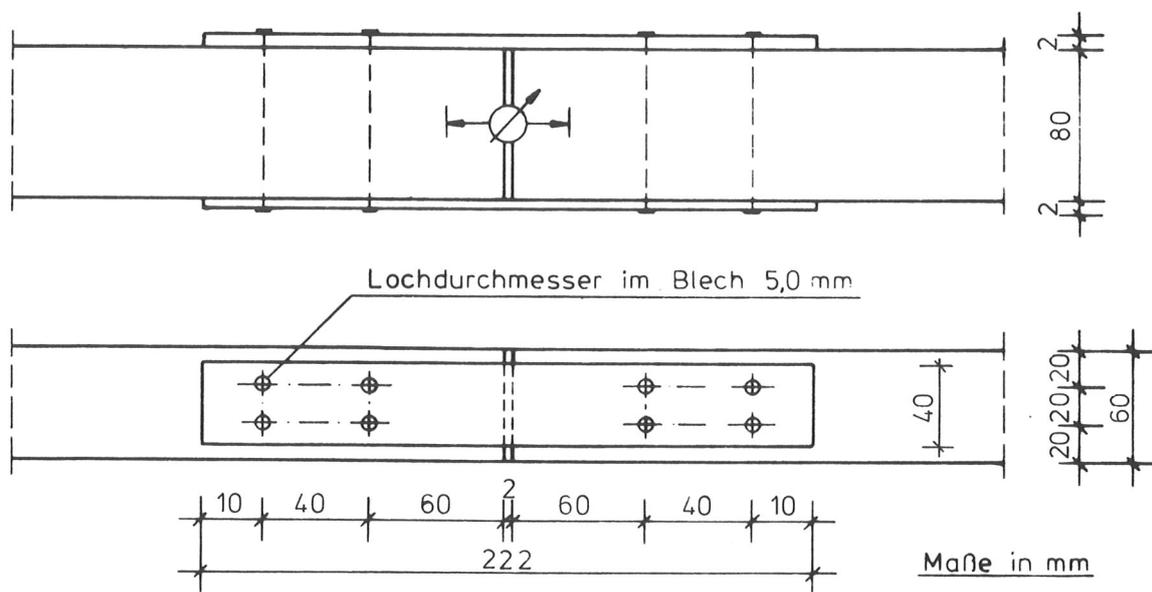


Bild 34: Reihe C IIa, Nägel 4,0/4,4 x 40

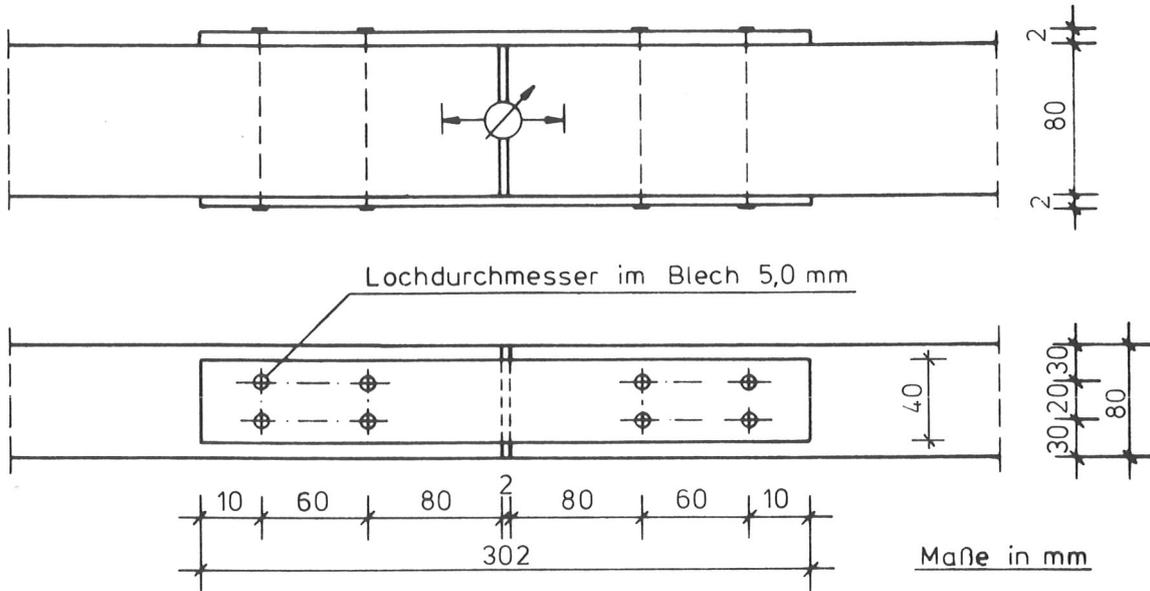


Bild 35: Reihe C IIb, Nägel 4,0/4,4 x 40

In Reihe C III wurden Nägel 3,1/3,3 x 30 und 6,0/6,4 x 60 verwendet. Die Holzdicke entsprach der zweifachen Nagellänge und die Nagelabstände untereinander und von den Holzrändern den Mindestabständen nach DIN 1052 (Bild 36 und 37).

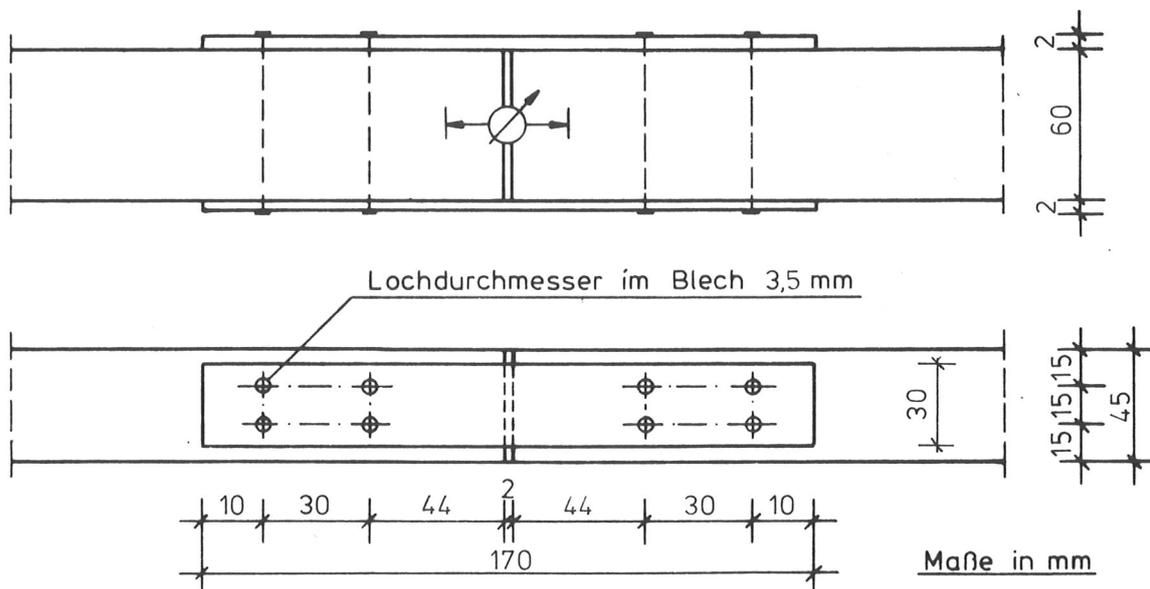


Bild 36: Reihe C IIIa, Nägel 3,1/3,3 x 30



Die Bilder 38 und 39 zeigen die Versuchskörper der Reihe C IIIb vor und nach dem Versuch.

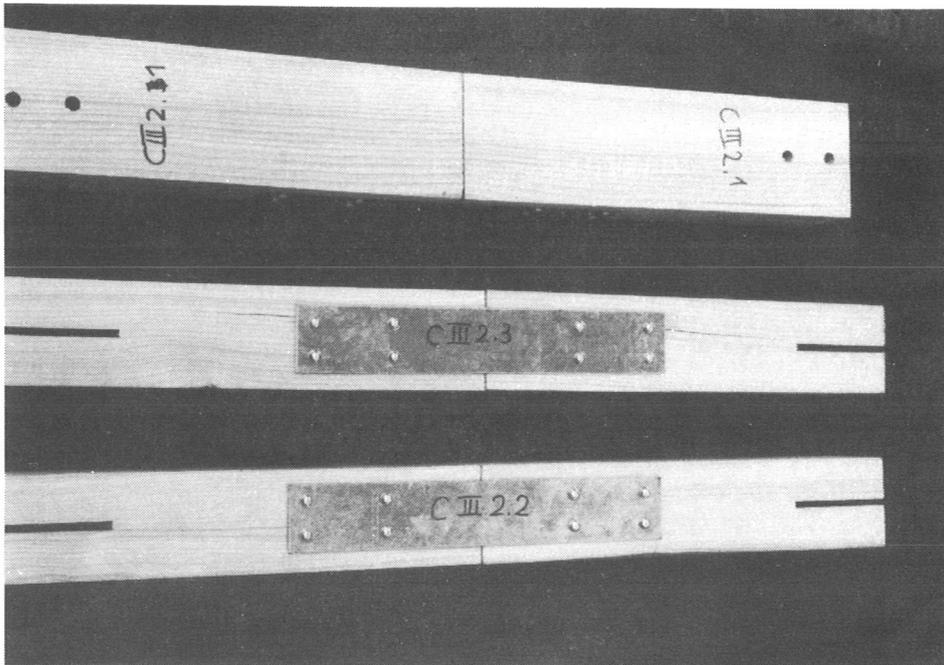


Bild 38: Reihe C IIIb, Nägel 6,0/6,4 x 60  
vor der Prüfung

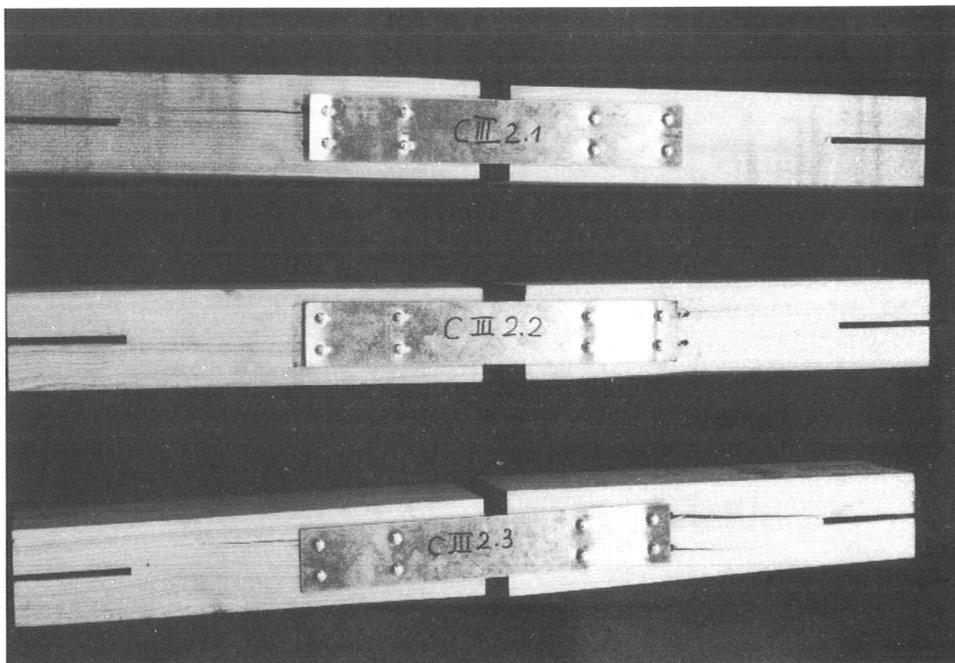


Bild 39: Reihe C IIIb nach der Prüfung

## 5 Versuche mit Balkenschuhen

Ein wichtiges Anwendungsgebiet der Stahlblech-Holz-Nagelung sind Anschlüsse mit Balkenschuhen. Deshalb wurden zwei Balkenschußgrößen in die Untersuchungen mit einbezogen. Die Abmessungen der bauaufsichtlich zugelassenen Balkenschuhe lagen fest, als Variation wurden die Balkenschuhe einmal voll ausgenagelt, wie auf Bild 40 zu erkennen, einmal wurde nur die halbe Nagelanzahl verwendet, um die Abstände zu vergrößern, wie Bild 41 zeigt.

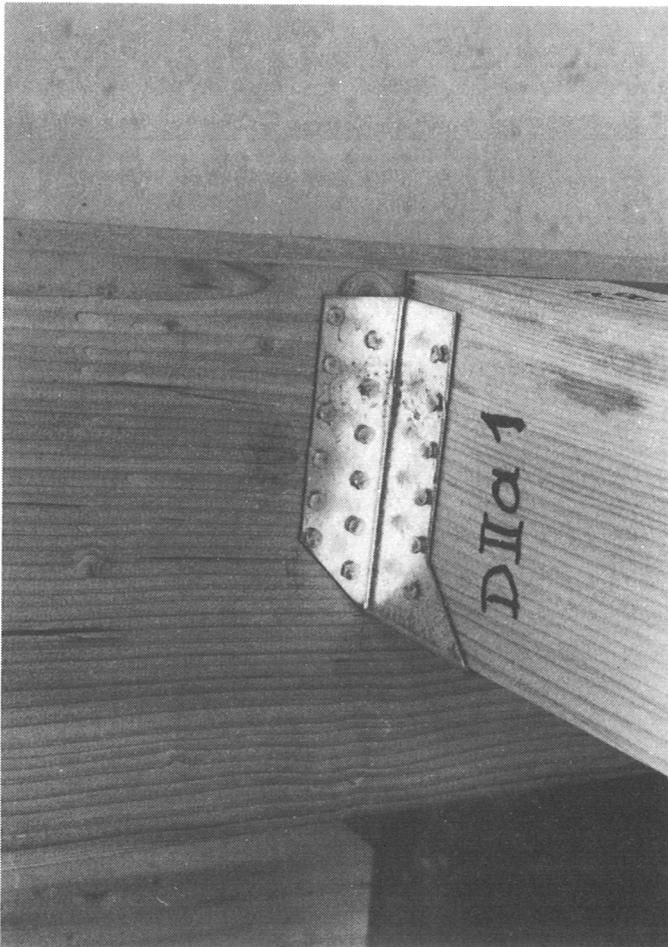


Bild 40: Reihe D IIa  
voll ausgenagelter Balkenschuh 100 x 140

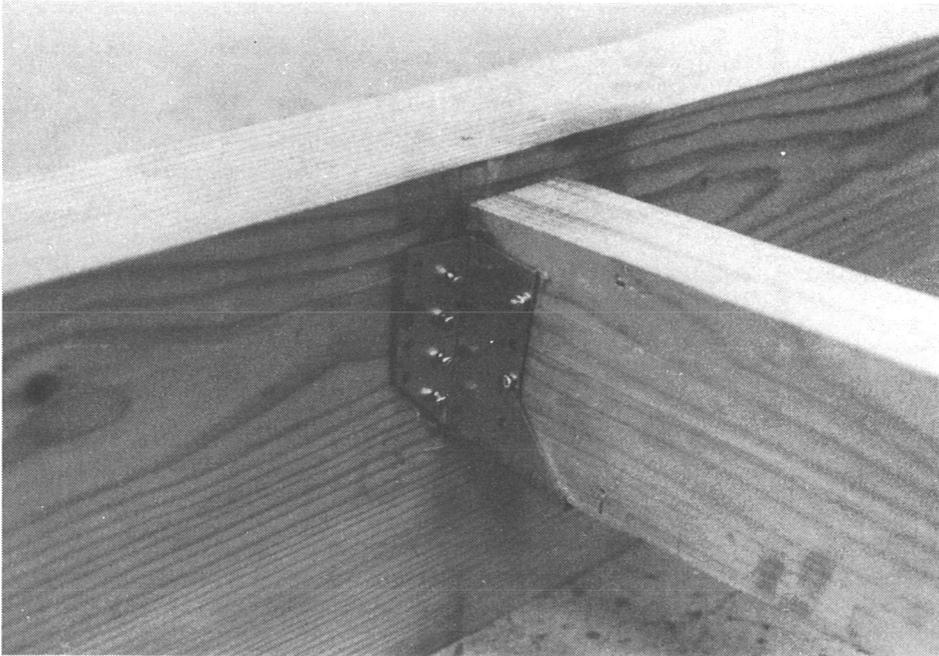
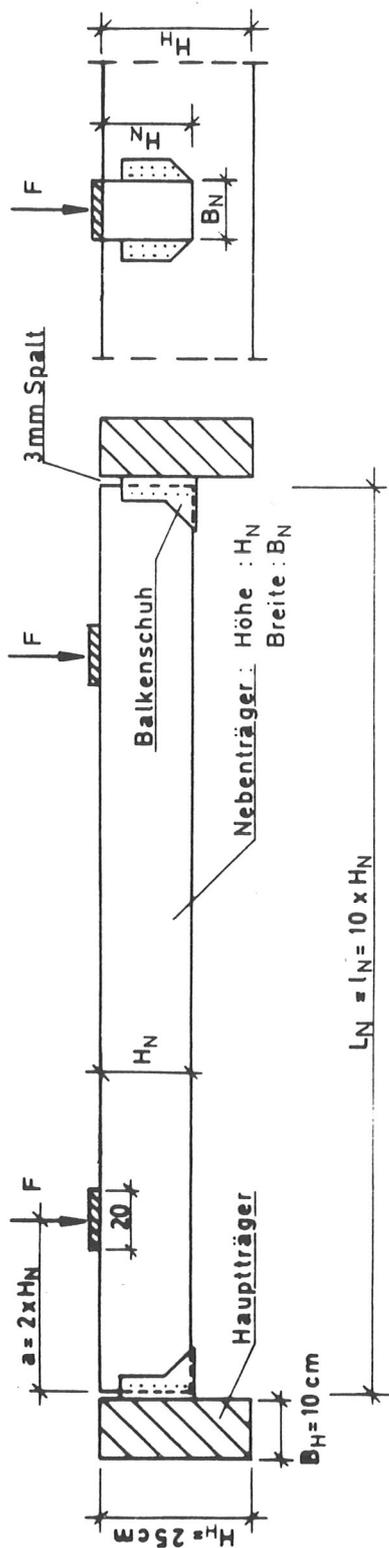


Bild 41: Reihe D Ib  
halb ausgenagelter Balkenschuh 60 x 100  
(nach dem Versuch)

Die Tabellen 18 und 19 (Anlage 18 und 19) enthalten eine Übersicht über die durchgeführten Versuche. D I mit Balkenschuhen der Größe 60 x 100 und D II mit der Größe 100 x 140, a voll ausgenagelt und b mit der halben Nagelanzahl. Die Prüfung erfolgte gemäß ISO 6891 ein bis zwei Wochen nach Herstellung der Verbindungen. Bild 42 zeigt die Versuchsanordnung mit einem "Nebenträger" (NT), der an den Enden mit Balkenschuhen an zwei "Hauptträger" (HT) angeschlossen war.

Seitenansicht



Draufsicht

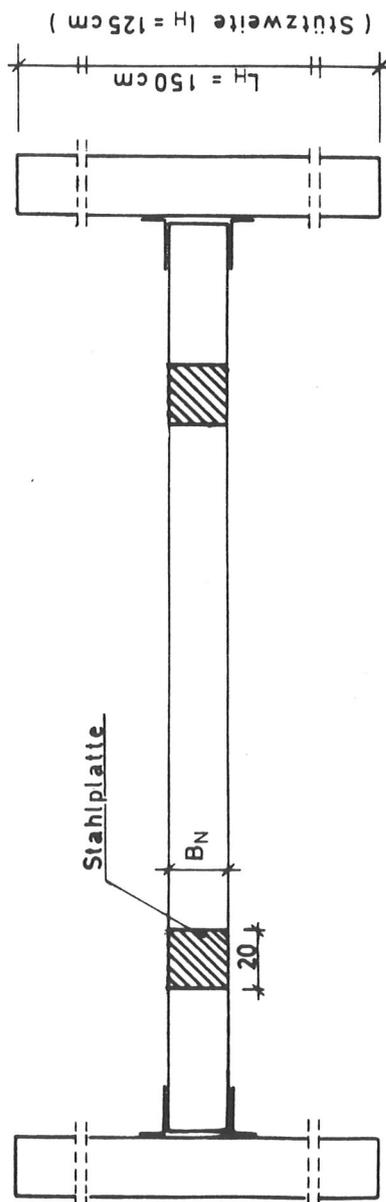


Bild 42: Versuchsanordnung für die Prüfung von Balkenschuhanschlüssen

Die Ergebnisse der Versuche sind in Tabelle 20 (Anlage 20) zusammengestellt. Die Tragfähigkeit der voll ausgenagelten Balkenschuhe konnte nicht ausgeschöpft werden, da in allen Versuchen der Nebenträger auf Biegung oder Schub versagte, wie Bild 43 zeigt.

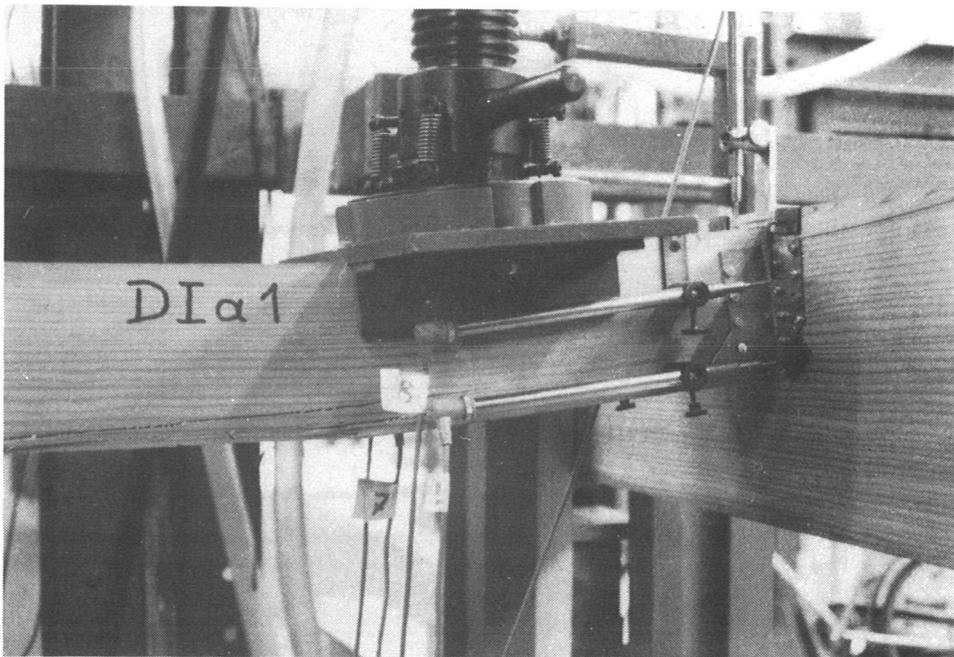


Bild 43: Reihe D Ia  
Biegebruch des Nebenträgers

Bei den halb ausgenagelten Balkenschuhen wurden die Nägel aus den Hauptträgern gezogen, zum Teil die Köpfe abgerissen. Das Einhängen der Nebenträger in den Balkenschuh und das Eindrücken der Balkenschuhunterkante in den Hauptträger, wie auf Bild 44 an den Spuren zu erkennen, trug zur Steigerung der Tragfähigkeit bei, so daß der Unterschied der Höchstkräfte nicht im Verhältnis der Nagelanzahl stand.

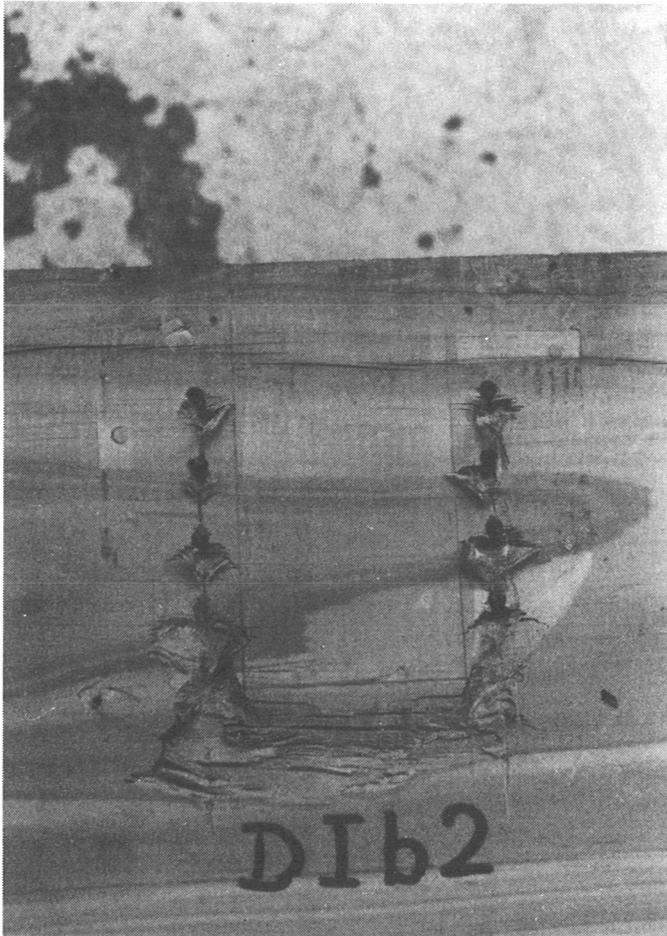


Bild 44: Reihe D Ib  
Hauptträger nach dem Versuch

Als wichtiges Ergebnis muß festgehalten werden, daß es weder beim Nageln noch während der Belastung zum Aufreißen der Hölzer kam.

## 6 Versuche mit Fassadenlattungen

Im Fassadenbau werden als Unterkonstruktion häufig Holzlatten mit relativ kleinen Querschnitten verwendet. Um die Spaltgefahr bei Latten aus Douglasienholz zu untersuchen, wurden praxisnahe Versuche durchgeführt. Auf Konterlatten mit 50/50 mm Querschnitt wurden Traglattenabschnitte mit jeweils zwei Nägeln befestigt. Bild 45 zeigt einen Prüfkörper unter Last und Bild 46 einen geprüften Versuchskörper.

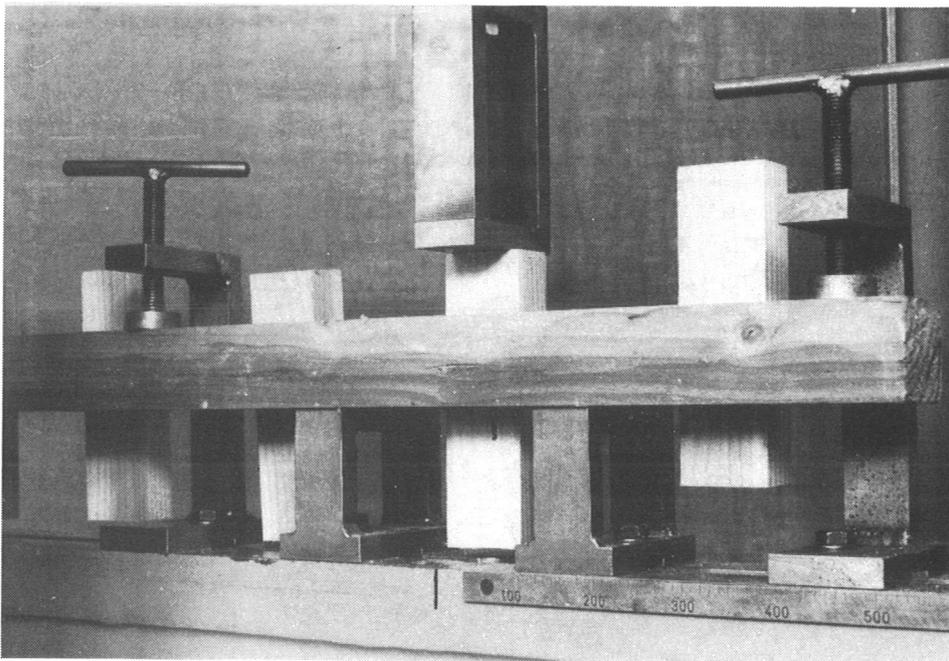


Bild 45: Konterlatte mit Traglatten;  
Beanspruchung auf Abscheren

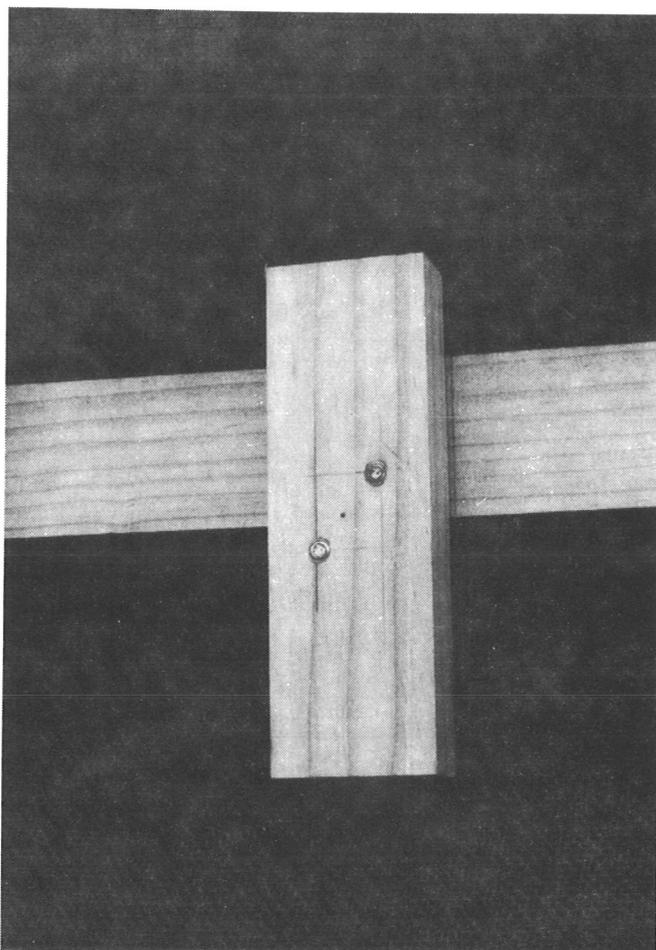


Bild 46: Kreuzungspunkt Traglatte - Konterlatte nach der Prüfung

Es wurden 13 Versuchsreihen durchgeführt. Die Angaben über die Abmessungen der Versuchskörper, die verwendeten Nägel sowie die Versuchsergebnisse sind in den Tabellen 21 bis 23 (Anlagen 21 bis 23) zusammengestellt, während die Eigenschaften des verwendeten Douglasienholzes in Tabelle 24 (Anlage 24) angegeben werden. Reihe 1 bis 5 waren Abscherversuche mit für Fassadenlattungen vorgesehenen Schraubnägeln 2,8/3,1 x 65 und 3,8/4,5 x 80. Für die Traglatten wurden die Querschnitte 24 x 48 mm und 30 x 50 mm verwendet (die Konterlatten waren bei allen Versuchen 50 x 50 mm), die Jahrringneigung betrug in drei Fällen etwa 45° zur Nagelachse. In je einer Reihe verliefen die

Jahrringe rechtwinklig bzw. parallel zur Nagelachse. Die Randabstände der Nägel betragen in den Trag- und in den Konterlatten das fünffache des Nagelnenndurchmessers.

In Reihe 6 wurden die Nägel auf Herausziehen beansprucht, die Nägel und Versuchskörperabmessungen waren die gleichen wie in Reihe 1.

In den Reihen 7 bis 9 wurden unterschiedlich große glattschaftige Nägel bei gleichen Holzquerschnitten und Randabständen verwendet. Die Prüfung erfolgte jedoch erst 1 1/2 Jahre nach Herstellung der Prüfkörper, während die übrigen Versuche jeweils einen Tag nach dem Aufnageln der Traglatten durchgeführt wurden. Bei keinem Versuch der Reihen 1 bis 9 kam es zum Aufspalten des Holzes. Bruchursache war im Regelfall ein Verformen und Herausziehen der Nägel, nur bei Reihe 3 ein Abbrechen der Nägel.

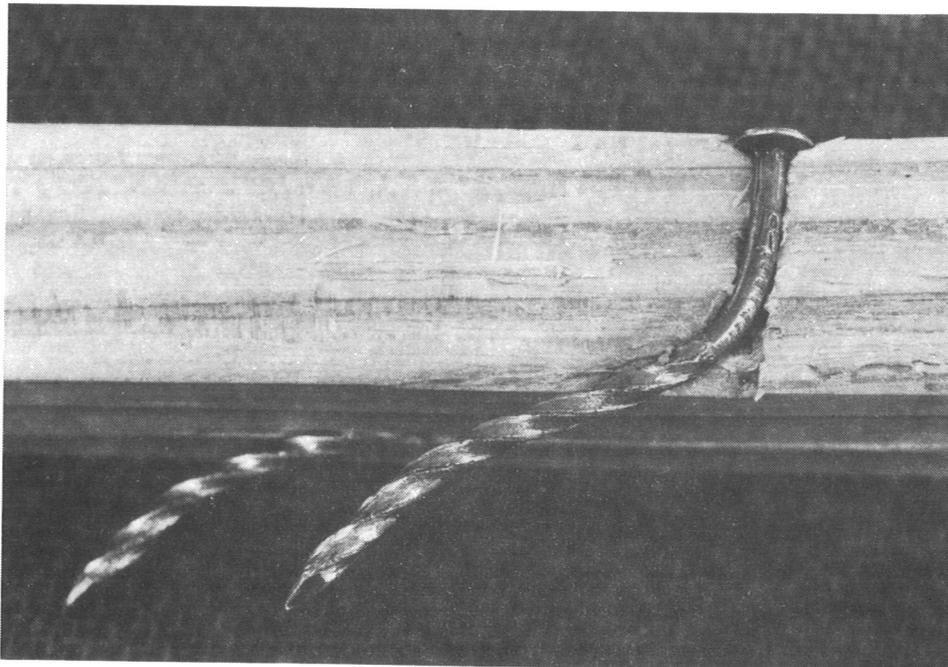


Bild 47: Geöffneter Versuchskörper mit Fassadennagel

Bild 47 zeigt eine nach dem Versuch aufgespaltene Traglatte mit verformten Nägeln 2,8/3,1 x 65 aus nichtrostendem Stahl, Bild 48 ein Traglattenstück mit glattschaftigen Nägeln nach dem Scherversuch.

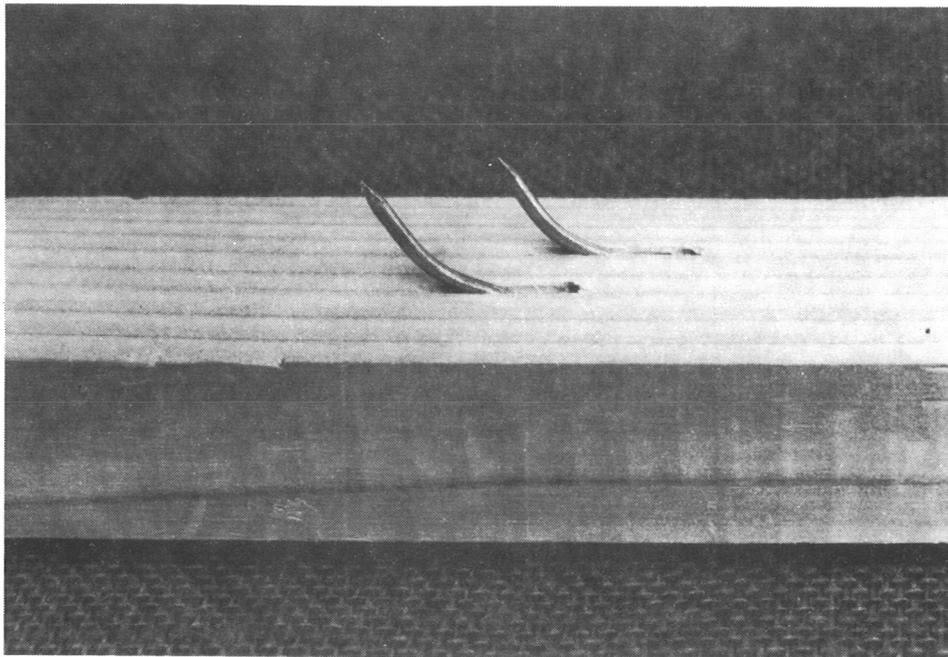


Bild 48: Traglatte mit glattschaftigen Nägeln nach dem Versuch

Für die Reihen 10 bis 13 wurde Holz mit besonders hoher Rohdichte ausgewählt. In Reihe 10 und 11 kam es beim Nageln zum Aufreißen von je 3 Traglatten, was dann auch die jeweils 3 niedrigsten Bruchlasten zur Folge hatte. Die Versuchskörper der Reihe 12 konnten nicht geprüft werden, da die Traglatten bereits beim Nageln ganz auseinandergerissen. Dafür war nicht allein das ungünstige Verhältnis von Nageldurchmesser zu Traglattenabmessungen verantwortlich, maßgebend war sicher auch der relativ kleine Hirnholzabstand in den nur 15 cm langen Traglattenstücken. In Reihe 13 wurden sowohl der Querschnitt als auch die Länge der Traglatten vergrößert und dadurch das Aufreißen der Latten verhindert.

Die in Reihe 13 (und Reihe 3) verwendeten Nägel waren aus einem sehr harten und spröden Stahl und ließen sich besser nageln als die Nägel aus nichtrostendem Stahl mit relativ niedriger Fließgrenze. Solche Nägel verbiegen sich sehr leicht beim Einschlagen, besonders im Holz mit hoher Rohdichte, und erhöhen dadurch zusätzlich die Spaltgefahr.

## 7 Zusammenfassung

In Nageleinschlagversuchen wurden zunächst die Einflüsse unterschiedlicher Holzdicken, Nagelgrößen und -typen sowie unterschiedliche Abstände der Nägel untereinander und von den Holzrändern auf die Spaltgefahr untersucht. In Belastungsversuchen mit Zug- und Druckscherkörpern wurden die durch die Einschlagversuche herausgefundenen erforderlichen Mindestholzdicken und Mindestnagelabstände durch ausreichende Tragfähigkeiten bestätigt.

Für die Mindestholzdicke von Douglasienholz ohne Vorbohrung der Nagellöcher wird

$$\min a = (2 + 0,95 d_n)^2$$

mit  $d_n$  und  $a$  in mm vorgeschlagen,  $a$  sollte jedoch in keinem Falle 30 mm unterschreiten. Außerdem sollten folgende Mindestabstände der Nägel eingehalten werden:

parallel zur Kraft- und Faserrichtung:

$$\begin{array}{ll} \text{Abstand zum Hirnholz} & e_{R\parallel} = 20 d_n \\ \text{Nagelabstand untereinander} & e_{\parallel} = 15 d_n \end{array}$$

rechtwinklig zur Kraft- und Faserrichtung:

$$\begin{array}{ll} \text{Randabstand} & e_{R\perp} = 7,5 d_n \\ \text{Nagelabstand untereinander} & e_{\perp} = 5 d_n \end{array}$$

In Einzelfällen kann es dabei trotzdem zum Aufspalten des Holzes kommen. Dies geschieht gelegentlich auch bei Fichtenholz, selbst wenn alle Anforderungen an die Holzdicke und die Mindestnagelabstände nach DIN 1052 erfüllt werden. Erhöhte Spaltgefahr besteht bei Douglasie

mit liegenden oder stehenden Jahrringen, auch steigt die Spaltgefahr mit zunehmender Rohdichte, während sich andererseits eine höhere Holzfeuchte beim Nageln günstig auswirkt.

Bei Verwendung spezieller sog. "Antispaltnägel" mit einem Vorbohr-effekt der besonders ausgebildeten Nagelspitze können die Abstände reduziert werden, jedoch sollte auch dann immer die erhöhte Mindestholzdicke von 30 mm bzw. nach der o.g. Gleichung eingehalten werden. Aufgrund der hohen Rohdichte und Festigkeit des Douglasienholzes wird das Einschlagen der Nägel oft erschwert, so daß härtere Nägel verwendet werden müssen. Nägel mit Durchmessern größer als 5 mm sollte man nicht mehr ohne Vorbohren (auf ganze Einschlagtiefe) verarbeiten.

Bei der Stahlblech-Holz-Nagelung mit außenliegenden ebenen Stahlblechen kann unversetzt genagelt werden, jedoch sollte bei Einhaltung der Mindestnagelabstände nach DIN 1052 die Holzdicke auf  $20 d_n$  erhöht werden. Bei geringerer Holzdicke sollten grundsätzlich größere Nagelabstände gewählt werden. Bei der Nagelung von Balkenschuhen ist die Spaltgefahr gering. Es wurden hohe Tragfähigkeiten auch bei nur mit halber Nagelanzahl ausgenagelten Balkenschuhen erzielt.

Bei der Nagelung von Trag- auf Konterlatten ist die Spaltgefahr ebenfalls gering, da üblicherweise je Kreuzungspunkt nur zwei Nägel angeordnet werden, die nicht in einer Rißlinie liegen. Gebräuchliche Querschnitte sind z.B. 50/50 mm Konterlatten und 24/48 mm Traglatten, durch Nägel mit 2,8 mm Nenndurchmesser verbunden. Werden größere Nägel verwendet, sollten auch die Holzquerschnitte darauf entsprechend abgestimmt werden.

Vor der Anwendung der nach DIN 1052 Teil 2, Abschnitt 6.2.10 zugelassenen Mindestabstände muß aufgrund der Untersuchungen gewarnt werden. Treten bei der Herstellung von Nagelanschlüssen mit Douglasienholz deutlich sichtbare Holzrisse infolge Spaltwirkung durch die

Nägel auf, dann ist keine ausreichende Tragsicherheit der Nagelverbindung gegenüber der nach DIN 1052 Teil 2 zulässigen Belastung mehr gegeben.

Andererseits ist - unter der Voraussetzung, daß die Nagelanordnung so gewählt wird, daß bei der Herstellung der Verbindung keine Holzrisse erzwungen werden - die Tragfähigkeit genagelter Douglasienholzverbindungen wegen der durchschnittlich höheren Rohdichte der Douglasie im Vergleich zu mitteleuropäischer Fichte größer als die von Fichtenholzverbindungen.

8    Schrifttum

- |1|    Möhler, K.; Beyersdorfer, P. (1984): Bestimmung der Festigkeitseigenschaften von einheimischem Douglasienholz. Forschungsbericht der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, Abt. Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen, Universität (TH) Karlsruhe  
IRB-Verlag Stuttgart, Best.-Nr. T 1402.
  
- |2|    Möhler, K.; Beyersdorfer, P. (1987): Festigkeitsuntersuchungen an einheimischem Douglasienholz als Bauholz. Holz als Roh-Werkstoff 45: S. 49 - 58.
  
- |3|    Teischinger, A.; Krenn, K. (1985): Das Holz von in Österreich gewachsener Douglasie. Holzforschung und Holzverwertung 37, H. 4: S. 61 - 67.

# Anlage 1

**Tabelle 1:** Versuche mit Zugscherkörpern

Reihe	Nagel	Holzdicke [ mm ]		Nagelabstände [ mm ]				Bemerkungen
		$a_1$	$a_2$	$e_R \parallel$	$e \parallel$	$e_R \perp$	$e \perp$	
A I a	42 × 110 DIN 1151	34	32	84	63	32	21	unterschiedliche Holzdicken
A I b	42 × 110 DIN 1151	37	36	84	63	32	21	
A I c	42 × 120 DIN 1151	40	40	84	63	32	21	
A II a	42 × 110 DIN 1151	37	36	84	63	21	21	unterschiedliche Abstände
A II b	42 × 110 DIN 1151	37	36	63	42	32	32	
A II c	42 × 110 DIN 1151	37	36	63	63	32	32	
A III a	42 × 110 DIN 1151	37	36	84	63	32	21	geringe Rohdichte hohe Rohdichte
A III b	42 × 110 DIN 1151	37	36	84	63	32	21	
A IV a	42 × 110 DIN 1151	37	36	84	63	32	21	Jahrringe tangential Jahrringe radial
A IV b	42 × 110 DIN 1151	37	36	84	63	32	21	
A V a	42 × 110 DIN 1151	37	36	84	63	32	21	$u_1 / u_2 = 25 / 25 \%$ $u_1 / u_2 = 25 / 14 \%$
A V b	42 × 110 DIN 1151	37	36	84	63	32	21	
A VI a	25 × 60 DIN 1151	30	60	50	37,5	19	13	unterschiedliche Nagelgrößen und -typen
A VI b	55 × 160 DIN 1151	54	54	110	82,5	41	28	
A VI c	Rillennagel 3,4/3,7 × 100	27	46	68	51	25,5	17	
A VI d	Ankernagel 4,0/4,4 × 100	34	34	80	60	30	20	
A VI e	Rillennagel 6,0/6,5 × 180	60	60	120	90	45	30	
A VI f	Antispalt 3,5/4,2 × 90	30	30	70	52,5	26	18	
A VI g	Antispalt 3,9/4,7 × 90	30	30	78	58,5	29	20	
A VI h	Antispalt 3,5/4,2 × 90	30	30	52,5	35	17,5	17,5	
A VI i	Antispalt 3,9/4,7 × 90	30	30	58,5	39	19,5	19,5	
A VII a	42 × 110 DIN 1151	26	58	63	42	21	21	
A VII b	42 × 110 DIN 1151	37	36	63	42	21	21	
A VII c	42 × 110 DIN 1151	37	36	84	63	32	21	

**Tabelle 2:** Versuchsergebnisse  
Zugsversuche Reihe A I

Versuch Nr.	Nagel-nenndurch-messer [ mm ]	zul.F [ kN ]	Holzeigenschaften			Seitenhölzer		max F <sup>1)</sup> [ kN ]	δ <sup>2)</sup> [ mm ]	Bruch-ursache <sup>3)</sup>
			ρ [ kg/m <sup>3</sup> ]	β <sub>D  </sub> [ N/mm <sup>2</sup> ]	u [ % ]	ρ [ kg/m <sup>3</sup> ]	β <sub>D  </sub> [ N/mm <sup>2</sup> ]			
A I a 1	4,2	5,0	600	58	13,5	610	60	9,6	0,24	NR
A I a 2	4,2	5,0	570	53	13,8	630	56	10,2	0,28	NR
A I a 3	4,2	5,0	610	59	13,3	630	57	13,9	0,18	VR
Mittelwert			593	57	13,5	623	58	11,2	0,23	
A I b 1	4,2	5,0	630	52	14,3	580	52	13,7	0,16	VR
A I b 2	4,2	5,0	610	54	13,8	620	57	18,5	0,16	NZ
A I b 3	4,2	5,0	630	58	13,8	570	53	18,5	0,14	NZ
Mittelwert			623	55	14,0	590	54	16,9	0,15	
A I c 1	4,2	5,0	610	68	14,3	610	69	12,8	0,18	NR
A I c 2	4,2	5,0	610	69	14,3	610	69	19,5	0,14	VR, NZ
A I c 3	4,2	5,0	620	66	13,8	610	65	19,4	0,22	NZ
Mittelwert			613	68	14,1	610	68	17,2	0,18	

- 1) max F = Höchstkraft bzw. Kraft bei 15 mm Stoßaufweitung  
 2) δ = Verschiebung (halbe Stoßaufweitung) bei  $zul.F = 8 \cdot \frac{500 \cdot d_n^2}{10 + d_n}$   
 3) NR = beim Nageln gerissen  
 VR = beim Versuch gerissen  
 NZ = Nägel ausgesetzt  
 NG = Nägel abgebrochen

**Tabelle 3:** Versuchsergebnisse  
Zugsversuche Reihe A II

Versuch Nr.	Nagel- nenndurch- messer [ mm ]	zul.F [ kN ]	Holzeigenschaften			Seitenhölzer		max F <sup>1)</sup> [ kN ]	δ <sup>2)</sup> [ mm ]	Bruch- ursache <sup>3)</sup>
			ρ [ kg/m <sup>3</sup> ]	β <sub>D  </sub> [ N/mm <sup>2</sup> ]	u [ % ]	ρ [ kg/m <sup>3</sup> ]	β <sub>D  </sub> [ N/mm <sup>2</sup> ]			
A II a 1	4,2	5,0	590	57	14,0	630	60	11,8	0,17	NR, VR
A II a 2	4,2	5,0	600	60	13,7	630	58	11,6	0,28	NR, VR
A II a 3	4,2	5,0	590	56	13,9	630	52	13,3	0,24	NR, VR
Mittelwert			593	58	13,9	630	57	12,2	0,23	
A II b 1	4,2	5,0	580	56	14,0	610	57	12,7	0,20	NR, VR
A II b 2	4,2	5,0	590	57	13,9	550	53	15,9	0,15	VR
A II b 3	4,2	5,0	605	57	14,0	600	57	14,4	0,19	VR
Mittelwert			592	57	14,0	587	56	14,3	0,18	
A II c 1	4,2	5,0	590	55	14,0	575	71	13,1	0,20	NR, VR
A II c 2	4,2	5,0	565	53	14,0	605	58	10,4	0,28	NR, VR
A II c 3	4,2	5,0	600	58	14,0	595	56	10,0	0,42	NR, VR
Mittelwert			585	55	14,0	592	62	11,2	0,30	

- 1) max F = Höchstkraft bzw. Kraft bei 15 mm Stoßaufweitung  
 2) δ = Verschiebung (halbe Stoßaufweitung) bei  $zul.F = 8 \cdot \frac{500 \cdot d_n}{10 + d_n}$   
 3) NR = beim Nageln gerissen  
 VR = beim Versuch gerissen  
 NZ = Nägel ausgesetzt  
 NG = Nägel abgebrochen

**Tabelle 4:** Versuchsergebnisse  
Zugscherversuche Reihe A III

Versuch Nr.	Nagel-nenn-durch-messer [ mm ]	zul.F [ kN ]	Holzeigenschaften				Bruch-ursache <sup>3)</sup>				
			Mittelhölzer		Seitenhölzer						
			$\rho$ [ kg/m <sup>3</sup> ]	$\beta_{D  }$ [ N/mm <sup>2</sup> ]	$u$ [ % ]	$\rho$ [ kg/m <sup>3</sup> ]	$\beta_{D  }$ [ N/mm <sup>2</sup> ]	$u$ [ % ]	$\delta^2)$ [ mm ]	$max.F^{1)}$ [ kN ]	
A III a 1	4,2	5,0	490	43	15,0	500	43	15,0	0,28	15,1	NZ, VR
A III a 2	4,2	5,0	530	47	15,0	575	52	15,0	0,17	17,4	NZ, VR
A III a 3	4,2	5,0	565	50	15,0	540	48	15,0	0,32	10,8	NR, VR
Mittelwert			528	47	15,0	538	48	15,0	0,26	14,4	
A III b 1	4,2	5,0	685	58	16,0	670	59	16,0	0,13	17,6	VR
A III b 2	4,2	5,0	675	60	16,0	670	59	16,0	0,20	16,4	NR, VR
A III b 3	4,2	5,0	700	62	16,0	670	59	16,0	0,15	22,1	VR
Mittelwert			687	60	16,0	670	59	16,0	0,16	18,7	

- 1)  $max.F$  = Höchstkraft bzw. Kraft bei 15 mm Stoßaufweitung  
 2)  $\delta$  = Verschiebung (halbe Stoßaufweitung) bei  $zul.F = 8 \cdot \frac{500 \cdot d^2}{10 + d_n}$   
 3) NR = beim Nageln gerissen  
 VR = beim Versuch gerissen  
 NZ = Nägel ausgezogen  
 NG = Nägel abgebrochen

**Tabelle 5:** Versuchsergebnisse  
Zugscherversuche Reihe A IV

Versuch Nr.	Nagel- nenndurch- messer [ mm ]	zul.F [ kN ]	Holzeigenschaften				max.F <sup>1)</sup> [ kN ]	δ <sup>2)</sup> [ mm ]	Bruch- ursache <sup>3)</sup>
			Mittelhölzer		Seitenhölzer				
			ρ [ kg/m <sup>3</sup> ]	β <sub>D  </sub> [ N/mm <sup>2</sup> ]	u [ % ]	ρ [ kg/m <sup>3</sup> ]	β <sub>D  </sub> [ N/mm <sup>2</sup> ]	u [ % ]	
A IV a 1	4,2	5,0	630	57	16,2	620	50	17,8	
A IV a 2	4,2	5,0	640	55	17,0	640	56	16,4	
A IV a 3	4,2	5,0	640	54	16,5	650	53	16,7	
Mittelwert			637	55	16,6	637	53	17,0	
A IV b 1	4,2	5,0	660	47	17,1	590	50	16,6	
A IV b 2	4,2	5,0	680	61	16,8	660	54	16,7	
A IV b 3	4,2	5,0	580	49	17,1	540	43	16,6	
Mittelwert			640	52	17,0	600	49	16,6	

- 1) max F = Höchstkraft bzw. Kraft bei 15 mm Stoßaufweitung  
 2) δ = Verschiebung (halbe Stoßaufweitung) bei zul.F =  $8 \cdot \frac{500 \cdot d^2}{10 + d_n}$   
 3) NR = beim Nägeln gerissen  
 VR = beim Versuch gerissen  
 NZ = Nägel ausgezogen  
 NG = Nägel abgebrochen

**Tabelle 6:** Versuchsergebnisse  
Zugscherversuche Reihe A V

Versuch Nr.	Nagel- nenndurch- messer [ mm ]	zul.F [ kN ]	Holzeigenschaften						max.F <sup>1)</sup> [ kN ]	δ <sup>2)</sup> [ mm ]	Bruch- ursache <sup>3)</sup>
			Mittelhölzer		Seitenhölzer		Seitenhölzer				
			ρ [ kg/m <sup>3</sup> ]	β <sub>D  </sub> [ N/mm <sup>2</sup> ]	u [ % ]	ρ [ kg/m <sup>3</sup> ]	β <sub>D  </sub> [ N/mm <sup>2</sup> ]	u [ % ]			
A V a 1	4,2	5,0	580	51	12,4	572	52	12,6	14,0	0,34	NZ
A V a 2	4,2	5,0	597	51	12,1	602	63	12,4	17,5	0,24	NZ
A V a 3	4,2	5,0	627	57	12,8	630	68	12,1	19,6	0,23	NZ, VR
Mittelwert			601	53	12,4	601	61	12,4	17,0	0,27	
A V b 1	4,2	5,0	590	54	12,4	573	51	12,4	15,0	0,42	NZ
A V b 2	4,2	5,0	606	65	12,7	598	56	12,1	15,3	0,36	VR
A V b 3	4,2	5,0	629	59	12,6	657	63	12,6	18,7	0,32	NZ
Mittelwert			608	59	12,6	609	57	12,4	16,3	0,37	

1) max F = Höchstkraft bzw. Kraft bei 15 mm Stoßaufweitung  
 2) δ = Verschiebung (halbe Stoßaufweitung) bei zul.F =  $8 \cdot \frac{500 \cdot d^2}{10 + d^4}$   
 3) NR = beim Nageln gerissen  
 VR = beim Versuch gerissen  
 NZ = Nägel ausgezogen  
 NG = Nägel abgebrochen

**Tabelle 7:** Versuchsergebnisse  
Zugscherversuche Reihe A VI

Versuch Nr.	Nagel- nenndurch- messer [ mm ]	zul.F [ kN ]	Holzeigenschaften			$\delta^2)$ [ mm ]	Bruch- ursache <sup>3)</sup>				
			Mittelhölzer		Seitenhölzer						
			$\rho$ [ kg/m <sup>3</sup> ]	$\beta_{D  }$ [ N/mm <sup>2</sup> ]	$u$ [ % ]	$\rho$ [ kg/m <sup>3</sup> ]	$\beta_{D  }$ [ N/mm <sup>2</sup> ]	$u$ [ % ]	$max F^{1)}$ [ kN ]		
A VI a 1	2,5	1,0	722	60	16,9	603	46	16,0	4,3	0,10 <sup>4)</sup>	NZ
A VI a 2	2,5	1,0	686	51	17,5	592	38	16,7	4,4	0,07 <sup>4)</sup>	NZ
A VI a 3	2,5	1,0	691	56	17,1	611	42	16,9	3,9	0,07 <sup>4)</sup>	NZ
Mittelwert			700	56	17,2	602	42	16,5	4,2	0,08	
A VI b 1	5,5	—	628	52	16,6	650	52	17,9	—	—	
A VI b 2	5,5	—	623	52	16,7	641	47	17,2	—	—	
A VI b 3	5,5	—	619	42	17,2	665	44	17,0	—	—	
Mittelwert			623	49	16,8	652	48	17,4	—	—	
A VI c 1	3,4	3,5	651	50	15,7	624	50	16,8	11,7	0,16	NZ
A VI c 2	3,4	3,5	655	53	15,5	591	44	18,1	11,8	0,14	NZ
A VI c 3	3,4	3,5	650	47	16,7	609	44	18,1	12,6	0,16	NZ
Mittelwert			652	50	16,0	608	46	17,7	12,0	0,15	

1)  $max F$  = Höchstkraft bzw. Kraft bei 15 mm Stoßaufweitung  
 2)  $\delta$  = Verschiebung (halbe Stoßaufweitung) bei  $zul F = 8 \cdot \frac{500 \cdot d_m^2}{10 \cdot d_n}$   
 3) NR = beim Nageln gerissen  
 VR = beim Versuch gerissen  
 NZ = Nägel ausgesetzt  
 NG = Nägel abgebrochen  
 4)  $\delta$  = Verschiebung (halbe Stoßaufweitung) bei  $zul F = 4 \cdot \frac{500 \cdot d_m^2}{10 \cdot d_n}$

**Tabelle 8:** Versuchsergebnisse  
Zugscherversuche Reihe A VI

Versuch Nr.	Nagel- nendurch- messer [ mm ]	zul.F [ kN ]	Mittelhölzer			Holzeigenschaften			Seitenhölzer		max.F <sup>1)</sup> [ kN ]	δ <sup>2)</sup> [ mm ]	Bruch- ursache <sup>3)</sup>
			ρ [ kg/m <sup>3</sup> ]	β <sub>D  </sub> [ N/mm <sup>2</sup> ]	u [ % ]	ρ [ kg/m <sup>3</sup> ]	β <sub>D  </sub> [ N/mm <sup>2</sup> ]	u [ % ]	ρ [ kg/m <sup>3</sup> ]	β <sub>D  </sub> [ N/mm <sup>2</sup> ]			
A VI d 1	4,0	4,6	622	40	19,1	575	44	17,4		18,0	0,40	NZ	
A VI d 2	4,0	4,6	640	41	19,7	607	41	19,3		9,3	0,70	NR	
A VI d 3	4,0	4,6	599	43	16,6	612	40	19,6		8,5	0,90	NR	
Mittelwert			620	41	18,5	598	42	18,8		11,9	0,67		
A VI e 1	6,0	9,0	618	51	16,4	664	52	17,0		30,0	0,50	NR	
A VI e 2	6,0	9,0	708	61	16,8	617	52	16,8		12,6	1,40	NR	
A VI e 3	6,0	9,0	648	57	16,1	587	51	16,4		19,8	0,40	NR	
Mittelwert			658	56	16,4	623	52	16,7		20,8	0,77		
A VI f 1	3,5	3,6	633	47	15,4	533	32	15,1		20,0	0,12	NZ	
A VI f 2	3,5	3,6	589	42	15,3	572	37	15,2		19,0	0,11	NZ	
A VI f 3	3,5	3,6	613	44	14,8	578	39	14,6		22,3	0,12	NZ	
Mittelwert			612	44	15,2	561	36	15,0		20,4	0,12		

- 1) max F = Höchstkraft bzw. Kraft bei 15 mm Stoßaufweitung  
 2) δ = Verschiebung (halbe Stoßaufweitung) bei zul.F =  $8 \cdot \frac{500 \cdot d^2}{10 + d}$   
 3) NR = beim Nageln gerissen  
 VR = beim Versuch gerissen  
 NZ = Nägel ausgesetzt  
 NG = Nägel abgebrochen

**Tabelle 9:** Versuchsergebnisse  
Zugscherversuche Reihe A VI

Versuch Nr.	Nagel-nenn-durch-messer [ mm ]	zul. F [ kN ]	Holzeigenschaften			$\delta^{(2)}$ [ mm ]	Bruch-ursache <sup>3)</sup>				
			Mittelhölzer	Seitenhölzer	$\max F^{(1)}$ [ kN ]						
			$\rho$ [ kg/m <sup>3</sup> ]	$\beta_{D  }$ [ N/mm <sup>2</sup> ]	u [ % ]						
A VI g 1	3,9	4,4	692	48	16,7	657	45	17,3	24,5	0,21	NG
A VI g 2	3,9	4,4	645	42	17,3	641	44	16,9	24,2	0,15	NG
A VI g 3	3,9	4,4	626	42	17,1	595	44	16,9	23,1	0,17	NG
Mittelwert			654	44	17,0	631	44	17,0	23,9	0,18	
A VI h 1	3,5	3,6	625	39	17,0	643	42	17,1	18,1	0,11	NR
A VI h 2	3,5	3,6	644	41	17,4	657	45	17,3	22,0	0,12	NZ
A VI h 3	3,5	3,6	618	40	17,1	617	41	17,2	18,0	0,12	NZ
Mittelwert			629	40	17,2	639	43	17,2	19,3	0,12	
A VI i 1	3,9	4,4	724	59	14,8	666	43	17,0	21,3	0,14	NG
A VI i 2	3,9	4,4	721	55	15,8	606	40	17,0	24,5	0,14	NG
A VI i 3	3,9	4,4	712	57	15,4	671	44	16,9	25,0	0,14	NG
Mittelwert			719	57	15,3	648	42	17,0	23,6	0,14	

- 1)  $\max F$  = Höchstkraft bzw. Kraft bei 15 mm Stoßaufweitung  
 2)  $\delta$  = Verschiebung (halbe Stoßaufweitung) bei  $zul.F = 8 \cdot \frac{500 \cdot d^2}{10 + d_n}$   
 3) VR = beim Nageln gerissen  
 NZ = beim Versuch geschnitten  
 NG = Nägel ausgezogen  
 NR = Nägel abgebrochen

**Tabelle 10:** Versuchsergebnisse  
Zugscherversuche Reihe A VII

Versuch Nr.	Nagel- nenndurch- messer [ mm ]	zul.F [ kN ]	Holzeigenschaften			Seitenhölzer			max.F <sup>1)</sup> [ kN ]	δ <sup>2)</sup> [ mm ]	Bruch- ursache <sup>3)</sup>
			ρ [ kg/m <sup>3</sup> ]	β <sub>D  </sub> [ N/mm <sup>2</sup> ]	u [ % ]	ρ [ kg/m <sup>3</sup> ]	β <sub>D  </sub> [ N/mm <sup>2</sup> ]	u [ % ]			
A VII a 1	4,2	5,0	410	36	14,0	440	42	14,1	9,7	0,63	NZ, VR
A VII a 2	4,2	5,0	480	52	13,8	485	53	13,5	7,1	0,89	NR
A VII a 3	4,2	5,0	480	49	13,9	440	48	13,4	10,4	0,47	NZ, VR
Mittelwert			457	46	13,9	455	47	13,7	9,1	0,66	
A VII b 1	4,2	5,0	490	53	14,0	470	49	13,9	8,3	0,34	VR
A VII b 2	4,2	5,0	450	48	14,0	460	49	13,8	12,2	0,34	NZ, VR
A VII b 3	4,2	5,0	390	32	14,3	390	32	14,3	11,5	0,39	NZ
Mittelwert			443	44	14,1	440	43	13,9	10,7	0,36	
A VII c 1	4,2	5,0	410	39	14,2	397	37	14,2	11,3	0,36	NZ
A VII c 2	4,2	5,0	430	42	14,5	385	37	14,2	11,6	0,45	NZ
A VII c 3	4,2	5,0	415	42	14,0	370	36	14,1	10,6	0,44	NZ
Mittelwert			418	41	14,2	384	37	14,2	11,2	0,42	

- 1) max F = Höchstkraft bzw. Kraft bei 15 mm Stoßaufweitung  
 2) δ = Verschiebung (halbe Stoßaufweitung) bei  $zul.F = 8 \cdot \frac{500 \cdot d_n^2}{10 \cdot l_n}$   
 3) NR = beim Nagein gerissen  
 VR = beim Versuch gerissen  
 NZ = Nägel ausgesogen  
 NG = Nägel abgebrochen

**Tabelle 11: Versuchsergebnisse  
Druckscherversuche Reihe B I**

Versuch Nr.	Nagel- nenndurch- messer [ mm ]	zul.F [ kN ]	Mittelhölzer		Holzeigenschaften			Seitenhölzer		max.F <sup>1)</sup> [ kN ]	δ <sup>2)</sup> [ mm ]	Bruch- ursache <sup>3)</sup>
			ρ [ kg/m <sup>3</sup> ]	β <sub>D  </sub> [ N/mm <sup>2</sup> ]	u [ % ]	ρ [ kg/m <sup>3</sup> ]	β <sub>D  </sub> [ N/mm <sup>2</sup> ]	u [ % ]				
BI a 1	4,2	5,0	675	48	15,4	638	59	16,0	29,2	0,12	VR	
BI a 2	4,2	5,0	659	46	16,3	630	57	16,1	27,5	0,14	NZ	
BI a 3	4,2	5,0	702	52	15,5	645	58	16,3	23,7	0,16	VR	
Mittelwert			679	49	15,7	638	58	16,2	26,8	0,14		
BI b 1	3,1	3,0	735	57	15,6	676	61	15,4	22,4	0,08	NZ	
BI b 2	3,1	3,0	702	57	15,3	688	55	16,2	21,2	0,15	NZ	
BI b 3	3,1	3,0	722	55	16,2	651	55	15,7	19,3	0,18	NZ	
Mittelwert			720	56	15,7	672	57	15,8	21,0	0,14		

1) max F = Höchstkraft bzw. Kraft bei 15 mm Verschiebung

2) δ = Verschiebung bei zul.F bei  $500 \cdot \frac{\delta^2}{10 + \delta}$

3) NR = beim Nageln gerissen

VR = beim Versuch gerissen

NZ = Nägel ausgesetzt

NG = Nägel abgebrochen

**Tabelle 12:** Versuchsergebnisse  
Druckversuche Reihe B II

Versuch Nr.	Nagel- nenndurch- messer [ mm ]	zul.F [ kN ]	Mittelhölzer		Holzeigenschaften		Seitenhölzer		max.F <sup>1)</sup> [ kN ]	δ <sup>2)</sup> [ mm ]	Bruch- ursache <sup>3)</sup>
			ρ [ kg/m <sup>3</sup> ]	β <sub>D  </sub> [ N/mm <sup>2</sup> ]	u [ % ]	ρ [ kg/m <sup>3</sup> ]	β <sub>D  </sub> [ N/mm <sup>2</sup> ]	u [ % ]			
B II a 1	3,5	3,6	483	40	15,3	477	49	15,9	17,2	0,20	VR
B II a 2	3,5	3,6	554	47	16,1	530	59	16,3	19,2	0,26	NZ
B II a 3	3,5	3,6	595	57	15,4	567	64	16,7	22,7	0,17	NZ
Mittelwert			544	48	15,6	525	57	16,3	19,7	0,21	
B II b 1	3,9	4,4	625	49	15,5	580	49	15,9	11,9	0,55	NR, VR
B II b 2	3,9	4,4	566	40	14,4	590	49	16,0	25,2	0,20	VR, NZ
B II b 3	3,9	4,4	634	51	16,2	638	51	16,6	13,2	0,46	NR, VR
Mittelwert			608	47	15,4	596	50	16,2	16,8	0,40	

1) max F = Höchstkraft bzw. Kraft bei 15 mm Verschiebung

2) δ = Verschiebung bei zul.F bei  $\sigma = 8 \cdot \frac{500 \cdot d^2}{10 + d_n}$

3) NR = beim Nageln gerissen

VR = beim Versuch gerissen

NZ = Nägel ausgezogen

NG = Nägel abgebrochen

Tabelle 13: Versuchsergebnisse  
Druckscherversuche Reihe B III

Versuch Nr.	Nagel-nenndurchmesser [ mm ]	zul. F [ kN ]	Mittelhölzer			Holzeigenschaften			Seitenhölzer			max. F <sup>1)</sup> [ kN ]	δ <sup>2)</sup> [ mm ]	Bruchursache <sup>3)</sup>
			ρ [ kg/m <sup>3</sup> ]	β <sub>D  </sub> [ N/mm <sup>2</sup> ]	u [% ]	ρ [ kg/m <sup>3</sup> ]	β <sub>D  </sub> [ N/mm <sup>2</sup> ]	u [% ]	ρ [ kg/m <sup>3</sup> ]	β <sub>D  </sub> [ N/mm <sup>2</sup> ]	u [% ]			
B III a 1	4,2	5,0	542	60	12,3	500	55	12,6	500	55	12,6	—	—	NR
B III a 2	4,2	5,0	542	60	12,3	473	51	12,4	473	51	12,4	—	—	NR
B III a 3	4,2	5,0	383	31	12,6	526	58	12,6	526	58	12,6	—	0,26	NZ
Mittelwert			463	46	12,5	500	55	12,6	500	55	12,6	—	—	
B III a 4	4,2	5,0	368	36	11,5	369	36	11,8	369	36	11,8	—	0,30	NZ
B III a 5	4,2	5,0	368	36	11,5	377	35	11,6	377	35	11,6	—	0,20	NZ
B III a 6	4,2	5,0	368	36	11,5	399	41	11,6	399	41	11,6	—	0,35	NZ
Mittelwert			368	36	11,5	382	37	11,7	382	37	11,7	—	0,28	

1) max F = Höchstkraft bzw. Kraft bei 15 mm Verschiebung

2) δ = Verschiebung bei zul F =  $8 \cdot \frac{500 \cdot \delta^2}{10 + \delta}$

3) NR = beim Nageln gerissen

VR = beim Versuch gerissen

NZ = Nägel ausgezogen

NG = Nägel abgebrochen

**Tabelle 14: Versuchsergebnisse  
Druckversuche Reihe B III**

Versuch Nr.	Nagel- nenndurch- messer [ mm ]	zul.F [ kN ]	Holzeigenschaften			Seitenhölzer $\beta_{D  }$ [ N/mm <sup>2</sup> ]	u [ % ]	$\rho$ [ kg/m <sup>3</sup> ]	u [ % ]	$\beta_{D  }$ [ N/mm <sup>2</sup> ]	u [ % ]	max F <sup>1)</sup> [ kN ]	$\delta^2)$ [ mm ]	Bruch- ursache <sup>3)</sup>
			$\rho$ [ kg/m <sup>3</sup> ]	$\beta_{D  }$ [ N/mm <sup>2</sup> ]	u [ % ]									
B III b 1	4,2	5,0	434	44	12,4	487	50	12,7	19,0	0,20	NR, NZ			
B III b 2	4,2	5,0	434	44	12,4	531	57	12,5	20,6	0,22	NR, VR			
B III b 3	4,2	5,0	434	44	12,4	525	55	10,6	21,6	0,15	NZ			
Mittelwert			434	44	12,4	514	54	12,2	20,4	0,19				
B III b 4	4,2	5,0	362	38	12,2	381	41	11,8	17,9	0,26	NZ			
B III b 5	4,2	5,0	362	38	12,2	386	41	11,9	16,0	0,24	NZ			
B III b 6	4,2	5,0	362	38	12,2	386	42	11,9	15,8	0,20	NZ			
Mittelwert			362	38	12,2	384	41	11,9	16,6	0,23				

1) max F = Höchstkraft bzw. Kraft bei 15 mm Verschiebung

2)  $\delta$  = Verschiebung bei zul.F =  $8 \cdot \frac{500 \cdot d_n^2}{10 + d_n}$

3) NR = beim Nageln gerissen

VR = beim Versuch gerissen

NZ = Nägel ausgesetzt

NG = Nägel abgebrochen

**Tabelle 15: Versuchsergebnisse  
Zugscherversuche Reihe CI**

Versuch Nr.	Nagel- nenndurch- messer [ mm ]	zul.F [ kN ]	Holzeigenschaften Mittelhölzer			maxF <sup>1)</sup> [ kN ]	δ <sup>2)</sup> [ mm ]	Bruch- ursache <sup>3)</sup>
			ρ [ kg/m <sup>3</sup> ]	β <sub>D  </sub> [ N/mm <sup>2</sup> ]	u [ % ]			
CI a 1	4,0	3,0	625	55	16,5	14,4	0,70	NZ
CI a 2	4,0	3,0	638	59	16,1	6,8	1,05	NR, VR
CI a 3	4,0	3,0	624	56	16,1	8,6	0,75	NR, VR
Mittelwert			629	57	16,2	9,9	0,83	
CI b 1	4,0	3,0	682	61	16,1	14,2	0,38	NZ, NG
CI b 2	4,0	3,0	632	55	17,1	14,2	0,46	NZ, NG
CI b 3	4,0	3,0	653	57	16,8	14,0	0,50	NZ, NG
Mittelwert			656	58	16,7	14,1	0,45	

1) max F = Höchstkraft bzw. Kraft bei 15 mm Stoßaufweitung

2) δ = Verschiebung (halbe Stoßaufweitung) bei zulF

3) NR = beim Nageln gerissen

VR = beim Versuch gerissen

NZ = Nägel ausgezogen

NG = Nägel abgebrochen

**Tabelle 16:** Versuchsergebnisse  
Zugscherversuche Reihe C II

Versuch Nr.	Nagel- nendurch- messer [ mm ]	zul.F [ kN ]	Holzeigenschaften Mittelhölzer			max F <sup>1)</sup> [ kN ]	$\delta^2)$ [ mm ]	Bruch- ursache <sup>3)</sup>
			$\rho$ [ kg/m <sup>3</sup> ]	$\beta_{D  }$ [ N/mm <sup>2</sup> ]	$u$ [ % ]			
C II a 1	4,0	6,0	643	55	16,6	27,7	0,48	NZ, NG
C II a 2	4,0	6,0	629	40	17,4	31,1	0,44	NZ, NG
C II a 3	4,0	6,0	644	57	17,1	28,5	0,58	NZ, NG
Mittelwert			639	51	17,0	29,1	0,50	
C II b 1	4,0	6,0	663	50	18,3	32,2	0,30	NZ, NG
C II b 2	4,0	6,0	679	60	16,4	31,0	0,25	NZ, NG
C II b 3	4,0	6,0	647	60	16,1	30,0	0,30	NZ, NG
Mittelwert			663	57	16,9	31,1	0,28	

- 1) max F = Höchstkraft bzw. Kraft bei 15 mm Stoßaufweitung  
 2)  $\delta$  = Verschiebung (halbe Stoßaufweitung) bei zul.F  
 3) NR = beim Nageln gerissen  
 VR = beim Versuch gerissen  
 NZ = Nägel ausgezogen  
 NG = Nägel abgebrochen

**Tabelle 17:** Versuchsergebnisse  
Zugscherversuche Reihe C III

Versuch Nr.	Nagel- nendurch- messer [ mm ]	zul.F [ kN ]	Holzeigenschaften Mittelhölzer			max.F <sup>1)</sup> [ kN ]	δ <sup>2)</sup> [ mm ]	Bruch- ursache <sup>3)</sup>
			ρ [ kg/m <sup>3</sup> ]	β <sub>D  </sub> [ N/mm <sup>2</sup> ]	u [ % ]			
C III a 1	3,1	4,0	639	48	16,5	21,0	0,55	NZ, NG
C III a 2	3,1	4,0	669	54	15,0	5,8	0,95	NR, VR
C III a 3	3,1	4,0	640	50	15,9	19,8	0,50	NZ, NG
Mittelwert			649	51	15,8	15,3	0,65	
C III b 1	6,0	12,0	591	49	16,7	48,0	0,48	VR
C III b 2	6,0	12,0	575	49	15,7	46,5	0,50	NZ
C III b 3	6,0	12,0	587	48	17,5	22,4	0,93	NR, VR
Mittelwert			584	49	16,6	39,0	0,64	

- 1) max F. = Höchstkraft bzw. Kraft bei 15 mm Stoßaufweitung  
 2) δ = Verschiebung (halbe Stoßaufweitung) bei zul.F  
 3) NR = beim Nageln gerissen  
 VR = beim Versuch gerissen  
 NZ = Nägel ausgedogen  
 NG = Nägel abgebrochen

**Tabelle 18:** Versuche mit Balkenschuhen  
Reihe D I

Versuch Nr.	Balkenschuh Größe $B \times H$ [ mm ]	Nägel $d_n \times l_n$ [ mm ]	Nagelanzahl je Balkenschuh		zul $F$ je Balken- schuh [ kN ]	Abmessungen der Nebenträger $B / H / L$ [ cm ]	Holzeigenschaften				
			im NT	im HT			Nebenträger		Hauptträger		
						$\rho$ [ kg/m <sup>3</sup> ]	$\beta_{D  }$ [ N/mm <sup>2</sup> ]	$u$ [ % ]	$\rho$ [ kg/m <sup>3</sup> ]	$\beta_{D  }$ [ N/mm <sup>2</sup> ]	$u$ [ % ]
DI a 1	60 × 100	4 × 40	2 × 4	2 × 8	6,0	580	50	16,0	580	47	17,5
DI a 2	60 × 100	4 × 40	2 × 4	2 × 8	6,0	700	62	16,0	700	55	18,0
DI a 3	60 × 100	4 × 40	2 × 4	2 × 8	6,0	560	48	16,5	690	54	17,0
<b>Mittelwert</b>						613	53	16,2	657	52	17,5
DI b 1	60 × 100	4 × 40	2 × 2	2 × 4	3,0	600	49	16,0	580	47	17,5
DI b 2	60 × 100	4 × 40	2 × 2	2 × 4	3,0	600	48	16,5	690	54	17,0
DI b 3	60 × 100	4 × 40	2 × 2	2 × 4	3,0	675	62	16,0	650	47	18,0
<b>Mittelwert</b>						625	53	16,2	640	49	17,5

**Tabelle 19: Versuche mit Balkenschuhen**  
Reihe D II

Versuch Nr.	Balkenschuh Größe $B \times H$ [ mm ]	Nägel $d_n \times l_n$ [ mm ]	Nagelanzahl je Balkenschuh		zul F je Balken- je Nebenträger [ kN ]	Abmessungen der Nebenträger $B / H / L$ [ cm ]	Holzeigenschaften				
			im NT	im HT			Nebenträger	Hauptträger			
						$\rho$ [ kg/m <sup>3</sup> ]	$\beta_{D  }$ [ N/mm <sup>2</sup> ]	$u$ [ % ]	$\rho$ [ kg/m <sup>3</sup> ]	$\beta_{D  }$ [ N/mm <sup>2</sup> ]	$u$ [ % ]
D II a 1	100 x 140	4 x 50	2 x 6	2 x 12	9,0	595	40	16,0	580	47	17,5
D II a 2	100 x 140	4 x 50	2 x 6	2 x 12	9,0	655	57	16,0	700	55	18,0
D II a 3	100 x 140	4 x 50	2 x 6	2 x 12	9,0	640	57	16,0	690	54	17,0
Mittelwert						630	51	16,0	657	52	17,5
D II b 1	100 x 140	4 x 50	2 x 3	2 x 6	4,5	675	61	15,5	580	47	17,5
D II b 2	100 x 140	4 x 50	2 x 3	2 x 6	4,5	655	58	15,5	650	47	18,0
D II b 3	100 x 140	4 x 50	2 x 3	2 x 6	4,5	630	57	15,0	690	54	17,0
Mittelwert						653	59	15,3	640	49	17,5

Tabelle 20: Ergebnisse der Balkenschuhversuche

Versuch Nr.	$maz F$ pro Balkenschuh [ $kN$ ]	$0,4 \cdot maz F$ pro Balkenschuh [ $kN$ ]	Spannungen bei $maz F$ im NT [ $N/mm^2$ ]		Verschiebungen $\delta$ [ $mm$ ] bei $0,4 \cdot maz F$		Kraft $F$ [ $kN$ ] bei Verschiebung $\delta = 1,5 mm$		Bruchursache
			$\tau$	$\sigma$	$maz F$	$0,4 \cdot maz F$	$\delta = 1 mm$	$\delta = 1,5 mm$	
DI a 1	41,6	16,6	8,7	69,3	12,7 / 12,8	2,5 / 2,5	8,5 / 8,5	11,4 / 11,4	Biegebruch im NT Schubbruch im NT Schubbruch im NT
DI a 2	38,7	15,4	8,1	64,5	9,1 / 8,9	1,5 / 1,8	11,6 / 10,1	15,2 / 13,4	
DI a 3	34,4	13,8	7,2	57,3	8,8 / 10,5	2,2 / 1,7	7,1 / 9,5	10,0 / 12,2	
DI b 1	29,9	12,0	6,2	49,8	15,2 / 11,5	2,7 / 2,6	5,3 / 4,8	7,3 / 7,0	Nägel aus HT gezogen Nägel aus HT gezogen Nägel aus HT gezogen
DI b 2	35,6	14,2	7,4	59,3	12,4 / 16,3	2,4 / 2,9	6,6 / 6,0	9,9 / 8,4	
DI b 3	31,0	12,4	6,5	51,7	12,8 / 17,1	2,6 / 2,4	5,9 / 6,5	8,2 / 9,1	
DI I a 1	66,0	26,4	6,6	52,8	19,2 / 12,2	2,2 / 2,3	15,3 / 13,8	19,9 / 19,5	Biegebruch im NT Schubbruch im NT Biegebruch im NT
DI I a 2	67,9	27,2	6,8	54,3	8,9 / 9,5	2,1 / 2,2	15,3 / 15,3	20,4 / 20,4	
DI I a 3	61,1	24,4	6,1	48,9	7,4 / 7,1	1,8 / 1,6	15,9 / 16,7	19,9 / 22,5	
DI I b 1	51,0	20,4	5,1	40,8	>20,0 / 14,1	3,6 / 2,9	7,2 / 8,9	10,1 / 12,2	Nägel aus HT gezogen, teilweise Köpfe abgerissen Nägel aus HT gezogen, teilweise Köpfe abgerissen Nägel aus HT gezogen, teilweise Köpfe abgerissen
DI I b 2	55,2	22,0	5,5	44,0	15,0 / 19,3	2,6 / 3,6	9,4 / 8,8	13,8 / 12,5	
DI I b 3	59,1	23,6	5,9	47,3	>20,0 / 14,3	3,7 / 3,5	9,0 / 7,6	12,0 / 10,2	

## Anlage 21

**Tabelle 21:** Versuche mit Fassadenlattungen  
Ergebnisse der Scherversuche Reihe 1-5

Reihe	1	2	3	4	5
Nagel	2,8/3,1 × 65	2,8/3,1 × 65	3,8/4,5 × 80	2,8/3,1 × 65	2,8/3,1 × 65
Abmessungen der Traglatten d/b/l [ mm ]	24/48/150	30/50/150	30/50/150	24/48/150	24/48/150
Jahrringlage	45°	45°	45°	liegend	stehend
Randabstände [ mm ]	14	14	19	14	14
Einzelkräfte <i>max F</i> [ N ]	4520 4080 3980 4200 4450 4670 5040 4710 4550 4550	4050 4020 4510 4400 4400 4070 4340 4170 3970 3920	4990 5740 5730 5690 5620 5480 6000 5240 5200 5060	4480 4760 4180 4700 4980 4640 4620 4380 4380 4320	4500 4460 4200 4180 4280 4580 4700 4200 4840 4340
Mittelwert [ N ]	4475	4185	5475	4544	4428
Standardabweichung [ N ]	317	210	336	240	228
Variationskoeffizient [ % ]	7,1	5,0	6,1	5,3	5,2
$zul F = 2 \cdot \frac{500 \cdot d_n^2}{10 + d_n}$ [ N ]	612	612	1046	612	612

## Anlage 22

**Tabelle 22:** Versuche mit Fassadenlattungen  
 Ergebnisse der Ausziehversuche Reihe 6  
 Ergebnisse der Scherversuche Reihe 7-9

Reihe	6	7	8	9
Nagel	2,8/3,1 × 65	25 × 60 DIN 1151	28 × 65 DIN 1151	31 × 80 DIN 1151
Abmessungen der Traglatten d/b/l [ mm ]	24/48/150	30/50/200	30/50/200	30/50/200
Jahrringlage	45°	45°	45°	45°
Randabstände [ mm ]	14	17	17	17
Einzelkräfte <i>max F</i> [ N ]	4280 3460 3100 4260 2620 4000 5540 4280 3100 3560	1260 1300 1880 1140 1400 — — — — —	2500 2300 1720 2420 2840 — — — — —	4240 4120 3960 3880 4080 — — — — —
Mittelwert [ N ]	3820	1396	2356	4056
Standardabweichung [ N ]	835	286	408	140
Variationskoeffizient [ % ]	21,9	20,5	17,3	3,5
<i>zul F</i> [ N ]	574	500	612	734

## Anlage 23

**Tabelle 23:** Versuche mit Fassadenlattungen  
Ergebnisse der Scherversuche Reihe 10–13

Reihe	10	11	12	13
Nagel	2,8/3,1 × 65	3,1/3,6 × 65	3,8/4,5 × 65	3,8/4,5 × 80
Abmessungen der Traglatten d/b/l [ mm ]	24/48/150	24/48/150	24/48/150	30/50/250
Jahrringlage	45°	45°	45°	45°
Randabstände [ mm ]	14	16	19	19
Einzelkräfte <i>max F</i> [ N ]	5520 4840 5640 6360 1460 6440 6220 5180 2580 5900	6320 8320 4900 6920 4500 5740 8500 7800 3720 7880	— — — — — — — — — —	6080 5380 5740 5460 5800 6560 5720 4700 5640 6860
Mittelwert [ N ]	5014	6460	—	5794
Standardabweichung [ N ]	1678	1699	—	607
Variationskoeffizient [ % ]	33,5	26,3	—	10,5
$zul F = 2 \cdot \frac{500 \cdot d_n^2}{10 + d_n}$ [ N ]	612	734	1046	1046

**Tabelle 24:** Holzeigenschaften der Trag- und Konterlatten

	Reihe 1 bis 6		Reihe 7 bis 9		Reihe 10 bis 13	
	Kleinst-	Mittel- Größtwert	Kleinst-	Mittel- Größtwert	Kleinst-	Mittel- Größtwert
mittl. Jahrringbreite [ mm ]	4,5	6,3 8,3	3,5	6,1 7,7	6,2	6,7 7,5
Rohdichte [ kg/m <sup>3</sup> ]	560	590 640	400	450 490	670	710 750
Druckfestigkeit [ N/mm <sup>2</sup> ]	44	54 62	40	47 53	54	62 70
Holzfeuchte [ % ]	12,2	12,8 13,4	10,8	11,0 11,5	13,3	14,2 15,0