

MINDESTNAGELABSTÄNDE  
BEI STAHLBLECH-HOLZ-NAGELUNG

von

Jürgen Ehlbeck und Rainer Görlacher

Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine  
Abt. Ingenieurholzbau  
Universität Fridericiana Karlsruhe  
o.Prof.Dr.-Ing. Jürgen Ehlbeck

1982

## Kurzbericht

### Mindestnagelabstände bei Stahlblech-Holz-Nagelung

Die Untersuchungen erstreckten sich auf den Anwendungsbereich einschnittiger Stahlblech-Holz-Nagelverbindungen, bei denen Nägel besonderer Eignung ohne Vorbohrung der Nagellöcher in das Holz eingeschlagen werden, während die an der Kopfseite des Nagels angeordneten 2 mm dicken Stahlbleche mit ausgestanzten Nagellöchern versehen sind.

An insgesamt 164 Zugscherkörpern wurde der Einfluß folgender Parameter auf die Tragfähigkeit bestimmt, wobei in erster Linie von einer bezüglich der Holzfaserrichtung "nicht versetzten" Nagelanordnung ausgegangen wurde:

Nagelanordnung:	versetzt - nicht versetzt
Nageldurchmesser ( $d_n$ ):	3,1 - 4 - 6 mm
Nagellänge ( $l_n$ ):	10 bis $25 \times d_n$
Nagelabstände ( $e_{  }/e_{\perp}/e_{R  }/e_{R\perp}$ ):	$12/5/20/5 \times d_n$ $10/5/15/5 \times d_n$ $8/3/12/3 \times d_n$
Holzdicke ( $a$ ):	1,0 bis $1,5 \times l_n$
Holzfeuchtigkeit ( $u$ ):	Herstellung der Körper mit trockenem oder frischem Holz; Prüfung in trockenem Zustand.
Rohdichte ( $\rho$ ):	0,38 - 0,59 g/cm <sup>3</sup> .

Die Tragfähigkeit der Stahlblech-Holz-Nagelverbindungen war mehr oder weniger deutlich durch drei Bruchursachen begrenzt:

1. das Aufspalten des Holzes in Faserrichtung,
2. das Herausziehen des Nagelschaftes aus dem Holz nach einsetzender plastischer Verformung des Nagelschaftes,
3. das Abreißen oder Abscheren des Nagelkopfes.

Dabei traten die geringsten Tragfähigkeiten durchweg dann auf, wenn das Aufspalten des Holzes maßgebend war. Wird diese Versagensform durch geeignete Bedingungen unterbunden, wird in der Regel die Tragfähigkeit der Verbindungen dadurch begrenzt, daß sich die Nägel nach Überwindung ihres Biege-  
widerstandes stark verformen und allmählich aus dem Holz herausziehen. Der Nagel wird nach Schrägstellung unmittelbar unter dem Nagelkopf durch das sehr steife Stahlblech aber auch derart beansprucht, daß die Tragfähigkeit einer solchen Stahlblech-Holz-Nagelverbindung zusätzlich und unabhängig von den untersuchten Einflußgrößen durch ein Abreißen der Nagelköpfe begrenzt sein kann.

Welche dieser genannten Ursachen den Bruch auslöst, wird vor allem von folgenden Einflüssen bestimmt:

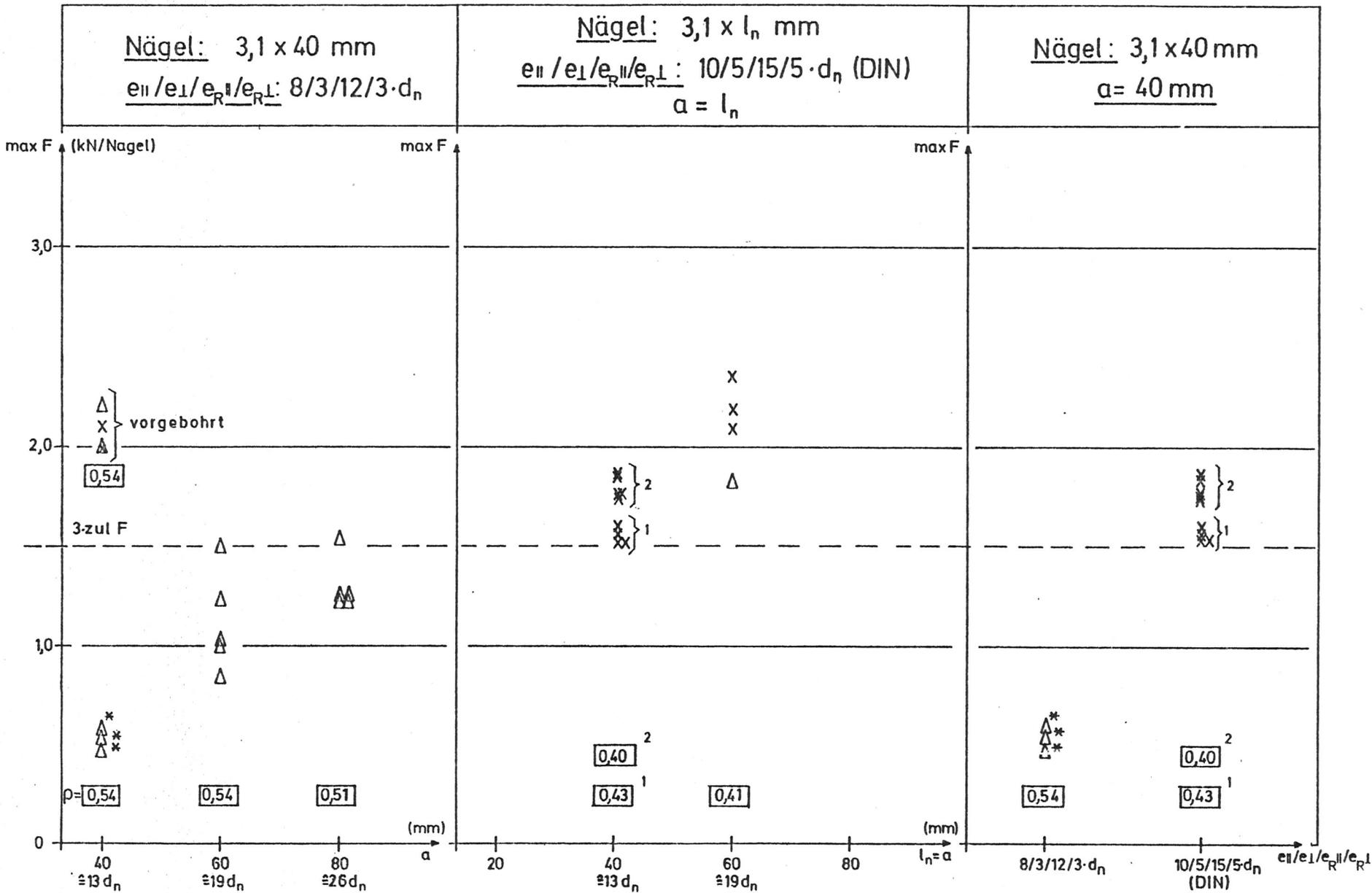
1. geringe Nagelabstände begünstigen die Holzspaltung,
2. eine hohe Rohdichte fördert die Holzspaltung,
3. eine niedrige Rohdichte begünstigt ein frühzeitiges Herausziehen des Nagelschaftes,

4. das Einschlagen der Nägel unter einem Winkel zum Jahrringverlauf reduziert die Spaltgefahr gegenüber einer tangentialen und besonders gegenüber einer radialen Einschlagrichtung,
5. mit zunehmender Nagellänge wird das Herausziehen des Nagelschaftes verzögert, solange nicht der Biege widerstand des Nagels erschöpft ist,
6. Holzdicken, die größer sind als die Einschlagtiefen mindern die Spaltgefahr des Holzes.

In den Darstellungen der Anlagen 1 bis 3 werden die wesentlichen Einflüsse deutlich. Es kann daraus für eine Normung folgendes hergeleitet werden:

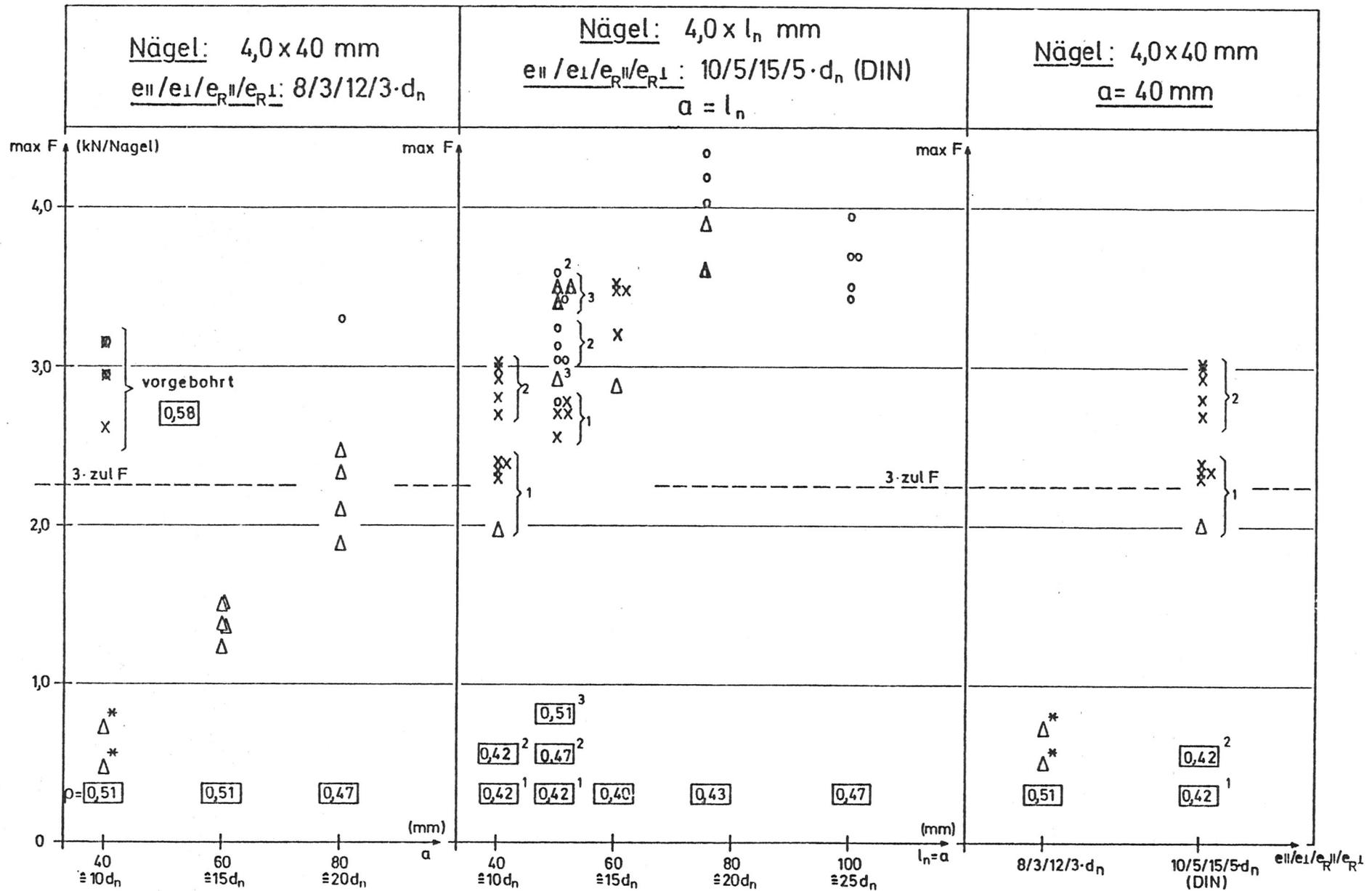
1. Bei der Stahlblech-Holz-Nagelung mit nachweislich dafür geeigneten Sondernägeln kann auf eine "versetzte" Anordnung der Nägel bezüglich der Holzfaserrichtung verzichtet werden.
2. Für Nägel mit Durchmessern bis einschließlich 4,0 mm können die Mindestnagelabstände nach Abschnitt 11.3.13 bzw. Tabelle 15 der DIN 1052 Teil 1, Ausgabe Oktober 1969, angewendet werden. Dabei muß die Holzdicke mindestens der Nennlänge des Nagels entsprechen.
3. Für Nägel mit Durchmessern größer als 4,0 mm können die Mindestnagelabstände nach Abschnitt 11.3.13 bzw. Tabelle 15 der DIN 1052 Teil 1, Ausgabe Oktober 1969, für den Fall  $d_n \geq 4,2$  mm angewendet werden, wenn gleichzeitig die Holzdicke mindestens der 1,5-fachen Nennlänge des Nagels entspricht.

4. Die Mindestholzdicken sind zu verdoppeln, wenn bei den von gegenüberliegenden Seiten in das Holz eingeschlagenen Nägeln die geforderten Mindestnagelabstände nicht eingehalten werden.



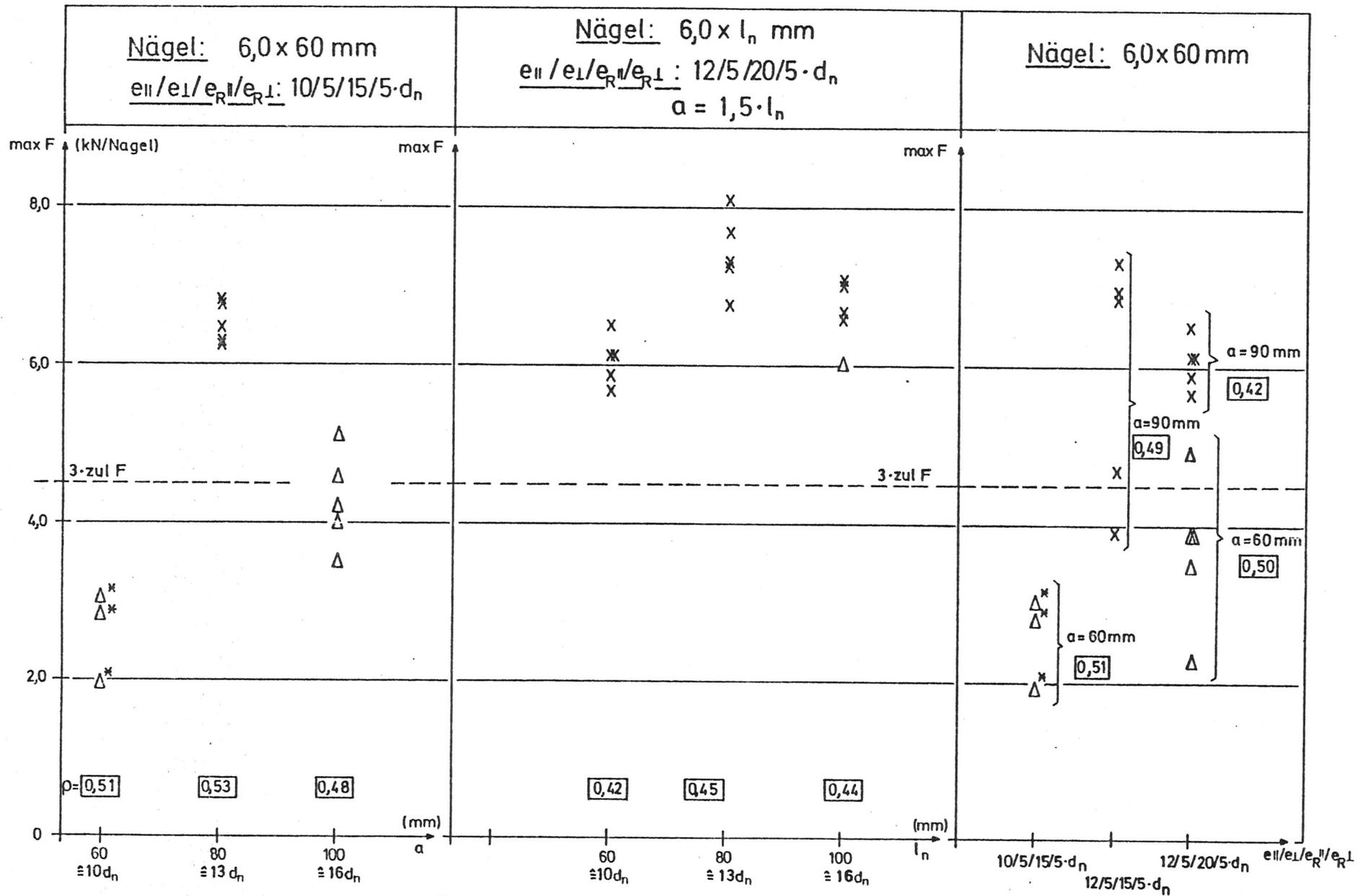
Bruchursache:  $\Delta$  Holz aufgeplatzt (\* schon bei Herstellung der Verbindung)  
 X Nägel herausgezogen

Versuchsergebnisse für Nägel  $\phi$  3,1 mm



- Bruchursache:**
- △ Holz aufgeplatzt (\* schon bei Herstellung der Verbindung)
  - X Nägel herausgezogen
  - o Köpfe abgerissen

Versuchsergebnisse für Nägel  $\phi$  4,0 mm



**Bruchursache:**  $\Delta$  Holz aufgeplatzt (\* schon bei Herstellung der Verbindung)  
 X Nägel herausgezogen

Versuchsergebnisse für Nägel  $\phi$  6,0 mm



MINDESTNAGELABSTÄNDE  
BEI STAHLBLECH-HOLZ-NAGELUNG

von

Jürgen Ehlbeck und Rainer Görlacher

Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine  
Abt. Ingenieurholzbau  
Universität Fridericiana Karlsruhe  
o.Prof.Dr.-Ing. Jürgen Ehlbeck

1982

## V O R W O R T

Diese Arbeit entstand in den Jahren 1981/82 im Auftrage der Entwicklungsgemeinschaft Holzbau (EGH) in der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung e.V. (DGfH) mit finanzieller Unterstützung des Bundesministers für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau unter dem Geschäftszeichen B I 5 - 80 01 80 - 46. Die Firma Schürmann & Hilleke Vertriebsgesellschaft mbH u. Co.KG in Neuenrade/Westfalen stellte das für die Versuche benötigte Nagelmaterial kostenfrei zur Verfügung.

Planung, Durchführung und Auswertung der Untersuchungen lagen in Händen von Herrn Dipl.-Ing. Rainer Görlacher. Die sorgfältige Herstellung und gewissenhafte Prüfung der Versuchskörper besorgten die Herren Harald Heck, Gerhard Köhler und Günter Rüd. Herr cand.ing. Otto Eberhart half bei der Auswertung und zeichnerischen Darstellung der Ergebnisse.

Allen Beteiligten sei an dieser Stelle herzlich gedankt.

Jürgen Ehlbeck

## I N H A L T

- 1 Ziel der Untersuchungen
- 2 Vorversuche
- 3 Hauptuntersuchungen
  - 3.1 Erster Versuchsabschnitt
  - 3.2 Zweiter Versuchsabschnitt
  - 3.3 Dritter Versuchsabschnitt
  - 3.4 Versuchsmaterial
  - 3.5 Prüfablauf der Versuche
- 4 Ergebnisse und ihre Auswertung
  - 4.1 Verformungsverhalten der Verbindungen
  - 4.2 Einzelergebnisse
  - 4.3 Ursachen für das Versagen der Verbindungen
    - 4.3.1 Aufspalten des Holzes
    - 4.3.2 Herausziehen des Nagelschaftes
    - 4.3.3 Abreißen des Nagelkopfes
  - 4.4 Auswirkung der geprüften Einflußgrößen
    - 4.4.1 Nicht versetzte und versetzte Nagelung
    - 4.4.2 Holzfeuchtigkeit
    - 4.4.3 Holzdicke
    - 4.4.4 Nagellänge
    - 4.4.5 Holzrohddichte
    - 4.4.6 Nagelabstände
    - 4.4.7 Sonstige Einflüsse
- 5 Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

## 1- Ziel der Untersuchungen

Die Untersuchungen erstrecken sich auf den Anwendungsbereich einschnittiger Stahlblech-Holz-Nagelverbindungen, bei denen die Nägel ohne Vorbohrung der Nagellöcher in das Holz eingeschlagen werden, während die an der Kopfseite des Nagels angeordneten Stahlbleche (oder Stahlblechformteile) mit ausgestanzten Nagellöchern versehen sind, deren Durchmesser in der Regel größer als die Nageldurchmesser sind. Die Stahlbleche sollen nach DIN 1052 mindestens 2 mm dick sein. Diese Dicke besitzen in der Regel auch die im Holzbau gebräuchlichen Stahlblechformteile.

Werden für die Nagelung runde Drahtnägeln nach DIN 1151 verwendet, so beträgt bei den üblichen Nagellängen im allgemeinen die Einschlagtiefe mindestens das 20-fache des Nageldurchmessers, so daß die Holzdicken weit über den im Hinblick auf die Spaltgefahr notwendigen Mindestdicken nach DIN 1052 liegen.

Neuerdings werden bei der einschnittigen Stahlblech-Holz-Nagelung jedoch in zunehmendem Maße wirkungsvollere Sondernägeln mit allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen verwendet, deren Länge bis auf das nur etwa 10-fache des Nageldurchmessers reduziert sein kann. In diesen Fällen kann das Verhältnis Holzdicke/Nageldurchmesser also wesentlich geringer und somit die Spaltgefahr größer sein. Hinzu kommt, daß durch die nichtversetzte Anordnung der Nagellöcher in den gebräuchlichen vorgestanzten Lochblechen und Stahlblechformteilen ein Versetzen der Nägel in Holzfaserrichtung nicht möglich ist. Dies kann zu einer weiteren Erhöhung der Spaltgefahr führen. Wenn man die Mindestabstände der Nägel bei der Stahlblech-Holz-Nagelung festlegen will, muß man diesen Entwicklungen Rechnung tragen.

Die Untersuchungen wurden daher mit repräsentativen Sondernägeln für die spezielle Verwendung bei der Stahlblech-Holz-Nagelung durchgeführt. Das Ziel der Untersuchungen war in erster Linie, bei nicht versetzten Nagellöchern in den Blechen festzustellen, ob die Mindestnagelabstände in den Hölzern nach Maßgabe der DIN 1052 ausreichen, um bei solchen Verbindungen unter den nach DIN 1052 zulässigen Belastungen noch eine ausreichende Sicherheit gegenüber Bruch zu gewährleisten oder ob unter Beachtung der wesentlichsten Einflußfaktoren neue Mindestnagelabstände für diese Art der Nagelverbindungen notwendig werden.

## 2 - Vorversuche

In Vorversuchen sollte zunächst von den derzeit gebräuchlichen Sondernägeln für die Durchführung der Hauptversuche ein Nageltyp ermittelt werden, der die Gesamtheit der Sondernägel für Stahlblech-Holz-Nagelverbindungen zum gegenwärtigen Zeitpunkt am besten repräsentiert.

Es wurden Nägel aus folgenden sechs allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen ausgewählt (vgl. Bild 1, Anlage 1):

- 1 Zul.-Nr. Z 9.1-90 vom 01.04.1981,
- 2 Zul.-Nr. Z 9.1-87 vom 01.04.1981,
- 3 Zul.-Nr. Z 9.1-61 vom 15.10.1979,
- 4 Zul.-Nr. Z 9.1-25 vom 05.04.1979,
- 5 Zul.-Nr. Z 9.1-94 vom 01.04.1981,
- 6 Zul.-Nr. Z 9.1-91 (identisch mit Zul.-Nr. 9.1-93)  
vom 20.02.1980

Hierbei handelt es sich um Nägel mit Nenndurchmessern  $d_n = 3,1 - 4$  und  $6$  mm in Längen von  $10$  bis  $25 \times d_n$ .

Da das Tragverhalten dieser Nägel in erster Linie durch ihre Haftkraft bei Beanspruchung in Schaftrichtung gekennzeichnet ist, wurden mit je 20 Nägeln  $4,0 \times 50$  mm jeden Nageltyps Ausziehversuche unter gleichen Versuchsbedingungen und mit gleichem Holz durchgeführt. In zwei Versuchsreihen wurden die gegenseitigen Abstände der Nägel zu a) etwa  $20 \times d_n$  und b) etwa  $10 \times d_n$  gewählt, um festzustellen, ob bei den engeren Nagelabständen bereits durch zunehmende Holzaufspaltung eine Abnahme der Haftkraft einsetzt.

Die Nägel wurden rechtwinklig zur Holzfaserrichtung auf die vorgesehene Einschlagtiefe von 40 mm von Hand eingeschlagen. Das Ausziehen erfolgte mit einer bis zur Überschreitung der maximalen Haftkraft konstanten Belastungsgeschwindigkeit von 4 kN/min. Die Ergebnisse dieser Vorversuche sowie die Eigenschaften des verwendeten Fichtenholzes (*picea abies*) sind in Tabelle 1 und 2 (Anlage 2) wiedergegeben.

Ein signifikanter Unterschied zwischen den verschiedenen Nageltypen konnte nicht festgestellt werden. Dadurch war die Auswahl eines besonderen Nageltyps, der die Gesamtheit am besten repräsentiert hätte, nicht mehr geboten. Die Auswahl fiel daher rein zufällig auf den Nageltyp 2. Eine um bis zu 8 % niedrigere mittlere Haftkraft bei engem Nagelabstand in Faserrichtung des Holzes war bei allen Nageltypen erkennbar.

### 3 Hauptuntersuchungen

#### 3.1 Erster Versuchsabschnitt

Alle Hauptversuche wurden mit Zugscherkörpern nach Bild 2 (Anlage 3) durchgeführt. Die Nägel wurden stets von Hand eingeschlagen. Die 2 mm dicken Blechlaschen erhielten die jeweils dem vorgesehenen Nageldurchmesser entsprechende Vorbohrung:

Bohrlochdurchmesser (mm)	3,6	4,5	7,0
Nageldurchmesser (mm)	3,1	4,0	6,0

Im ersten Versuchsabschnitt wurden systematisch die folgenden sieben Versuchsparameter variiert:

nicht versetzte ( $v_1$ ) oder versetzte Nagelanordnung ( $v_2$ ),  
Holzdicke ( $a$ ) bei gleicher Nagellänge; 4 Dicken,  
Nageldurchmesser ( $d_n$ ); 3 Durchmesser,  
Rohdichte ( $\rho$ ); 3 Rohdichte-Bereiche,  
Holzfeuchtigkeit ( $u$ ); Herstellung der Körper mit trockenem ( $u_1$ )  
oder frischem ( $u_2$ ) Holz; Prüfung in trockenem Zustand,  
Nagelabstände ( $e$ ); weite ( $e_1$ ) oder enge ( $e_2$ ) Abstände,  
Nagellänge ( $l_n$ ), 4 Nagellängen.

Dabei wurde in den zueinander gehörigen Einzel-Versuchsreihen jeweils nur ein Versuchsparameter verändert. Durch entsprechende Kombinationen, ausgehend von zwei Grundversuchsreihen, konnte dieser Untersuchungsabschnitt auf 14 Einzel-Versuchsreihen mit je fünf gleichartigen Versuchskörpern beschränkt werden.

In der Tabelle 3 (Anlage 4) sind die gesamten Versuchsreihen des ersten Untersuchungsabschnittes zusammengestellt. Die Grundversuche I1 und I2 unterschieden sich lediglich dadurch, daß die Nägel nicht versetzt oder versetzt angeordnet waren. Die übrigen Versuchsparameter sind - gekennzeichnet durch entsprechende Symbole - in der Legende zu Bild 2 beschrieben.

### 3.2 Zweiter Versuchsabschnitt

Im zweiten Versuchsabschnitt mit insgesamt 16 Einzelversuchsreihen wurde stets die Feuchtigkeitsvariante  $u_1$  und die nicht versetzte Nagelanordnung ( $v_1$ ) gewählt. Die Variante der versetzten Nagelanordnung wurde im Hinblick auf praktische Belange nicht weiter verfolgt. Es kam jetzt vor allem darauf an, aufgrund der Ergebnisse des ersten Versuchsabschnittes herauszufinden, welche Mindestnagelabstände (Varianten  $e_1$ ,  $e_2$  und  $e_3$ ) möglich sind und welche zusätzlichen Nebenbedingungen daran zu knüpfen sind. Die Zusammenstellung in Tabelle 4 (Anlage 5) mit den gewählten Versuchsparametern des zweiten Versuchsabschnittes zeigt, daß nach dem ersten Versuchsabschnitt nun die Nagelgrößen, die Holzdicken, die Rohdichte des Holzes und die Nagelanordnungen als wesentliche Einflußgrößen näher untersucht werden sollten, um die verschiedenen Bruchursachen der Verbindungen näher abgrenzen zu können.

### 3.3 Dritter Versuchsabschnitt

Nach Durchführung und Auswertung der Versuche nach Abschnitt 3.1 und 3.2 wurden noch einige gezielte Ergänzungsversuche durchgeführt. Die Reihen III.1 und III.2 sollten im Vergleich zu den Reihen II.3 und II.8 des zweiten Versuchsabschnittes den Einfluß der Vorbohrung der Nagel-

löcher im Holz mit einem Bohrlochdurchmesser von  $0,85 \times d_n$  aufzeigen. Die Reihen III.3 und III.4 stellen Zusätze zu den Reihen II.14 und II.11 dar. In der Reihe III.5 schließlich wurde der Frage nachgegangen, ob Nägel, die nicht vollständig in das Holz eingeschlagen sind, einen Tragfähigkeitsverlust verursachen, da die Kopfform der Nägel einen besonders passenden Sitz im Bohrloch des Bleches bewirken soll. Tabelle 5 (Anlage 6) enthält eine Zusammenstellung des dritten Versuchsabschnittes.

### 3.4 Versuchsmaterial

Die verwendeten, mit den in Abschnitt 3.1 angegebenen Bohr-  
löchern versehenen Stahlbleche waren einheitlich 2 mm dick  
und verzinkt. An insgesamt 15 Flachproben  $12,5 \times 50$  nach  
DIN 50 114 wurden die Zugfestigkeit und die Bruchdehnung nach  
DIN 50 146 ermittelt. Dabei ergaben sich die folgenden Werte:

Eigenschaft	Kleinstwert	Mittelwert	Größtwert
Streckgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	249,0	278,2	289,6
Zugfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	325,5	363,4	382,0
Bruchdehnung (%)	24,5	27,0	33,0

Die Eigenschaften des verwendeten Fichtenholzes (*picea abies*) jeder Versuchsreihe wurden nach den einschlägigen deutschen Holzprüfnormen bestimmt. Aus jedem Versuchskörper wurde dabei mindestens eine Probe möglichst nahe der Nagelung entnommen, an der nach Klimatisierung im Normklima 20/65 DIN 50 014 die mittlere Jahrringbreite, die Normalrohichte, die Druckfestigkeit in Faserrichtung und der zugehörige

Feuchtigkeitsgehalt ermittelt wurden. Bei der Druckfestigkeit wurde zusätzlich der nach der Beziehung

$$\beta_{D15} = \frac{17}{32-u} \cdot \beta_{Du}$$

auf einen einheitlichen Holzfeuchtigkeitsgehalt von  $u = 15 \%$  umgerechnete Wert angegeben. Sämtliche Mittelwerte sind in Tabelle 6 (Anlage 7) zusammengestellt.

In den Bildern 3 und 4 (Anlagen 8 und 9) sind alle verwendeten Hölzer im Hirnschnitt gezeigt. Daraus ist der jeweilige Jahrringverlauf, auch bezüglich der Nageleinschlagrichtung erkennbar (Nageleinschlagrichtung verläuft parallel zum unteren Bildrand).

### 3.5 Prüfablauf der Versuche

In jeder Versuchsreihe wurden jeweils zwei der fünf gleich ausgebildeten Prüfkörper mit einer konstanten Verformungsgeschwindigkeit von 2 mm/min ohne jede Zwischenentlastung bis zum Bruch belastet.

Die restlichen drei Prüfkörper wurden zunächst mit einer Geschwindigkeit von 2 mm/min bis zu 40 % einer aus den ersten beiden Versuchen abgeschätzten Höchstlast  $\max F'$  belastet. Nach 0,5 Minuten Wartezeit erfolgte eine Entlastung auf 0,1  $\max F'$ . Danach wurde die Wiederbelastung mit 2 mm/min und ab 0,7  $\max F'$  mit allmählicher Steigerung der Verformungsgeschwindigkeit auf 4 mm/min bis zum Erreichen der Höchstkraft  $\max F$  durchgeführt. Die Stoßaufweitungen wurden mit Hilfe zweier induktiver Wegaufnehmer gemessen und die Kraft-Stoßaufweitungs-Diagramme bis zu 15 mm mittels eines Zweikomponentenschreibers aufgezeichnet.

#### 4. Ergebnisse und ihre Auswertung

##### 4.1 Verformungsverhalten der Verbindungen

Die in jeder Versuchsreihe aufgezeichneten Kraft-Stoßaufweitungs-Diagramme von drei der fünf Versuchskörper zeigten stets ein sehr ähnliches Verformungsverhalten. Im oberen Lastbereich traten je nach Bruchursache jedoch Unterschiede auf. Wenn der Bruch durch das allmähliche Versagen des Nagels (durch Verbiegen und/oder durch Herausziehen) eingeleitet wurde, dann wies das Kraft-Stoßaufweitungs-Diagramm einen stetigen Verlauf mit ständig wachsender Verschiebungszunahme auf. Diese Erscheinung zeigte sich auch in den Fällen, bei denen die Höchstlast letztlich durch ein Abscheren oder Abreißen der Nagelköpfe begrenzt war. Bild 5 (Anlage 10) zeigt drei typische Diagramme aus der Versuchsreihe II.7, bei denen die Nägel 4,0 x 60 sich unter hohen Lasten stetig aus dem Holz herauszogen.

Wenn als Ursache für den Bruch ein Aufspalten des Holzes festzustellen war, dann traten oft schon im unteren Lastbereich relativ große Verschiebungen auf. Vor Erreichen der Höchstlast war entweder eine große Verformungszunahme zu beobachten oder es trat infolge plötzlichen Aufplatzens des Holzes ein deutlicher Lastabfall ein. Hierfür typisch sind die in Bild 6 (Anlage 11) dargestellten Diagramme aus der Versuchsreihe II.4, bei denen die hohe Holzrohddichte bei gleichzeitig enger Nagelanordnung die Spaltwirkung deutlich begünstigte.

#### 4.2 Einzelergebnisse

Die Vielzahl der Einzelversuche wurde in den Tabellen 7 bis 18 (Anlagen 12 bis 22) zusammengestellt. Dabei wurde eine Ordnung nach Nageldurchmessern und den geprüften Nagelanordnungen (Abstände) gewählt:

Tabelle 7	$d_n = 3,1$ mm,	weite Nagelung ( $e_1$ )
Tabelle 8	$d_n = 3,1$ mm,	enge Nagelung ( $e_2$ )
Tabellen 9 bis 11	$d_n = 4,0$ mm,	weite Nagelung ( $e_1$ )
Tabelle 12	$d_n = 4,0$ mm,	weite Nagelung, versetzt ( $e_1, v_2$ )
Tabelle 13	$d_n = 4,0$ mm,	weite Nagelung, Nage- lung in frisches Holz ( $e_1, u_2$ )
Tabelle 14	$d_n = 4,0$ mm,	weite Nagelung ( $e_1$ ), unvollständiges Einschlagen
Tabelle 15	$d_n = 4,0$ mm,	enge Nagelung ( $e_2$ )
Tabelle 16	$d_n = 6,0$ mm,	extra weite Nagelung ( $e_3$ )
Tabelle 17	$d_n = 6,0$ mm,	weite Nagelung ( $e_1$ )
Tabelle 18	$d_n = 6,0$ mm,	Ergänzungsreihen

In diesen Tabellen sind für jeden Versuchskörper zusammengestellt: Holzdicke, Holzrohddichte, aufnehmbare Höchstlast  $\max F$  (insgesamt und auf einen Nagel bezogen), Bruchursache, zulässige Belastung  $zulF$  pro Nagel, mittlere Verschiebung (= halbe Stoßaufweitung) des Anschlusses bei  $zulF$ , aufgenommene Last bei einer als zulässig angenommenen Verschiebung von 1,5 mm sowie die auf  $zulF$  bezogene Bruchsicherheit. Als zulässige Belastung  $zulF$  wurde dabei unabhängig

von der gewählten Ausführung des Anschlusses stets die zulässige Belastung entsprechend der für den Nagel bestehenden allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung angesehen.

Das sind

$$\text{zulF} = 0,50 \text{ kN} \quad \text{für} \quad d_n = 3,1 \text{ mm},$$

$$\text{zulF} = 0,75 \text{ kN} \quad \text{für} \quad d_n = 4,0 \text{ mm} \quad \text{und}$$

$$\text{zulF} = 1,50 \text{ kN} \quad \text{für} \quad d_n = 6,0 \text{ mm}.$$

#### 4.3 Ursachen für das Versagen der Verbindungen

Die Tragfähigkeit der Stahlblech-Holz-Nagelverbindungen war mehr oder weniger deutlich durch drei Bruchursachen begrenzt:

1. das Aufspalten des Holzes in Faserrichtung (H),
2. das Herausziehen des Nagelschaftes aus dem Holz (N),
3. das Abreißen oder Abscheren des Nagelkopfes (K).

##### 4.3.1 Aufspalten des Holzes

Die geringsten Tragfähigkeiten traten durchweg dann auf, wenn das Aufspalten des Holzes maßgebend war. Diese Bruchursache trat auf bei engen Nagel- und Randabständen (Variante  $e_2$ ) und hoher Holzrohddichte (Variante  $\rho_3$ ), bei Nageldurchmessern von 6,0 mm auch bei weiten Nagel- und Randabständen (Variante  $e_1$ ). Oft konnte die Spaltung des Holzes schon bei der Herstellung der Verbindungen festgestellt werden (Reihen II.3, II.8 und II.14), so daß die Körper kaum noch prüfbar waren.

Die Einschlagrichtung der Nägel bezüglich der Jahrringe scheint ebenfalls einen Einfluß auf die Spaltgefahr zu haben. Bei der Versuchsreihe II.16 waren die 6 mm dicken Nägel radial eingeschlagen. Das Holz platzte frühzeitig auf. In Reihe II.15 waren die gleichen Nägel tangential eingeschlagen; das Holz platzte nicht auf, obwohl es dünner war als bei Reihe II.16. Es ist zu vermuten, daß radiales Einschlagen ungünstiger ist, weil es das Spalten des Holzes stärker fördert (Schwindeinfluß?). In Einzelfällen wurde aber auch ein Aufspalten des Holzes in tangentialer Richtung beobachtet. Das Einschlagen der Nägel unter einem Winkel zum Jahrringverlauf scheint am günstigsten zu sein. Günstig wirkt sich auch aus, wenn die Holzdicke größer als die Nageleinschlagtiefe ist.

Da in der Praxis weder auf die Holzrohddichte noch auf die Nageleinschlagrichtung bezüglich der Jahrringe geachtet werden kann, muß die frühzeitige Spaltgefahr durch hinreichend große Nagel- und Randabstände sowie eine ausreichende Mindestholzdicke unterbunden werden, zumal in allen Fällen dieser Bruchursache bei Ausnutzung der zulässigen Nagelbelastungen keine ausreichenden Bruchsicherheiten mehr gewährleistet sind.

#### 4.3.2 Herausziehen des Nagelschaftes

Wird das Aufspalten des Holzes durch die in Abschnitt 4.3.1 beschriebenen Bedingungen unterbunden, dann wird in der Regel die Tragfähigkeit der Verbindungen dadurch begrenzt, daß sich die Nägel nach Überwindung ihres Biege widerstandes stark verformen und allmählich aus dem Holz herausziehen. Hohe Holzrohddichte und große Nageleinschlagtiefen erhöhen

dabei die Tragfähigkeit. Diese wird jedoch dadurch begrenzt, daß durch die plastischen Verformungen des Nagelschaftes an der Stelle seiner größten Biegebeanspruchung der der Nagelspitze nächst liegende Schaftbereich nicht mehr voll mitwirken kann.

#### 4.3.3 Abreißen des Nagelkopfes

Gegenüber der reinen Holz-Nagelung kommt bei der Stahlblech-Holz-Nagelung eine weitere Versagensursache hinzu. Der Nagel wird nach Schrägstellung der Nägel unmittelbar unter dem Nagelkopf durch das relativ steife Stahlblech beansprucht. Dabei handelt es sich um eine kombinierte Abscher- und Abreißbeanspruchung. Diese Bruchursache könnte durch veränderte Formgebung des Nagelkopfes vermieden werden, sie dürfte aber nur dann von Bedeutung sein, wenn durch gleichzeitige Änderung der Materialeigenschaft des Nageldrahtes (z.B. Erhöhung des Biegewiderstandes) die Tragfähigkeit der Verbindung noch weiter gesteigert würde.

#### 4.4 Auswirkung der geprüften Einflußgrößen

##### 4.4.1 Nicht versetzte und versetzte Nagelung

Der unmittelbare Vergleich dieses Einflusses (Versuchsreihen I.1 und I.2) hat insofern keine eindeutige Aussage erbracht, als in beiden Fällen das Abreißen der Nagelköpfe bruchauslösend war. Da dies bei der mehr als 4-fachen zulässigen Belastung erfolgte, war bereits nachgewiesen, daß eine versetzte Nagelung die Tragfähigkeit von Stahlblech-Holz-Nagelverbindungen nicht verbessern kann, wenn durch andere Maßnahmen ein Aufspalten des Holzes verhindert wird. Im Hinblick

auf die praktische Bedeutung wurden daher alle weiteren Untersuchungen nur mit "nicht versetzt" genagelten Verbindungen durchgeführt. Dies hat mit Sicherheit auf die Bruchursache "Aufspalten des Holzes" (siehe Abschnitt 4.3.1) einen ungünstigen Einfluß, wurde aber bewußt in Kauf genommen.

#### 4.4.2 Holzfeuchtigkeit

Die Versuche, bei denen die Verbindungen mit frischem Holz ( $u \cong 40\%$ ) hergestellt wurden (Reihe I.11) haben gegenüber denjenigen vergleichbaren Versuchen, bei denen das Holz von vornherein trocken war (Reihe I.1) keinen nachteiligen Feuchtigkeitseinfluß nachgewiesen. Die Tragfähigkeiten wurden durch das Abreißen der Nagelköpfe bestimmt. Das Austrocknen des Holzes nach Herstellung der Verbindungen erhöht die Haftkraft der Sondernägel, so daß dadurch kein Nachteil entsteht, sofern die Bedingungen zur Vermeidung des Holzspaltens eingehalten werden.

#### 4.4.3 Holzdicke

Holzdicken, die größer sind als die Nageleinschlagtiefen, beeinflussen die Tragfähigkeit, da sie die Spaltgefahr des Holzes mindern. Ist die Spaltgefahr schon von vornherein unterbunden (z.B. durch ausreichende Nagelabstände), dann liefert eine zunehmende Holzdicke bei gleichbleibender Nagellänge keine Vorteile mehr (Reihe I.3, I.4, I.5, I.6). Sind die Nagelabstände aber knapp bemessen, dann kann durch größere Holzdicken die Tragfähigkeit erhöht werden, weil die Spaltgefahr abnimmt (Reihen II.8, II.9, II.10 sowie Reihen II.3, II.4, II.5). Das Aufspalten des Holzes wird als Bruchursache dadurch aber kaum ausgeschaltet.

#### 4.4.4 Nagellänge

Größere Nagellängen bei sonst gleichen Bedingungen erhöhen zwar die Tragfähigkeit der Verbindungen, solange das Herausziehen des Nagelschaftes bruchauslösend ist. Bei Einschlagtiefen, die wesentlich über das 12-fache des Nageldurchmessers hinausgehen, wird dieser Vorteil aber entweder durch die Bruchursache "Abreißen des Nagelkopfes" (wenn das Holz eine hohe Rohdichte besitzt) oder durch Überschreitung des Biege widerstandes des Nagels wieder begrenzt.

#### 4.4.5 Holzroh dichte

Mit steigender Rohdichte erhöht sich merklich die Haftkraft der Sondernägel, so daß die Tragfähigkeit der Verbindungen dadurch beträchtlich ansteigt. Voraussetzung dafür ist allerdings, daß durch richtige Nagelanordnung (Abstände!) das Spalten des Holzes ausgeschlossen wird. Die Spaltgefahr nimmt mit steigender Rohdichte ebenfalls zu. Da die Rohdichte in der Praxis unkontrollierbar ist, kann ihr Vorteil nicht genutzt werden; ihr Nachteil muß dagegen durch Festlegung ausreichender Mindestabstände voll abgedeckt werden.

#### 4.4.6 Nagelabstände

Die Nagelabstände, d.h. die Abstände untereinander und von den Holzrändern sowohl in Holzfaserrichtung als auch rechtwinklig dazu, sind wichtige Parameter, durch deren richtige Wahl das Aufspalten des Holzes vermieden werden kann. Bei den Nägeln mit Durchmessern von 3,1 und 4,0 mm haben sich die Nagelabstände

$$e_{||} / e_{\perp} / e_{R||} / e_{R\perp} = 10/5/15/5 \times d_n$$

und bei den Nägeln mit Durchmessern von 6,0 mm die Nagelabstände

$$e_{\parallel}/e_{\perp}/e_{R\parallel}/e_{R\perp} = 12/5/15/5 \times d_n$$

als unschädlich erwiesen, auch wenn die Nägel in Holzfaserrichtung nicht "versetzt" angeordnet werden. Bei den dicken Nägeln ( $d_n = 6,0$  mm) muß allerdings gleichzeitig eine Holzdicke vorliegen, die mindestens das 1,5-fache der Nagellänge (bzw. Einschlagtiefe) beträgt (Reihen III.3 und III.4).

#### 4.4.7 Sonstige Einflüsse

Bei den wenigen Einzelversuchen, bei denen die Nägel nicht satt eingeschlagen waren (Reihe III.5) hat sich die Vermutung nicht bestätigt, daß dadurch ein frühzeitiges Abreißen oder Abscheren des Nagelkopfes eintritt. Es wurde lediglich eine größere Nachgiebigkeit im unteren Lastbereich festgestellt.

Die Versuche, bei denen die Nagellöcher auch im Holz vorgebohrt waren (Bohrlochdurchmesser etwa  $0,85 \times d_n$ ) haben große Vorteile gezeigt, da die Spaltgefahr erheblich reduziert wird und somit die Tragfähigkeit auf ein Maß gesteigert werden kann, das auch bei engerer Nagelung eine ausreichende Bruchsicherheit gewährleistet.

## 5 Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

Stahlblech-Holz-Nagelverbindungen zwischen 2 mm dicken Blechen und europäischem Fichtenholz (*picea abies*) mit speziell für diese Verbindungsform bauaufsichtlich zugelassenen Nägeln wurden als Zugscherkörper in der Weise geprüft, daß die wesentlichen, das Tragverhalten beeinflussenden Parameter variiert wurden. Dabei stellte sich heraus, daß die Tragfähigkeit solcher Verbindungen vor allem durch die Nagelanordnung (Abstände der Nägel untereinander und von den Holzrändern), die Holzrohddichte und die Holzdicke bestimmt wird. Zusätzlich spielen die Einschlagrichtung in bezug auf den Jahrringverlauf des Holzes und die Nagellänge eine Rolle, während der Feuchtigkeitsgehalt des Holzes und ein Austrocknen des Holzes nach Herstellung der Verbindungen wegen des profilierten Nagelschaftes nur von untergeordneter Bedeutung sind. Die bei der Holz/Holz-Nagelung zur Verminderung der Spaltgefahr übliche, in Faserrichtung des Holzes "versetzte" Nagelanordnung kann unterbleiben, wenn durch bestimmte Mindestdicken des Holzes und genügend große Nagelabstände das Spalten des Holzes unterbunden wird. Das Vorbohren der Nagellöcher im Holz kann dabei einen erheblichen Vorteil mit sich bringen.

Die Tragfähigkeit solcher Stahlblech-Holz-Nagelverbindungen wird durch im wesentlichen drei Versagensursachen begrenzt:

1. eine Holzerstörung durch Aufspalten,
2. ein Herausziehen des Nagelschaftes aus dem Holz nach einsetzender plastischer Verformung des Nagelschaftes,
3. ein Kopfabreißen der Nägel.

Welche dieser Ursachen den Bruch auslöst, wird vor allem von folgenden Einflüssen bestimmt:

1. Geringe Nagelabstände begünstigen die Holzspaltung,
2. eine hohe Holzrohddichte fördert die Holzspaltung,
3. eine niedrige Holzrohddichte begünstigt ein frühzeitiges Herausziehen des Nagelschaftes,
4. das Einschlagen der Nägel unter einem Winkel zum Jahrringverlauf reduziert die Spaltgefahr gegenüber einer tangentialen und besonders gegenüber einer radialen Einschlagrichtung,
5. mit zunehmender Nagellänge wird das Herausziehen des Nagelschaftes verzögert, solange nicht der Biege widerstand des Nagels erschöpft ist,
6. eine obere Begrenzung der Tragfähigkeit ist dadurch gegeben, daß der Nagelkopf abreißt,
7. eine Vorbohrung der Nagellöcher im Holz mit Bohrlochdurchmessern, die geringer als die Nageldurchmesser sind, reduziert die Spaltgefahr.

Die Darstellungen in Bild 7, 8 und 9 (Anlagen 23 bis 25) zeigen für die drei gebräuchlichen Nageldurchmesser die wesentlichen Einflüsse auf die Tragkraft, die in Abhängigkeit von der Holzdicke  $a$ , der Nagellänge  $l_n$  sowie der Nagelabstände  $e_{||}$ ,  $e_{\perp}$ ,  $e_{R||}$  und  $e_{R\perp}$  dargestellt sind. Durch unterschiedliche Symbole ist die Bruchursache gekennzeichnet, während außerdem die jeweiligen mittleren Holzrohddichten angegeben sind.

Aus diesen Übersichten läßt sich für die Stahlblech-Holz-Nagelung bei "nicht versetzter" Nagelanordnung schließen:

1. Nageldurchmesser 3,1 mm.

Eine enge Nagelung ( $e_{\parallel}/e_{\perp}/e_{R\parallel}/e_{R\perp} = 8/3/12/3 \times d_n$ ) führt zu frühzeitigem Spalten des Holzes. Auch eine Vergrößerung der Holzdicke bei gleichbleibender Nagellänge reicht bei dieser Nagelanordnung nicht aus, um als Bruchursache das Aufspalten des Holzes zu vermeiden.

Bei weiter Nagelung ( $e_{\parallel}/e_{\perp}/e_{R\parallel}/e_{R\perp} = 10/5/15/5 \times d_n$ ) wird das Herausziehen des Nagels bruchauslösend, und bezogen auf eine zulässige Nagelbelastung von 0,50 kN wird eine ausreichende Bruchsicherheit erzielt.

2. Nageldurchmesser 4,0 mm.

Für diesen Nagel ergeben sich praktisch die gleichen Konsequenzen wie für den Nageldurchmesser 3,1 mm. Die bei enger Nagelung und einer Holzdicke gleich der doppelten Nagellänge erzielten Bruchsicherheiten bezogen auf eine zulässige Nagelbelastung von 0,75 kN könnten zwar noch als ausreichend angesehen werden; es lag aber als Bruchursache die Holzzerstörung durch Aufspalten vor und die Nageleinschlagrichtung bezüglich des Jahrringverlaufes war in dem geprüften Fall nicht die ungünstigste.

3. Nageldurchmesser 6,0 mm.

Für den dicken Nagel sind die Anforderungen nicht ausreichend, die bei den Nageldurchmessern 3,1 mm und 4,0 mm ein Aufspalten des Holzes verhindern. Es hat sich aber gezeigt,

daß eine Nagelung mit  $e_{||}/e_{\perp}/e_{R||}/e_{R\perp} = 12/5/15/5 \times d_n$  ausreicht, wenn gleichzeitig die Holzdicke mindestens das 1,5-fache der Nagellänge beträgt. Im Falle der Nagellänge 60 mm bei gleichzeitiger Holzdicke von 100 mm und einem Einschlagen der Nägel radial zum Jahrringverlauf trat zwar auch als Bruchursache noch ein Aufspalten des Holzes auf, jedoch war eine im Mittel 2,8-fache Sicherheit bezogen auf eine zulässige Nagelbelastung von 1,50 kN vorhanden; außerdem war der Nagelabstand mit  $e_{||} = 10 \times d_n$  noch geringer als die für diese Nagelgröße vorgeschlagene Mindestanforderung.

Zusammenfassend kann aufgrund der Untersuchungen für eine Normung folgendes empfohlen werden:

1. Bei der Stahlblech-Holz-Nagelung mit nachweislich dafür geeigneten Sondernägeln kann auf eine "versetzte" Anordnung der Nägel bezüglich der Holzfaserrichtung verzichtet werden.
2. Für Nägel mit Durchmessern bis einschließlich 4,0 mm können die Mindestnagelabstände nach Abschnitt 11.3.13 bzw. Tabelle 15 der DIN 1052 Teil 1, Ausgabe Oktober 1969, angewendet werden. Dabei muß die Holzdicke mindestens der Nennlänge des Nagels entsprechen.
3. Für Nägel mit Durchmessern größer als 4,0 mm können die Mindestnagelabstände nach Abschnitt 11.3.13 bzw. Tabelle 15 der DIN 1052 Teil 1, Ausgabe Oktober 1969, für den Fall  $d_n > 4,2$  mm angewendet werden, wenn gleichzeitig die Holzdicke mindestens der 1,5-fachen Nennlänge des Nagels entspricht.

4. Die Mindestholzdicken sind zu verdoppeln, wenn bei den von gegenüberliegenden Seiten in das Holz eingeschlagenen Nägeln die geforderten Mindestnagelabstände nicht eingehalten werden.

Bei Vorbohrung der Nagellöcher im Holz mit einem Bohrlochdurchmesser, der um 10 bis 20 % geringer als der Nagelnenndurchmesser ist, werden die Tragfähigkeiten im Vergleich zu nicht vorgebohrten Verbindungen, bei denen das Holzaufspalten bruchauslösend ist, merklich erhöht. Wie weit eine Reduzierung der Nagelabstände möglich ist, müßte durch ergänzende Untersuchungen noch geklärt werden. Die in diesen Untersuchungen geprüfte enge Nagelung mit  $e_{||}/e_{\perp}/e_{R||}/e_{R\perp} = 8/3/12/3 \times d_n$  hat dabei ein gutes Ergebnis gezeigt.

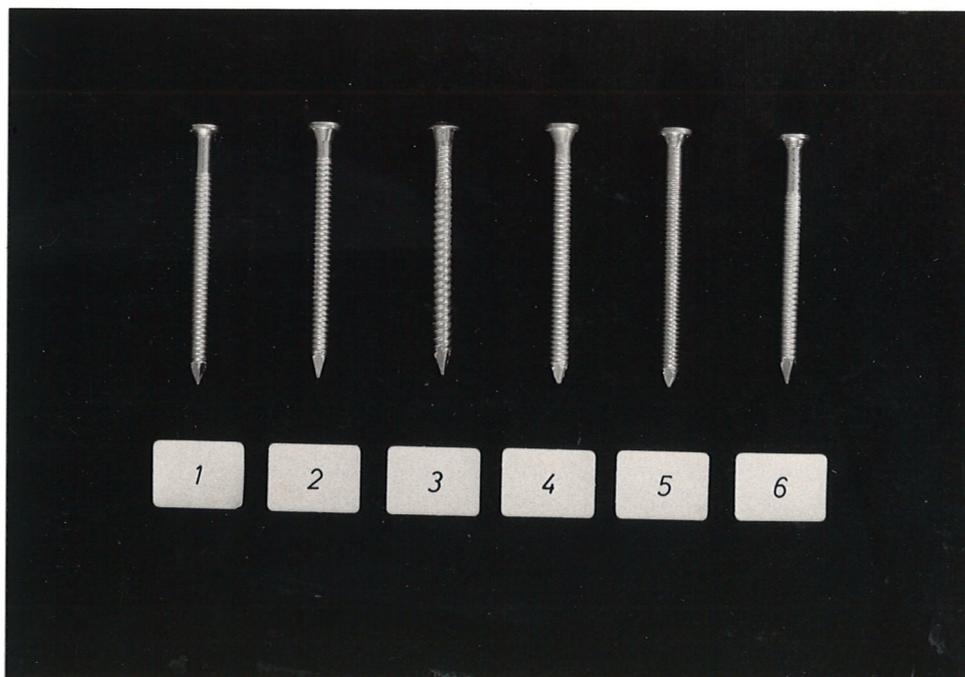


Bild 1: Sondernägel für die  
Stahlblech-Holz-Nagelung

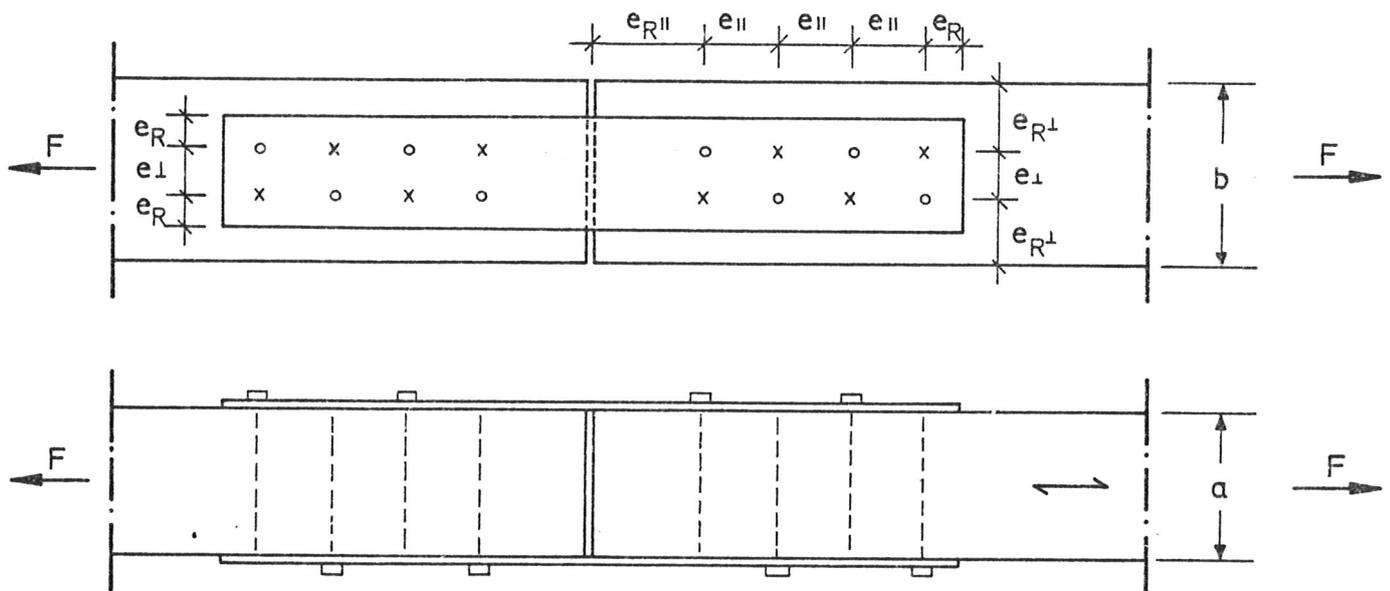
Tabelle 1: Ausziehkräfte von Sondernägeln 4 x 50mm;  
Einschlagtiefe  $s_w = 40\text{mm}$

Nagel- typ  (siehe Bild 1)	Nagelabstand: $20x d_n$ N = 10			Nagelabstand: $10x d_n$ N = 10			alle Versuche zusammengenommen N = 20		
	$\bar{x}$ [N]	s [N]	v [%]	$\bar{x}$ [N]	s [N]	v [%]	$\bar{x}$ [N]	s [N]	v [%]
1	2856	231	8,1	2441	299	12,2	2648	336	12,7
2	2824	241	8,5	2588	275	10,6	2706	280	10,3
3	2555	366	14,3	2363	293	12,4	2459	336	13,7
4	2700	371	13,7	2617	489	18,7	2656	427	16,1
5	2969	489	16,5	2796	303	10,8	2878	400	13,9
6	2748	278	10,1	2512	185	7,4	2630	260	9,9
$\Sigma$	2773	348	12,6	2553	337	13,2	2660	358	13,4

$\bar{x}$  = Mittelwert ; s = Standardabweichung ;  
v = Variationskoeffizient

Tabelle 2: Holzeigenschaften für Ausziehversuche;  
Fichte (picea abies)

	Jahring- breite	Feuchtigkeits- gehalt	Normal- rohdichte	Druckfestigkeit in Faserrichtung	
	[mm]	u [%]	$\rho_N$ [g/cm <sup>3</sup> ]	bei u [N/mm <sup>2</sup> ]	bei u=15% [N/mm <sup>2</sup> ]
Kleinstwert	1,6	14,1	0,43	41,2	39,6
Mittelwert	2,2	14,6	0,48	45,4	44,4
Größtwert	2,9	15,1	0,52	52,7	52,1



### Legende:

#### Holz:

$b$  = Holzbreite

$a$  = Holzdicke

$\rho$  = Rohdichte

$$0,38 < \rho_1 < 0,44 \text{ g/cm}^3$$

$$0,44 < \rho_2 < 0,50 \text{ g/cm}^3$$

$$0,50 < \rho_3 < 0,56 \text{ g/cm}^3$$

$u$  = Holzfeuchtigkeit

$u_1$  Nagelung und Prüfung  
bei  $u = 12-14 \%$

$u_2$  Nagelung bei  $u > 30 \%$   
Prüfung bei  $u = 13-15 \%$

#### Nägel:

$d_n$  = Nageldurchmesser     $o$  = Nagel Vorderseite

$l_n$  = Nagellänge             $x$  = Nagel Rückseite

#### Anordnung:

$e$  = Nagelabstände ( $e_R = 2,5 \times d_n$ )

$$e_1 : e_{||}/e_{\perp}/e_{R||}/e_{R\perp} = 10/5/15/5 \times d_n$$

$$e_2 : \quad \quad \quad = 8/3/12/3 \times d_n$$

$$e_3 : \quad \quad \quad = 12/5/20/5 \times d_n$$

$v$  = Anordnung der Nägel bzgl. der Nagelrißlinie

$v_1$  = nicht "versetzte" Anordnung

$v_2$  = "versetzte" Anordnung

**Bild 2:** Abmessungen und Bezeichnungen der Versuchskörper für die Hauptversuche

Tabelle 3: Zusammenstellung der Versuche  
des ersten Versuchsabschnittes

Versuchs- reihe	Nagelgröße		Holz			Nagel- anordnung		
	$d_n$ [mm]	$l_n$ [mm]	$a$ [mm]	$\rho$ -	$u$ -	$e$ -	$v$ -	
I 1	4,0	50	50	$\rho_2$	$u_1$	$e_1$	$v_1$	X
I 2							$v_2$	X
I 3	4,0	40	40	$\rho_2$	$u_1$	$e_1$	$v_1$	
I 4			50					
I 5			65					
I 6			80					
I 7	3,1	40	40	$\rho_2$	$u_1$	$e_1$	$v_1$	
I 1	4,0	50	50					X
I 8	6,0	80	80					
I 9	4,0	50	50	$\rho_1$	$u_1$	$e_1$	$v_1$	
I 1				$\rho_2$				
I 10				$\rho_3$				
I 1	4,0	50	50	$\rho_2$	$u_1$	$e_1$	$v_1$	X
I 11					$u_2$			
I 1	4,0	50	50	$\rho_2$	$u_1$	$e_1$	$v_1$	X
I 12						$e_2$		
I 3	4,0	40	40	$\rho_2$	$u_1$	$e_1$	$v_1$	
I 1		50	50					
I 13		75	75					
I 14		100	100					

X = Grundversuche

Tabelle 4: Zusammenstellung der Versuche  
des zweiten Versuchsabschnittes

Versuchsreihe	Nagelgröße		Holz		Nagel- anordnung
	$d_n$	$l_n$	a	$\rho$	e
	[mm]	[mm]	[mm]	-	-
II 1	3,1	40	40	$\rho_1$	$e_1$
II 2		60	60		
II 3	3,1	40	40	$\rho_3$	$e_2$
II 4			60		
II 5			80		
II 6	4,0	40	40	$\rho_1$	$e_1$
II 7			60		
II 8	4,0	40	40	$\rho_3$	$e_2$
II 9			60		
II 10			80		
II 11	6,0	60	90	$\rho_1$	$e_3$
II 12		80	120		
II 13		100	150		
II 14	6,0	60	60	$\rho_3$	$e_1$
II 15			80		
II 16			100		

Holzfeuchtigkeit: stets Variante  $u_1$ ;

in allen Fällen nicht versetzte Nagelanordnung ( $v_1$ )

Tabelle 5: Zusammenstellung der Versuche  
des dritten Versuchsabschnittes

Versuchs- reihe	Nagelgröße		Holz		Nagel- anordnung	
	$d_n$ [mm]	$l_n$ [mm]	a [mm]	$\rho$ -	e -	
III 1	3,1	40	40	$\rho_3$	$e_2$	(1)
III 2	4,0	40	40	$\rho_3$	$e_2$	(1)
III 3	6,0	60	60	$\rho_1 + \rho_3$	$e_3$	
III 4	6,0	60	90	$\rho_1 + \rho_3$	$e_1^+$	
III 5	4,0	50	50	$\rho_2$	$e_1$	(2)

(1) Nagellöcher vorgebohrt ( $0,85 \times d_n$ )

(2) Bei drei Versuchskörpern dieser Reihe wurden die  
Nägel nicht vollständig eingeschlagen.

$e_1^+$  wie  $e_1$  jedoch mit  $e_{11} = 12 \times d_n$

Tabelle 6: Materialeigenschaften des verwendeten Fichtenholzes nach Klimatisierung im Normalklima 20/65 DIN 50014 ( Mittelwerte aus mindestens 5 Proben )

Versuchsreihe	mittlere Jahrringbreite [mm]	Normalrohddichte $\rho$ [g/cm <sup>3</sup> ]	Feuchtigkeitsgehalt u [%]	Druckfestigkeit in Faserrichtung	
				bei u [N/mm <sup>2</sup> ]	bei u=15% [N/mm <sup>2</sup> ]
I	1,6	0,47	14,3	39,6	38,0
	1,5	0,49	14,0	41,4	39,1
	2,6	0,42	12,5	41,2	35,8
	1,5	0,47	14,3	40,4	38,8
	2,7	0,46	14,3	40,9	39,4
	1,7	0,45	14,5	36,2	35,3
	2,9	0,43	13,9	35,9	33,9
	1,7	0,47	14,1	39,1	37,3
	2,6	0,42	14,3	34,7	33,3
	2,7	0,51	14,4	44,7	43,2
	1,7	0,48	14,1	41,8	39,8
	2,5	0,46	14,4	42,6	41,2
	2,4	0,43	13,1	39,7	35,7
	1,5	0,47	14,2	40,0	38,1
II	3,1	0,40	13,5	38,1	35,1
	2,6	0,41	13,9	38,6	36,2
	1,7	0,54	13,4	59,6	54,6
	1,6	0,54	13,6	58,4	53,8
	1,6	0,51	13,4	57,2	52,3
	2,6	0,42	14,1	38,7	36,6
	2,9	0,40	13,5	37,7	34,5
	1,2	0,51	13,4	53,7	48,9
	1,5	0,51	13,4	50,2	46,0
	1,2	0,47	13,2	45,0	40,8
	1,9	0,42	13,4	40,0	36,6
	2,0	0,45	13,7	38,4	35,6
	1,8	0,44	13,6	39,5	36,4
	1,0	0,51	13,1	51,2	46,1
	1,5	0,53	13,8	48,3	45,2
	1,5	0,48	13,3	43,4	39,5
III	1,3	0,54	13,2	62,0	56,0
	1,5	0,58	13,4	57,0	52,0
	1,7	0,50	13,3	45,5	41,3
	2,1	0,49	13,5	41,3	38,1
	2,3	0,46	14,0	43,1	40,8

Versuchsreihe:



- I. 1. 1.-5.
- I. 2. 1.-5.      I. 3. 1.-5.
- I. 4. 1.-5.      I. 5. 1.-5.
- I. 6. 1.-5.
- I. 7. 1.-5.      I. 8. 1.-5.
- I. 9. 1.-5.      I. 10. 1.-5.
- I. 11. 1.-5.      I. 12. 1.-5.
- I. 13. 1.-5.
- I. 14. 1.-5.
- II. 1. 1.-5.      II. 2. 1.-5.
- II. 3. 1.-3.      II. 4. 1.-5.
- II. 5. 1.-5.
- II. 6. 1.-5.      II. 7. 1.-5.
- II. 8. 1.-2.      II. 9. 1.-5.
- II. 10. 1.-5.

←→ Nageleinschlagrichtung

Bild 3 : Jahrringverlauf des Versuchsholzes

Versuchsreihe:



II. 11. 1.-5.

II. 12. 1.-5.

II. 13. 1.-5.

II. 14. 1.-3.      II. 15. 1.-5.

II. 16. 1.-5.

III. 1. 1.-3.      III. 2. 1.-3.

III. 3. 1.-5.

III. 4. 1.-5.

III. 5. 1.-5.

← → Nageleinschlagrichtung

Bild 4 : Jahrringverlauf des Versuchsholzes

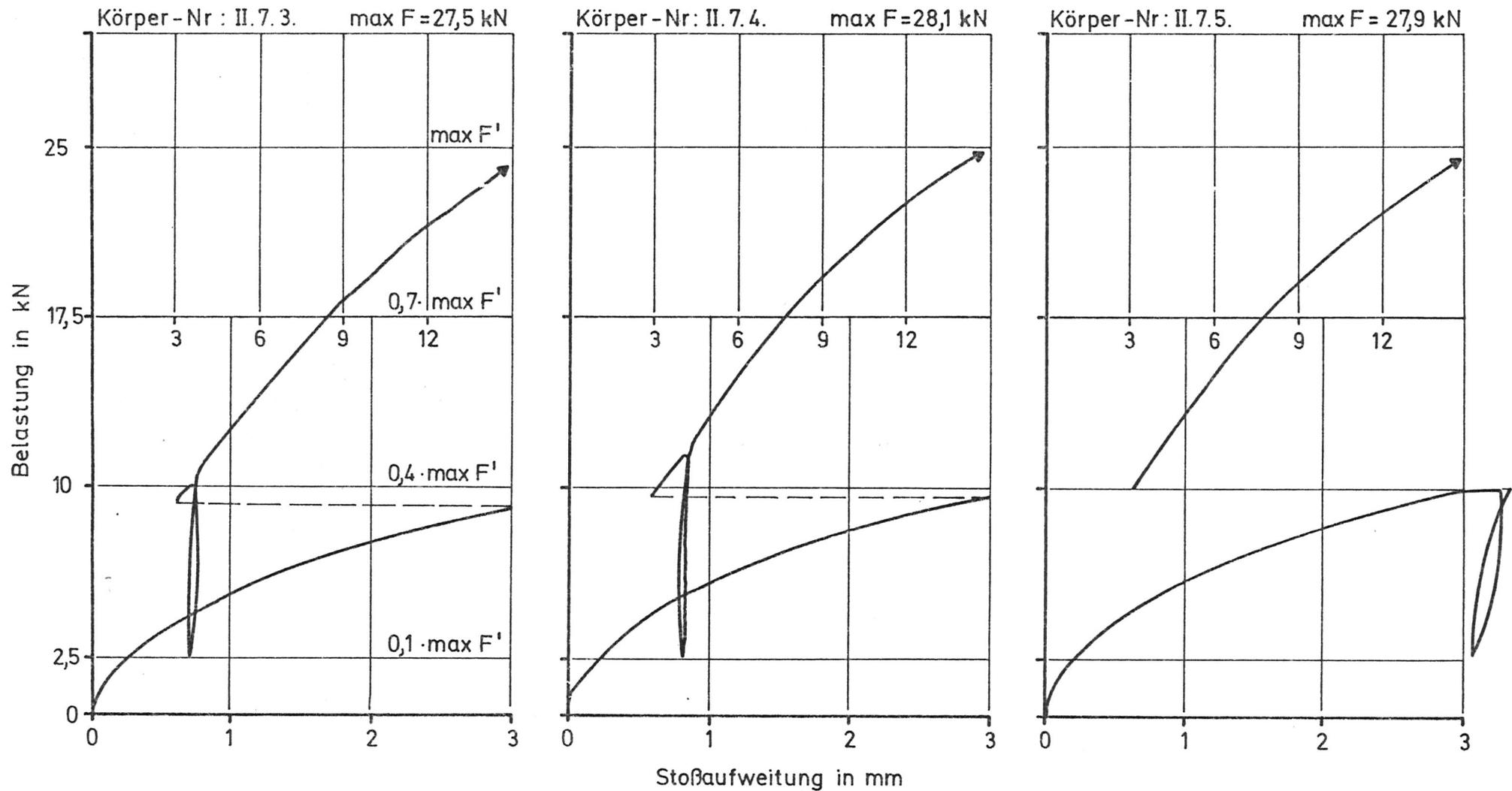


Bild 5 : Kraft - Stoßaufweitungs - Diagramme (Reihe II. 7 ; Nägel 4,0x60 mm)  
Bruchursache: Nägel herausgezogen

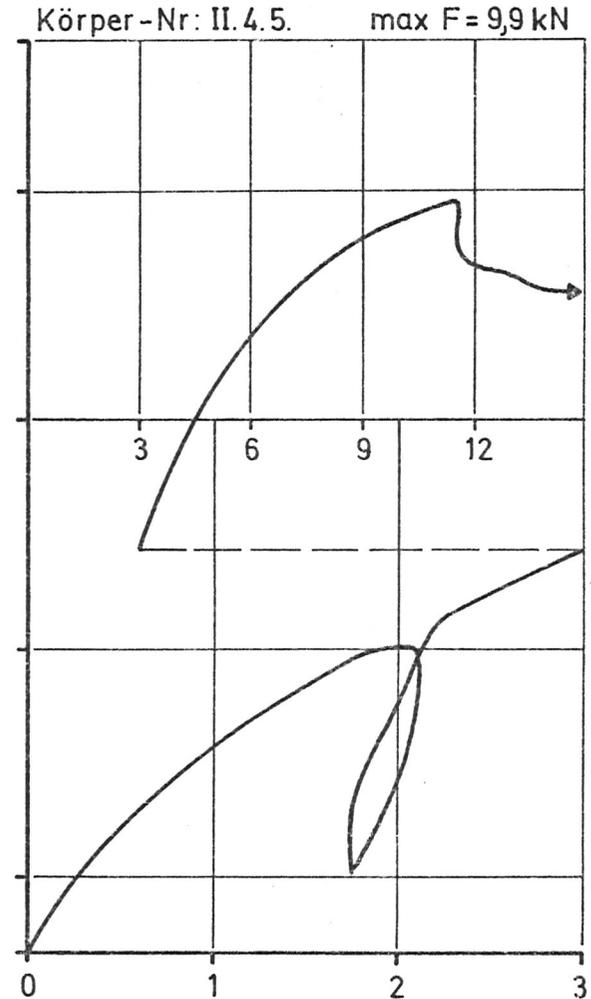
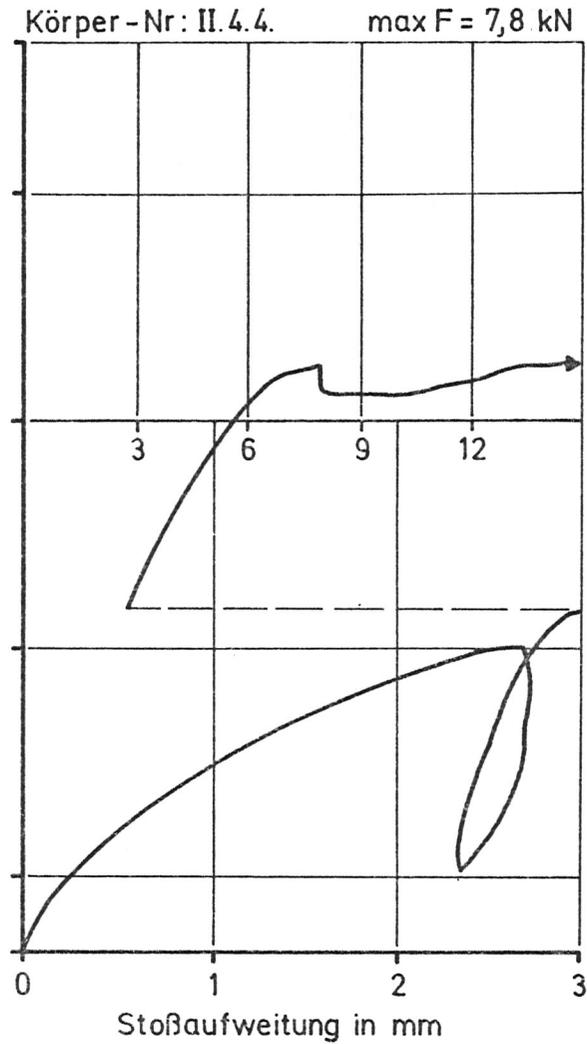
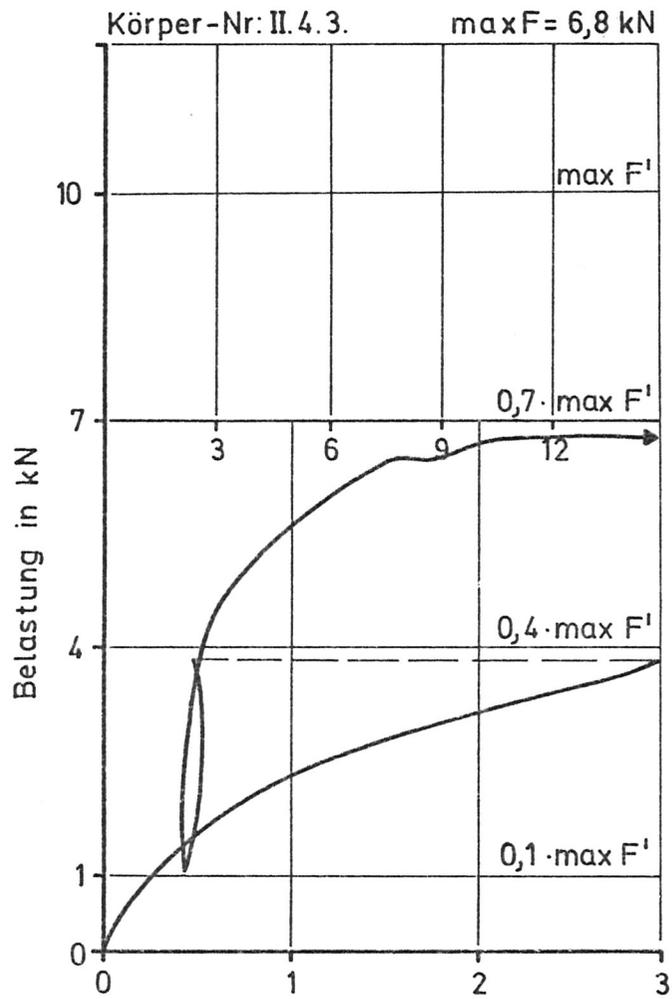


Bild 6: Kraft - Stoßaufweitungs-Diagramme (Reihe II.4 ; Nägel 3,1x40 mm)  
Bruchursache: Holz aufgeplatzt

Tabelle 7: Einzelergebnisse

Nägel: 3,1mm x 1<sub>n</sub> $e_{||}/e_{\perp}/e_{R||}/e_{R\perp} = 10/5/15/5 \times d_n$ 

Versuchsreihe	Nagel		Holz		Bruchwerte			zul. Werte/ Nagel			
	d <sub>n</sub> [mm]	l <sub>n</sub> [mm]	a [mm]	ρ <sub>N</sub> [g/cm <sup>3</sup> ]	maxF [kN]	maxF/ Nagel [kN]	B -	zulF [kN]	δ <sub>zulF</sub> [mm]	F <sub>zulδ</sub> [kN]	v -
I 7.1	3,1	40	40	0,41	12,5	1,56	N	0,50	-	-	3,1
				0,40	12,1	1,51	N		-	-	3,0
				0,42	12,1	1,51	N		0,86	0,60	3,0
				0,45	12,8	1,60	N		0,78	0,69	3,2
				0,47	13,9	1,74	N		0,64	0,77	3,5
Mittel				0,43	12,7	1,59			0,76	0,69	3,2
II 1.1	3,1	40	40	0,38	13,8	1,73	N	0,50	-	-	3,5
				0,42	14,9	1,86	N		-	-	3,7
				0,40	14,1	1,76	N		0,71	0,75	3,5
				0,39	14,8	1,85	N		0,78	0,70	3,7
				0,41	14,0	1,75	H		0,80	0,70	3,5
Mittel				0,40	14,3	1,79			0,76	0,72	3,6
II 2.1	3,1	60	60	0,44	16,6	2,08	N	0,50	-	-	4,2
				0,40	17,4	2,18	N		-	-	4,4
				0,42	18,7	2,34	N		0,62	0,80	4,7
				0,40	17,4	2,18	N		0,64	0,80	4,4
				0,40	14,4	1,80	H		0,66	0,80	3,6
Mittel				0,41	16,9	2,11			0,64	0,80	4,2

Bruchursache (B): N = Nägel herausgezogen

H = Holz aufgeplatzt

Tabelle 8: Einzelergebnisse

Nägel: 3,1 x 40mm

$$e_{II}/e_{\perp}/e_{R''}/e_{R^+} = 8/3/12/3 \times d_n$$

Versuchs- reihe	Nagel		Holz		Bruchwerte			zul. Werte/Nagel			
	$d_n$ [mm]	$l_n$ [mm]	a [mm]	$\rho_N$ [g/cm <sup>3</sup> ]	maxF [kN]	maxF/ Nagel [kN]	B -	zulF [kN]	$\delta_{zulF}$ [mm]	$F_{zul\delta}$ [kN]	v -
II 3.1	3,1	40	40	0,47	3,7	0,46	H <sup>+</sup>	0,50	-	0,34	0,9
2				0,58	4,6	0,58	H <sup>+</sup>		2,30	0,43	1,2
3				0,59	4,2	0,53	H <sup>+</sup>		3,50	0,40	1,1
Mittel				0,54	4,2	0,52			2,90	0,39	1,0
III 1.1	3,1	40	40	0,60	19,0	2,40	H, K	0,50	0,55	0,99	4,8 (1)
2				0,52	16,6	2,10	N		0,68	0,81	4,2 (1)
3				0,51	16,3	2,00	H, N		0,65	0,87	4,1 (1)
Mittel				0,54	17,3	2,20			0,63	0,89	4,3
II 4.1	3,1	40	60	0,56	8,7	1,09	H	0,50	-	-	2,2
2				0,51	12,1	1,51	H		-	-	3,0
3				0,51	6,8	0,85	H		1,50	0,49	1,7
4				0,55	7,8	0,98	H		1,22	0,56	2,0
5				0,56	9,9	1,24	H		0,94	0,66	2,5
Mittel				0,54	9,1	1,13			1,22	0,57	2,3
II 5.1	3,1	40	80	0,54	9,4	1,18	H	0,50	-	-	2,4
2				0,48	12,4	1,55	H		-	-	3,1
3				0,55	9,8	1,23	H		0,90	0,66	2,5
4				0,50	9,8	1,23	H		1,14	0,60	2,5
5				0,51	10,2	1,28	H		1,22	0,59	2,6
Mittel				0,51	10,3	1,29			1,09	0,62	2,6

Bruchursache (B): H = Holz aufgeplatzt ( <sup>+</sup> bereits bei Herstellung der Verbindung)

K = Köpfe abgerissen

N = Nägel herausgezogen

(1) Nagellöcher im Holz mit 2,6 mm vorgebohrt

Tabelle 9: Einzelergebnisse

Nägel: 4,0mm x 1<sub>n</sub>

$$e_{II}/e_{\perp}/e_{R^{II}}/e_{R^{\perp}} = 10/5/15/5 \times d_n$$

Versuchsreihe	Nagel		Holz		Bruchwerte			zul. Werte/Nagel			
	d <sub>n</sub> [mm]	l <sub>n</sub> [mm]	a [mm]	ρ <sub>N</sub> [g/cm <sup>3</sup> ]	maxF [kN]	maxF/ Nagel [kN]	B -	zulF [kN]	δ <sub>zulF</sub> [mm]	F <sub>zulδ</sub> [kN]	v -
I 3.1	4,0	40	40	0,41	24,1	3,01	N	0,75	-	-	4,0
2				0,41	21,7	2,71	N		-	-	3,6
3				0,42	23,2	2,90	N		0,62	1,21	3,9
4				0,43	22,3	2,79	N		0,61	1,26	3,7
5				0,42	24,4	3,05	N		0,54	1,29	4,1
Mittel				0,42	23,1	2,89			0,59	1,25	3,9
II 6.1	4,0	40	40	0,42	19,1	2,39	N	0,75	-	-	3,2
2				0,44	16,0	2,00	H		-	-	2,7
3				0,40	19,3	2,41	N		0,84	0,91	3,2
4				0,40	18,3	2,29	N		1,00	0,89	3,1
5				0,43	18,7	2,34	N		0,93	0,90	3,1
Mittel				0,42	18,3	2,29			0,92	0,90	3,0
I 4.1	4,0	40	50	0,50	23,4	2,93	N	0,75	-	-	3,9
2				0,48	23,9	2,99	N		-	-	4,0
3				0,48	24,0	3,00	N		0,61	1,10	4,0
4				0,45	23,4	2,93	N		0,70	1,10	3,9
5				0,46	23,8	2,98	N		0,58	1,20	4,0
Mittel				0,47	23,7	2,96			0,63	1,13	4,0
I 5.1	4,0	40	65	0,42	19,5	2,44	N	0,75	-	-	3,3
2				0,50	24,1	3,01	N		-	-	4,0
3				0,50	23,8	2,98	N		0,68	1,18	4,0
4				0,44	19,5	2,44	N		0,67	1,10	3,3
5				0,44	19,4	2,43	N		0,88	1,00	3,2
Mittel				0,46	21,3	2,66			0,74	1,09	3,5

Bruchursache (B): H = Holz aufgeplatzt

N = Nägel herausgezogen

Tabelle 10: Einzelergebnisse

Nägel: 4,0mm x 1<sub>n</sub>

$$e_{II}/e_{\perp}/e_{R''}/e_{R^{\perp}} = 10/5/15/5 \times d_n$$

Versuchs- reihe	Nagel		Holz		Bruchwerte			zul. Werte/Nagel			
	d <sub>n</sub> [mm]	l <sub>n</sub> [mm]	a [mm]	ρ <sub>N</sub> [g/cm <sup>3</sup> ]	maxF [kN]	maxF/ Nagel [kN]	B -	zulF [kN]	δ <sub>zulF</sub> [mm]	F <sub>zulδ</sub> [kN]	v -
I 6.1	4,0	40	80	0,42	21,9	2,74	N	0,75	-	-	3,7
2				0,50	24,1	3,01	N		-	-	4,0
3				0,44	23,7	2,96	N		0,72	1,10	4,0
4				0,44	23,6	2,95	N		0,65	1,28	3,9
5				0,43	23,4	2,93	N		0,69	1,32	3,9
Mittel				0,45	23,3	2,92			0,69	1,23	3,9
I 9.1	4,0	50	50	0,43	20,4	2,55	N	0,75	-	-	3,4
2				0,43	22,2	2,78	K		-	-	3,7
3				0,42	22,3	2,79	N		0,84	1,00	3,7
4				0,40	21,6	2,70	N		1,00	0,93	3,6
5				0,40	21,5	2,69	N		1,04	0,91	3,6
Mittel				0,42	21,6	2,70			0,96	0,95	3,6
I 1.1	4,0	50	50	0,44	24,4	3,05	K	0,75	-	-	4,1
2				0,49	25,8	3,23	K		-	-	4,3
3				0,43	24,4	3,05	K		0,86	1,03	4,1
4				0,51	28,8	3,60	K		0,56	1,25	4,8
5				0,46	25,0	3,13	K		0,80	1,07	4,2
Mittel				0,47	25,7	3,21			0,74	1,12	4,3
I 10.1	4,0	50	50	0,50	28,1	3,51	H,K	0,75	-	-	4,7
2				0,51	28,1	3,51	H,K		-	-	4,7
3				0,51	26,7	3,34	H,K		0,47	1,37	4,5
4				0,51	27,0	3,38	K		0,37	1,38	4,5
5				0,51	23,4	2,93	H		0,38	1,38	3,9
Mittel				0,51	26,7	3,33			0,41	1,38	4,4

Bruchursache (B): N = Nägel herausgezogen

K = Köpfe abgerissen

H = Holz aufgeplatzt

Tabelle 11: Einzelergebnisse

Nägel: 4,0mm x 1<sub>n</sub>

$$e_{||}/e_{\perp}/e_{R||}/e_{R\perp} = 10/5/15/5 \times d_n$$

Versuchs- reihe	Nagel		Holz		Bruchwerte			zul. Werte/ Nagel			
	d <sub>n</sub> [mm]	l <sub>n</sub> [mm]	a [mm]	ρ <sub>N</sub> [g/cm <sup>3</sup> ]	maxF [kN]	maxF/ Nagel [kN]	B -	zulF [kN]	δ <sub>zulF</sub> [mm]	F <sub>zulδ</sub> [kN]	v -
II 7.1	4,0	60	60	0,43	23,2	2,90	H	0,75	-	-	3,9
2				0,39	25,6	3,20	N		-	-	4,3
3				0,39	27,5	3,44	N		0,61	1,14	4,6
4				0,41	28,1	3,51	N		0,54	1,20	4,7
5				0,38	27,9	3,49	N		0,50	1,22	4,7
Mittel				0,40	26,5	3,31			0,55	1,19	4,4
I 13.1	4,0	75	75	0,44	33,4	4,18	K	0,75	-	-	5,6
2				0,42	34,9	4,36	K		-	-	5,8
3				0,43	32,4	4,05	K		0,52	1,20	5,4
4				0,44	28,9	3,61	K,H		0,54	1,20	4,8
5				0,43	31,0	3,88	H		0,60	1,16	5,2
Mittel				0,43	32,1	4,02			0,55	1,19	5,4
I 14.1	4,0	100	100	0,50	29,7	3,71	K	0,75	-	-	5,0
2				0,47	28,0	3,50	K		-	-	4,7
3				0,47	29,4	3,68	K		0,84	1,07	4,9
4				0,46	31,4	3,93	K		0,84	1,09	5,2
5				0,47	27,6	3,45	K		0,94	0,96	4,5
Mittel				0,47	29,2	3,65			0,87	1,04	4,9

Bruchursache (B): N = Nägel herausgezogen  
H = Holz aufgeplatzt  
K = Köpfe abgerissen

Tabelle 12: Einzelergebnisse

Nägel: 4,0 x 50 mm

$$e_{||}/e_{\perp}/e_{R||}/e_{R\perp} = 10/5/15/5 \times d_n$$

Nagelanordnung "versetzt"

Versuchsreihe	Nagel		Holz		Bruchwerte			zul. Werte/Nagel						
	$d_n$ [mm]	$l_n$ [mm]	a [mm]	$\rho_N$ [g/cm <sup>3</sup> ]	maxF [kN]	maxF/ Nagel [kN]	B -	zulF [kN]	$\delta_{zulF}$ [mm]	$F_{zul\delta}$ [kN]	v -			
I 2.1	4,0	50	50	0,53	26,6	3,33	K	0,75	-	-	-	4,4		
2				0,52	27,2	3,40	K					4,5		
3				0,47	16,7	2,09	H					0,84	0,98	2,8
4				0,44	25,9	3,24	K					0,76	1,09	4,3
5				0,49	25,8	3,23	K					0,86	0,98	4,3
Mittel				0,49	24,4	3,06			0,82	1,02		4,1		

Bruchursache (B): H = Holz aufgeplatzt

K = Köpfe abgerissen

Tabelle 13: Einzelergebnisse

Nägel: 4,0 x 50mm

$$e_{||}/e_{\perp}/e_{R||}/e_{R\perp} = 10/5/15/5 \times d_n$$

u bei Herstellung 40,2 %

u bei Prüfung 14,9 %

Versuchsreihe	Nagel		Holz		Bruchwerte			zul. Werte/Nagel						
	$d_n$ [mm]	$l_n$ [mm]	a [mm]	$\rho_N$ [g/cm <sup>3</sup> ]	maxF [kN]	maxF/ Nagel [kN]	B -	zulF [kN]	$\delta_{zulF}$ [mm]	$F_{zul\delta}$ [kN]	v -			
I 11.1	4,0	50	50	0,51	35,2	4,40	K	0,75	-	-	-	5,9		
2				0,48	30,4	3,80	K					5,1		
3				0,47	29,2	3,65	K					0,90	0,94	4,9
4				0,46	30,5	3,81	K					0,85	1,00	5,1
5				0,47	31,4	3,93	K					0,85	1,00	5,2
Mittel				0,48	31,3	3,92			0,87	0,98		5,2		

Bruchursache (B): K = Köpfe abgerissen

Tabelle 14: Einzelergebnisse

Nägel: 4,0 x 50mm

$$e_{II}/e_{\perp}/e_{R''}/e_{R\perp} = 10/5/15/5 \times d_n$$

Versuchsreihe	Nagel		Holz		Bruchwerte			zul. Werte/Nagel				
	$d_n$ [mm]	$l_n$ [mm]	a [mm]	$\rho_N$ [g/cm <sup>3</sup> ]	maxF [kN]	maxF/ Nagel [kN]	B -	zulF [kN]	$\delta_{zulF}$ [mm]	$F_{zul\delta}$ [kN]	v -	
III 5.1	4,0	50	50	0,40	24,4	3,05	N,K	0,75	0,62	1,15	4,1	
2				0,53	23,7	2,96	N,K		0,62	1,15	4,0	
3				0,52	24,5	3,06	N,K		1,11	0,88	4,1 (1)	
4				0,43	20,0	2,50	N,K		0,84	0,97	3,3 (1)	
5				0,44	24,3	3,04	H,K		1,00	0,90	4,1 (1)	
Mittel				0,46	23,4	2,92			0,84	1,01	3,9	

Bruchursache (B): N = Nägel herausgezogen

K = Köpfe abgerissen

H = Holz aufgeplatzt

(1) Nägel nicht vollständig eingeschlagen

$$\text{Nägel: } 4,0\text{mm} \times \frac{1}{n}$$

$$e_{II}/e_{I}/e_{R''}/e_{R'} = 8/3/12/3 \times d_n$$

Versuchsreihe	Nagel		Holz		Bruchwerte			zul. Werte/Nagel				
	$d_n$ [mm]	$l_n$ [mm]	a [mm]	$\rho_N$ [g/cm <sup>3</sup> ]	maxF [kN]	maxF/ Nagel [kN]	B -	zulF [kN]	$\delta_{zulF}$ [mm]	$F_{zul\delta}$ [kN]	v -	
II 8.1	4,0	40	40	0,52	5,8	0,73	H <sup>+</sup>	0,75	-	0,55	1,0	
2				0,51	3,9	0,49	H <sup>+</sup>			0,34	0,7	
Mittel				0,51	4,9	0,61				0,45	0,8	
III 2.1	4,0	40	40	0,56	20,9	2,61	N	0,75	0,53	1,26	3,5 (1)	
2				0,60	25,1	3,14	N,K			0,45	1,37	4,2 (1)
3				0,57	23,5	2,94	N,K			0,53	1,31	3,9 (1)
Mittel				0,58	23,2	2,90			0,50	1,31	3,9	
I 12.1	4,0	50	50	0,53	8,6	1,08	H	0,75	-	-	1,4	
2				0,41	24,0	3,00	H			-	4,0	
3				0,44	19,7	2,46	H			0,78	1,05	3,3
4				0,50	9,6	1,20	H <sup>+</sup>			1,32	0,81	1,6
5				0,43	21,4	2,68	H			0,80	1,01	3,6
Mittel				0,46	16,7	2,08			0,97	0,96	2,8	
II 9.1	4,0	40	60	0,49	11,2	1,40	H	0,75	-	-	1,9	
2				0,53	10,1	1,26	H			-	1,7	
3				0,49	12,2	1,53	H			1,42	0,76	2,0
4				0,52	11,0	1,38	H			1,17	0,83	1,8
5				0,51	12,5	1,56	H			1,21	0,82	2,1
Mittel				0,51	11,4	1,43			1,27	0,80	1,9	
II 10.1	4,0	40	80	0,46	15,1	1,89	H	0,75	-	-	2,5	
2				0,50	26,4	3,30	K			-	4,4	
3				0,48	18,8	2,35	H			0,78	1,00	3,1
4				0,47	19,8	2,48	H			0,92	0,97	3,3
5				0,47	16,9	2,11	H			0,80	0,97	2,8
Mittel				0,47	19,4	2,43			0,83	0,98	3,2	

Bruchursache (B): H = Holz aufgeplatzt ( <sup>+</sup> bereits bei Herstellung der Verbindung)  
K = Köpfe abgerissen

(1) Nagellöcher mit 3,4mm vorgebohrt

Tabelle 16: Einzelergebnisse

Nägel: 6,0mm x l<sub>n</sub>

$$e_{II}/e_{I}/e_{R^{II}}/e_{R^+} = 12/5/20/5 \times d_n$$

Versuchsreihe	Nagel		Holz		Bruchwerte			zul. Werte/Nagel			
	d <sub>n</sub> [mm]	l <sub>n</sub> [mm]	a [mm]	ρ <sub>N</sub> [g/cm <sup>3</sup> ]	maxF [kN]	maxF/ Nagel [kN]	B -	zulF [kN]	δ <sub>zulF</sub> [mm]	F <sub>zulδ</sub> [kN]	v -
II 11.1	6,0	60	90	0,40	45,4	5,68	N	1,50	-	-	3,8
2				0,46	52,0	6,50	N		-	-	4,3
3				0,43	48,8	6,10	N		0,54	2,44	4,1
4				0,40	47,0	5,88	N		0,81	2,00	3,9
5				0,43	48,8	6,10	N		0,96	1,88	4,1
Mittel				0,42	48,4	6,05			0,77	2,11	4,0
II 12.1	6,0	80	120	0,47	64,8	8,10	N	1,50	-	-	5,4
2				0,42	54,0	6,75	N		-	-	4,5
3				0,46	57,8	7,23	N		0,55	2,41	4,8
4				0,45	61,4	7,68	N		0,70	2,20	5,1
5				0,42	58,2	7,28	N		0,92	1,93	4,9
Mittel				0,45	59,2	7,41			0,72	2,18	4,9
II 13.1	6,0	100	150	0,41	48,6	6,08	H	1,50	-	-	4,1
2				0,48	56,2	7,03	N		-	-	4,7
3				0,45	53,6	6,70	N		0,68	2,27	4,5
4				0,44	56,0	7,00	N		0,82	2,06	4,7
5				0,42	52,8	6,60	N		0,75	2,20	4,4
Mittel				0,44	53,4	6,68			0,75	2,18	4,5

Bruchursache (B): N = Nägel herausgezogen  
H = Holz aufgeplatzt

Tabelle 17: Einzelergebnisse

Nägel: 6,0mm x  $l_n$ 

$$e_{R\parallel}/e_{R\perp}/e_{R''}/e_{R'\perp} = 10/5/15/5 \times d_n$$

Versuchsreihe	Nagel		Holz		Bruchwerte			zul. Werte/Nagel				
	$d_n$ [mm]	$l_n$ [mm]	a [mm]	$\rho_N$ [g/cm <sup>3</sup> ]	maxF [kN]	maxF/ Nagel [kN]	B -	zulF [kN]	$\delta_{zulF}$ [mm]	$F_{zul\delta}$ [kN]	v -	
II 14.1	6,0	60	60	0,56	22,5	2,81	H <sup>+</sup>	1,50	1,12	1,72	1,9	
2				0,50	15,3	1,91	H <sup>+</sup>		0,96	1,03	1,3	
3				0,47	24,0	3,00	H <sup>+</sup>		1,70	1,41	2,0	
4												
5												
Mittel				0,51	20,6	2,58			1,26	1,39	1,7	
II 15.1	6,0	60	80	0,55	54,0	6,75	N	1,50	-	-	4,5	
2				0,52	54,6	6,83	N		-	-	4,6	
3				0,51	49,8	6,23	N		0,78	2,09	4,2	
4				0,55	50,0	6,25	N		0,72	2,19	4,2	
5				0,54	51,6	6,45	N		0,57	2,44	4,3	
Mittel				0,53	52,0	6,50			0,69	2,24	4,3	
II 16.1	6,0	60	100	0,47	41,0	5,13	H	1,50	-	-	3,4	
2				0,52	36,4	4,55	H		-	-	3,0	
3				0,43	31,8	3,98	H		0,78	2,02	2,7	
4				0,51	27,8	3,48	H		0,73	2,14	2,3	
5				0,45	33,6	4,20	H		0,74	2,14	2,8	
Mittel				0,48	34,1	4,27			0,75	2,10	2,8	
I 8.1	6,0	80	80	0,48	54,8	6,85	N	1,50	-	-	4,6	
2				0,48	56,4	7,05	N		-	-	4,7	
3				0,47	36,6	4,58	H		0,70	2,06	3,1	
4				0,44	40,2	5,03	H		0,74	2,06	3,4	
5				0,45	42,0	5,25	H		0,76	2,13	3,5	
Mittel				0,47	46,0	5,75			0,73	2,08	3,8	

Bruchursache (B): H = Holz aufgeplatzt ( <sup>+</sup> bereits bei Herstellung  
N = Nägel herausgezogen ( der Verbindung)

(1) Scherkörper 4 und 5 wurden mit  $e_{R\parallel}/e_{R\perp}/e_{R''}/e_{R'\perp} = 12/5/15/5 \times d_n$  hergestellt. Da bereits beim Einschlagen der ersten Nägel das Holz aufspaltete, erfolgte keine Prüfung.

Tabelle 18: Einzelergebnisse

Nägels: 6,0 x 60 mm

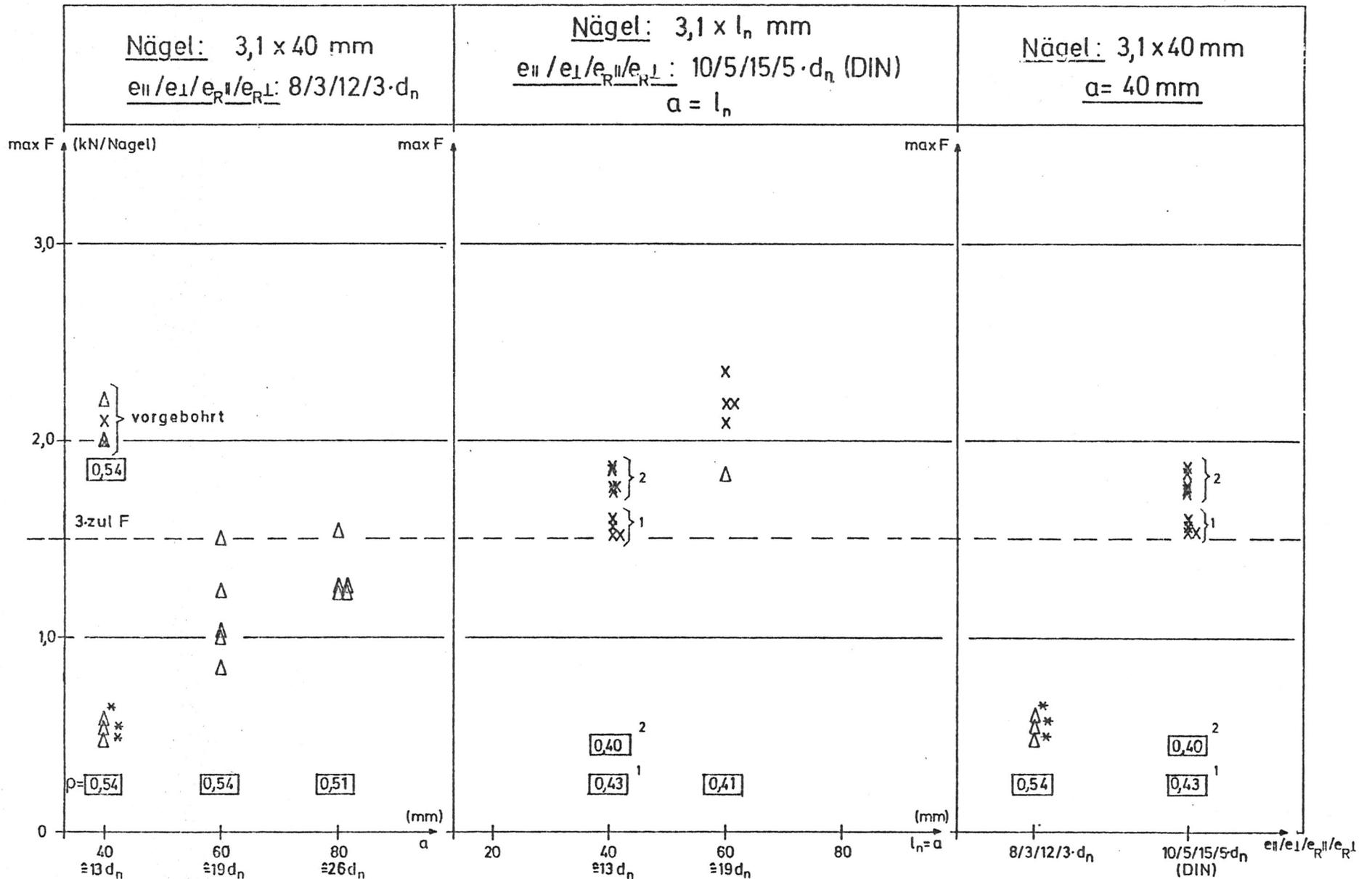
$$e_{||}/e_{\perp}/e_{R||}/e_{R\perp} = 12/5/20/5 \times d_n \quad (\text{III.3})$$

$$e_{||}/e_{\perp}/e_{R||}/e_{R\perp} = 12/5/15/5 \times d_n \quad (\text{III.4})$$

Versuchs- reihe	Nagel		Holz		Bruchwerte			zul. Werte/Nagel			
	$d_n$ [mm]	$l_n$ [mm]	a [mm]	$\rho_N$ [g/cm <sup>3</sup> ]	maxF [kN]	maxF/ Nagel [kN]	B -	zulF [kN]	$\delta_{zulF}$ [mm]	$F_{zul\delta}$ [kN]	v -
III 3.1	6,0	60	60	0,55	30,8	3,85	H	1,50	-	-	2,6
2				0,52	18,2	2,28	H		-	-	1,5
3				0,56	39,2	4,90	H		0,64	2,33	3,3
4				0,43	28,0	3,50	H		1,21	1,69	2,3
5				0,43	31,0	3,88	H		1,10	1,61	2,6
Mittel				0,50	29,4	3,68			0,98	1,88	2,5
III 4.1	6,0	60	90	0,40	31,3	3,91	N	1,50	-	-	2,6
2				0,41	37,6	4,70	N		-	-	3,1
3				0,55	58,2	7,28	N		0,35	2,97	4,9
4				0,55	55,6	6,95	N		0,35	2,75	4,6
5				0,55	54,6	6,83	N		0,46	2,50	4,6
Mittel				0,49	47,5	5,93			0,39	2,74	4,0

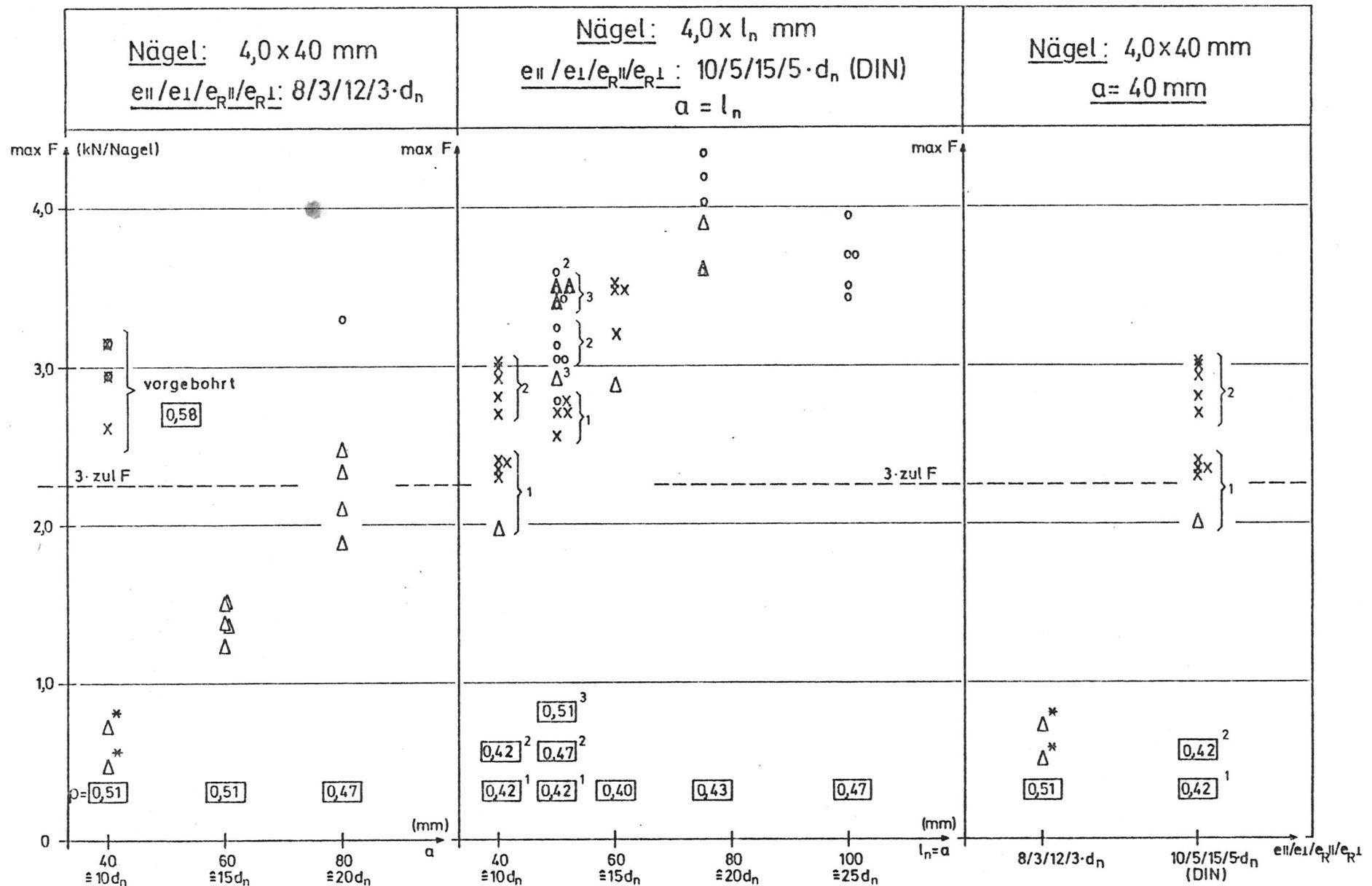
Bruchursache (B): N = Nägel herausgezogen

H = Holz aufgeplatzt



Bruchursache:  $\Delta$  Holz aufgeplatzt (\* schon bei Herstellung der Verbindung)  
 X Nägel herausgezogen

Bild 7: Versuchsergebnisse für Nägel  $\phi$  3,1 mm

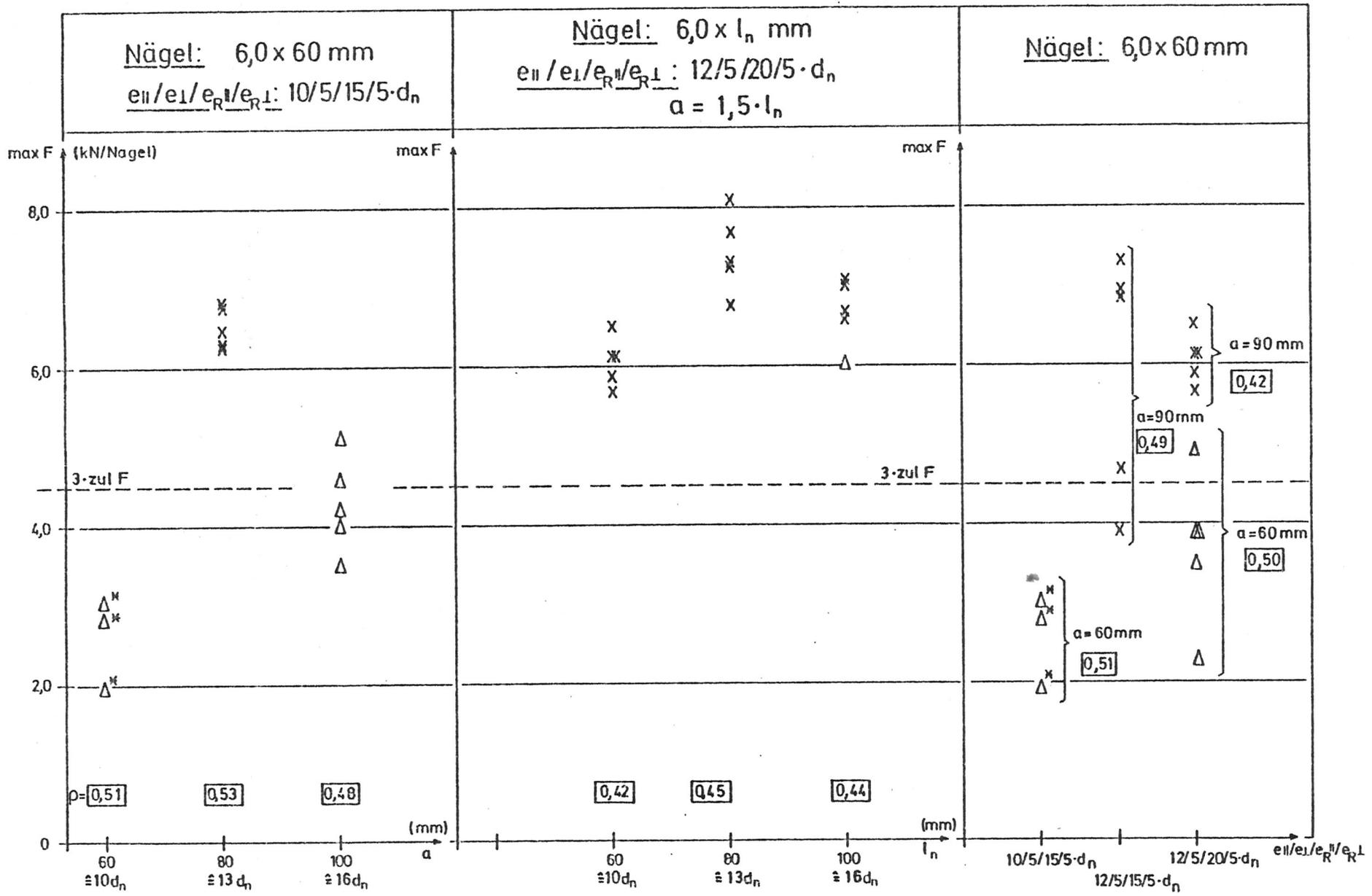


Bruchursache:  $\Delta$  Holz aufgeplatzt (\* schon bei Herstellung der Verbindung)

X Nägel herausgezogen

o Köpfe abgerissen

Bild 8: Versuchsergebnisse für Nägel  $\phi$  4,0 mm



**Bruchursache:** Δ Holz aufgeplatzt (<sup>N</sup> schon bei Herstellung der Verbindung)  
 X Nägel herausgezogen

**Bild 9:** Versuchsergebnisse für Nägel φ 6,0 mm