

FORSCHUNGSBERICHTE HOLZ

Heft 6

Über die Kraftübertragung
in Nagelverbindungen

Von

Dr.-Ing. G. Marten

Dr. Ing Georg Kersten
Berlin-Frohnau
Markgratenstraße 81

6 a

832-4

Verleger: Fachausschuß für Holzfragen, Berlin NW 7
An-Göring-Straße 27, Ingenieurhaus Fernruf: 11 00 35

832-4

Über die Kraftübertragung in Nagelverbindungen

Von

Dr.-Ing. G. Marten



Dr. Ing Georg Kersten
Berlin-Frohnau
Markgrafenstraße 81

Lehrstuhl für V 6/6
Ingenieurholzbau u. Baukonstruktionen
1940 Techn. Hochschule Karlsruhe
Prof. Dr.-Ing. K. Möhler

Alle Rechte, auch das der Übersetzung, vorbehalten

Herausgeber: Fachausschuß für Holzfragen beim Verein deutscher Ingenieure und
Deutschen Forstverein, Berlin NW 7, Ingenieurhaus

Lehrstuhl für
Ingenieurholzbau u. Baukonstruktionen
Universität (TH) Karlsruhe
Prof. Dr.-Ing. K. Möhler

FACHAUSSCHUSS FÜR HOLZFRAGEN

beim Verein deutscher Ingenieure und Deutschen Forstverein

Vorsitzender: Oberlandforstmeister Dr.-Ing.E.h.F.Gernlein
Geschäftsstelle: Oberforstmeister H.Raab · Dr.-Ing.W.Erdmann VDI
Anschrift: Berlin NW 7, Ingenieurhaus, Hermann-Göring-Strasse 27
Fernruf: 11 0035

Der Vertrieb der Veröffentlichungen des Fachausschusses für Holzfragen erfolgt durch den VDI-Verlag, Berlin NW 7. Sie sind durch jede Buchhandlung zu beziehen.

Inhalt

	Seite
I. Einleitung	1
II. Über Nachgiebigkeit und Festigkeit der Lochleibung	1
A) Begriff	1
B) Bisherige Untersuchungen über die Bettungsziffer	2
C) Eigene Versuche	3
1. Umfang der Versuche	3
2. Auswahl und Beschaffenheit des Holzes	4
3. Versuchsbedingungen	5
4. Abmessungen der Versuchsstücke	5
5. Versuchseinrichtung	6
6. Wahrscheinliche Verteilung der Leibungsdrücke bei Verwendung der unter II C ₅ beschriebenen Versuchseinrichtung	6
7. Versuchsdurchführung	8
8. Ergebnisse	8
a) Über die Grösse der Eindrückung mit wachsender Last	8
b) Über die Bettungsziffer $C = \frac{d \cdot p}{d_0}$	16
c) Einfluss verschiedener Nagelformen auf die Leibungsfestigkeit	18
III. Verteilung des Leibungsdrucks und der Biegebeanspruchung in Nagel- und Bolzenverbindungen	20
A) Vorhandene Erkenntnisse und Untersuchungen	20
B) Eigene Untersuchungen mit kurzen und langen Bolzen	22
1. Versuche über die Bettungsziffer	24
2. Versuche mit 2-schnittigen Bolzenverbindungen	25

	Seite
a) Versuchsanordnung	26
b) Durchführung der Versuche	26
c) Ergebnisse	27
d) Anwendung auf Nagelverbindungen . . .	29
IV. Zusammenfassung der Ergebnisse	34
A) Untersuchungen über Nachgiebigkeit und Festigkeit der Lochleibung	34
B) Untersuchungen über die Verteilung des Leibrungsdruckes und der Biegebeanspruchung in zweischnittigen Verbindungen	36
Schrifttum	37
Bildteil	39

V o r w o r t

Die vorliegende Arbeit wurde angefertigt in dem Bestreben, die Erkenntnisse über die Vorgänge in Nagelverbindungen zu vertiefen.

Die Durchführung der erforderlichen Versuche wurde ermöglicht durch die Unterstützung der Stiftung für Forschungen im Wohnungs- und Siedlungswesen und der Deutschen Forschungsgemeinschaft, denen ich an dieser Stelle meinen Dank sagen möchte. Die Versuche wurden im Institut für die Materialprüfungen des Bauwesens an der Technischen Hochschule Stuttgart unter Leitung von Herrn Professor Graf gemacht. Für seine mannigfachen Anregungen, durch die die Arbeit wesentlich gefördert wurde, schulde ich Herrn Professor Graf besonderen Dank.

I. Einleitung

In neuerer Zeit findet der Nagel (Drahtstift) als Verbindungsmittel im Ingenieurholzbau zunehmende Verwendung. Die Normen für Nagelverbindungen - enthalten in DIN 1052 - sind aus den Ergebnissen einfacher Bruchversuche entwickelt worden¹⁾.

Es erschien angezeigt, zu untersuchen, welche Formänderungen und welche Verteilung der Beanspruchungen in einer solchen Verbindung auftreten.

An der Kraftübertragung in der Nagelverbindung kann die Reibung zwischen den zu verbindenden Hölzern wesentlichen Anteil haben. Diese Reibung kann aber durch das Schwinden des Holzes ausfallen, so dass die Stifte mit ihrem Biege widerstand die Kräfte auf die Lochleibung übertragen müssen. Demgemäss wurde bei den nachfolgenden Untersuchungen der günstige Einfluss der Reibung nicht berücksichtigt.

Im einzelnen sollten über folgende Fragen Aufschlüsse gewonnen werden:

- 1) Wie ist die Nachgiebigkeit und die Festigkeit des Holzes an der Lochleibung zu beurteilen?
- 2) Wie ist der Leibungsdruck in einer Nagelverbindung verteilt und welche Biegebeanspruchungen können im Nagel entstehen?

II. Über Nachgiebigkeit und Festigkeit der Lochleibung

A) Begriff

Unter Lochleibungsdruck wird im folgenden die auf die Projektion des Nagelschaftes bezogene gleichmässig verteilt gedachte Spannung in kg/cm^2 verstanden. Die Nachgiebigkeit des Holzes an der Lochleibung ist festgelegt durch die Beziehung zwischen Spannung (Leibungsdruck) und Einsenkung. Bezeichnet man die Leibungsspannung mit p und die Eindrückung mit δ , so gibt die Bettungsziffer

$$c = \frac{d p}{d \delta} \left[\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right]$$

einen Aufschluss über die Eigenschaft der Leibung.

¹⁾ Stoy, Tragfähigkeit von Nagelverbindungen im Holzbau, Mitt.Fachausseh.f.Holzfragen Heft 11 (1935)

B) Bisherige Untersuchungen über die Bettungsziffer

Versuche über die Bettungsziffer im Ingenieurholzbau sind vorgenommen worden, um Unterlagen für die Berechnung von Bolzenverbindungen zu bekommen. Jackson²⁾ fand durch Eindringen eines 2 cm breiten Flachstahles in die ebene Holzfläche als Mittelwert aus 3 Versuchen

G wird mit steigender Belastung größer?

//	Faser bei einer Spannung von	
	0 - 100 kg/cm ²	C = 2443 kg/cm ³
	100 - 200 kg/cm ²	C = 3486 kg/cm ³
∟	Faser bei einer Spannung von	
	0 - 17,7 kg/cm ²	C = 1028 kg/cm ³
	17,7 - 33,8 kg/cm ²	C = 1100 kg/cm ³

Aus Versuchen von Graf³⁾, bei denen ein Rundeisen in vorgebohrte halbkreisförmige Rinnen eingedrückt wurde, errechnet Seitz⁴⁾ Werte von 1200 - 600 kg/cm³. Hier nimmt C mit zunehmender Belastung ab. Teichmann und Borkmann⁵⁾ liefern ausführliche Angaben über Grösse und Verlauf der Bettungsziffer ermittelt mit Bolzen von 1 - 2 cm Ø. Hiernach sind bei geringen Leibungsdrücken bei Beanspruchung // Faser Werte von C = rd 28000 kg/cm³ möglich. Bei wiederholter Be- und Entlastung wurde für C als Mittelwert 72000 kg/cm³ gefunden. Nach den Versuchen von Teichmann und Borkmann ist die Bettungsziffer linear abhängig vom Leibungsdruck und zwar nimmt sie mit zunehmender Belastung ab. Die in der Baustatik übliche Annahme einer konstanten Bettungsziffer wird also nicht bestätigt.

- 2) Ingenieur-Holzbau, Stuttgart 1921, S.55
- 3) Graf, Untersuchungen über die Widerstandsfähigkeit von Schraubenverbindungen in Holzkonstruktionen, Bauingenieur 1922
- 4) Seitz, Grundlagen des Ingenieur-Holzbaues, Verlag Springer, Berlin 1925, S.78
- 5) Teichmann und Borkmann, Versuche mit kurzen Bolzen in Holzbauteilen, 179. Bericht der Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt, DVL-Jahrbuch 1930, sowie Versuche mit langen Bolzen in Holzbauteilen, 232. Bericht, DVL-Jahrbuch 1931

Weitere Angaben finden sich bei Andersen⁶⁾, der bei einem Leibungsdruck p = 120 kg/cm² für C den Wert 2400 kg/cm³ angibt. (Fichtenholz, 14,6% Feuchtigkeitsgehalt, σ_d = 390 kg/cm² r = 0,49 g/cm³, Bolzen Ø 15 bis 30 mm)

C) Eigene Versuche

Da Angaben über die Bettungsziffer von Bolzen mit geringem Durchmesser nicht vorlagen, wurden eigene Versuche zur Ermittlung der Bettungsziffer bei Beanspruchung der Leibung durch dünne Stifte von 3,1 - 7,6 mm Ø gemacht.

Die Nagelverbindung des Ingenieurbaues wirkt in gleicher Weise wie die Bolzenverbindung. Bei beiden Arten werden die Kräfte - wenn man von der Reibung absieht - durch den Biege- und Verdrehwiderstand des Verbindungsmittels übertragen. Der wesentliche Unterschied zwischen beiden Arten besteht darin, dass das Verbindungsmittel bei der Nagelverbindung mit Gewalt eingetrieben wird, während es bei der Bolzenverbindung in das vorgebohrte Loch eingesetzt wird. Durch das gewaltsame Eintreiben des Nagels treten Änderungen der Beschaffenheit des Holzes ein. Durch die Sprengwirkung des Nagels werden die Fasern auseinander getrieben und die Festigkeitseigenschaften der Leibung verändert.

Um den Einfluss dieser Sprengwirkung festzustellen, wurden Versuche mit vorgebohrten Stiften und mit eingetriebenen Nägeln gemacht.

Da zu vermuten war, dass die Spaltwirkung sich bei einem engeringigen, schweren Holz anders auswirken würde als bei einem weitringigen, leichtem Holz, sind Versuche mit beiden Arten gemacht worden (Bild 1)⁺.

Ausserdem wurde unterschieden zwischen Beanspruchung // und ∟ zur Faser.

Anschliessende Versuche sollten den Einfluss verschiedener Nagelformen auf die Leibungsfestigkeit zeigen.

1. Umfang der Versuche

Von den in DIN 1052 angegebenen Nageldurchmessern von 2,8 bis 8,8 mm Ø sind die Durchmesser 3,1 4,6 6,0 und 7,6 mm ausgewählt worden. Nachstehende Tabelle zeigt das Versuchsprogramm.

6) Andersen, Untersuchungen über Bolzenverbindungen in Holzkonstruktionen, Bautechnik 1931, S.310

+) Bilder s. Bildteil S. 39

Tabelle 1

Ø mm	Holz "engringig"				Holz "weitringig"			
	eingetrieben		vorgebohrt		eingetrieben		vorgebohrt	
	//	⊥	//	⊥	//	⊥	//	⊥
3,1								
4,6			je 2 Versuche					
6,0								
7,6								

Es waren demnach für jede Holzart 32 Versuche durchzuführen. Hierzu kamen noch einige Versuche mit Nägeln, die eine besondere Spitzenform hatten.

2. Auswahl und Beschaffenheit des Holzes

Es wurde Fichtenholz verwendet mit einem Feuchtigkeitsgehalt von rd 15%. Die Bretter wurden solange gelagert, bis die Feuchtigkeit gleichmässig über den Querschnitt verteilt war.

Raumgewichte und Druckfestigkeiten der beiden Holzarten ergaben sich wie folgt:

Holz "engringig" : $r_{15} = 0,485 \text{ kg/dm}^3$ $\sigma_d = 455 \text{ kg/cm}^2$

Holz "weitringig" : $r_{15} = 0,401 \text{ kg/dm}^3$ $\sigma_d = 317 \text{ kg/cm}^2$

Um einwandfrei vergleichbare Ergebnisse zu erzielen, sind sowohl die Probestücke der Art "engringig", wie die der Art "weitringig" einer Bohle entnommen worden und zwar so, dass die unmittelbar zu vergleichenden Stücke in Faserrichtung hintereinander lagen.

3. Versuchsbedingungen

Um die zur Ermittlung der Bettungsziffer erforderlichen Spannungsdifferenzen $d p$ angeben zu können, ist eine möglichst gleichmässige Verteilung der Leibungsdrücke in Richtung der Nagelachse anzustreben. Es darf also unter der grössten Leibungsdruckung keine zu grosse Verformung des Nagels oder Bolzens auftreten. Dies kann durch entsprechende Wahl des Schlankheitsgrades

$\lambda = \frac{\text{Brettdicke}}{\text{Nageldicke}}$ annähernd erreicht werden. Je kleiner λ gewählt wird, umso gleichmässiger ist die Spannungsverteilung entlang der Nagelachse. Jedoch darf λ einen gewissen Wert nicht unterschreiten. Wählt man nämlich λ zu klein, so ergeben sich geringe Brettdicken. In diesem Fall wird der Anteil der Randfasern, deren Tragfähigkeit geringer sein wird als die der Mittelfasern, zu gross. Damit würde sich eine zu geringe Gesamttragfähigkeit ergeben. Ausserdem muss vermieden werden, dass beim Eintreiben der Nägel ein Spalten des Brettes auftritt. Das Spalten wird durch Wahl einer grösseren Brettdicke vermieden. Schliesslich ist es im Interesse der Versuchsgenauigkeit wünschenswert, eine möglichst grosse Leibungsfläche zu haben, so dass die aufzubringenden Lasten ein gewisses Maß nicht unterschreiten.

4. Abmessungen der Versuchsstücke

Für alle zu prüfenden Bretter wurde als Höhe $H = 24 \text{ cm}$ und als Breite $B = 10,5 \text{ cm}$ gewählt (vgl. Bild 2). Lediglich die Brettdicke a wurde entsprechend dem jeweiligen Nageldurchmesser geändert. Die Werte a und die Schlankheitsgrade λ sind in Tabelle 2 eingetragen.

Tabelle 2

Nagel Ø mm	3,1	4,6	6,00	7,60
Brettdicke a mm	15	28	32	32
Schlankheitsgrad λ	4,84	6,08	5,33	4,22

Zum Vergleich seien die praktisch üblichen und in DIN 1052 festgelegten Schlankheitsgrade angegeben. Sie liegen zwischen 6,5 und 10,5.

5. Versuchseinrichtung

Die Versuchskörper (Bild 2) wurden so hergestellt, dass ein kurzer Nagel bzw. Bolzen durch das zu prüfende Holz geschlagen wurde, bzw. nach Vorbohren des Loches eingesetzt wurde. Dann wurde der Nagel beiderseits mittels der Klemmplatten K an die Druckschenkel D gepresst. Diese stützten sich gegen die obere Druckplatte der Prüfmaschine. Durch kräftiges Anziehen der Klemmplatten wird eine Einspannung der Nagelenden bewirkt. Um diese Einspannung möglichst vollkommen zu machen, wurden zwischen Nagel und Klemmvorrichtung Aluminiumblechstreifen von rd 0,2 mm Dicke eingelegt. Hierdurch wurden kleine Bearbeitungsungenauigkeiten ausgeglichen. Nach Ausbau des Nagels aus der Versuchseinrichtung konnte aus der Verformung des Bleches festgestellt werden, dass der Nagel im Bereich der Klemmplatten überall angepresst war. Die Einspannwirkung war also gut. Das zu prüfende Holz stand mit einer plangeschliffenen Druckfläche auf dem Pressentisch. Die Messung der Eindrückungen des Nagels in das Holz erfolgte mit 2 Meßuhren, die mit 1/100 mm Teilung versehen waren, so dass 1/1000 mm noch geschätzt werden konnte. Die Meßuhren waren mittels besonderer Halter am Holz angeschraubt. Die Meßstifte drückten gegen die Klemmplatten unmittelbar unter dem Nagel. Durch Anordnung von 2 symmetrisch angebrachten Uhren wurden Meßfehler durch kippen des Brettes ausgeglichen.

Die beiden Druckschenkel sind durch die Stellschraube S miteinander verbunden. Hierdurch kann die Vorrichtung verschiedenen Brettdicken angepasst werden.

Zur Versuchsdurchführung wurde eine Prüfmaschine Bauart Anslers benutzt. Die Skala erlaubt Ablesungen von 5 kg.

6. Wahrscheinliche Verteilung der Leibungsdrücke bei Verwendung der unter II C₅ beschriebenen Versuchseinrichtung

Nimmt man die Einspannung voll wirksam an, so kann man die Verteilung der Spannungen angenähert wie folgt berechnen. Der Pfeil der Biegelinie des beiderseits eingespannten Trägers ist bei gleichmäßig verteilter Belastung:

$$f = \frac{P}{E \cdot J} \cdot \frac{l^3}{384}$$

Die genaue Biegelinie wird durch eine ähnliche sinusförmige Linie ersetzt, deren Amplitude gleich der nach obiger Formel errechneten Pfeilhöhe f sein soll (Bild 3). Nimmt man eine konstante Bettungsziffer C an, so ist die mittlere Eindrückung für den Nageldurchmesser d:

$$\delta_m = \frac{p}{C} = \frac{P}{l \cdot d \cdot C}$$

Die Randeindrückung ist:

$$\delta_R = \delta_m + f/2$$

Die Eindrückung in Bolzenmitte ist:

$$\delta_M = \delta_m - f/2$$

Bei konstanter Bettungsziffer gibt das Verhältnis der Eindrückungen zugleich das Verhältnis der Spannungen des Holzes an. Es verhält sich die Randspannung zur Spannung in Bolzenmitte wie

$$\frac{P_R}{P_M} = \frac{\delta_R}{\delta_M} = \frac{\delta_m + f/2}{\delta_m - f/2}$$

Für die unter Ziff. II C₄ in Tabelle 2 angegebenen Nägel und Abmessungen sind mit E = 2'100000 kg/cm² für die Bettungsziffern C = 10 000 kg/cm³ und C = 5000 kg/cm³ die Werte P_R : P_M berechnet worden und in Tabelle 3 zusammengestellt.

Tabelle 3

Nagel Ø mm	3,1	4,6	6,00	7,60	
$\lambda = \frac{\text{Brettdicke}}{\text{Nageldicke}}$	4,84	6,08	5,33	4,22	
P _R : P _M	C=10000 kg/cm ³	1,044	1,175	1,135	1,062
	C= 5000 kg/cm ³	1,022	1,083	1,064	1,030

Das Ergebnis besagt, dass im ungünstigsten Fall (Ø 4,6 mm; C = 10 000 kg/cm³) P_R um 17,5% grösser anzunehmen ist als P_M, und ferner dass bei hohen Bettungsziffern oder wenig nachgiebiger Bettung grössere Spannungsungleichheiten auftreten als bei niederen Werten für C, wie sie sich für eine leichter nachgebende Bettung ergeben.

7. Versuchsdurchführung

Die für die Versuche mit vorgebohrtem Loch erforderlichen Bohrungen wurden mit Spiralbohrern auf einer schnellaufenden Bohrmaschine hergestellt. Als Nagelmaterial wurde gezogener Thomas-Flußstahlstangendraht⁷⁾ verwendet. Die Nagelspitzen wurden angeschliffen, um für alle Nägel die gleiche Spitzenform zu bekommen.

Bei allen Versuchen wurde die Leibung nur einmal belastet. Die Belastung wurde in Stufen aufgebracht, derart, dass die Höchstlast mit etwa 10 bis 15 Stufen erreicht wurde. Auf jeder Laststufe wirkte die Last während 2 min. Es wurde die Eindrückung zu Anfang und zu Ende dieser Zeit abgelesen.

Bei höheren Belastungen trat ein Gleichgewichtszustand nicht mehr ein. Hier ist die Höhe der aufzubringenden Last erheblich von der Belastungsgeschwindigkeit abhängig.

Die Bilder 4, 5, 6 und 7 zeigen, welchen Einfluss die Belastungsdauer von 2 min je Laststufe auf die Grösse der Eindrückungen hat.

8. Ergebnisse

In den nachfolgend besprochenen Bildern 8 bis 23 sind jeweils gegenübergestellt 2 Versuche mit eingetriebenen Nägeln (E) und 2 Versuche mit vorgebohrten Nägeln (V).

Die Bilder zeigen rechts die Eindrückungen mit wachsender Belastung und links den zugehörigen Verlauf der Bettungsziffer.

Beim Vergleich der angegebenen Versuchsergebnisse ist zu beachten, dass den Versuchen mit grösserem Durchmesser grösseres Gewicht zukommt, als denen mit kleinerem Durchmesser. Bei den Versuchen mit $\varnothing 3,1$ mm war die Höhe der einzelnen Laststufen 10 kg. Das sind 1% des ganzen Prüfbereiches. Bei den Versuchen mit $\varnothing 7,6$ mm wurden die Laststufen zu 50 kg oder 5% des Prüfbereiches gewählt. Bei letzteren haben natürlich Fehler durch nicht genaues Einstellen der Belastung und durch Reibung in der Maschine nicht den grossen Einfluss, wie bei den Versuchen mit den dünnen Stiften.

a) Über die Grösse der Eindrückung mit wachsender Last

- α) Spannungs-Verschiebungslinien bei Kraftwirkung
// zur Faser (Bilder 8 bis 15)

Holz "engringig".

⁷⁾ Der Stangendraht wurde von der Gutehoffnungshütte A.-G. zur Verfügung gestellt.

Aus den Bildern 8, 9, 10 und 11 ersieht man, dass beim Nagel mit vorgebohrtem Loch - im folgenden mit V bezeichnet - die Eindrückungen kleiner sind als beim eingetriebenen Nagel - mit E bezeichnet -, wenn die Leibungsspannung p eine gewisse Grösse erreicht. Es ist z.B. in Bild 8 (Nagel mit $\varnothing 7,6$ mm) bei einer Spannung $p=100$ kg/cm² die Eindrückung δ der vorgebohrten Stifte nur rd 1/4 der Eindrückung des eingetriebenen Nagels der Reihe 1, oder nur rd 1/2 der Eindrückung des Nagels der Reihe 2.

Ähnliche Unterschiede zwischen E und V sind auch aus den Bildern 9, 10 und 11 zu ersehen.

Bei geringen Leibungsdrücken sind die Unterschiede zwischen E und V nicht sehr gross. (Bild 10) In einigen Fällen (Bild 9 und 11) wurden für die Eindrückung des eingetriebenen Nagels E kleinere Werte ermittelt als für den vorgebohrten Stift V. Diese Erscheinung ist auf Paßungenauigkeiten beim vorgebohrten Nagel zurückzuführen (vgl. später unter δ).

Die erzielbare grösste Leibungsfestigkeit betrug bei vorgebohrtem Loch etwa 350 kg/cm², d.s. rd 77% der Prismendruckfestigkeit. Bei eingetriebenen Nägeln wurden solche Widerstände erst erreicht bei Verschiebungen von mehr als 5 mm, wenn nicht vorher ein Aufspalten des Brettes auftrat.

Holz "weitringig".

Auch hier zeigen sich mit wachsenden Leibungsdrücken grosse Unterschiede zwischen E und V (s. Bilder 12, 13, 14 und 15).

Bei geringen Leibungsspannungen sind die Unterschiede gering oder nicht festzustellen (Bild 12 und 14). In Bild 13 ergeben sich bei geringen Spannungen für den vorgebohrten Stift der Reihe 2 grössere Eindrückungen als für eingetriebene Nägel, desgleichen in Bild 15 für den vorgebohrten Stift der Reihe 1, welche Erscheinung auf Paßungenauigkeit beruht.

Der grösste erzielbare Leibungsdruck war bei vorgebohrtem Loch rd 250 kg/cm², d.s. rd 79% der Prismendruckfestigkeit.

Um die Unterschiede zwischen E und V zahlenmässig zu belegen, ist die Summe der von den Stiften E und V bei einer Eindrückung $\delta = 0,5$ mm aufgenommenen Leibungsdrücke $\sum P_5$ aus 8 Einzelversuchen berechnet und das Verhältnis

$$\frac{\sum P_5 \text{ für Stifte E}}{\sum P_5 \text{ für Stifte V}} \text{ gebildet worden.}$$

Der Wert $\delta = 0,5$ mm für die Eindrückung wurde gewählt, weil bei praktisch üblichen Nagelverbindungen mit Eindrückungen von dieser Grösse zu rechnen ist.

Es ergibt sich für Holz "engringig":

$$\frac{\sum P_5 \text{ für E}}{\sum P_5 \text{ für V}} = \frac{1278}{2340} = 0,55$$

Holz "weitringig":

$$\frac{\sum P_5 \text{ für E}}{\sum P_5 \text{ für V}} = \frac{932}{1418} = 0,66$$

Es wurden hiernach bei weitringigem Holz für eingetriebene Nägel bei einer Eindrückung $\delta = 0,5$ mm verhältnismässig höhere Spannungen erzielt, als bei engringigem Holz. Demnach macht sich die "sprengende Wirkung" eingetriebener Nägel bei engringigem, schwerem Holz stärker bemerkbar, als bei weitringigem Holz, wenn die Eindrückungen Werte erreichen, wie sie praktisch vorkommen (rd 0,5 mm).

Die für eingetriebene Nägel bei weitringigem Holz erzielten Spannungen P_5 liegen jedoch noch unter den Werten, die für engringiges Holz erzielt wurden. Das Verhältnis ist:

$$\frac{\sum P_5 \text{ weitringig}}{\sum P_5 \text{ engringig}} = \frac{932}{1278} = 0,73$$

Bei vorgebohrtem Loch ist das Verhältnis:

$$\frac{\sum P_5 \text{ weitringig}}{\sum P_5 \text{ engringig}} = \frac{1418}{2340} = 0,61$$

Das Verhältnis der Prismendruckfestigkeiten beider Holzarten ist:

$$\frac{\sigma_d \text{ "weitringig"}}{\sigma_d \text{ "engringig"}} = \frac{317 \text{ kg/cm}^2}{455 \text{ kg/cm}^2} = \text{rd } 0,7$$

Die für eingetriebene Nägel erzielten Spannungen P_5 der Holzarten "engringig" und "weitringig" weichen somit nicht so sehr voneinander ab, wie dies bei Verwendung von vorgebohrten Stiften der Fall ist.

Es ist leicht vorzustellen, dass durch Eintreiben des Nagels die Leibungsfestigkeit // zur Faser ungünstig beeinflusst wird. Beim Einschlagen des Nagels werden die Fasern auseinander gedrängt und dadurch 2 Gleitflächen gebildet, auf denen der Nagel weniger Halt findet, als auf den Wandungen des gebohrten Loches. Die Kraftabgabe des eingetriebenen Nagels erfolgt zum grossen Teil durch die Reibung zwischen Holz und Nagel. Die Druckfestigkeit des Holzes // zur Faser kann nicht ausgenützt werden.

Wird das Loch vorgebohrt, so wird der Nagel durch die sauber abgeschnittenen Fasern gestützt. Hier wird die Druckfestigkeit des Holzes in viel stärkerem Masse zur Kraftübertragung herangezogen, als beim gewöhnlichen eingetriebenen Nagel.

β) Spannungs-Verschiebungslinien bei Beanspruchung \angle zur Faser (Bilder 16 - 23).

Holz "engringig".

In Bild 16 (\varnothing 7,6 mm) liegen die Linien für E zwischen den Linien für V. Bild 17 (\varnothing 6,0 mm) zeigt für E geringere Eindrückungen als für V. Die Überlegenheit von E gegenüber V bei kleinen Spannungen ist hier wieder auf die schon erwähnte Paßungsgenauigkeit zurückzuführen. In Bild 18 (\varnothing 4,6 mm) zeigt E für δ bei hohen Spannungen geringere Werte als V. In Bild 19 (\varnothing 3,1 mm) fallen die entsprechenden Linien für V und E annähernd zusammen. Beim vorgebohrten Stift der Reihe 1 ist wieder die Paßungsgenauigkeit zu erkennen.

Holz "weitringig".

Aus Bild 20 (\varnothing 7,6 mm) und 21 (\varnothing 6,0 mm) folgen für E geringere Eindrückungen als für V. Bild 22 (\varnothing 4,6 mm) zeigt keine wesentlichen Unterschiede zwischen E und V. In Bild 23 (\varnothing 3,1 mm) ergeben sich für V geringere Eindrückungen als für E.

Bilden wir wieder wie unter 8 a₄ die Werte $\sum P_5$ für die Stifte E und V so ergibt sich für Holz "engringig":

$$\frac{\sum P_5 \text{ für E}}{\sum P_5 \text{ für V}} = \frac{1434 \text{ kg/cm}^2}{1322 \text{ kg/cm}^2} = 1,09$$

und für Holz "weitringig":

$$\frac{\sum P_5 \text{ für E}}{\sum P_5 \text{ für V}} = \frac{962 \text{ kg/cm}^2}{888 \text{ kg/cm}^2} = 1,08$$

Das Ergebnis besagt, dass bei einer Eindrückung von 0,5 mm der eingetriebene Nagel bei engringigem wie bei weitringigem Holz eine etwas grössere Spannung aufgenommen hat als der Stift mit vorgebohrtem Loch.

Vergleicht man die für beide Holzarten erzielten Werte $\sum P_5$ so ergibt sich:

$$\frac{\sum P_5 \text{ weitringig}}{\sum P_5 \text{ engringig}} = \frac{962 \text{ kg/cm}^2}{1434 \text{ kg/cm}^2} = \text{rd. } \frac{888 \text{ kg/cm}^2}{1322 \text{ kg/cm}^2} = 0,67$$

Das Verhältnis der Prismendruckfestigkeiten beider Holzarten war 0,7 (vgl. S. 10). Angaben über die Höchstlast lassen sich bei Beanspruchung \perp zur Faser nicht machen. Ein Bruch mit schneller Zunahme der Verschiebung tritt nicht auf. Für die Grösse der zulässigen Leibungsspannung sind hier nur die Formänderungen massgebend.

γ) Vergleich eingetriebener Nägel (E) bei Kraftwirkung // und \perp zur Faser.

Bekanntlich wird in DIN 1052 bei der Berechnung von Nagelverbindungen ein Unterschied zwischen Kraftwirkung // und \perp zur Faser nicht gemacht. Es ist darum interessant, die Berechnung dieser Annahme an den vorliegenden Versuchsergebnissen nachzuprüfen.

Es werden wieder die entsprechenden Werte p_c verglichen, (vgl. 8 a \perp und δ). Für Holz "engringig" ergibt sich:

$$\frac{\sum P_5 //}{\sum P_5 \perp} = \frac{1278 \text{ kg/cm}^2}{1434 \text{ kg/cm}^2} = 0,89$$

Für Holz "weitringig" ergibt sich:

$$\frac{\sum P_5 //}{\sum P_5 \perp} = \frac{932 \text{ kg/cm}^2}{962 \text{ kg/cm}^2} = 0,97$$

Hiernach waren die bei einer Eindrückung von 0,5 mm erzielten Spannungen bei Kraftwirkung // zur Faser etwas geringer, als bei Kraftwirkung \perp zur Faser. Der Unterschied war am grössten bei engringigem Holz. Bei weitringigem Holz war der Unterschied verschwindend.

Das Ergebnis zeigt, dass die Berechnung nach DIN 1052, die einen Unterschied zwischen Belastung \perp und // zur Faser nicht macht, hinreichend zutreffend ist.

δ) Über die Paßungenauigkeit.

Paßungenauigkeiten liegen vor, wenn bei vorgebohrten Stiften Durchmesser der Bohrung und Durchmesser des Stiftes verschieden sind. Es sind zu unterscheiden:

- 1) Stiftdurchmesser < Durchmesser der Bohrung
- 2) Stiftdurchmesser > Durchmesser der Bohrung.

Im ersten Fall kann - wenn der Stift bei Versuchsbeginn nicht an der Leibung anliegt - eine Verschiebung eintreten, ohne dass eine Kraftaufnahme erfolgt. Erst nach Eintreten einer gewissen Verschiebung kommt der Stift zum Anliegen und zum Tragen.

In den Spannungs-Verschiebungslinien ist dies zu erkennen an einer sehr grossen Zunahme der Werte δ bei Beginn der Belastung. Mit wachsender Beanspruchung erfolgt die Zunahme der Verschiebungen langsamer (Bilder 9, 13 und 17 - sämtlich für δ 6,0 mm - und Bilder 11, 15, 19 und 23 - sämtlich für δ 3,1 mm).

Eine Paßungenauigkeit infolge eines zu kleinen Stiftdurchmessers muss sich nicht bei jedem Versuch in der eben angegebenen Form anzeigen. Liegt der Stift bei Versuchsbeginn schon an der tragenden Leibungsseite an, so tritt die erwähnte Verschiebung ohne Spannungsaufnahme nicht ein. Es wurde darum in den vorstehend erwähnten Abbildungen auch nicht bei jedem der zwei zusammengehörenden Versuche V die grosse Anfangsverschiebung festgestellt.

Bei den in Bild 11, 15, 19 und 23 dargestellten Kurven war der Durchmesser der verwendeten Nägel 3,1 mm, während die Bohrungen einen Durchmesser von 3,2 mm hatten. Die in Bild 9, 13 und 17 dargestellten Versuchsergebnisse wurden mit Nägeln von 6,0 mm δ erzielt. Der Durchmesser des für die Herstellung der Bohrungen verwendeten Spiralbohrers war ebenfalls 6,0 mm. Es ist jedoch damit zu rechnen, dass trotz grösster Sorgfalt bei der Herstellung der Bohrung diese einen etwas grösseren Durchmesser hat als der Bohrer selbst.

In Bild 11, 15, 19 und 23 sind für den Nagel mit $\varnothing 3,1$ mm die Paßungenauigkeiten ermittelt worden. Hierzu sind die Kurven, bei denen Unstetigkeiten im unteren Bereich vorliegen, so ergänzt worden, dass gleichmässig verlaufende Kurven entstehen, wie sie sich vermutlich ergeben würden, wenn Paßungenauigkeiten nicht vorhanden sind.

Es fanden sich für $\varnothing 3,1$ mm

in Bild 11 für Reihe 2	0,03 mm
in Bild 15 für Reihe 1	0,05 mm
in Bild 19 für Reihe 1	0,03 mm
in Bild 23 für Reihe 1	0,03 mm

für $\varnothing 6,0$ mm wurden gefunden

in Bild 13 für Reihe 2	0,010 mm
in Bild 17 für Reihe 1	0,030 mm

Kommt der Stift zum Anliegen an die Leibung, so berührt er diese nicht mit seinem ganzen Umfang, sondern theoretisch nur in einer Geraden. Infolge der hierdurch grösseren Flächenpressung wird der Nagel zunächst leicht in die Leibung eindringen und die Eindrückungen werden verhältnismässig gross werden, d.h. die Steigung der p, δ -Linie wird gering sein. Nachdem eine entsprechende Eindrückung in das Holz erfolgt ist, trägt ein grösserer Teil der Leibungsfläche wonach die Zunahme der Eindrückungen langsamer erfolgen wird als bei Beginn des Versuches. Aus den Kurven für p und δ ist dieses kaum zu ersehen. Doch zeigt die Betrachtung der Kurven für die Bettungsziffer

$$C = \frac{d \cdot p}{d \cdot \delta} \quad (\text{vgl. Ziff. 8 b}),$$

welche die Steigung der Spannungsverschiebungslinien anzeigen, dass eine Zunahme von C - d.h. eine grössere Steigung der Spannungsverschiebungslinien - zu erkennen ist, wenn der Durchmesser des Stiftes kleiner ist als der der Bohrung.

Die zum Stift $\varnothing 7,6$ mm gewählte Bohrung ma β 7,5 mm. Es ist anzunehmen, dass in diesem Fall die Eindrückungen bei Versuchsbeginn kleiner sind als bei genau passendem Stift, (vgl. III B₁).

ε) Einfluss verschiedener Durchmesser.

Zur Beurteilung des Einflusses der Nageldurchmesser sind in den Bildern 24 und 25 die mit den verschiedenen Durchmessern erzielten Leibungsspannungen p_5 aufgetragen worden (p_5 = Spannung bei der Eindrückung $\delta = 0,5$ mm; vgl. 8 a \angle). Die Spannung p_5 wurde

als Vergleichsspannung gewählt, weil die Höchst- (Bruch-) spannungen - besonders bei Belastung \angle zur Faser - nicht genau festgelegt werden können (vgl. 8 a β).

Bild 24 zeigt die Ergebnisse für Holz "engringig". Bei Kraftwirkung $//$ zur Faser ist für vorgebohrte Stifte eine Charakteristik nicht zu erkennen. Die geringen Werte p_5 für $\varnothing 4,6$ mm sind bedingt durch die grosse Schlankheit dieses Stiftes (vgl. Ziff. II C₆, Tabelle 3). Ebenso macht sich beim Durchmesser 6,0 mm die gegenüber den Durchmessern 3,1 und 7,6 mm grössere Schlankheit bemerkbar. Bei eingetriebenen Nägeln ist mit zunehmendem Durchmesser ein Absinken der aufgenommenen Leibungsdrücke zu erkennen.

Für Belastung \angle zur Faser fand sich für vorgebohrte Stifte eine Abnahme für p_5 mit wachsendem Nageldurchmesser, desgleichen für eingetriebene Nägel.

Die mit weitringigem Holz erzielten Ergebnisse sind in Bild 25 dargestellt.

Bei Belastung $//$ zur Faser fand sich für vorgebohrte Stifte Abnahme von p_5 mit wachsendem Durchmesser. Die grössere Schlankheit der Stifte mit $\varnothing 4,6$ mm und mit $\varnothing 6,0$ mm macht sich hier nicht sehr bemerkbar wegen der grösseren Nachgiebigkeit des Holzes (vgl. Ziff. II C₆).

Für eingetriebene Nägel des gleichen Belastungsfalles ergab sich kein eindeutiges Ergebnis. Die Nägel mit dem Durchmesser von 3,1 mm nehmen nur geringe Spannungen auf. Mit zunehmendem Durchmesser steigen die Werte p_5 zunächst an, um bei dem Nagel mit $\varnothing 7,6$ mm wieder abzufallen. Es ist anzunehmen, dass die geringen Leibungsspannungen des Nagels mit $\varnothing 3,1$ mm dadurch bedingt sind, dass beim Eintreiben des Nagels der Reihe 1 und der Reihe 2 eine besonders starke Spaltwirkung aufgetreten ist. Durch Augenschein ist ein Spalten des Brettes beim Eintreiben jedoch nicht festgestellt worden.

Für Kraftwirkung \angle zur Faser wurde eine Abnahme der Spannungen p_5 mit zunehmendem Nageldurchmesser beobachtet.

Die vorliegenden Ergebnisse besagen, dass bei Beanspruchung \angle zur Faser der Nagel mit kleinem Durchmesser geringere Eindrückungen liefert als der mit grossem Durchmesser, wenn beide den gleichen Leibungsdruck ausüben. Bei Beanspruchung $//$ zur Faser scheinen die Verhältnisse ähnlich zu sein.

Die Bilder 24 und 25 zeigen ferner, dass zwischen eingetriebenen Nägeln, die $//$ zur Faser gedrückt werden, und Nägeln, die \angle zur Faser wirken, keine sehr grossen Unterschiede bestehen (vgl. Ziff. 8 a γ).

b) Über die Bettungsziffer $C = \frac{d \cdot p}{d \cdot \delta}$

Die Kurven für C sind aus den unter a) beschriebenen Spannungsverschiebungslinien durch Bildung der Quotienten $\frac{d \cdot p}{d \cdot \delta}$ abgeleitet worden. Hierbei sind für $d \cdot \delta$ die Eindrückungen eingesetzt worden, die sich nach einer Belastungsdauer von 2 min/Laststufe ergeben haben.

Im folgenden ist zur Abkürzung gesetzt:

Bettungsziffer für vorgebohrte Stifte = C_V

Bettungsziffer für eingetriebene Nägel = C_E

α) C bei Belastung // zur Faser (Bilder 8 - 15)

Holz "engringig".

In Bild 8 (Ø 7,6 mm) nimmt C_V mit zunehmender Spannung etwa linear ab. Die Abnahme der Werte C_E erfolgt mit zunehmender Belastung erheblich schneller als für C_V . Es fanden sich z.B. als Mittelwerte bei

- p = 100 kg/cm²
- C_V = 15000 kg/cm³
- C_E = 2500 kg/cm³

In Bild 9 (Ø 6,0 mm) zeigt C_E einen ähnlichen Verlauf wie in Bild 8. Die Werte C_V wachsen zunächst mit zunehmendem p, um etwa bei p=100 kg/cm² einen Höchstwert zu erreichen. Die Zunahme von C_V mit steigender Belastung rührt her von der Paßungsgenauigkeit zwischen Stift und Bohrung (vgl. Ziff. 8aδ).

Die C-Linien des Bildes 10 (Ø 4,6 mm) zeigen für C_V annähernd gleiche Werte bis p=150 kg/cm². C_E kann bis zur Spannung p=100 als gleich angenommen werden.

In Bild 11 (Ø 3,1 mm) zeigt sich für C_V mit wachsender Spannung eine Zunahme als Folge der Paßungsgenauigkeit. C_V steigt von rd 8000 kg/cm³ bei Beginn der Belastung auf rd 13000 kg/cm³ bei p=150 kg/cm². Ein Versuch mit 3,00 mm Bohrung und einem Stift von 3,1 mm Ø lieferte für C als Anfangswert 21500 kg/cm³. Hier war eine grosse Anfangsverschiebung ohne Kraftaufnahme oder infolge grosser spezifischer Flächenpressung - hervorgerufen durch einen zu kleinen Durchmesser des Stiftes - nicht möglich.

Holz "weitringig".

Bild 12 (Ø 7,6 mm) zeigt für C_V etwa proportional mit p abnehmenden Verlauf. Die Werte für C_E nehmen sehr viel schneller ab.

Die Bilder 13 (Ø 6,0 mm) und 14 (Ø 4,6 mm) zeigen bis zu p = 50 kg/cm² keine ausgeprägten Unterschiede zwischen C_V und C_E . Für p > 50 kg/cm² sind bei beiden Nageldicken die Werte für C_V grösser als die für C_E .

Sehr abweichende Kurven für C_V und C_E fanden sich für dem Durchmesser 3,1 mm (Bild 15). Die Werte C_E sind hier verglichen mit den entsprechenden Werten für die Durchmesser 4,6, 6,0 und 7,6 mm sehr niedrig, d.h. die Nachgiebigkeit ist gross (vgl. die Erklärung unter 8 aδ).

β) C bei Belastung ⊥ zur Faser (Bilder 16 - 23).

Holz "engringig".

Bild 16 (Ø 7,6 mm) zeigt für C_V und C_E mit zunehmender Spannung p linear abnehmende Werte.

Nach Bild 17 (Ø 6,00 mm) ergibt sich für C_E gleichfalls gradliniger Verlauf. Bei C_V macht sich bis p = 75 kg/cm² wieder die Paßungsgenauigkeit bemerkbar.

Für den Durchmesser 4,6 mm (Bild 18) liegen sowohl C_V wie auch C_E angenähert auf einer Geraden.

Bild 19 (Ø 3,1 mm) zeigt bis p = 100 kg/cm² geringes Wachsen der Werte C_V und C_E .

Holz "weitringig".

In den Bildern 20 (Ø 7,6 mm), 21 (Ø 6,0 mm) und 22 (Ø 4,6 mm) zeigt C mit zunehmendem p etwa gleichmässig abnehmende Werte.

In Bild 23 (Ø 3,1 mm) sind C_V der Reihe 1 und 2 sowie C_E der Reihe 2 bis zur Spannung p=80 kg/cm² als gleich anzunehmen. Für C_E der Reihe 1 fanden sich geringere Werte.

Die vorliegenden Ergebnisse zeigen, dass C für eingetriebene Nägel im allgemeinen keine Konstante ist, sondern mit wachsender Belastung abnimmt.

Nimmt man C als konstant an, so ist dies nur für einen begrenzten Eindrückungsbereich zulässig.

c) Einfluss verschiedener Nagelformen auf die Leibungsfestigkeit.

Die nachstehend beschriebenen Versuche sollen Aufschluss geben über die Möglichkeit der Verbesserung der Leibungseigenschaften // zur Faser durch geeignete Ausbildung der Nagelspitze.

Es wurden folgende Nagelformen miteinander verglichen (Bild 26).

- 1) Nagel mit normaler Spitze
- 2) Nagel mit Kreuzschneide⁸⁾
- 3) Nagel mit Kreuzschneide, Schneiden unter 45° abgeschrägt
- 4) Nagel mit 3-teiliger Schneide, Schneiden unter 45° abgeschrägt

Die Nägel wurden gefeilt. Die Schneiden wurden nicht messerscharf gemacht, sondern durch einen leichten Feilenstrich auf rd 0,2 mm Breite abgestumpft.

Es wurden Versuche gemacht mit Nägeln Ø 6,00 mm und Holz "engringig". Die Abmessungen der Versuchsstücke waren wie unter Ziff. II C₄ angegeben.

Zur Wahl der Nagelformen sei folgendes bemerkt.

Die Spaltwirkung des normalen Nagels führt zu einer Minderung der Leibungsfestigkeit // zur Faser. Will man letztere erhöhen, so kann dieses erreicht werden durch Verminderung der Spaltwirkung. Es wurde darum zunächst die Form 2 untersucht, bei der ein Spalten am wenigsten zu befürchten war.

Bild 27 zeigt die Spaltwirkung des Nagels mit Kreuzschneide, verglichen mit einem normalen Nagel. Trotz des auf die Hälfte herabgesetzten Randabstandes tritt bei ersterem kein Spalten ein.

Versuche nach Bild 2 mit dieser Ausführung zeigten⁹⁾ aber nicht den gewünschten Erfolg. Vergleicht man in Bild 28 die Kurven für den Nagel der Form 2 mit der für den gewöhnlichen Nagel (Form 1), so sind keine grossen Unterschiede festzustellen. Die bei einer Eindrückung δ = 0,5 mm aufgenommenen Spannungen p₅ sind

für Nagelform 1 : 150 kg/cm²
 für Nagelform 2 : 160 kg/cm²

8) Stroer, Z.VDI (1933) S.13 u.f.

9) Die in Bild 28 aufgetragenen Kurven sind durch Mittelbildung aus 2 Versuchen gewonnen.

Bild 29 zeigt, warum bei Form 2 trotz geringerer Spaltwirkung gegenüber der Form 1 keine besseren Leibungseigenschaften als bei Form 1 zu erwarten sind.

Beim Eintreiben des Nagels werden die Fasern nicht durchschnitten, sondern herausgerissen, so dass die Nachgiebigkeit der Lochleibung gross wird.

Nach Abänderung der Form 2 in Form 3 liessen sich bei richtiger Stellung der Schneiden zur Faser bessere Ergebnisse erzielen. Bild 29 zeigt, dass die Fasern von den schräg an ihnen vorbeigleitenden Schneiden sauber durchschnitten werden. Eine Verbesserung der Leibungseigenschaften tritt aber nur ein, wenn die Schneiden im Winkel von 90° bzw. 0° zur Faserrichtung stehen (Bild 28). Bilden die Schneiden Winkel von 45° zur Faserrichtung, so ist der Unterschied gegenüber Form 1 unbedeutend. Die bei δ = 0,5 mm aufgenommenen Spannungen p₅ sind

für Winkel zwischen Schneiden und Fasern
 von 0 bzw. 90° : 185 kg/cm²
 für Winkel von 45° : 150 kg/cm²

Versuche mit Form 4 ergaben, dass hier die Stellung der Schneiden zur Faser ohne erkennbaren Einfluss ist (Bild 28). Alle 3 Möglichkeiten zeigen eine Verbesserung gegenüber Form 1. Für δ = 0,5 mm fanden sich für p₅ im Mittel (186 + 194 + 200) : 3 = 193 kg/cm². Bild 30 zeigt die geringere Spaltwirkung dieser Nagelform gegenüber Form 1.

Für vorgebohrte Stifte fand sich p₅ zu 286 kg/cm². Anschliessend wurden mit Form 1, 2 und 4 Ausziehversuche gemacht. Hierzu wurden die Nägel in lufttrockenes Holz (u = 15%) geschlagen und unmittelbar nach dem Einschlagen mit einer Zerreiassmaschine gezogen.

Als Mittelwert aus 3 Versuchen ergaben sich für Nägel mit 6 mm Ø bei 8 cm Eindringtiefe:

Normaler Nagel (Form 1) $\frac{350 + 400 + 440}{3} = 397 \text{ kg}$
 Nagel mit Kreuzschneide (Form 2) $\frac{165 + 158 + 170}{3} = 164 \text{ kg}$
 Nagel mit 3-teiliger Schneide
 Schneiden abgeschrägt (Form 4) $\frac{277 + 333 + 371}{3} = 327 \text{ kg}$

Es verhalten sich:

Form 1 : Form 2 : Form 4 = 1 : 0,41 : 0,825.

Es ist demnach möglich, die Leibungseigenschaften // zur Faser zu verbessern durch Verwendung einer Nagelform mit abgeschrägten Schneiden. Hierdurch werden die Fasern durchschnitten, wodurch die Spaltwirkung herabgesetzt wird. Der Ausziehungswiderstand ist geringer als der gewöhnlicher Nägel.

Nach Abschluss der unter 8 c beschriebenen Versuche bekam der Verfasser Kenntnis von einer im Jahre 1902 patentamtlich geschützten Nagelform (Bild 31). Diese Erfindung betrifft Nägel mit gekrümmten Schneidkanten, welche die Fasern durchschneiden und ein Spalten verhindern sollen. Der Grad der Krümmung soll von den Abmessungen abhängig gemacht werden. Es werden 3 oder mehr Schneiden vorgeschlagen.

Die Wirkungsweise dieser Nagelform dürfte ähnlich sein wie die der Formen 3 und 4.

III. Verteilung des Leibungsdrucks und der Biegebeanspruchung in Nagel- und Bolzenverbindungen.

A) Vorhandene Erkenntnisse und Untersuchungen

Ein Nagel oder Bolzen wirkt statisch wie ein elastisch gestützter Träger. Will man Angaben über die Verteilung der Leibungsdrücke und die Momentenbeanspruchung machen, so müssen die elastischen Eigenschaften des Verbindungsmittels und die Nachgiebigkeit des Holzes bekannt sein. Ferner sind Annahmen zu machen über die Lage der resultierenden Kraft im Einzelholz.

Handelt es sich um eine einschnittige Verbindung, so erfordert die statische Gleichgewichtsbedingung, dass die Summe der Momente um den Punkt $S = 0$ wird (vgl. Bild 32 a). Die resultierende Kraft P liegt also in der Fuge zwischen beiden Hölzern.

Bei einer 2-schnittigen Verbindung, bei welcher die Kräfte durch Stahllaschen eingeleitet werden, ist die Lage von P hinreichend bekannt (vgl. Bild 32 b).

10) Kaiserliches Patentamt, Patentschrift Nr. 135078 vom 5. November 1902, Erfinder: Haß.

Bei 2-schnittiger Verbindung mit Laschenhölzern (Bild 32c) muss P nicht unbedingt in der Fuge zwischen Seitenholz und Mittelholz liegen. Aus Versuchen von Graf¹¹⁾, Jackson¹²⁾, Schächterle¹³⁾, Stoy¹⁴⁾ geht hervor, dass die Biegelinie des Verbindungsmittels in der Berührungsfuge Wendepunkte aufweist, wenigstens bei hohen Belastungen. Versuche von Stamer¹⁵⁾ lassen vermuten, dass diese Erscheinung auch schon bei geringeren Belastungen auftritt. An diesen Wendepunkten liegen Momentennullpunkte, hier greifen also die Resultierenden an.

Jackson¹⁶⁾ berechnet unter Anwendung eines von Schmidtmann¹⁷⁾ angegebenen Näherungsverfahrens zur Berechnung elastisch gestützter Träger die in 2-schnittigen Bolzenverbindungen auftretende Spannungsverteilung. Hierbei wird die Bettungsziffer C als konstant angenommen. Als Randspannungshöchstwerte werden Leibungsdrücke ermittelt, die 50 bis 55% über der Prismendruckfestigkeit liegen. Diese errechneten Werte können in Wirklichkeit nicht auftreten, wie spätere Versuche von Teichmann-Borkmann¹⁸⁾, Andersen¹⁹⁾ und Graf²⁰⁾ gezeigt haben. Seitz²¹⁾ untersucht wiederum unter Anwendung des Schmidtmannschen Verfahrens den Einfluss einer Verschiebung der Resultierenden P aus der Berührungsfuge heraus. Schrenk und v. Pilgrim²²⁾ untersuchten 2-schnittig beanspruchte Bolzen, bei denen die Kräfte durch 2 Stahllaschen eingeleitet wurden.

- 11) Graf, Bauing. Bd. 3 (1922) S. 100, 141 und Graf in Baumann-Lang, "Das Holz als Baustoff", 2. Aufl. (1927), S. 132
- 12) Jackson, Ingenieur-Holzbau, Stuttgart 1921
- 13) Schächterle, Versuche über Bauholzverbindungen, Holzbau 1921
- 14) Stoy, Tragfähigkeit von Nagelverbindungen im Holzbau, Mitt. Fachsussch.f. Holzfragen Heft 11 (1935) S. 23
- 15) Stamer, Z. VTI (1932) S. 887
- 16) Jackson, Ingenieur-Holzbau, Stuttgart 1921
- 17) Schmidtmann, Beitrag zur Ermittlung von Fundamentpressungen, Stuttgart 1920, Konrad Wittwer
- 18) s. Fussnote 5 S. 2
- 19) Andersen, Untersuchungen über Bolzenverbindungen in Holzkonstruktionen, Bautech. (1931) S. 305
- 20) Graf, Bauing. Bd. 3 (1922) S. 100, 141 und Graf in Baumann-Lang, "Das Holz als Baustoff", 2. Aufl. (1927) S. 132
- 21) Seitz, Grundlagen des Ingenieur-Holzbaues (1925) S. 75 u. f.
- 22) 114. Bericht der Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt "Die Festigkeit von Bolzen in Holzbauteilen" 1928

Teichmann und Borkmann²³⁾ berechnen für 2-schnittig beanspruchte Bolzen mit Stahlflaschenanschluss Leibungsdruckverlauf und Biegebeanspruchung, nachdem die elastischen Eigenschaften des Verbindungsmittels und die Nachgiebigkeit des Holzes (Bettungsziffer) durch Versuche ermittelt sind. Bei dieser Berechnung ist C nicht als konstant angenommen. Die Rechnung wird dadurch sehr umständlich.

B) Eigene Untersuchungen mit kurzen und langen Bolzen

Hauptziel der Untersuchungen war, festzustellen, ob bei nach DIN 1052 bemessenen Nagelverbindungen plastische Verformungen des Nagels auftreten, wenn der Einfluss der Reibung zwischen den Hölzern ausfällt. Eine unmittelbare versuchsmässige Lösung dieser Frage bietet grosse Schwierigkeiten, da Messungen der Formänderungen in Nagelverbindungen wegen der kleinen Abmessungen kaum durchführbar sind.

Zur rechnerischen Lösung dieser Frage steht zur Verfügung das Näherungsverfahren von Schnidtmann und der von Teichmann-Borkmann angegebene Weg. Letzterer ist sehr umständlich, besonders bei einschnittiger Beanspruchung. Das Verfahren von Schnidtmann setzt eine konstante Bettungsziffer voraus. Wie unter II der vorliegenden Arbeit ausgeführt wurde, ist C im allgemeinen über grössere Verschiebungsbereiche nicht konstant. Der Anwendungsbereich des Verfahrens ist darum beschränkt. Wegen seiner Einfachheit wird es aber trotzdem herangezogen.

Die Grundzüge des Verfahrens seien kurz angeführt: Während die strenge Theorie des Trägers auf elastischer Bettung fordert²⁴⁾, dass die Linie der Eindrückungen in jedem Punkt mit der elastischen Linie des Stabes zusammenfällt, begnügt sich Schnidtmann mit einer Übereinstimmung beider Linien an einigen ausgezeichneten Punkten und ersetzt die Linie der Eindrückungen durch eine der elastischen Linie möglichst ähnliche mathematisch bequem zu behandelnde Kurve, deren Lage durch die Forderung des statischen Gleichgewichts festgelegt wird.

Für den mit einer Einzellast ausserhalb der Trägermitte beanspruchten Träger (vgl. Bild 33) wählt Schnidtmann als Ersatzlinie für die Spannungsverteilung die Gleichung zweiten Grades:

23) Teichmann und Borkmann, 232. Bericht der Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt, "Versuche mit langen Bolzen in Holzbauteilen" 1931.

24) Hayashi, Theorie des Trägers auf elastischer Unterlage, Berlin 1921.

$$p_x = C \cdot \delta = a + b x + c x^2 \quad (1)$$

Die Konstanten a, b und c berechnen sich für den Sonderfall $n = 0$ aus:

$$a = \frac{P}{l} \cdot \frac{32 \cdot N + 0,131}{8 \cdot N + 0,015} \quad (2)$$

$$b = -\frac{P}{l^2} \cdot \frac{48 \cdot N + 0,508}{8 \cdot N + 0,015} \quad (3)$$

$$c = \frac{P}{l^3} \cdot \frac{0,417}{8 \cdot N + 0,015} \quad (4)$$

In den Gleichungen (2), (3) und (4) ist

$$N = \frac{S}{l^4} = \frac{E \cdot J}{C \cdot l^4}$$

worin C die Bettungsziffer in kg/cm^3 ,
 J das Trägheitsmoment in cm^4 ,
 E das Elastizitätsmaß des Bolzens in kg/cm^2 und
 l die Stützweite d.h. die Holzdicke in cm bedeuten.
 J und P sind auf die Breite "1" bezogen.

Für den Träger mit zwei gleich grossen symmetrisch gelegenen Lasten (vgl. Bild 34) lautet die Ersatzlinie nach Schnidtmann:

$$p_x = a - cx \quad (l-x) \quad (5)$$

Die Konstanten c und a berechnen sich für

$$\eta = 0 \quad (\text{vgl. Bild 34}) \text{ aus}$$

$$c = \frac{Q}{l^3} \cdot \frac{12}{0,220 + 115,2 \cdot N} \quad (6)$$

$$a = \frac{Q}{l} \frac{230,4 \cdot N + 2,44}{0,220 + 115,2 \cdot N} \quad (7)$$

N hat die gleiche Bedeutung wie in den Gleichungen 2 bis 4.

Durch Versuche sollten folgende Fragen geklärt werden:

- 1) Sind die unter Ziff. A angeführten Annahmen über die Lage der resultierenden Kraft im Einzelholz auch bei geringen Beanspruchungen zulässig?
- 2) Inwieweit entspricht die Annahme einer parabolischen Lastverteilung der wirklichen Lastverteilung?

Hierzu wurden Versuche mit 2-schnittigen Bolzenverbindungen gemacht.

Um die Versuchsergebnisse mit den Rechnungsergebnissen vergleichen zu können, musste die der Rechnung zu Grunde liegende Voraussetzung einer konstanten Bettungsziffer auch bei den Versuchen zutreffen. Es musste also versucht werden, ein Holz zu finden, bei dem das Spannungs-Verschiebungsbild des kurzen Bolzens - ermittelt mit der in Bild 2 dargestellten Vorrichtung - etwa linearen Verlauf hatte. Ferner mussten Durchmesser des Bolzens und Durchmesser der Bohrung möglichst übereinstimmen, damit der Bolzen schon bei Beginn der Belastung gleichmässig an der Leibung anlag.

1) Versuche über die Bettungsziffer

Es wurde ein Holz mit folgenden Eigenschaften gewählt:

Feuchtigkeitsgehalt	15,2 %
Raumgewicht	0,43 kg/dm ³
Prismendruckfestigkeit	345 kg/cm ²

Die Prüfung erfolgte mit der Vorrichtung nach Bild 2 wie unter Ziff. I C 7 angegeben. Es wurden folgende Durchmesser untersucht:

- a) Bolzen \varnothing 23,00 mm und Bohrung \varnothing 22,00 mm
- b) Bolzen \varnothing 23,05 mm und Bohrung \varnothing 23,00 mm

Die Bohrungen wurden unter Verwendung von Schnellstahlschraubbohrern auf einer schnellaufenden Bohrmaschine hergestellt. Bei den Versuchen a) wurden die Bolzen mit einer Presse eingedrückt, die Bolzen der Versuche b) liessen sich von Hand in das Bohrloch eindrücken. Die Ergebnisse sind in Bild 35 aufgetragen.

Das Holz der Versuche 1 ist entnommen aus der Mitte des Mittelholzes der 2-schnittigen Verbindung (vgl. Bild 36a), das der Versuche 2 aus dem inneren Randstreifen des Seitenholzes.

Die Unterschiede der Nachgiebigkeit des Holzes sind sehr gross. Bei engem Bohrloch ist die Nachgiebigkeit im Anfang der Belastung nur gering. Für C ergeben sich Werte von rd 20 000 bis 34 000 kg/cm². Die Bettungsziffer nimmt dann sehr schnell ab.

Bei eingepasstem Bolzen hat das Spannungs-Verschiebungsbild des Versuches 1 linearen Verlauf bis zur Spannung $p=100$ kg/cm², das des Versuches 2 bis zu $p=150$ kg/cm². Für C ergibt sich innerhalb dieser Spannungsbereiche ein konstanter Wert von rd 7000 kg/cm³. Die Paßungenauigkeit war ausgeschaltet. Die eingepaßten Bolzen waren sofort bei Beginn der Belastung wirksam ohne dass vorher eine Verschiebung auftrat. Die erzielten Höchstdrucke waren bei eingepaßtem Bolzen: 210 kg/cm², d.s. rd 61% der Prismenfestigkeit, bei 22 mm Bohrloch

225 kg/cm², d.s. rd 65% der Prismenfestigkeit.

Mit den Paßverhältnissen der Versuche b) wurde ein konstanter Verlauf der Bettungsziffer bis zu Eindrückungen von rd 0,22 mm erreicht. Dieses Verhältnis der Durchmesser erschien geeignet zur Prüfung der Anwendbarkeit des Verfahrens von Schnidtmann.

2) Versuche mit 2-schnittigen Bolzenverbindungen

Es wurden folgende Versuche durchgeführt:

- a) Stahlbolzen \varnothing 23,00 mm mit Bohrung \varnothing 22,00 mm
- b) Stahlbolzen \varnothing 23,05 mm mit Bohrung \varnothing 23,00 mm
- c) Leichtmetallbolzen \varnothing 23,05 mm mit Bohrung \varnothing 23,00 mm

Der Bolzen zu a) war aus blankgezogenem Rundstahl gefertigt. Die Bolzen zu b) und c) wurden auf das angegebene Maß abgedreht. Der Schlankheitsgrad λ berechnet sich zu $\lambda = \frac{160}{23,05} = \text{rd } 6,95$.

Die zulässige Belastung nach DIN 1052 ist 1920 kg.

Zum Vergleich mit den Ergebnissen des Verfahrens von Schnidtmann sind nach dem unter Ziff. III 1 Gesagten nur die Versuche b) und c) geeignet.

a) Versuchsanordnung

Die Versuchsanordnung ist in Bild 36a und 36b dargestellt. Die Holzstärke betrug für Seiten- und Mittelholz je 16 cm. Die Bolzen waren ohne Kopf und Mutter. Reibung zwischen den Hölzern war nicht vorhanden. Zwischen den sauber gehobelten Seitenflächen der Hölzer war eine Fuge von rd 0,25 mm. Um die genaue Parallelführung der beiden Seitenhölzer zu sichern, wurde deren Abstand durch 2 C-Eisenpaare, die fest mit den Seitenhölzern verschraubt waren, festgelegt.

Die Bewegungen des Bolzens, d.h. die Eindrückungen des Bolzens in das Holz wurden gemessen. Hierzu waren von den Stirnflächen bis zum Bolzenloch 5 mm weite Löcher gebohrt, in denen Meßstifte angebracht waren, die die Bewegung der Bolzenquerschnitte zu den Meßplatten übertrugen, wo sie mittels Mikrometerschraube gemessen wurden.

Die Mikrometerschraube hatte 1/100 mm Teilung. Die Meßgenauigkeit ist abhängig vom Geschick des Messenden. Bei einwandfreier Handhabung kann der Meßfehler zu $\pm 0,5/100$ mm angenommen werden. Im Seitenholz waren 6 Meßstellen angeordnet, während für das Mittelholz 5 ausreichend schienen.

Die Meßstifte sassen in Löchern, die mit einem Körner in die Bolzen eingeschlagen waren. Die von unten eingesetzten Meßstifte des Mittelholzes mussten durch Schraubenfedern angedrückt werden. Es erwies sich als zweckmässig, auch die übrigen Stifte hiermit zu versehen. Auf diese Weise wurde ein Drehen der eingesetzten Stifte während des Versuches und daraus entstehende Ungenauigkeiten vermieden. Zur Messung der Gesamtverschiebung zwischen Seiten- und Mittelholz dienten 2 Meßuhren, die am Mittelholz angebracht waren und deren Meßstifte auf einem der erwähnten C-Eisen sassen (vgl. Bild 36b).

Um gleichmässig durchfeuchtetes Holz mit über den ganzen Querschnitt gleichen Eigenschaften zu erhalten, wurden die Hölzer aus 3 Teilen mittels Kauritleims zusammengeleimt. Die Jahrringe liefen etwa unter 45° zur Bolzenachse (vgl. Bild 36a). Die Eigenschaften des Holzes wurden bereits unter Ziff III 1 mitgeteilt.

b) Durchführung der Versuche

Jeder Bolzen wurde nur einmal bis zum Fließen belastet. Die Laststufen wurden so gewählt, dass diese Grenze in rd 10 Abschnitten erreicht wurde. Die Belastungsdauer betrug 5 min/Laststufe.

c) Ergebnisse

Die Ergebnisse der Versuche mit langen Bolzen sind in Bild 37 aufgetragen.

Ein Vergleich der Randeindrückungen zeigt, dass beim Leichtmetallbolzen sowohl im Seitenholz wie im Mittelholz die grössten Eindrückungen auftraten. Der Stahlbolzen mit genauer Passung zeigte geringere Eindrückungen als der Leichtmetallbolzen. Die kleinsten Randeindrückungen ergaben sich bis zur Laststufe P = 2500 kg für den Stahlbolzen mit $\varnothing 23,00$ mm und 22 mm Bohrung.

Bei Belastung mit 3000 kg zeigten die beiden Stahlbolzen etwa gleiche Randeindrückungen in den Seitenhölzern. Im Mittelholz fand sich am linken Rand die grössere Eindrückung für den Bolzen mit zu enger Bohrung, am rechten Rand zeigte der eingepaßte Bolzen die grössere Eindrückung. Die stark voneinander abweichenden Eindrückungen des Bolzens mit enger Bohrung im Mittelholz sind zurückzuführen auf ein Kippen des Mittelholzes in Richtung der Bolzenachse. Für die Eindrückungen in der Mitte des Mittelholzes zeigte der Leichtmetallbolzen die grössten Werte (bei Belastung mit 3000 kg rd 1/10 mm). Die nächsthöheren Eindrückungen zeigt der Stahlbolzen mit enger Bohrung. Beim Stahlbolzen mit genauer Passung sind Eindrückungen bis zur Belastung P = 2500 kg nicht festgestellt worden. Erst bei P = 3000 kg zeigte sich eine geringe Eindrückung. Die Eindrückungen in der Mitte waren sämtlich anders gerichtet wie die Randeindrückungen.

Denkt man sich in Bild 37 die Eindrückungslinien des Mittelholzes an die der Seitenhölzer angeschlossen, so erhält man die Biegelinie der Bolzen. Die so entstehenden Kurven lassen in den Fugen zwischen Seiten- und Mittelholz Wendepunkte erkennen. Man sieht, dass auch bei kleinen Belastungen die Wendepunkte in den Fugen liegend angenommen werden können, d.h. auch bei geringen Belastungen liegt die resultierende der Leibungsspannungen des Seitenholzes in der Fuge.

Solange C konstant ist, geben die eingezeichneten Kurven gleichzeitig die Verteilung der Leibungsdrücke an, wenn die aufgetragenen Ordinaten mit C multipliziert werden, da $p = C \cdot \delta$ ist.

Die Versuche mit dem kurzen Bolzen zeigten, dass C bei genau eingepassten Bolzen bis zu Eindrückungen von 0,22 mm konstant ist (vgl. Ziff. III 1). Eindrückungen von dieser Grösse wurden erreicht bei P = 1500 kg. Folglich kann die Beziehung $p = C \cdot \delta$ für die eingepassten Bolzen bis zu dieser Belastung angewendet werden.

In Bild 38 sind die aus den gemessenen Eindrückungen errechneten Leibungsdrücke für die Belastung P = 1500 kg den nach dem Schmidtmann'schen Verfahren errechneten gegenübergestellt. Die Bettungsziffer C ist hierbei zu 7000 kg/cm² angenommen worden. Man sieht, dass für den Stahlbolzen und für den Leichtmetallbolzen

die Rechnungsergebnisse mit den Messungsergebnissen im Bereich des Mittelholzes gut übereinstimmen. In den Seitenhölzern ist die Übereinstimmung wenig gut, doch wurde die grösste Randspannung annähernd richtig errechnet.

Aus den Ergebnissen ist zu schliessen, dass die Annahme einer parabolischen Spannungsverteilung im Bereich des Mittelholzes genügend zutreffend ist.

Die Verteilung der Spannungen im Seitenholz erfolgte im vorliegenden Fall nicht parabelförmig. Sie ähnelte vielmehr der Spannungsverteilung, die sich für einen unendlich langen elastisch gestützten Träger²⁵⁾ ergibt, an dessen einem Ende eine Einzellast wirkt. Die grössten Abweichungen von der parabelförmigen Spannungsverteilung fanden sich für den Leichtmetallbolzen.

Es ist anzunehmen, dass sich bei niederen Werten der Bettungsziffer C, für die sich im Seitenholz eine rechnerische Spannungsverteilung nach Bild 40 findet, eine bessere Übereinstimmung zwischen Versuch und Rechnung ergeben wird.

Das Bild 38 zeigt gleichzeitig die für die Spannungsverteilung nach Schnittmann sich ergebenden Momente. Man sieht, dass die Verteilung der Leibungsdrücke von grossem Einfluss auf die Grösse der Momente ist. Im vorliegenden Fall erfährt der Leichtmetallbolzen im Mittelholz eine bedeutend geringere Beanspruchung als der Stahlbolzen, obwohl die Belastung P in beiden Fällen gleich gross ist.

Die errechneten Momentenflächen für den Bolzen im Mittelholz stimmen mit der Wirklichkeit überein; da auch die errechneten Leibungsdrücke richtig sind.

Die Momente für den Bolzen im Seitenholz sind in Wirklichkeit geringer, als die in Bild 38 aufgetragenen Werte.

Bild 39 zeigt die gemessenen und errechneten Verschiebungen des Mittelholzes gegen die Seitenhölzer. Die Verschiebungen lassen sich leicht errechnen aus den Randspannungen in der Fuge zwischen Seiten- und Mittelholz.

Bezeichnen

P_M max die grösste gerechnete Randspannung im Mittelholz
 P_S max " " " " " Seitenholz

so ist die Gesamtverschiebung

$$\delta = \frac{P_M \text{ max} + P_S \text{ max}}{C}$$

25) s. Fussnote 24

Die Rechnung gilt nur solange C konstant ist.

Im vorliegenden Fall sind die Gesamtverschiebungen bei Belastung der Verbindung mit P = 1500 kg (nach DIN 1052 zulässig 1920 kg) für den Stahlbolzen mit genau passender Bohrung:

rechnerisch: 0,337 mm
gemessen: 0,335 mm

für den Leichtmetallbolzen:

rechnerisch: 0,442 mm
gemessen: 0,42 mm

Die Übereinstimmung kann als gut bezeichnet werden.

Beim Leichtmetallbolzen ist hier eine um rd 31% grössere Verschiebung festzustellen.

Für den Stahlbolzen mit enger Bohrung wurde bei P=1500 kg eine Verschiebung von 0,265mm gemessen. Bei hohen Belastungen weichen Rechnungsergebnis und Versuch stark voneinander ab (vgl. Bild 39).

Vergleicht man die beiden untersuchten Stahlbolzen unter Ausserachtlassung der geringen Verschiedenheit der Durchmesser, so ist bei P = 3000 kg der Unterschied der Verschiebungen zwischen dem eingepassten Bolzen und dem Bolzen mit enger Bohrung verhältnismässig sehr viel kleiner als bei P = 1500 kg.

Zusammenfassend ist zu sagen: Es erscheint zulässig bei 2-schnittigen Holzverbindungen mit gleicher Holzstärke von Seiten- und Mittelholz bei genügender Schlankheit des Verbindungsmittels die resultierende Kraft des Einzelholzes in der Fuge wirkend anzunehmen.

Ist die Bettungsziffer C konstant, so ist das Verfahren von Schnittmann geeignet, einen Einblick in die wirkliche Spannungsverteilung zu geben. Die Annahme einer parabelförmigen Verteilung der Leibungsdrücke ist ausreichend zutreffend für den Bereich des Mittelholzes. In den Seitenhölzern ist die Annahme einer parabelähnlichen Spannungsverteilung nur begrenzt zulässig.

d) Anwendung auf Nagelverbindungen

In Bild 40 sind die sich rechnerisch für eine 2-schnittige Nagelverbindung mit Nägeln von 4,2 mm Dicke ergebenden Leibungsdrücke und Momentenflächen aufgetragen bei Belastung

der Verbindung mit $\frac{1}{4}$ der nach DIN 1052 zulässigen Last. Der Schlankheitsgrad λ ist 7,2. Als Bettungsziffer wurde gewählt $C = 3000 \text{ kg/cm}^3$, ein Wert, der für weniger gute Leibungseigenschaften gilt und $C = 7000 \text{ kg/cm}^3$, welcher Wert auf gute Leibungseigenschaften hinweist (vgl. Ziff. II). Die Belastung $P_{zul} : 4$ wurde gewählt, um die Eindrückungen nicht zu gross werden zu lassen. Im vorliegenden Fall ist die grösste Eindrückung des Nagels im Seitenholz für $C = 3000 \text{ kg/cm}^3$:

$$\delta_{\max} = \frac{53,0}{3000} = 0,0177 \text{ cm} = 0,177 \text{ mm}.$$

Aus den unter Ziff. II angeführten Untersuchungen ist zu ersehen, dass C bis zu Formänderungen von dieser Grösse als annähernd konstant angesehen werden kann (vgl. Bild 10 und 18).

Man erkennt, dass im Bereich des Mittelholzes die Ungleichmässigkeit der Spannungsverteilung umso grösser ist, je höher C ist, d.h. je besser die Güte der Lochleibung ist. Die grösste Randspannung im Seitenholz ist ebenfalls für $C = 7000 \text{ kg/cm}^3$ grösser als bei $C = 3000 \text{ kg/cm}^3$.

Für die Verschiebung zwischen Seiten- und Mittelholz ergibt sich:

$$\text{für } C = 7000 \text{ kg/cm}^3 : \frac{38,8+56,7}{7000} = 0,0136 \text{ cm} = 0,136 \text{ mm}$$

$$\text{für } C = 3000 \text{ kg/cm}^3 : \frac{31,3+53}{3000} = 0,0281 \text{ cm} = 0,281 \text{ mm}$$

Der Einfluss von C auf die Verschiebungen ist also sehr gross.

Die Momentenflächen für $C = 3000 \text{ kg/cm}^3$ und $C = 7000 \text{ kg/cm}^3$ weichen nicht sehr voneinander ab. Für das Grösstmoment im Mittelholz findet sich:

$$\text{für } C = 3000 \text{ kg/cm}^3 : 11,00 \text{ cm.kg}$$

$$\text{für } C = 7000 \text{ kg/cm}^3 : 10,1 \text{ cm.kg}$$

Nimmt man die Leibungsdrücke im Mittelholz gleichmässig verteilt an, so ergibt sich für das Grösstmoment:

$$M = \frac{P \cdot l}{8} = \frac{31,25 \cdot 3}{8} = 11,7 \text{ cm.kg}$$

Nach den unter Ziff. II beschriebenen Versuchen kann C auch Werte annehmen, die niedriger sind als 3000 kg/cm^3 . Damit würde die Spannungsverteilung im Mittelholz noch gleichmässiger werden, so dass die Momente sich dem Grenzwert $\frac{P \cdot l}{8}$ nähern.

Dieses Ergebnis kann nicht ohne Einschränkung verallgemeinert werden. Im vorliegenden Fall ist der Schlankheitsgrad $\lambda = 7,2$. Für Nägel mit $\phi > 4,2 \text{ mm}$ schreibt DIN 1052 grössere Schlankheitsgrade vor. Hierdurch sind grössere Spannungsungleichheiten bedingt, welche zu einer Momentenbeanspruchung führen, die von dem Wert $\frac{P \cdot l}{8}$ stärker abweicht. Berechnet man für verschiedene Nageldicken $\frac{P \cdot l}{8}$ unter Zugrundelegung der Bettungsziffer $C = 3000 \text{ kg/cm}^3$ die Leibungsdruckverteilung und Momentenbeanspruchung im Mittelholz bei Belastung nach DIN 1052, so findet man die in Tabelle 4 eingetragenen Werte.

Tabelle 4

1	2	3	4	5	6	7	8
Nagel-durchmesser	Holz-dicke	Rand-spannung	Span-nung in Holzmit-te	Ver-hält-nis-zahl $\frac{P \cdot l}{8}$ Spalte 3 Spalte 4	Mo-ment nach Schnitt-mann	Mo-ment $\frac{P \cdot l}{8}$	Verhät-niszahl Spalte 6 Spalte 7
mm	mm	kg/cm ²	kg/cm ²		cm.kg	cm.kg	
7,0	70	143	22	6,50	184	271	0,68
5,5	50	126	43	2,94	97	122	0,80
4,2	30	125	86	1,45	44	47	0,94
3,1	20	137	113	1,21	18,15	18,75	0,97

Spalte 5 enthält das Verhältnis der Randspannung zur Spannung in Bolzenmitte. Es beträgt für

$$\phi 7,0 \text{ mm} \quad 6,50 \quad \text{und für} \\ \phi 3,1 \text{ mm} \quad 1,21.$$

Die Spannungsungleichheiten werden mit zunehmendem Durchmesser grösser.

Vergleicht man die Momente, die sich unter Berücksichtigung der Nachgiebigkeit der Unterlage ergeben, mit den Grenzwerten $\frac{P \cdot l}{8}$, so finden sich die in Spalte 8 eingetragenen Vergleichszahlen. Die Abweichung vom Grenzwert $\frac{P \cdot l}{8}$ ist bei grossem Nageldurchmesser (grossem Schlankheitsgrad) am grössten. Sie beträgt für den Durchmesser 7,0 mm 100-68 = 32% und für den Durchmesser 3,1 mm 100-98 = 2%.

Für den in Tabelle 4 angeführten Durchmesser von 7,0 mm findet sich als Randspannung 143 kg/cm². Nimmt man für C den konstanten Wert 3000 kg/cm³ an, so ist die zugehörige Eindrückung

$$\delta = \frac{143}{3000} = 0,0478 \text{ cm} = 0,478 \text{ mm}$$

Nach den Ausführungen unter Ziff. II kann für C bei Eindrückungen bis zu dieser Grösse ein konstanter Wert nicht angegeben werden. C wird mit zunehmender Eindrückung geringer.

Das bedeutet, dass bei hohen Belastungen und stärkeren Verformungen die Randspannungen nach Erreichen der Fließgrenze nicht weiter zunehmen. Es werden in diesem Fall die Mittelfasern stärker zur Spannungsaufnahme herangezogen. Hierdurch tritt eine Erhöhung der Momente ein. Man wird darum auch bei schlanken Nägeln mit dem Grenzwert $\frac{P \cdot l}{8}$ rechnen müssen.

Die für den Durchmesser 4,2 mm gefundene Spannungsverteilung im Seitenholz (vgl. Bild 40) ähnelt derjenigen die sich ergibt, wenn man eine gradlinige Spannungsverteilung annimmt, die der Bedingung ΣM in Bezug auf die Berührungsfuge = 0 genügt. Man findet hierfür als Randspannung am

$$\text{äusseren Rand : } p_a = \frac{P}{l \cdot d} = 24,8 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{inneren Rand : } p_i = \frac{2P}{l \cdot d} = 49,6 \text{ kg/cm}^2$$

Das Grösstmoment für diese angenäherte Spannungsverteilung ist:

$$M_{\max} = \frac{2 P \cdot l}{27} \quad (26)$$

Auf das vorliegende Beispiel angewendet ist

$$M_{\max} = \frac{2 \cdot 31,25 \cdot 3}{27} = 6,94 \text{ cm.kg}$$

26) Die Werte $\frac{P \cdot l}{8}$ und $\frac{2 P \cdot l}{27}$ sind auch enthalten in den "Vorläufigen Bestimmungen für Holztragwerke der deutschen Reichsbahngesellschaft" (BH) vom 12.12.1926.

Für den elastisch gestützten Nagel fand sich:

$$\text{für } C = 3000 \text{ kg/cm}^3 : M_{\max} = 6,6 \text{ cm.kg}$$

$$\text{für } C = 7000 \text{ kg/cm}^3 : M_{\max} = 6,3 \text{ cm.kg}$$

Der Einfluss einer nicht konstanten Bettungsziffer auf den Verlauf der Leibungsdrücke und Momente im Seitenholz ist rechnerisch nur schwer zu erfassen. Eine einfache Überlegung, wie wir sie für das Mittelholz angestellt haben, führt hier nicht zum Ziele.

Aus Versuchen von Stoy²⁷⁾ 28) und Fonrobert²⁸⁾ ist jedoch zu ersehen, dass eine bleibende Verformung des Nagels zunächst immer im Mittelholz auftritt. Hieraus ist zu schliessen, dass auch bei hohen Belastungen und bei Verschiebungsbereichen, für die C nicht mehr konstant ist, die Biegebeanspruchung des Nagels im Seitenholz geringer ist als im Mittelholz, wenn beide gleiche oder annähernd gleiche Dicke haben.

Bild 41 zeigt, welche Biegespannungen in nach DIN 1052 belasteten ein- und zweischmittigen Nagelverbindungen eintreten können, wenn die Reibung zwischen den Hölzern nicht wirksam ist. Hierbei ist von den für die verschiedenen Brettdicken vorgeschlagenen 3 Nageldurchmessern jeweils der mittlere gewählt worden. Als Momente sind zu Grunde gelegt:

$$\text{im Mittelholz } M = \frac{P \cdot l}{8},$$

$$\text{im Seitenholz } M = \frac{2 P \cdot l}{27}$$

Biegeversuche, die mit gezogenem Thomasflußstahldraht, wie er zur Herstellung von Drahtstiften verwendet wird, gemacht wurden, haben als Biegespannungen an der Proportionalitätsgrenze die in Tabelle 5 angegebenen Werte ergeben.

27) Stoy, "Über Versuche mit Drahtstiften als Holzverbindungs-mittel", Z.VDI (1931) S. 1337, s.auch Fussnote 1) S. 1

28) Stoy und Fonrobert, "Nagelverbindungen im Hallen- und Wohnungsbau", Heft 6 der Reichsarbeitsgemeinschaft Holz, 2. Aufl. (1937) S. 7

Tabelle 5

Ø mm	3,1	4,6	6,0	7,6
σ _P kg/mm ²	70	56,6	61,2	63,2

Das Material kann also sehr hohe Biegebeanspruchungen ertragen, ohne dass wesentliche bleibende Formänderungen entstehen.

Das Bild 41 zeigt, dass bei zweiseitiger Beanspruchung die Biegefestigkeit der Stifte bis zur Proportionalitätsgrenze und teilweise - bei den grösseren Nageldicken - noch darüber hinaus in Anspruch genommen wird. Bei einschneidiger Beanspruchung sind die auftretenden Biegespannungen geringer, sie betragen nur rd 59% der Spannung bei zweiseitiger Beanspruchung.

IV. Zusammenfassung der Ergebnisse

A) Untersuchungen über Nachgiebigkeit und Festigkeit der Lochleibung

Mit der unter II C₅ beschriebenen Versuchseinrichtung (vgl. Bild 2), die es ermöglichte, Nägel \angle zur Nagelachse in das zu untersuchende Holz so einzudrücken, dass die Leibungsspannungen entlang dem Nagelschaft etwa gleichmässig verteilt waren, wurden Untersuchungen über die Nachgiebigkeit und Festigkeit der Lochleibung durchgeführt.

Durch die Versuche ergab sich:

- 1) Die Nachgiebigkeit der Lochleibung bei Beanspruchung // zur Faser ist bei eingetriebenen Nägeln grösser als bei Nägeln, die in ein vorgebohrtes Loch eingesetzt werden, weil durch die Sprengwirkung des Nagels Änderungen der Beschaffenheit des Holzes eintreten (vgl. S. 8 u.f.).
- 2) Vergleicht man die bei einer Eindrückung von 0,5 mm erreichten Leibungsspannungen P_5 , so ergibt das Verhältnis

$$\frac{P_5 \text{ für eingetriebene Nägel}}{P_5 \text{ für Nägel mit Vorbohrung}}$$

bei engringigem Holz den Wert 0,55 und bei weitringigem Holz den Wert 0,66.

Die durch die Sprengwirkung verursachte Abminderung der Werte P_5 betrug also bei dem geprüften

engringigen Holz 45 % und bei dem geprüften weitringigen Holz 34 %.

Demnach wirkt sich bei Beanspruchung // zur Faser die Sprengwirkung bei engringigem, schwerem Holz stärker aus, als bei weitringigem, leichtem Holz (vgl. S. 9 u.f.).

- 3) Bei Kraftwirkung \angle zur Faser ergab sich für das Verhältnis

$$\frac{P_5 \text{ für eingetriebene Nägel}}{P_5 \text{ für Nägel mit Vorbohrung}}$$

bei dem geprüften engringigen Holz der Wert 1,09 und bei dem geprüften weitringigen Holz der Wert 1,08 (vgl. S. 11 u.f.).

Im Gegensatz zu dem unter A) 2 angeführten Ergebnis wurde bei Kraftwirkung \angle zur Faser durch das Eintreiben bei dem untersuchten engringigen (weitringigen) Holz eine Erhöhung der Werte P_5 um 9% (8%) erreicht.

- 4) Die Last, die bei einer Eindrückung von 0,5 mm aufgenommen wurde, war bei eingetriebenen Nägeln bei Beanspruchung // und \angle zur Faser nur wenig verschieden (vgl. S. 12). Damit ist die Gepflogenheit, für die Berechnung von Nagelverbindungen gleiche P zul. für Kraftwirkung // und \angle zur Faser anzuwenden, erneut gestützt.
- 5) Die für eine Eindrückung von 0,5 mm sich ergebenden Leibungsspannungen werden mit zunehmendem Nageldurchmesser kleiner (vgl. S. 14 u.f.).
- 6) Die Bettungsziffer C nimmt im allgemeinen mit zunehmender Belastung ab (vgl. S. 16 u.f.).
- 7) Es ist möglich, die Spaltwirkung des eingetriebenen Nagels durch eine besondere Gestaltung der Nagelspitze zu vermindern, und dadurch die Lochleibungseigenschaften bei Beanspruchung // zur Faser zu beeinflussen (vgl. S. 18 u.f.).

B) Untersuchungen über die Verteilung des
Leibungsdruckes und der Biegebeanspruchung
in zweischnittigen Verbindungen

Aus den gemessenen Formänderungen des Bolzens in zweischnittigen, reibungslosen Bolzenverbindungen (vgl. S. 24), bei denen die Bettungsziffer über die Bolzenlänge als gleich angenommen werden konnte, wurden die aufgetretenen Leibungsdrücke ermittelt und mit den nach dem Verfahren von Schnidtmann²⁹⁾ errechneten Drücken verglichen. Hierbei ergab sich:

- 1) Das von Schnidtmann angegebene Verfahren zur näherungsweise Berechnung nachgiebig gestützter Träger ist geeignet zur Ermittlung der Spannungsverteilung in Bolzen- und bolzenähnlichen Verbindungen (vgl. S. 27 u.f.).
- 2) Die Berechnung der Biegespannungen in Nagelverbindungen unter den nach DIN 1052 zulässigen Gebrauchslasten ergibt Werte, die in der Nähe der Proportionalitätsgrenze des Stahls liegen und diese bei zweischnittiger Beanspruchung in geringem Maße überschreiten können, wenn die Reibung zwischen den Hölzern unberücksichtigt bleibt³⁰⁾ (vgl. S. 34).

29) Vgl. Fussnote 17 S. 21

30) Nach Stoy (s. Fussnote 1) ist der Einfluss der Reibung auch vorhanden bei einer Verbindung, welche in unbelastetem Zustand infolge Schwindens offene Fugen zwischen den Hölzern aufweist. Jedoch wird die Reibung erst wirksam bei grösseren Verschiebungen und beeinflusst vor allem die Grösse der Bruchlast. Es wäre zu untersuchen, in welchem Maße die Reibung in den oben gekennzeichneten Verbindungen unter den nach DIN 1052 zulässigen Lasten und den dabei auftretenden geringen Verschiebungen wirksam wird. Versuche hierüber konnten wegen der Zeitumstände nicht durchgeführt werden.

Schrifttum

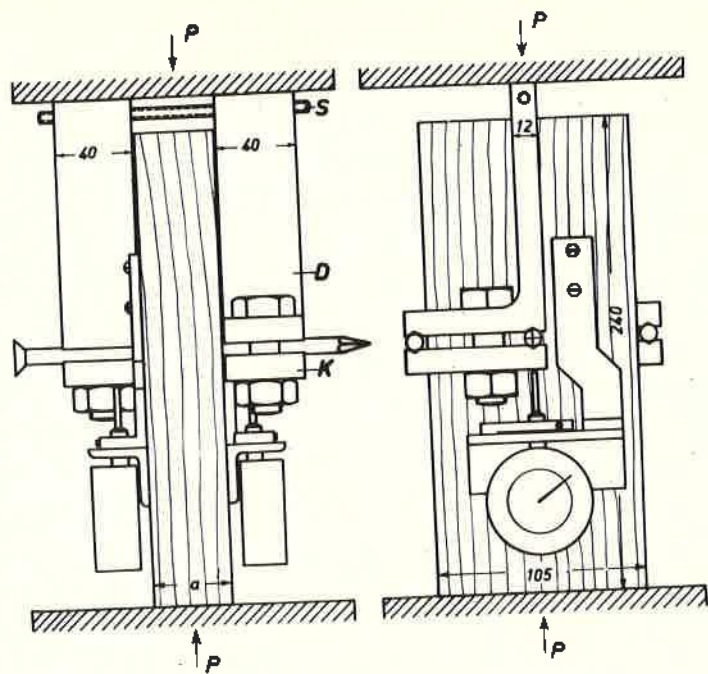
- 1) Andersen Untersuchungen über Bolzenverbindungen in Holzkonstruktionen, Bautech. 1931
- 2) Borkmann s. Teichmann-Borkmann
- 3) Fonrobert s. Stoy und Fonrobert
- 4) Graf Untersuchungen über die Widerstandsfähigkeit von Schraubenverbindungen in Holzkonstruktionen, Bauingenieur 1922
- 5) --- Verwendung des Holzes zu Bauteilen, in Baumann-Lang "Das Holz als Baustoff" München 1927
- 6) Haß DRP 135 078 (1902)
- 7) Hayashi Theorie des Trägers auf elastischer Unterlage, Berlin 1921
- 8) Jackson Ingenieur-Holzbau, Stuttgart 1921
- 9) Schächterle Versuche über Bauholzverbindungen, Holzbau 1921
- 10) Schnidtmann Beitrag zur Ermittlung von Fundamentpressungen, Stuttgart 1920
- 11) Schrenk und v. Pilgrim Die Festigkeit von Bolzen in Holzbauteilen, DWL-Jahrbuch 1928
- 12) Seitz Grundlagen des Ingenieurholzbaues, Berlin 1925
- 13) Stamer Untersuchungen an zugfesten Anschlüssen im Holzbau, Z.VDI 1932
- 14) Stoy Über Versuche mit Drahtstiften als Holzverbindungs mittel, Z.VDI 1931
Tragfähigkeit von Nagelverbindungen im Holzbau, Mitt. Fachaussch. f. Holzfragen, Heft 11
- 15) Stoy und Fonrobert Nagelverbindungen im Hallen- und Wohnungsbau, Heft 6 der Reichsarbeitsgemeinschaft Holz, 2. Aufl. 1937

- 16) Stroer Stand der Nagelversuche, Z.VDI 1933
- 17) Teichmann u. Versuche mit kurzen Bolzen in Holzbauteilen,
Borkmann DVL-Jahrbuch 1930
- 18) --- Versuche mit langen Bolzen in Holzbauteilen,
 DVL-Jahrbuch 1931.

Fichte



Bild 1
 Querschnitt des engringigen und weitringigen Holzes



Prüfung der Lochleibungsfestigkeit
Maße in mm

Bild 2
Vorrichtung zur Prüfung
der Leibungsfestigkeit

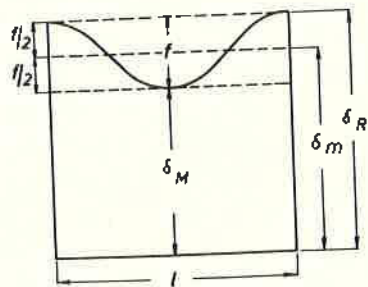


Bild 3
Angenommene Leibungsdruck-
verteilung des beiderseits
eingespannten Nagels

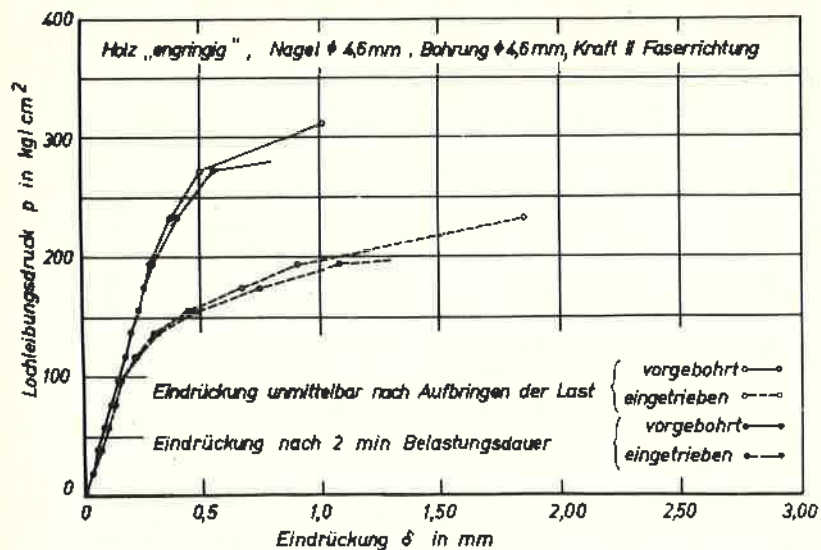


Bild 4

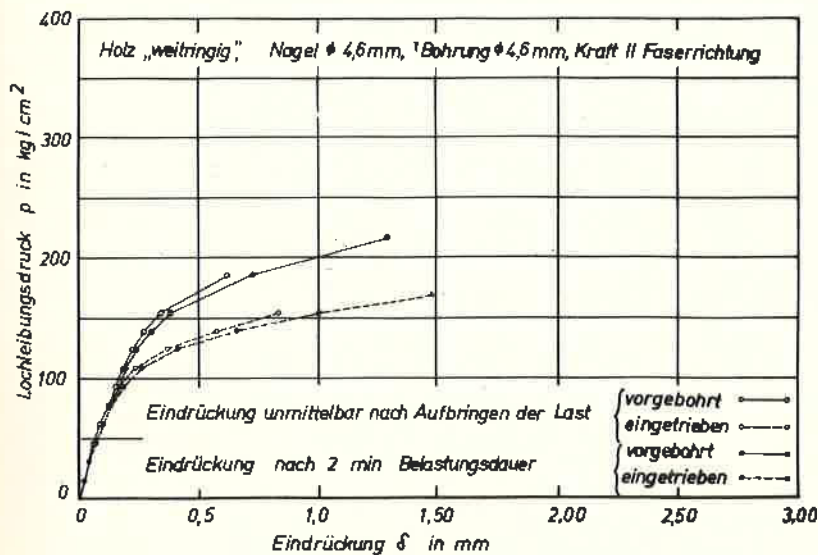


Bild 5

Bild 4 und 5 Einfluss der Belastungsdauer
auf die Grösse der Eindrückungen
bei kraftwirkung // zur Faser

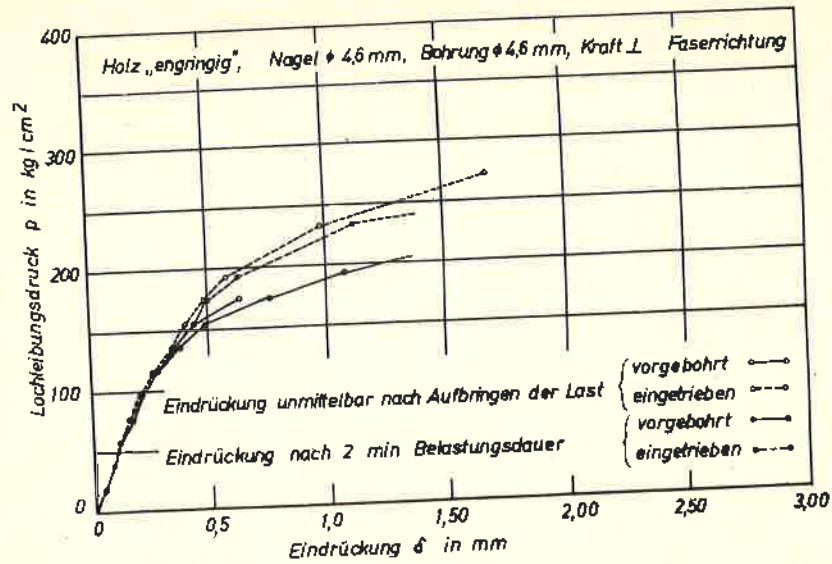


Bild 6

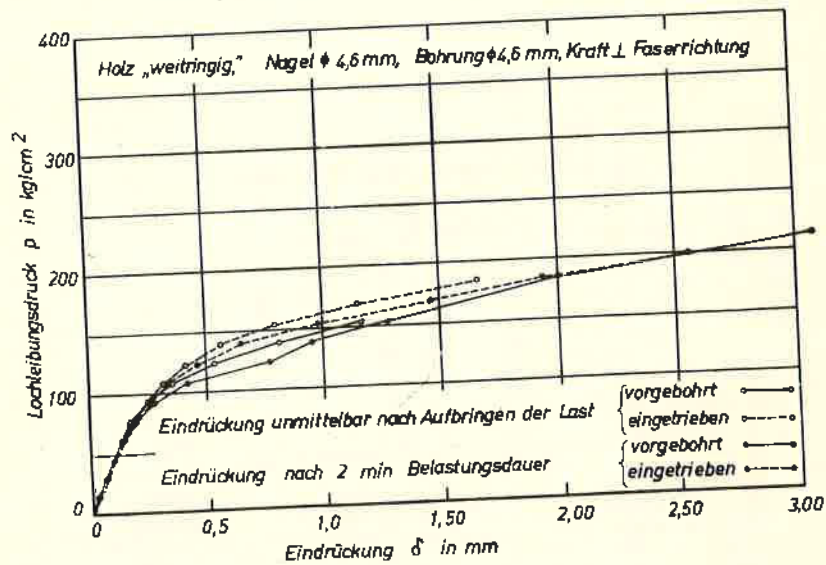


Bild 7

Bild 6 und 7 Einfluss der Belastungsdauer auf die Grösse der Eindrückungen bei Kraftwirkung \perp zur Faser

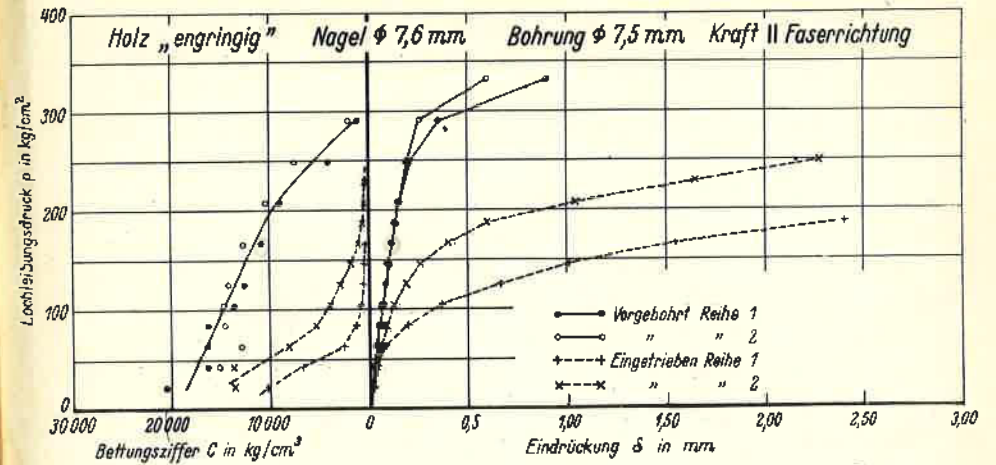


Bild 8

$$C = \frac{p}{\delta} = 160 \cdot \frac{13}{3 \cdot 0,15} = 43800 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3}$$

$$C = \frac{p}{\delta} = 285 \cdot \frac{13}{9 \cdot 0,15} = 82500 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3}$$

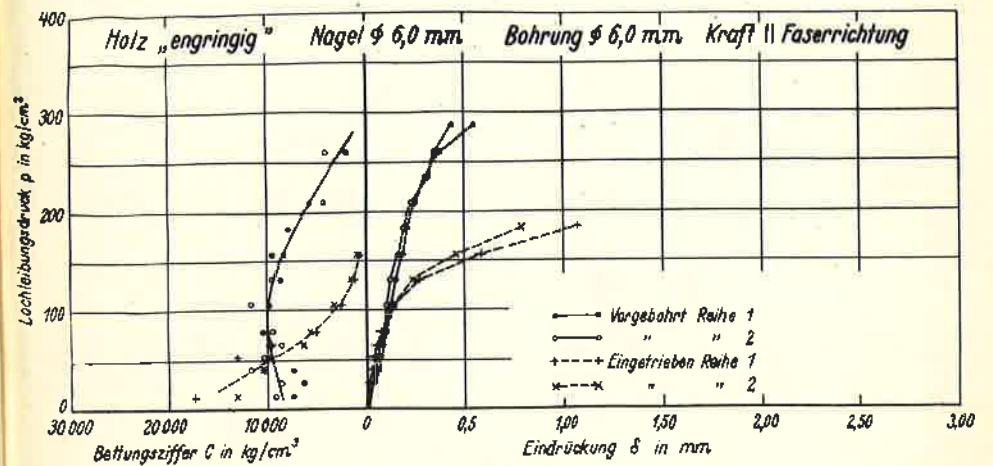


Bild 9

Bild 8 und 9 Spannungseindrückungslinien und Verlauf der Bettungsziffer C bei Kraftwirkung \parallel zur Faser. Holz „engringig“

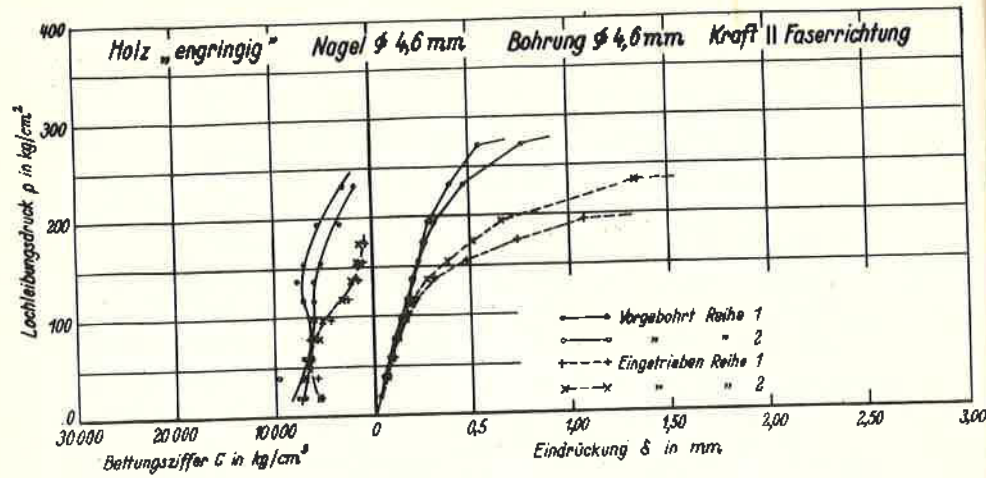


Bild 10

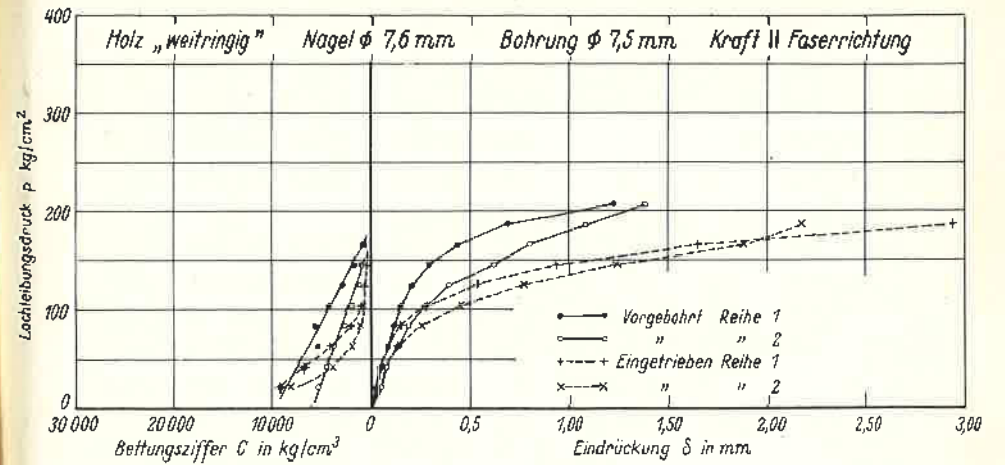


Bild 12

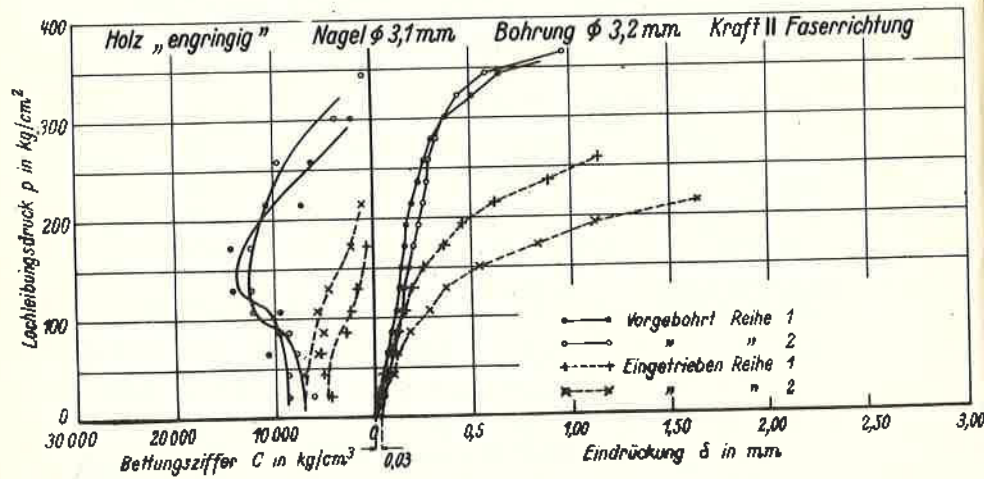


Bild 11

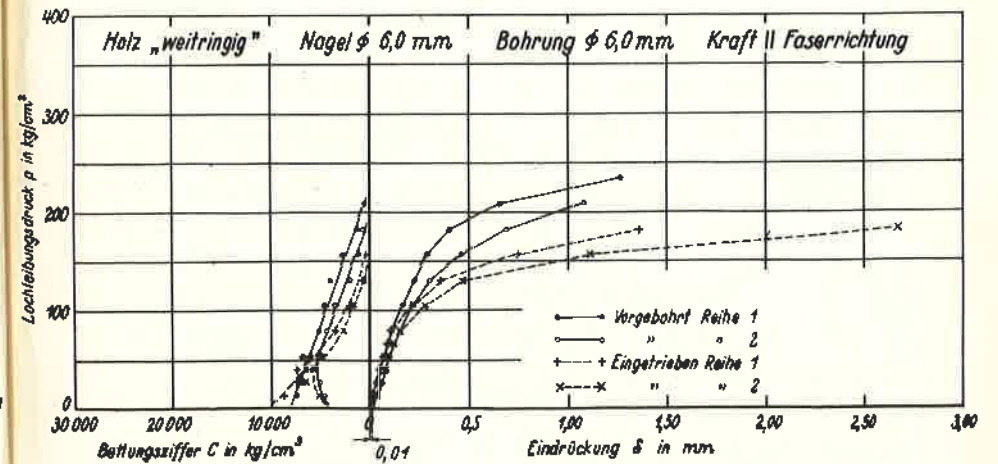


Bild 13

Bild 10 und 11 Spannungseindrückungslinien und Verlauf der Bettungsziffer C bei Kraftwirkung // zur Faser. Holz "engringig"

Bild 12 und 13 Spannungseindrückungslinien und Verlauf der Bettungsziffer C bei Kraftwirkung // zur Faser. Holz "weitringig"

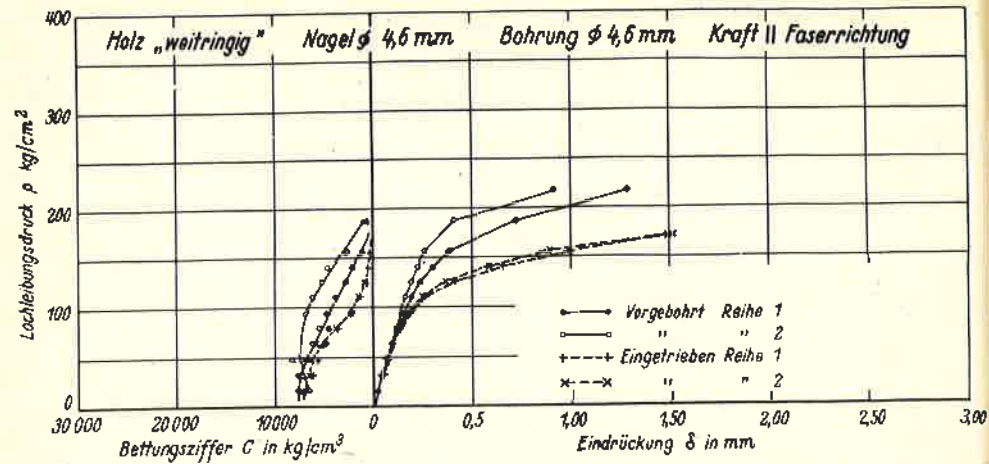


Bild 14

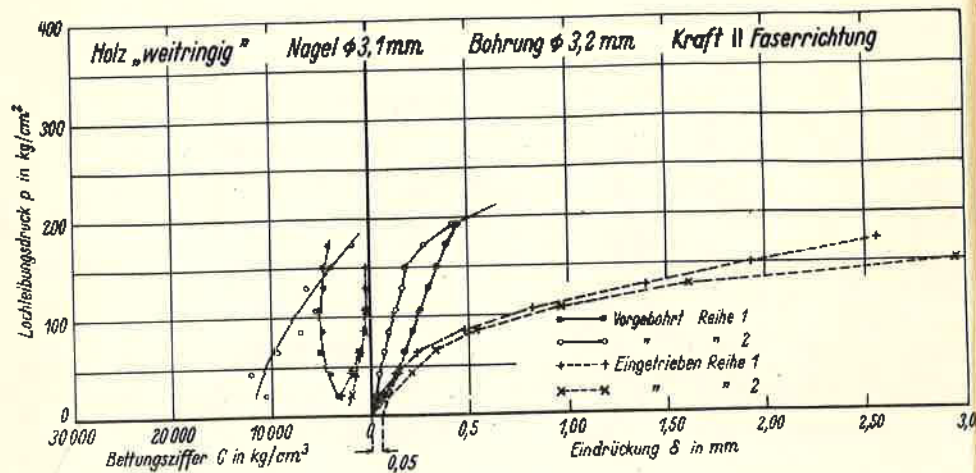


Bild 15

Bild 14 und 15 Spannungseindrückungslinien und Verlauf der Bettungsziffer C bei Kraftwirkung // zur Faser. Holz "weitringig"

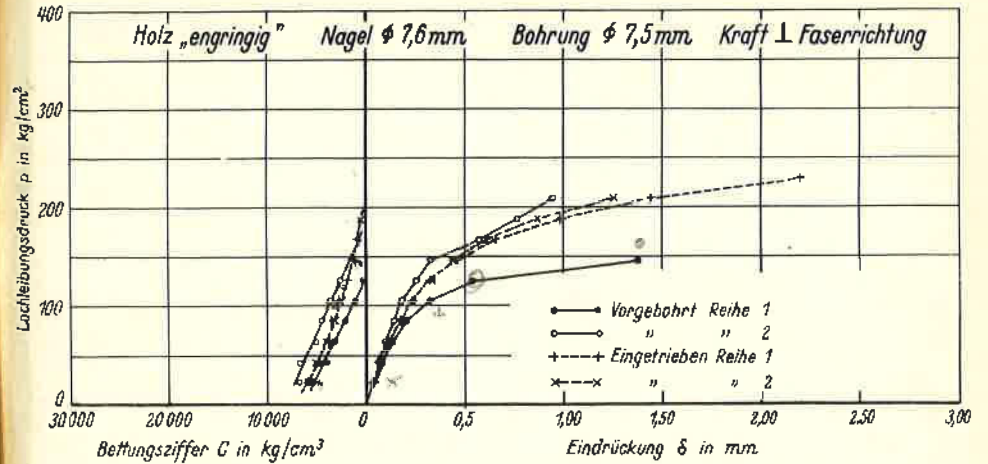


Bild 16

$$C = \frac{p}{\delta} = 145 \cdot \frac{39}{0,15} = 1050 \frac{kg}{cm^3}$$

$$C = \frac{p}{\delta} = 125 \cdot \frac{23}{14 \cdot 0,2} = 2320 \frac{kg}{cm^3}$$

$$+ C = \frac{p}{\delta} = 105 \cdot \frac{13}{8 \cdot 0,05} = 3420$$

$$> C = \frac{p}{\delta} = 20 \cdot \frac{13}{1 \cdot 0,05} = 5200$$

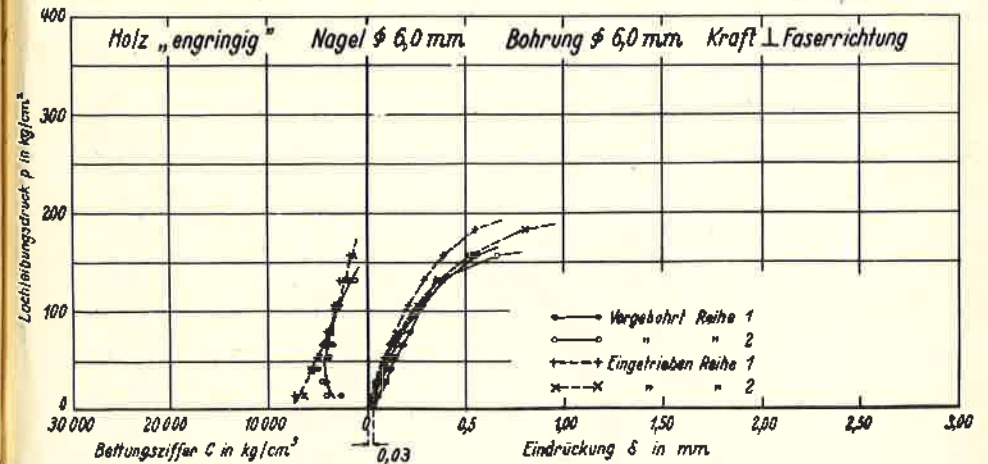


Bild 17

Bild 16 und 17 Spannungseindrückungslinien und Verlauf der Bettungsziffer C bei Kraftwirkung ⊥ zur Faser. Holz "engringig"

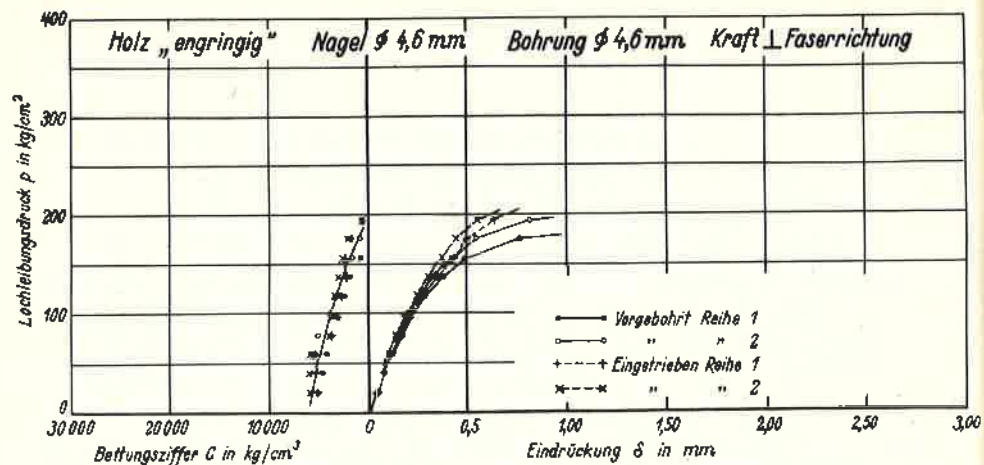


Bild 18

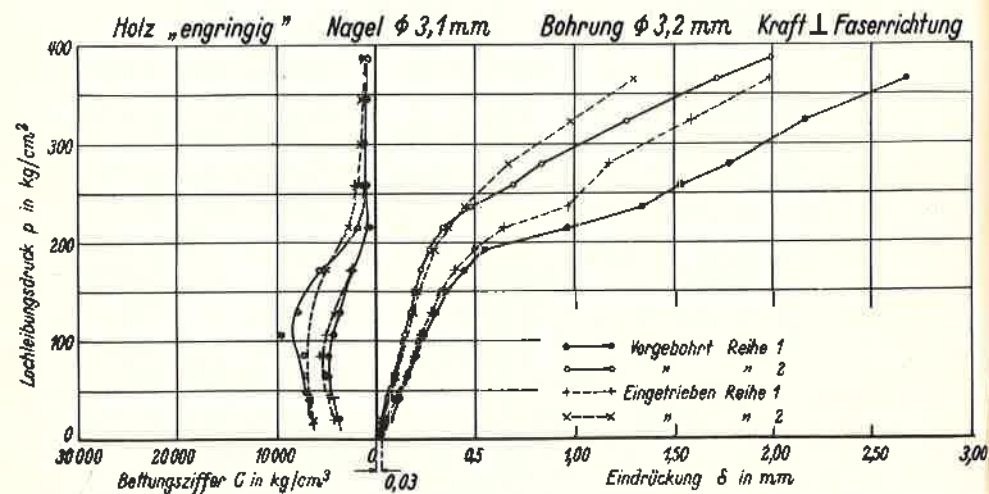


Bild 19

Bild 18 und 19 Spannungseindrückungslinien und Verlauf der Bettungsziffer C bei Kraftwirkung \perp zur Faser. Holz "engringig"

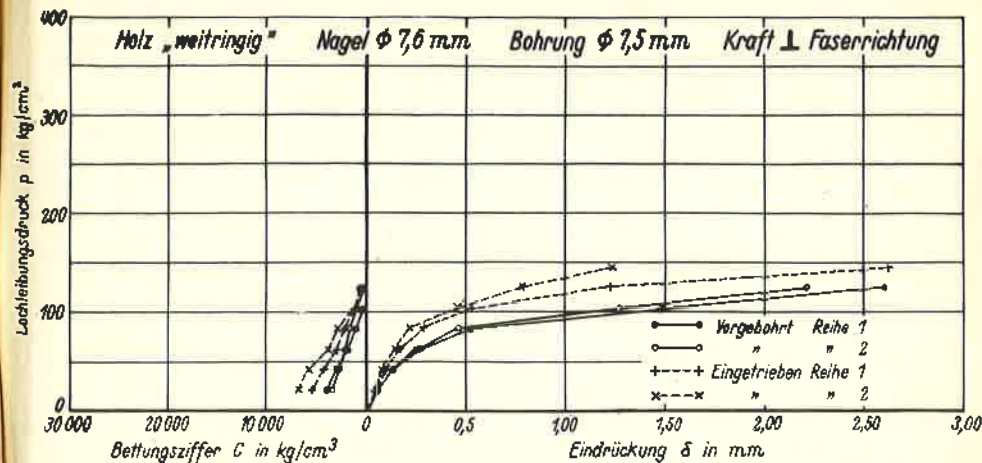


Bild 20

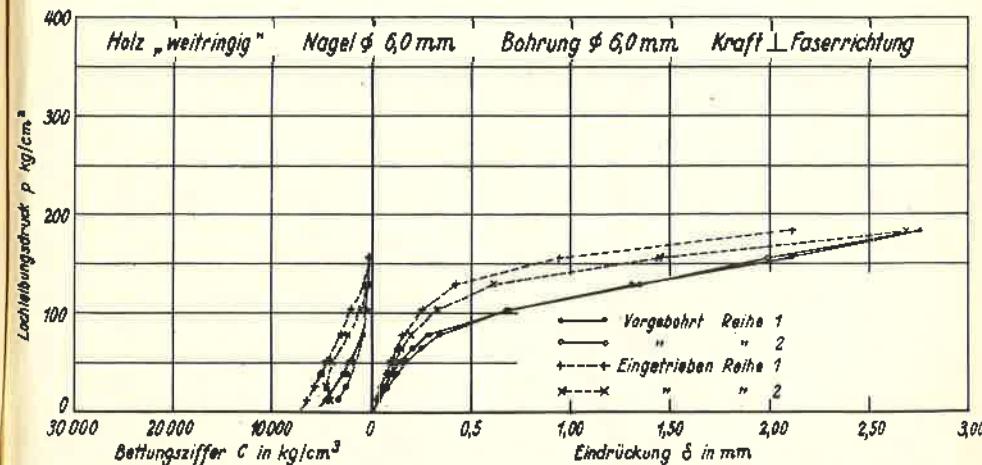


Bild 21

Bild 20 und 21 Spannungseindrückungslinien und Verlauf der Bettungsziffer C bei Kraftwirkung \perp zur Faser. Holz "weitringig"

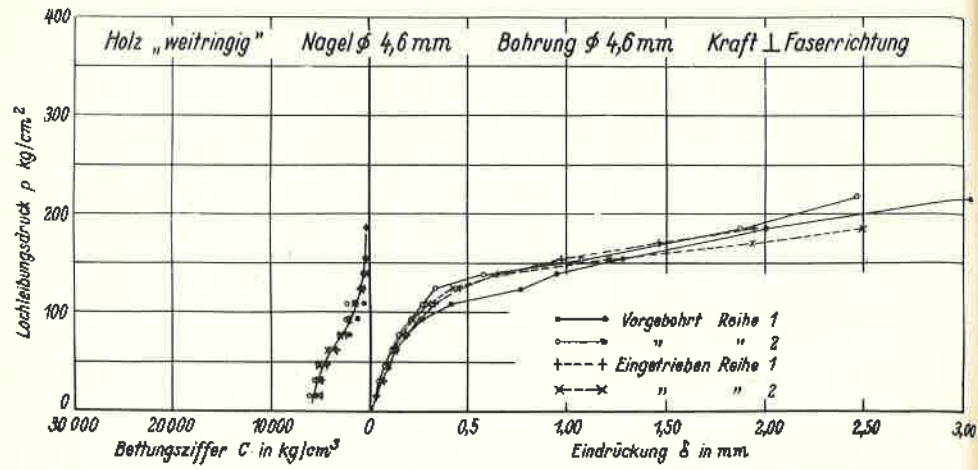


Bild 22

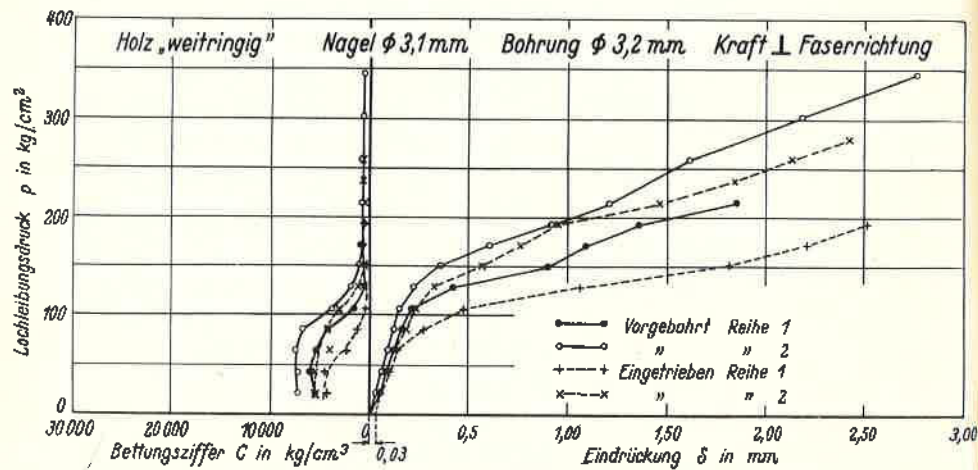
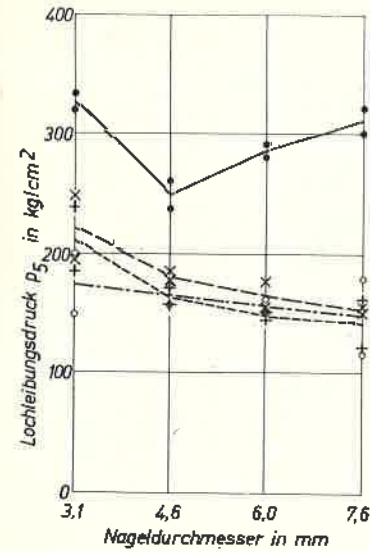


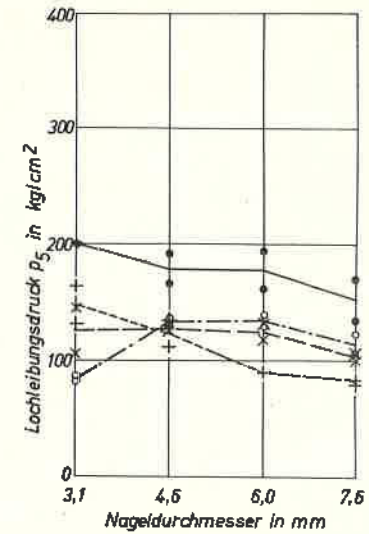
Bild 23

Bild 22 und 23 Spannungseindrückungslinien und Verlauf der Bettungsziffer C bei Kraftwirkung \perp zur Faser. Holz "weitringig"



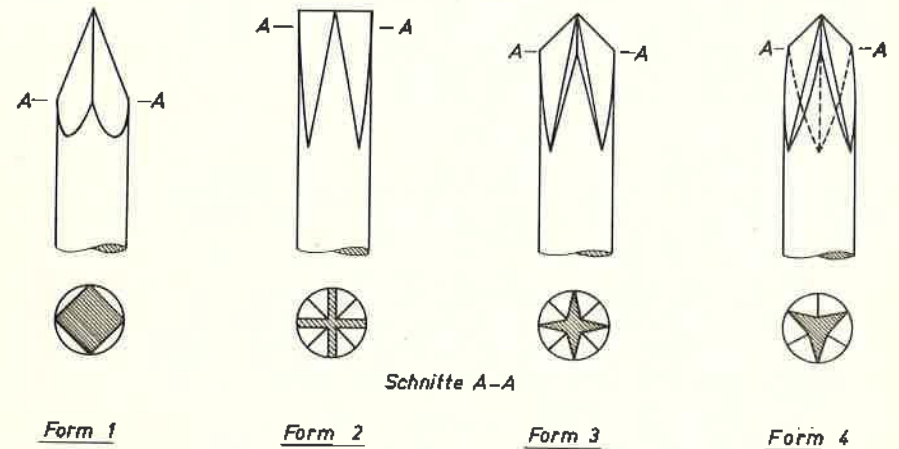
●—○ Kraftwirkung II zur Faser, vorgebohrt
 ○—○ " " " " , eingetrieben
 +—+ Kraftwirkung I zur Faser, vorgebohrt
 x—x " " " " , eingetrieben

Bild 24
Einfluss des Nageldurchmessers Holz "engringig"



●—○ Kraftwirkung II zur Faser, vorgebohrt
 ○—○ " " " " , eingetrieben
 +—+ Kraftwirkung I zur Faser, vorgebohrt
 x—x " " " " , eingetrieben

Bild 25
Einfluss des Nageldurchmessers Holz "weitringig"



Schnitte A-A

Form 1

Form 2

Form 3

Form 4

Bild 26
Untersuchte Nagelformen

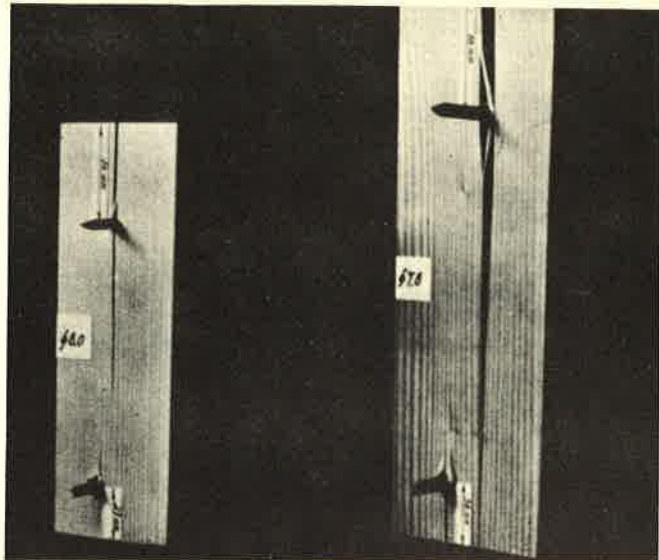


Bild 27
Spaltwirkung verschiedener Nagelformen
Oben: Form 1; Unten: Form 2

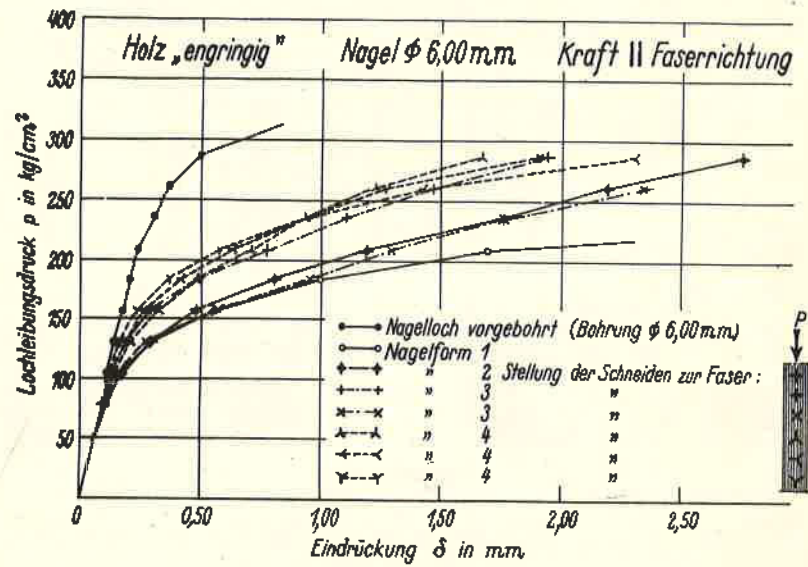


Bild 28
Einfluss verschiedener Nagelformen
auf das Spannungseindrückungsbild

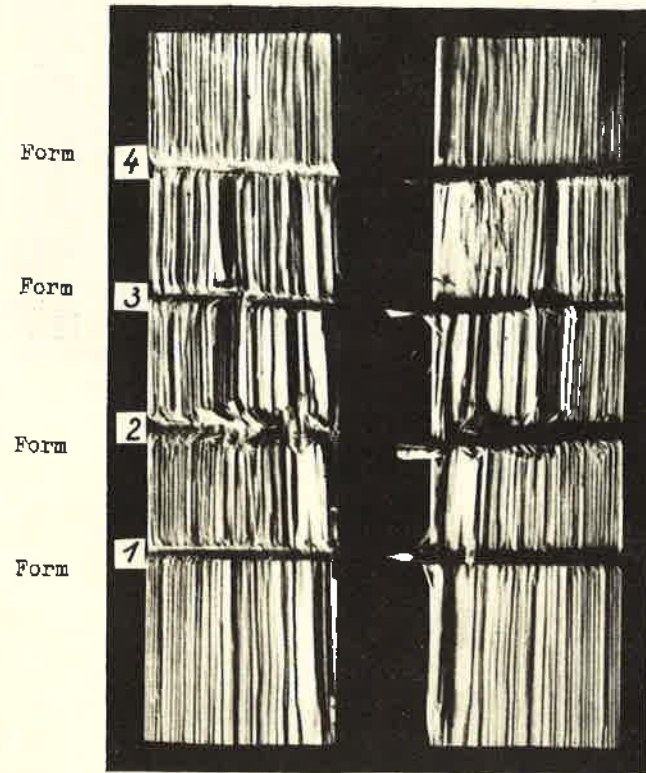


Bild 29
Zerstörungen beim Eintreiben von Nägeln

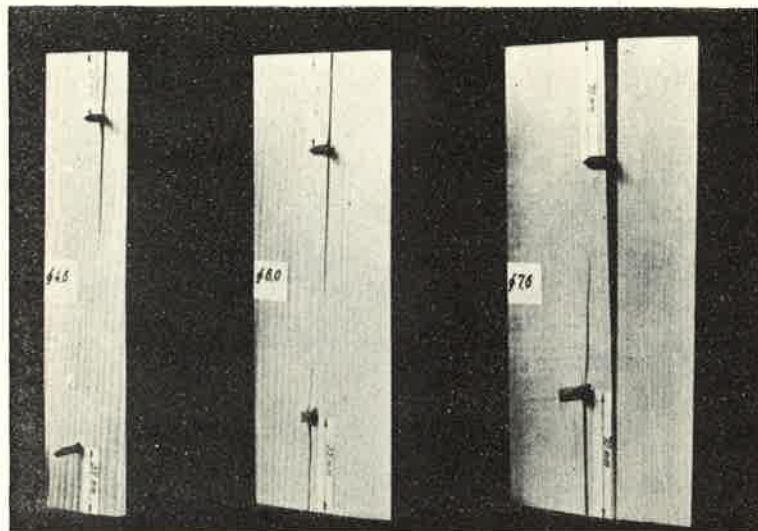
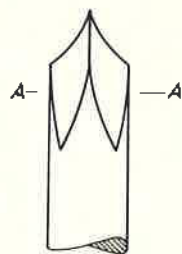


Bild 30
Spaltwirkung verschiedener Nagelformen
Oben: Form 1; Unten: Form 4



Schnitt A-A

Bild 31
Nagelform nach Haß
(DRP vom Jahre 1902)

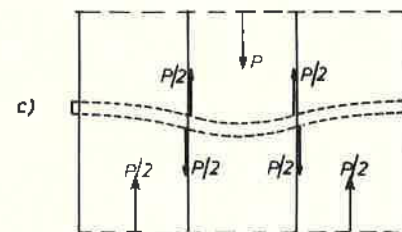
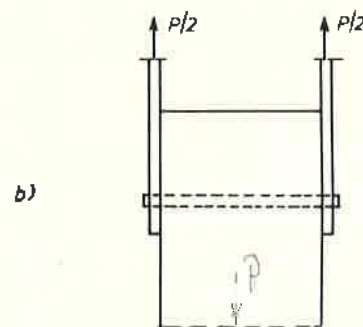
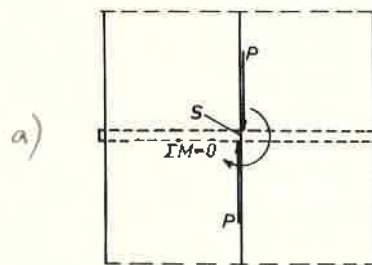


Bild 50
Einschnittige (a) und zweischnittige (b und c)
Verbindung

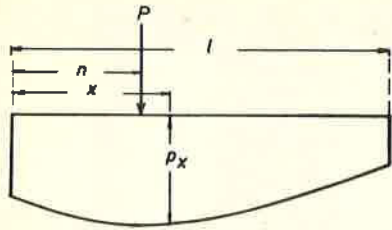


Bild 33
Elastisch gestützter Träger durch eine Einzellast beansprucht

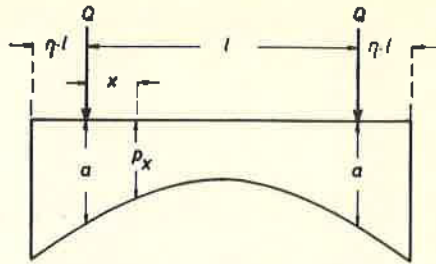


Bild 34
Elastisch gestützter Träger belastet durch 2 symmetrisch gelegene Lasten

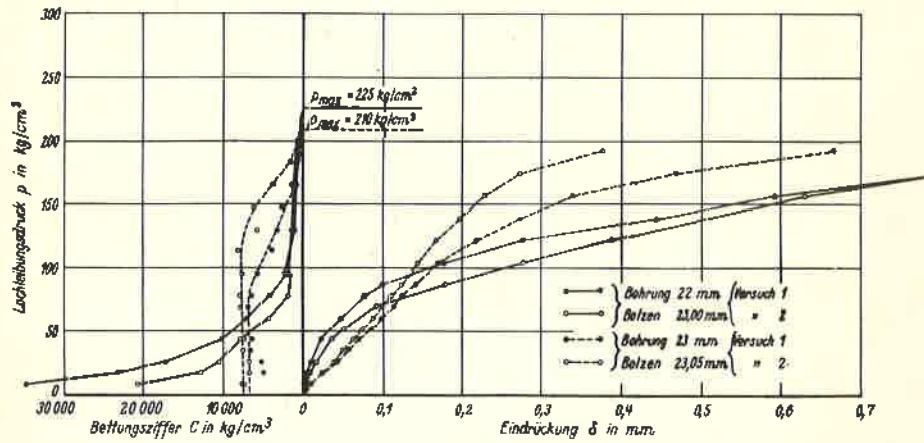
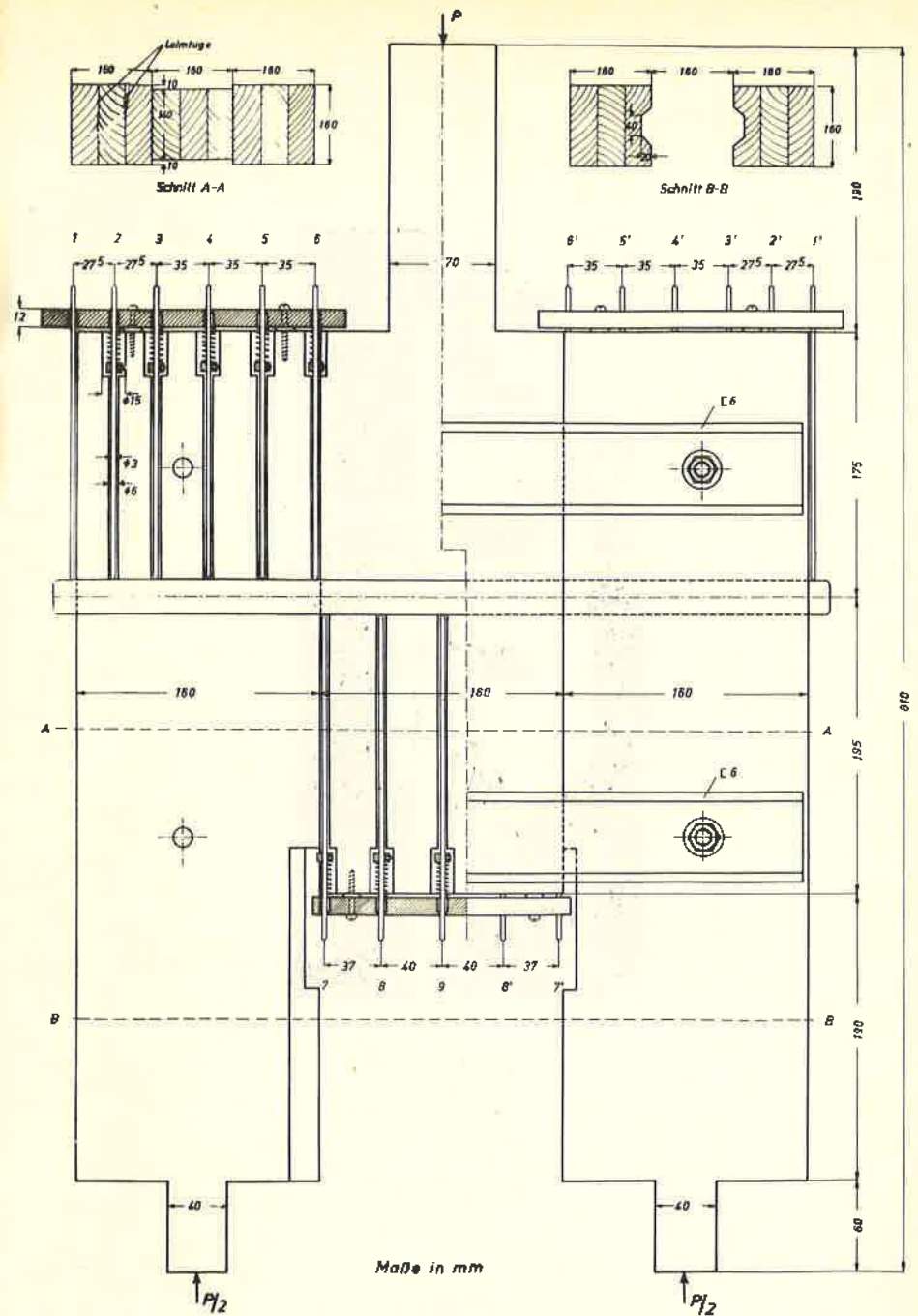


Bild 35
Spannungseindruckungslinien und Verlauf der Bettungsziffer C



Messung der Formänderungen einer 2-schnittigen Bolzenverbindung

Bild 36a
Versuchseinrichtung zur Messung der Formänderungen von Bolzenverbindungen

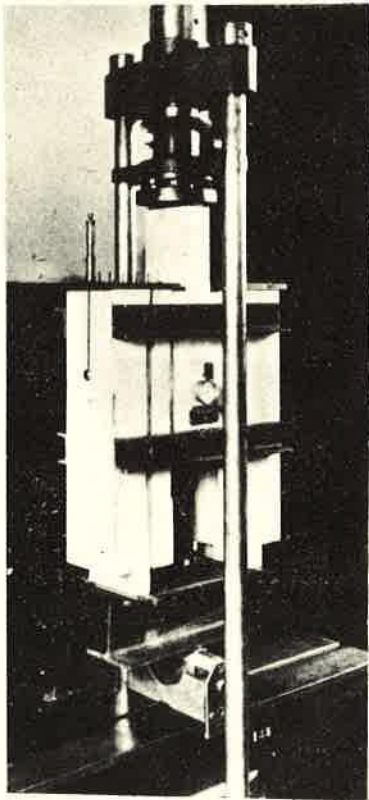


Bild 36b
Vorrichtung nach Bild 36a in
die Prüfmaschine eingebaut

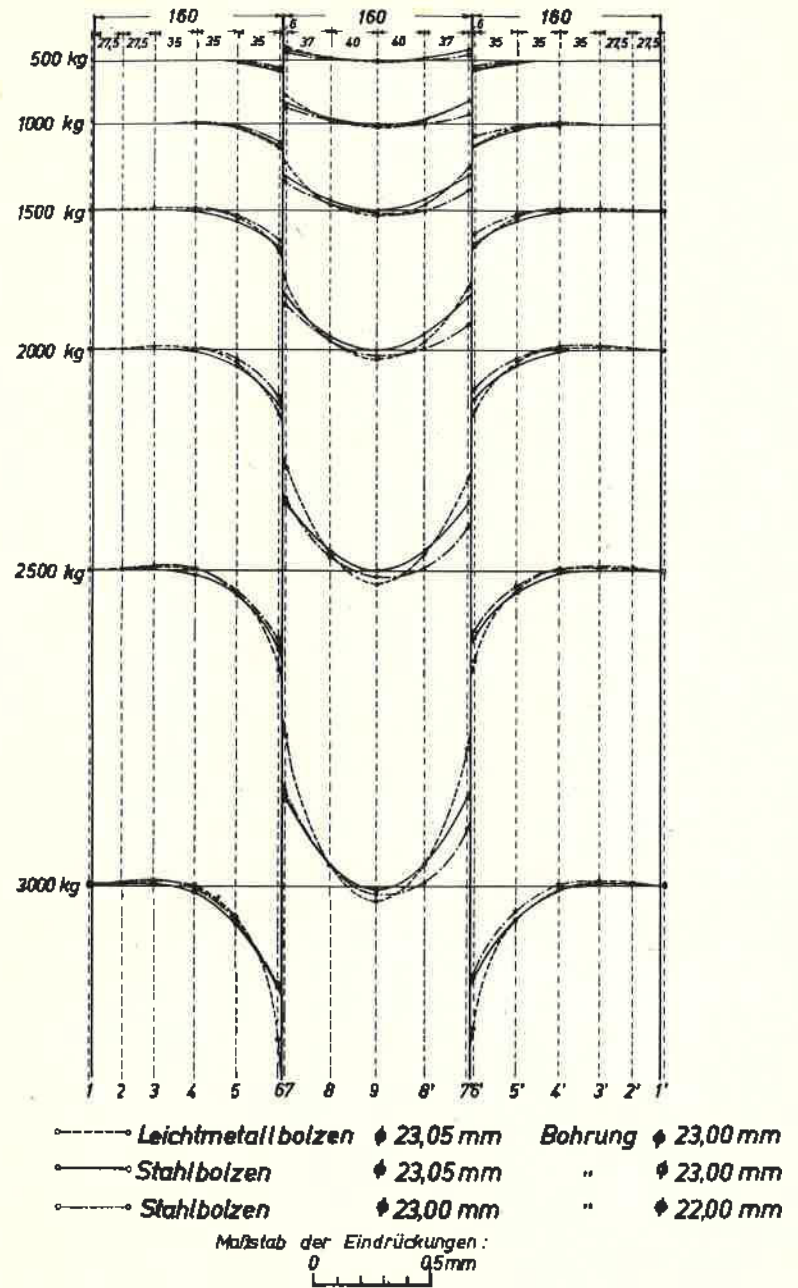
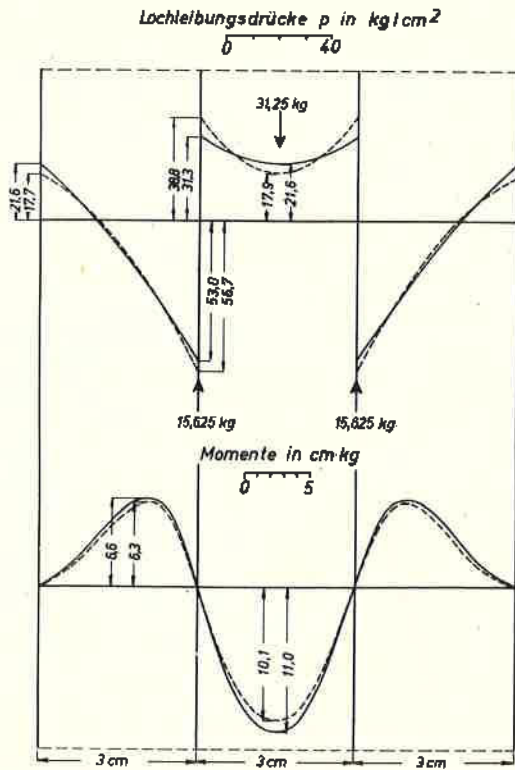


Bild 37
Ergebnisse der Versuche mit zwei-
schnittigen Holzverbindungen



2schnittige Nagelverbindung
 Einfluß der Bettungsziffer C
 ——— $C=3000 \text{ kg/cm}^3$
 - - - - $C=7000 \text{ kg/cm}^3$
 Nagel $\phi 4,2 \text{ mm}$

Bild 40
 Verteilung der Leibungsdrücke
 und Biegebeanspruchung in einer
 zweisechnittigen Nagelverbindung

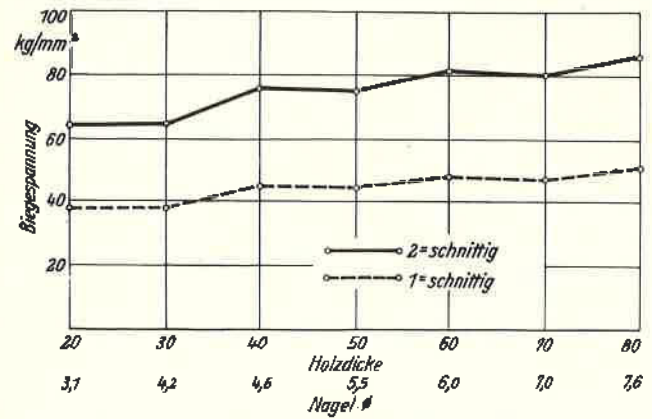


Bild 41
 Rechnerische Biegespannungen
 der Nägel bei Belastung nach
 DIN 1052

31