

KONSTRUKTIVE MÖGLICHKEITEN ZUR AUFNAHME  
VON SCHUB- UND QUERZUGSPANNUNGEN

Untersuchungen  
durchgeführt im Auftrage der Entwicklungsgemein-  
schaft HOLZBAU in der DGfH

Dr. Ing. Karl Möhler  
Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen  
Universität Karlsruhe (TH)

Dr. Ing. Manfred Rathfelder  
Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen  
Universität Karlsruhe (TH)

von  
Karl Möhler und Manfred Rathfelder  
Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen  
Universität Karlsruhe (TH)  
1978

## INHALT

1	Einleitung
2	Praktische Möglichkeiten zur Aufnahme von Schub- und Querkzugspannungen
3	Vorversuche
3.1	Nagelpreßleimung
3.2	Stabdübel, aufgenagelte Blechplatten und Nagelplatten
3.3	Eingeleimte Gewindestangen
4	Hauptversuche
4.1	Versuchsträger
4.2	Holzeigenschaften
4.3	Versuche mit Brettschichtträgern ohne und mit Verstärkung
4.3.1	Versuche mit verstärkten Trägern
4.3.2	Verstärkungsmaßnahmen
4.3.2.1	Aufgeleimte Buchenfurnierplatten
4.3.2.2	Aufgenagelte Blechdiagonalen
4.3.3	Versuche mit verstärkten Trägern
4.3.4	Ergebnis und Auswertung der Versuche
4.3.4.1	Auswertung der Durchbiegungsmessungen
4.3.4.2	Unverstärkte Träger
4.3.4.3	Verstärkte Träger
5	Schlußfolgerungen
	Schrifttum
23	Abbildungen und 6 Tabellen

## BERICHT

### Konstruktive Möglichkeiten zur Aufnahme von Schub- und Querkzugspannungen bei Brettschichtträgern

---

#### 1 Einleitung

Die Eignung brettschichtverleimter Rechteckquerschnitte für weitgespannte Träger- und Rahmenkonstruktionen hat dazu geführt, daß solche Binderformen oft bevorzugt angewendet werden, bei deren Gestaltung sich die Auswirkung der Anisotropie des Baustoffes Holz und seiner hygroskopischen Eigenschaften auf die Rißsicherheit und Festigkeit der Brettschichtholz-Bauteile nicht von vornherein erfassen läßt. Dies führte bei bestehenden Bauwerken zum Auftreten von Rissen, durch die die Aufnahme von lastabhängigen Schub- und Querkzugspannungen beeinträchtigt werden konnte. Das hatte zur Folge, daß Holzleim-Konstruktionen von Architekten, Statikern und Bauherren in zunehmendem Maße abgelehnt wurden, da man das Eintreten praktisch unvermeidlicher Rißschäden befürchtete. Die Untersuchung einschlägiger Schadensfälle hat gezeigt, daß unter bestimmten Voraussetzungen Schub- und Querkzugspannungen in einer Höhe auftreten, die teilweise auf die besondere Formgebung, aber auch auf die praktisch unvermeidbare Rißbildung aus Schwankungen der Holzfeuchtigkeit zurückgeführt werden müssen.

Derartige Risse verlaufen an den Außenseiten meist im Bereich der Leimfugen und gehen oft im Innern der Querschnitte in das massive Holz über. Im Rahmen einer bereits 1974 beantragten Forschungsaufgabe sollten konstruktive Möglichkeiten erarbeitet und in praxisnahen Versuchen erprobt werden, die geeignet erscheinen, die auftretenden Schub- und Querkzugbeanspruchungen sicher und ohne äußere Schadenserscheinungen aufzunehmen und gegebenenfalls bereits durch Rißbildung geschwächte Träger wieder in vollem Umfange tragsicher zu machen.

Die Auswertung der Literatur hat ergeben, daß ähnliche Untersuchungen in Kanada (1) und USA (2) in den letzten Jahren durchgeführt wurden, während aus dem europäischen Schrifttum keine diesbezüglichen Arbeiten entnommen werden konnten.

## 2 Praktische Möglichkeiten zur Aufnahme von Schub- und Querkzugspannungen

Wenn bei Brettschichtträgern durch ungünstige Klimaeinwirkungen mit Trockenrissen, die die ganze Querschnittsbreite erfassen und sich auf eine gewisse oder auf die ganze Trägerlänge erstrecken, zu rechnen ist oder eine derartige Rißbildung im Laufe der Gebrauchsdauer auftritt, können die in diesen Bereichen

auf tretenden Schub- oder Querkzugbeanspruchungen durch zusätzliche Konstruktionsteile aufgenommen werden. Je nach Art und Umfang der Rißbildung kann die Tragfähigkeit von Brettschichtträgern durch verschiedene praktisch durchführbare Verstärkungsmaßnahmen sichergestellt werden.

- a) Für die Aufnahme von Schubspannungen sind geeignet:
1. Stabdübel: Senkrecht zu den Rißflächen eingebrachte Stabdübel, durch die die Teilquerschnitte zu einem nachgiebig verbundenen Träger zusammengefaßt werden.
  2. Seitlich in Längsrichtung aufgenagelte Blechplatten, durch die ebenfalls ein Verbundquerschnitt hergestellt wird.
  3. Seitlich in Längsrichtung nachträglich angebrachte Nagelplatten (GN-Platten).
  4. Seitlich aufgenagelte Diagonalstäbe aus Furnierplatten oder dünnen, korrosionsgeschützten Blechen, mit oder ohne vorgebohrte Nagellöcher.
  5. Mittels Nagelpreßleimung aufgebrachte Furnierplatten.

Bei den Lösungen 1 bis 4 muß infolge der Nachgiebigkeit eine Reduzierung des rechnerischen Trägheits- und Widerstandsmomentes in Betracht gezogen werden. Diese Lösungen werden auf Ausnahmefälle beschränkt bleiben, bei denen die Lösung 5 nicht angewandt werden kann.

b) Für die Aufnahme von Schub- und Querkzugspannungen oder von Querkzugspannungen allein kommen infrage:

1. Mittels Nagelpreßleimung aufgebrachte Furnierplatten.
2. Eingeleimte Gewindestähle

### 3 Vorversuche

Da einige der für eine Dimensionierung erforderlichen Kennwerte der in Abschnitt 2 vorgeschlagenen Verstärkungsmaßnahmen nicht oder nur unzureichend bekannt sind, wurden zur Ermittlung dieser Größen einige Vorversuche durchgeführt.

#### 3.1 Nagelpreßleimung

Durch diese Versuche sollte zunächst geklärt werden, bei welchem Verbindungsmittel (glattschaftige Nägel, Schraubnägel, Rillennägel oder Klammern), bei welcher Nagelmethode (Hand- oder Maschinennagelung) und bei welcher Brettschichtholzoberfläche (abgeschliffen oder mit Besen gereinigt) eine ausreichende Scherfestigkeit der Verleimung erwartet werden kann. Hierzu wurden 2 Versuchskörper mit abgeschliffener und 2 weitere mit besengereinigter Holzoberfläche gemäß Bild 1 hergestellt. Der Leim (Kauresin 440, Härter 444 und Leimauftrag ca.  $500 \text{ g/m}^2$ ) wurde mit einer Zahnpachtel auf das Holz ( $u = 12 \%$ ) und die Buchenfurnierplatten ( $u = 10 \%$ ) aufgetragen. Bis zum Zusammenfügen der Teile wurde eine

Zeit von etwa 10 Minuten abgewartet, um die in der Praxis meist nicht vermeidbare Verzögerung zwischen Leimauftrag und Nagelung zu erfassen. Der Preßdruck wurde dann mit den angegebenen Verbindungsmitteln aufgebracht. Nach 3-tägiger Lagerung bei Normalklima 20/65 wurden die 4 Körper in einzelne Scherproben aufgeschnitten und diese nach Bild 2 geprüft. Die Ergebnisse der Versuche sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Hieraus geht hervor, daß die mit Nägeln hergestellten Körper höhere mittlere Schubbruchfestigkeiten und 5 %-Fraktilen aufwiesen als die mit Klammern angepreßten Körper. Drahtnägel waren etwas besser als Schraubnägel, bei denen bei besengereinigter Oberfläche besonders hohe Streuungen auftraten. Bei den Klammern waren die Streuungen bei geschliffener Brettschichtfläche größer und die mittleren Bruchfestigkeiten und 5 %-Fraktilen geringer als bei Besenreinigung. Die günstigsten Werte wurden mit Drahtnägeln 31/65 erreicht, bei denen die Schubbrüche vorwiegend im Sperrholz und verhältnismäßig wenig in der Leimfuge zum Vollholz auftraten. Bei den Klammern überwogen die Leimbrüche beim Vollholz, wobei die 5 %-Fraktilen nur 32 und 30 % der Mittelwerte erreichten, während bei den Nägeln diese Unterschiede unter 20 % betrugen. Bei einer etwa 2,75-fachen Sicherheit gegen die 5 %-Fraktile könnte bei Nagelpreßleimung mit runden Drahtstiften 31 x 65 (DIN 1151) bei besengereinigter Holzoberfläche mit einer zulässigen Scherspannung von

$$\text{zul } \tau_{\text{Leim}} = 1,5 \text{ N/mm}^2$$

bei geschliffener Oberfläche sogar mit  $1,9 \text{ N/mm}^2$  gerechnet werden.

### 3.2 Stabdübel, aufgenagelte Blechplatten und Nagelplatten

An "verdübelten" Balken nach Bild 3 bis 5 sollten die Wirksamkeit von Stabdübeln, aufgenagelten Blechplatten und Nagelplatten für die Übertragung der Schubkräfte von "in Querschnittsmitte gerissenen Trägern" untersucht werden. Eine Übersicht über die durchgeführten Versuche und die Ergebnisse gibt Tabelle 2. Die aus den Durchbiegungsmessungen ermittelten wirksamen Trägheitsmomente der verstärkten Träger betragen ca. 70 bis 80 % des vollen rechnerischen Trägheitsmomentes bei starrem Verbund. Die hieraus berechneten Verschiebungsmoduln für die einzelnen Verstärkungsmaßnahmen ergaben sich zu

$C = 100\ 000\ \text{N/cm}$	bei Stabdübeln ( $\emptyset 30$ )
$C = 9\ 000\ \text{N/cm}$	bei Lochplatten mit Nägeln $38 \times 100$
$C = 2\ 000\ \text{N/cm pro cm}^2$	wirksame Plattenfläche bei Nagelplatten GN 14

Gegenüber den mit zul  $\sigma = 10\ \text{N/mm}^2$  bzw. zul  $\tau = 0,9\ \text{N/mm}^2$  errechneten zulässigen Belastungen des Vollquerschnitts wurden Bruchsicherheiten zwischen 2,24 und 3,38 ermittelt.

### 3.3 Eingleimte Gewindestangen

Auf die Untersuchung von eingleimten Gewindestangen, vor allem im Hinblick auf die Aufnahme von Querspannungen, konnte im Rahmen dieser Arbeit verzichtet werden, da andere, kurz vor dem Abschluß stehende Forschungsarbeiten sich mit diesem Thema beschäftigen.

## 4 Hauptversuche

### 4.1 Versuchsträger

Für die Überprüfung der erfolgversprechenden Verstärkungsmaßnahmen wurden von einer Holzleimbau-firma Brettschichtträger 10/60/600 cm mit teilwei-se planmäßig nicht verleimten Fugen gemäß Bild 6 bezogen. Sämtliche Versuchsträger wurden aus 30 mm dicken und 6 m langen Lamellen der Güteklasse II (DIN 4074) ohne Keilzinkenstöße und mit einem Ab-schlußbrett der Güteklasse I mit Harnstoffharzleim verleimt. Zur Ermittlung der Holzeigenschaften wurden von beiden Trägerenden ca. 25 cm lange Stücke abge-schnitten, so daß für die Biegeversuche 5,50 m lange Träger zur Verfügung standen.

### 4.2 Holzeigenschaften

Aus den Endabschnitten der Versuchsträger wurden je Träger 2 Proben aus den Randlamellen und 2 Proben aus dem Innenbereich entnommen, an denen nach den einschlägigen Materialprüfnormen die maßgebenden Holz-eigenschaften festgestellt wurden.

Holzeigenschaften der Versuchskörper (60 Proben):

	mittlere Jahring- breite mm	Feuchtig- keitsge- halt u %	Roh- dichte g/cm <sup>3</sup>	Druckfestigkeit $\beta_{D  }$ bei	
				u %	15 %
Kleinst- wert	0,9	8,5	0,35	36,7	27,1
Mittel- wert	1,8	9,4	0,49	55,8	41,9
Größt- wert	3,9	10,2	0,60	77,1	55,9

### 4.3 Versuche mit den Brettschichtträgern ohne und mit Verstärkung

#### 4.3.1 Versuche mit unverstärkten Trägern

Zur Ermittlung der Elastizitätsmoduln und der wirklichen Biegesteifigkeiten der unverstärkten Träger wurden Belastungsversuche mit Lastanordnung I gemäß Bild 7 durchgeführt. Hierbei wurden die Lasten  $F$  in Stufen von  $F/4$  aufgebracht und dabei jeweils die Durchbiegungen in Trägermitte und in den Viertelpunkten der Stützweite sowie die Auflagereindrückungen mit Meßuhren festgestellt. Die Lasten  $F$  wurden dabei für die einzelnen Trägertypen so gewählt, daß eine maximale Biegerandspannung von  $10 \text{ N/mm}^2$  nicht überschritten wurde.

Bei 4 Versuchsträgern (A2, A3, C5 und C6) wurden die Lasten  $F$  bis zum Bruch gesteigert. Infolge ihrer geringen Steifigkeit konnten die Träger C5 und C6 aus versuchstechnischen Gründen mit Lastanordnung I (Bild 7) nur bis zu einer Mittendurchbiegung von ca. 50 mm belastet werden. Die Bruchversuche wurden dann mit Lastanordnung II gemäß Bild 8 durchgeführt.

#### 4.3.2 Verstärkungsmaßnahmen

##### 4.3.2.1 Aufgeleimte Buchenfurnierplatten

Entsprechend den Ergebnissen der Vorversuche wurden 7 Brettschichtträger mit planmäßig nicht verleimten Fugen gemäß Bild 9 und 10 mit 19 mm dicken Buchenfurnierplatten verstärkt. Leimart und Leimauftrag entsprachen hierbei den in Abschnitt 3.1 beschriebenen

Versuchen. Als Verbindungsmittel zum Aufbringen des erforderlichen Preßdruckes wurden runde Drahtstifte 31 x 65 (DIN 1151) gewählt, die ohne Vorbohren mit dem Hammer eingeschlagen wurden. Da in der Praxis eine Durchführung der Verstärkung bis zum theoretischen Auflager in der Regel durch die Stützenkonstruktion behindert wird, wurde der Anfang der Verstärkung 15 cm vor die Auflagermitte gelegt. Die erforderliche Furnierplattendicke erf  $t_{Fu}$  wurde aus der Beziehung

$$\text{erf } t_{Fu} = \frac{\max \tau}{\text{zul } \tau_{Fu}} \cdot \frac{b}{2}$$

ermittelt. Hierin bedeuten:

$b$  = Trägerbreite

$\max \tau$  = maximale Schubspannung im ungerissenen Querschnitt

$\text{zul } \tau_{Fu}$  = zulässige Schubspannung in der Furnierplatte rechtwinklig zur Plattenebene. Dieser Wert wurde abweichend von DIN 1052, Teil 1 mit  $3 \text{ N/mm}^2$  angenommen, da nach einschlägigen Versuchen Buchenfurnierplatten Scherfestigkeiten über  $10 \text{ N/mm}^2$  haben.

Bei voller Ausnutzung der für Brettschichtholz zulässigen Schubspannung von  $\text{zul } \tau = 1,2 \text{ N/mm}^2$  ergibt sich bei einer Trägerbreite von 10 cm die erforderliche Plattendicke zu

$$\text{erf } t_{Fu} = \frac{1,2 \cdot 10}{3,0 \cdot 2} = 2,0 \text{ cm} \quad \text{gewählt } 19 \text{ mm.}$$

Unter Annahme einer parabelförmigen Schubspannungsverteilung in der Leimfuge nach Bild 11 errechnet sich die erforderliche Leimflächenhöhe erf c aus der Bedingung

$$\tau \cdot b = 2 \cdot \text{erf } c \cdot \frac{\text{zul} \tau_{\text{Leim}}}{1,5}$$

zu 
$$\text{erf } c = \frac{3}{4} \cdot \frac{\tau}{\text{zul} \tau_{\text{Leim}}} \cdot b$$

wobei  $\tau$  die maßgebende Schubspannung im ungerissenen Querschnitt darstellt (siehe Bild 11). Für Trägertyp A und B nach Bild 6 erhält man

$$\text{erf } c = \frac{3}{4} \cdot \frac{1,2}{1,5} \cdot 10 = 6,0 \text{ cm}$$

Für Trägertyp C und D gilt:

$$\text{erf } c = \frac{3}{4} \cdot \frac{0,9}{1,5} \cdot 10 = 4,5 \text{ cm.}$$

Da jedoch eine Mindestleimflächenhöhe von ca. 5 cm als erforderlich angesehen wurde, wurde für alle Trägertypen  $c = 6 \text{ cm}$  gewählt.

#### 4.3.2.2 Aufgenagelte Blechdiagonalen

Bei dieser Möglichkeit, Schubspannungen aufzunehmen, soll bei einem im mittleren Bereich der Trägerhöhe gerissenen Binder durch aufgenagelte Blechdiagonalen

ein fachwerkartiges Tragsystem hervorgerufen werden, dessen Pfostenkräfte durch Querdruckspannungen im Holz übertragen werden. Die Ausbildung der 4 Versuchsträger, die mit dieser Methode verstärkt wurden, sowie die angenommenen Systemlinien des sich ausbildenden Fachwerks zeigt Bild 12. Als ideale Gurthöhe wurde hierbei ein Viertel der Trägerhöhe angenommen. Sämtliche Blechdiagonalen wurden unter einem Winkel von  $45^\circ$  zur Trägerlängsachse angeordnet. Die Nagelöcher wurden im Blech mit 3 mm Durchmesser vorgebohrt. Als Verbindungsmittel zwischen "Gurt" und Diagonalen wurden Nägel 31 x 65 (DIN 1151) gemäß Bild 13 eingeschlagen. Durch dieses Nagelbild, das von den Bestimmungen der DIN 1052 abweicht, sowie durch die Verwendung von relativ dünnen Nägeln, sollte ein Aufspalten des Holzes durch die starke Nagelkonzentration vermieden werden. Die für die Dimensionierung erforderliche Diagonalkraft Z wurde zu

$$Z = \frac{Q}{\sqrt{2}} \quad (Q = \text{Querkraft})$$

angenommen. Hierbei ergibt sich bei Ausnutzung der zulässigen Querkraft des Vollquerschnitts von  $Q = 48 \text{ kN}$  die erforderliche Nagelanzahl zu

$$n = \frac{48000}{\sqrt{2} \cdot 1,25 \cdot 375} = 72,4$$

././.

Die Diagonalenbreite erhält man aus der Bedingung, daß die Verbindungsmittel im oberen bzw. unteren Viertel der Trägerhöhe angeordnet werden müssen. Bei einer gewählten Blechbreite von 210 mm errechnet sich die erforderliche Blechdicke zu

$$\text{erf } t = \frac{48000}{\sqrt{2} \cdot 160 \cdot (210 - 12 \cdot 3,1)} = 1,23 \text{ mm}$$

Gewählt wurde ein 2 mm dickes Blech, um bei einer eventuellen Momenteneinwirkung ein vorzeitiges Ausbeulen der Diagonalen zu verhindern.

#### 4.3.3 Versuche mit verstärkten Trägern

Die Versuche zur Ermittlung der Steifigkeit der verstärkten Träger wurden mit Lastanordnung I nach Bild 7 durchgeführt. Die Lasten F wurden hierbei in Stufen von 12 kN bis zur zulässigen Querkraft des Vollquerschnitts von  $zul\ Q = 48\text{ kN}$  aufgebracht und dabei jeweils die Durchbiegungen in Trägermitte und in den Viertelpunkten der Stützweite sowie die Auf- lagereindrückungen mit Hilfe von induktiven Wegauf- nehmern bzw. Meßuhren ermittelt. Nach einer an- schließenden Entlastung wurden sämtliche Meßeinrich- tungen mit Ausnahme der induktiven Wegaufnehmer in Trägermitte entfernt und die Lasten F bis zum Ver- sagen der verstärkten Träger gesteigert. Bei einigen Trägern konnte kein Versagen der Verstärkung erzwungen werden, da die Höhe der Last F durch die aufnehmbare Querdruckspannung in der Lasteinleitung begrenzt wurde.

In diesen Fällen wurde ein zweiter Bruchversuch mit Lastanordnung II nach Bild 8 zur Ermittlung des aufnehmbaren Biegemoments durchgeführt. Bei den Trägern D3 und D4 (Verstärkung mit aufgenagelten Blechdiagonalen) wurden sowohl bei den Steifigkeits- als auch Bruchversuchen die in den Blechen auftretenden Spannungen mit Hilfe von Dehnungsmeßstreifen ermittelt.

#### 4.3.4 Ergebnis und Auswertung der Versuche

##### 4.3.4.1 Auswertung der Durchbiegungsmessungen

Aus den Durchbiegungsdifferenzen zwischen den Träger- viertelspannen und der Trägermitte wurden die Elastizitätsmoduln  $E$  und die Biegesteifigkeit  $EI$  der unverstärkten sowie die Biegesteifigkeit  $EI_v$  der verstärkten Träger im mittleren Bereich der Stützweite festgestellt. Die Steifigkeiten  $EI_0$  bzw.  $EI_{0v}$  in den äußeren Vierteln der Stützweite wurden ohne Berücksichtigung des Schubdurchbiegungsanteils aus den in den Viertelspannen der Stützweite gemessenen Durchbiegungen errechnet. Sämtliche Werte sind in Tabelle 4 bis 6 zusammengestellt. Ein Vergleich zwischen den Biegesteifigkeiten  $EI'_0$  und  $EI'_{0v}$  zur Beurteilung von Verstärkungsmaßnahmen vermittelt wegen des relativ großen Schubdurchbiegungsanteils, der bei verstärkten Trägern infolge der unbekanntenen Schubspannungsverteilung nicht genau berechenbar ist, ein unvollkommenes, teilweise sogar falsches Bild. Eine bessere Vergleichsmöglichkeit bietet der theoretisch mögliche Wirkungsgrad  $\eta$ , der in Tabelle 3 in Abhängigkeit vom

Verhältnis  $E/G$  ( $E$  = Elastizitätsmodul;  $G$  = Schubmodul des Brettschichtträgers) für die einzelnen Trägertypen nach Bild 6 angegeben ist. Der Wirkungsgrad  $\eta$  wurde aus dem Verhältnis der Mittendurchbiegungen eines Trägers mit Fehlfugen und eines ungeschwächten Trägers mit Berücksichtigung der Schubdurchbiegungen abgeleitet. Die Wirksamkeit der Verstärkung kann durch Vergleich des theoretischen Werts  $\eta$  mit dem in Tabelle 5 und 6 angegebenen, aus Durchbiegungsmessungen gewonnenen Wert  $\eta = EI_{constv}/EI_{const}$  beurteilt werden, wobei  $EI_{const}$  bzw.  $EI_{constv}$  die gemessenen Biegesteifigkeiten von unverstärkten bzw. verstärkten Trägern darstellen, deren Trägheitsmomente über die gesamte Stützweite als constant angenommen wurden.

#### 4.3.4.2 Unverstärkte Träger

In Tabelle 4 sind neben den gemessenen Elastizitätsmoduln und Biegesteifigkeiten der unverstärkten Träger die aufgenommenen Biegemomente und die zulässigen rechnerischen Biegebruchspannungen zusammengestellt. Außerdem sind hier die Lasten  $F_{krit}$  angegeben, bei denen, von den planmäßigen Fehlfugen ausgehend, eine Ribbildung im querkraftfreien Trägerbereich beobachtet wurde.

#### 4.3.4.3 Verstärkte Träger

In Bild 14 bis 16 sind die Last-Durchbiegungslinien von verstärkten und unverstärkten Trägern des Typs A bzw. C dargestellt. Neben den bereits erläuterten

Steifigkeiten sind in Tabelle 5 und 6 die erreichten Höchstlasten  $\max F$  sowie die Sicherheitsfaktoren  $\nu = \max F / \text{zul } Q$  ( $\text{zul } Q = 48 \text{ kN} = \text{zulässige Querkraft des Vollquerschnitts}$ ) angegeben. Weiterhin sind hier die aufnehmbaren Momente  $\max M$ , die Sicherheitsfaktoren  $\nu = \max M / \text{zul } M$  ( $\text{zul } M = 84 \text{ kNm} = \text{zulässiges Biegemoment des Vollquerschnittes bei } \text{zul } \sigma_B = 14 \text{ N/mm}^2$ ) sowie die Bruchursachen zusammengestellt. Der Vergleich der  $\eta$ -Werte mit den in Tabelle 3 angegebenen mittleren theoretisch möglichen Wirkungsgraden für  $E/G = 22$  zeigt, daß bei Trägern mit aufgeleimten Buchenfurnierplatten die Steifigkeit des ungeschwächten Vollquerschnitts nicht nur erreicht, sondern sogar überschritten wird, während bei Trägern mit aufgenagelten Blechdiagonalen infolge der Nachgiebigkeit der Verbindungsmittel die ursprüngliche Steifigkeit eines Trägers ohne Fehlfugen nicht ganz wiederhergestellt werden kann. Bei den Versuchen mit aufgeleimten Buchenfurnierplatten wurden für die Trägertypen A und B Bruchsicherheiten gegenüber der zulässigen Querkraft des Vollquerschnitts von 2,68 bis 3,30 festgestellt. Dies entspricht rechnerischen Spannungen in der Leimfuge (berechnet nach Abschnitt 4.3.2.1) von 4,02 bis 4,96  $\text{N/mm}^2$ , im Mittel  $\tau_{\text{Leim}} = 4,41 \text{ N/mm}^2$ . Für die Trägertypen C und D ergaben sich Sicherheiten von 3,03 bis 3,75, wobei die Leimspannungen zu 3,41 bis 4,22  $\text{N/mm}^2$ , im Mittel zu  $\tau_{\text{Leim}} = 3,92 \text{ N/mm}^2$  errechnet wurden. Bild 18 bis 21 zeigt je einen Träger dieser Versuchsreihe nach dem Versagen der Verleimung zwischen Buchenfurnierplatte und Brettschichtholz.

Zur Prüfung, inwieweit eine Wechselklimalagerung die Scherfestigkeit der Verleimung zwischen Furnierplatte und Brettschichtholz vermindert, wurden dem Träger C1, bei dem kein Versagen der Nagelpreßverleimung eingetreten war, 2 Trägerabschnitte mit aufgeleimten Furnierplatten entnommen, wovon einer (10 x 60 x 80 cm) in Anlehnung an DIN 68 141 einer Wechselklimalagerung mit 4 Zyklen unterzogen wurde, von denen jeder die nachstehend aufgeführten 3 Teillagerungen umfaßte.

Zyklen der Wechselklimalagerung von nagelpreßverleimten Brettschicht-Furnierproben

Teil-lagerung	Dauer in h	Temperatur °C	rel. Luftfeuchte %
A	48	50	≈ 100
B	16	10	≈ 100
C	32	50	≈ 20

Ein Zyklus umfaßte somit 4 Tage.

Der zweite Trägerabschnitt wurde als Vergleichskörper im Normalklima 20/65 gelagert. Ein Vergleich der Scherfestigkeiten beider Trägerabschnitte, die anhand von Scherproben nach Bild 2 ermittelt wurden, zeigt, daß durch die angewandte Wechselklimalagerung die Verleimungsfestigkeit nicht beeinträchtigt wird.

Für die Träger mit aufgenagelten Blechdiagonalen ergaben sich gegenüber der zulässigen Querkraft des Vollquerschnitts Bruchsicherheiten von 3,27 bis 3,76. Bild 17 zeigt, daß die tatsächlich auftretenden Zugkräfte in den Diagonalen geringer als die angenommene theoretische Zugkraft  $Z = F/\sqrt{2}$  sind. Da jedoch die mit Hilfe der Dehnungsmeßstreifen ermittelten Randspannungen der Blechdiagonalen zeigen, daß zusätzlich zur Zugkraft auch ein geringes Biegemoment auf die Diagonalen einwirkt, erscheint es sinnvoll, die Nägel für die volle theoretische Zugkraft zu dimensionieren. Bild 22 und 23 zeigt 2 Träger dieser Versuchsreihen nach dem Bruchversuch.

## 5 Schlußfolgerungen

Die Versuche über die Möglichkeiten zur Aufnahme von Schub- und/oder Querkzugspannungen haben ergeben, daß mittels Nagelpreßleimung auf den Außenflächen von Brettschichtträgern aufgebrachte Buchenfurnierplatten die bei Rißschäden möglichen Schwächungen der Rechteckquerschnitte in vollem Umfange aufnehmen können. Für die Nagelung sind Drahtnägel 31/65 nach DIN 1151 zu verwenden, wobei die Nageldichte etwa 1 Nagel auf  $60 \text{ cm}^2$  Fläche nicht überschreiten sollte. In diesem Falle kann eine Scherspannung in der Leimfuge von  $1,5 \text{ N/mm}^2$  als zulässig angenommen werden. Die Oberflächen des Brettschichtholzes sind vor dem Aufbringen des Leimes mindestens sorgfältig abzubürsten,

besser leicht abzuschleifen. Die Furnierplattendicke und die Leimflächen sind für die Aufnahme der Gesamtschubkräfte des zu verstärkenden Trägerabschnittes zu bemessen, wobei eine Schubspannung senkrecht zur Furnierplattenfläche von  $3 \text{ N/mm}^2$  der Rechnung zugrunde gelegt werden kann. Für die Aufnahme von Querkzugspannungen können die zulässigen Zugspannungen für Baufurnierplatten in Ansatz gebracht werden. Weniger zu empfehlen sind seitlich aufgenagelte, gelochte Bleche in Längsrichtung oder Nagelplatten sowie Stabdübel. Dagegen können Schubkräfte zuverlässig auch durch Blechdiagonalen aufgenommen werden, wie auch aus Untersuchungen von Zornig und Vick (2) hervorgeht. In diesem Falle ist eine Neigung der Diagonalen von  $45^\circ$  anzustreben. Wie die Versuche gezeigt haben, lassen sich sowohl bei den mittels Furnierplatten als auch mittels Blechdiagonalen verstärkten Trägern die zulässigen Querkkräfte des Vollquerschnittes mit ausreichender Sicherheit aufnehmen, während die Biegesteifigkeit bei den nachgiebig angeschlossenen Blechen etwas geringer ist als bei den aufgeleimten Furnierplatten.

Schrifttum

- (1) Fox, S.P.: Shear reinforcement for glued laminated beams. Information Report VP-X-102, Western Forest Products Laboratory, Vancouver, 1972.
- (2) Zornig, H.F., Vick, C.P.: Methods of Nailing and Adhesive Consistency Affect the Strength of Nailed-Glued Construction Joints. Forest Products Journal, Vol. 24 (1974) Nr. 12, S. 17/22.

Bild 18: Träger B2 nach dem Versagen der Verleimung

Bild 19: Träger C2 beim Bruchversuch

Bild 20: Träger C2 nach dem Versagen der Verleimung

Bild 21: Träger D2 nach dem Versagen der Verleimung

Bild 22: Träger D3 nach dem Bruchversuch  
Bruchursache: Biegebruch

Bild 23: Träger D4 nach dem 2. Bruchversuch  
(Lastanordnung II nach Bild 8)  
Bruchursache: Biegebruch

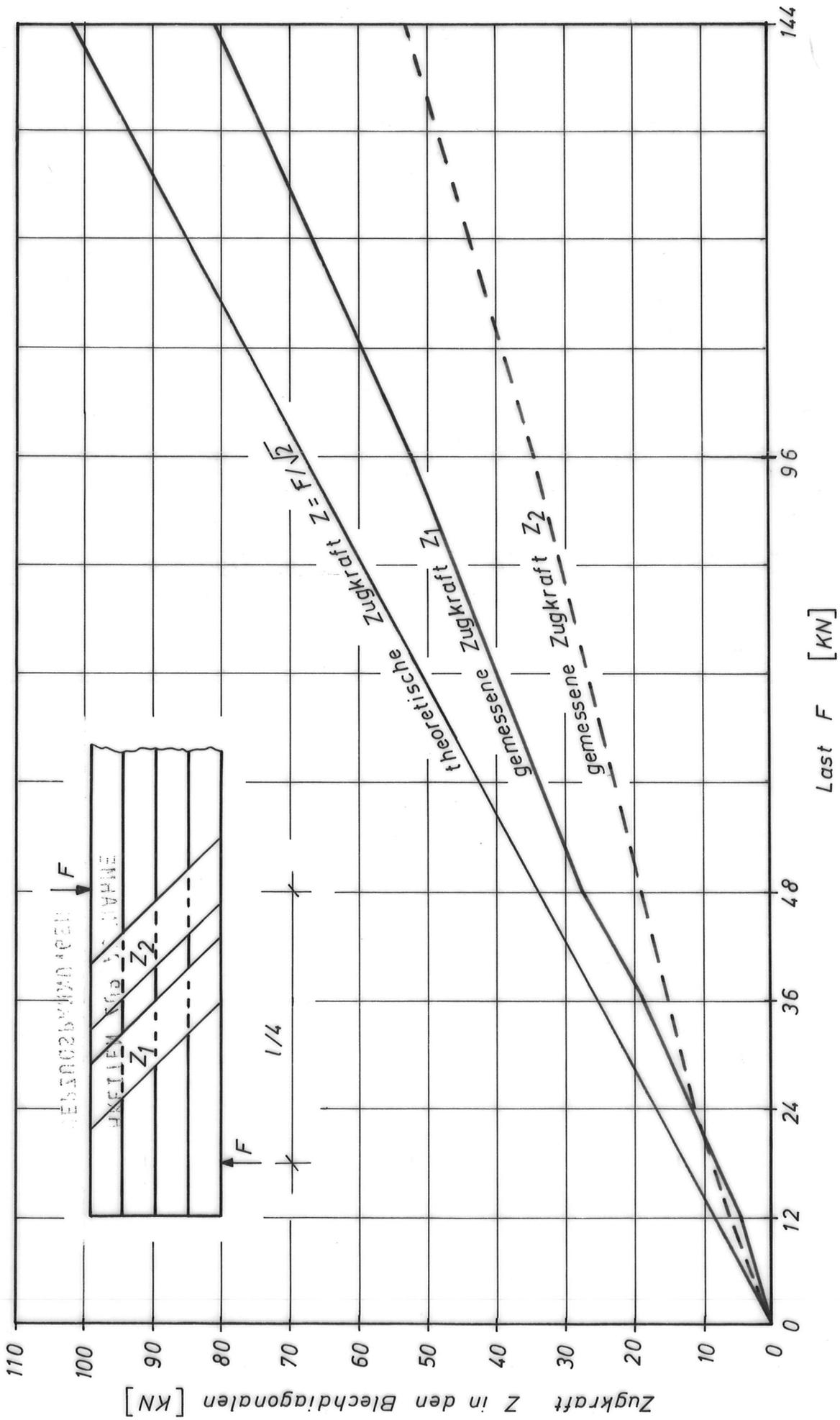
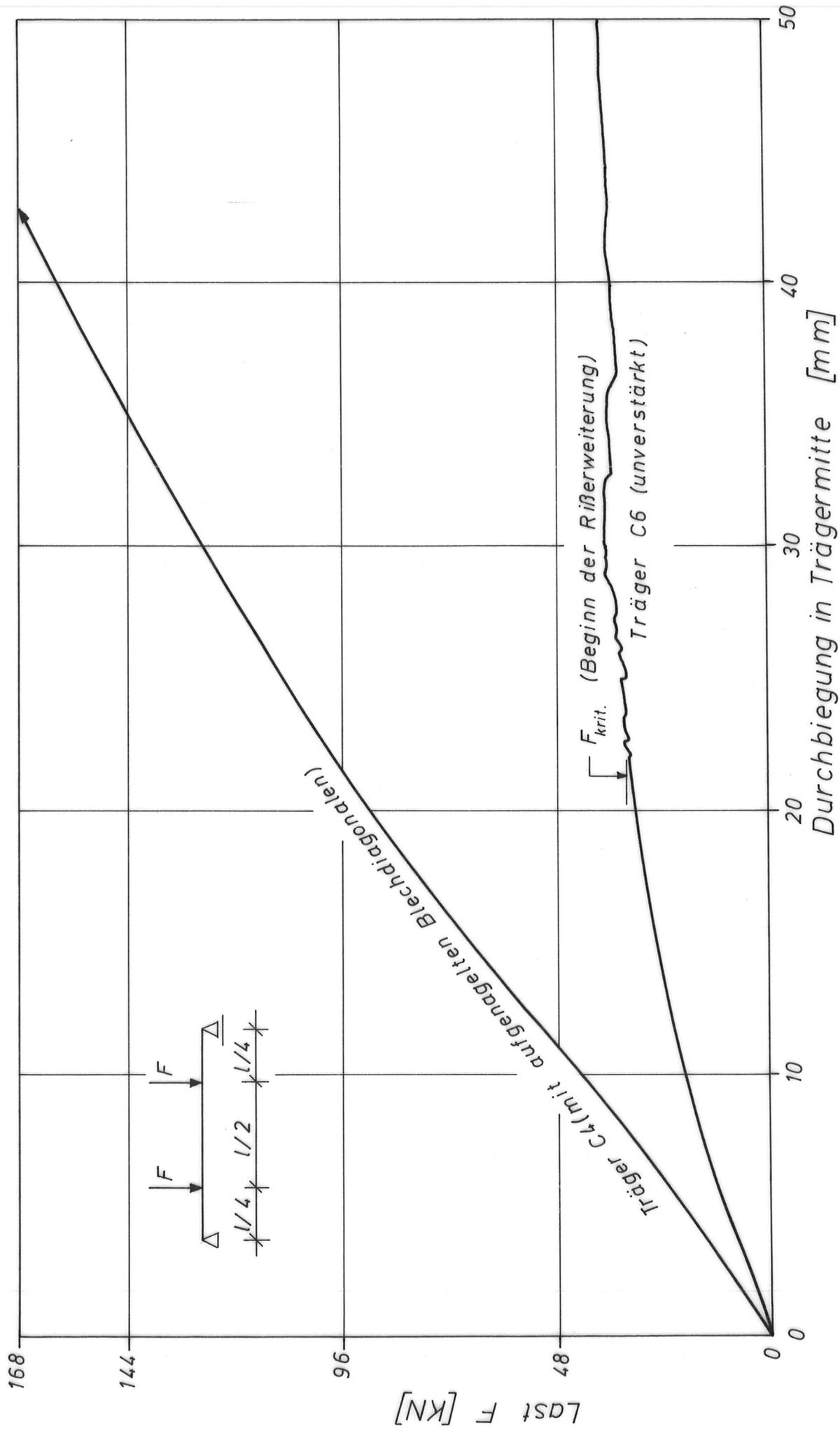


Bild 17: Meßwerte der Zugkräfte in den Blechdiagonalen (Träger D 4)



**Bild 16 : Vergleich zwischen Träger C4 (verstärkt mit aufgenagelten Blechdiagonalen) und Träger C6 (unverstärkt)**

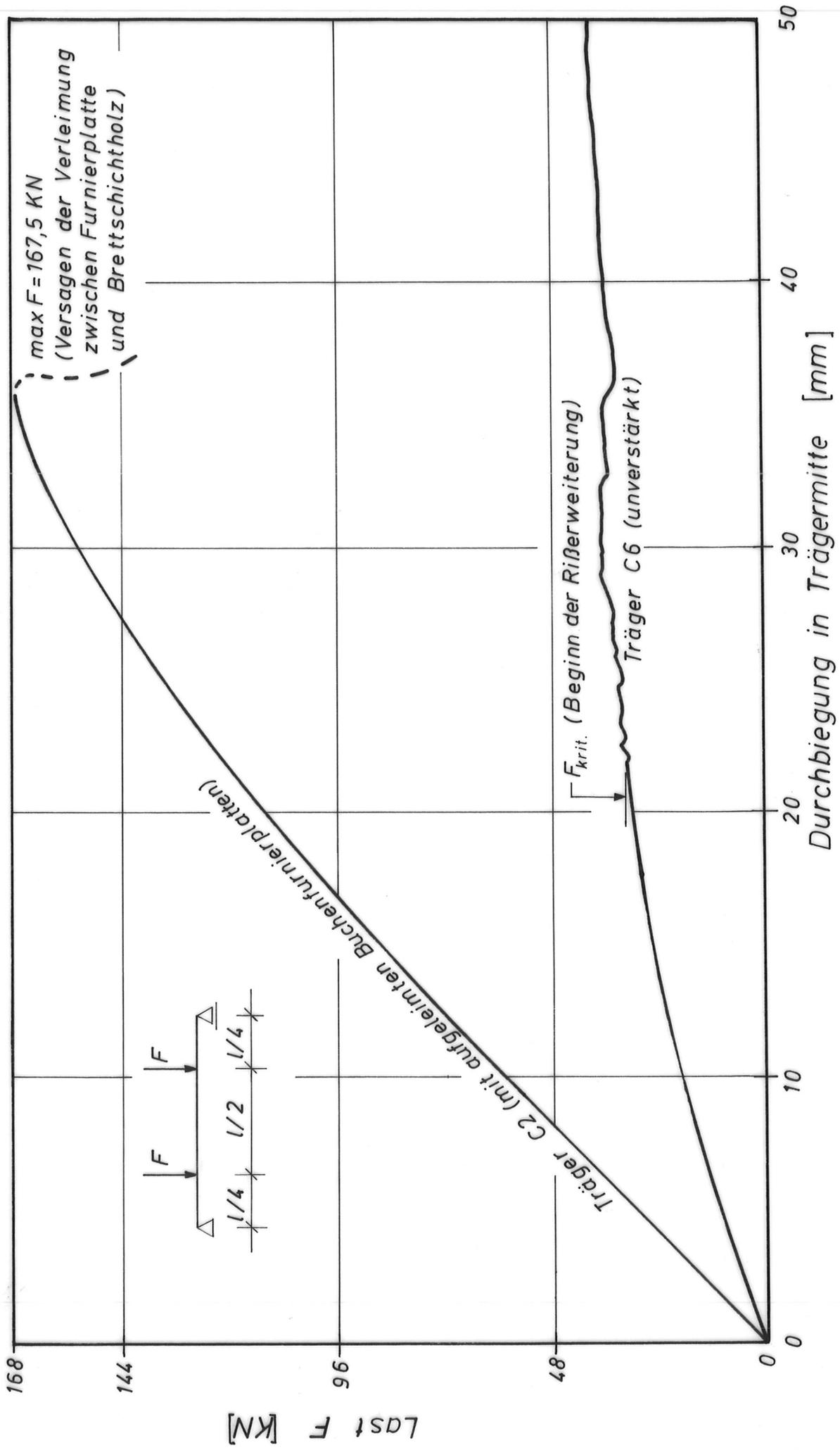
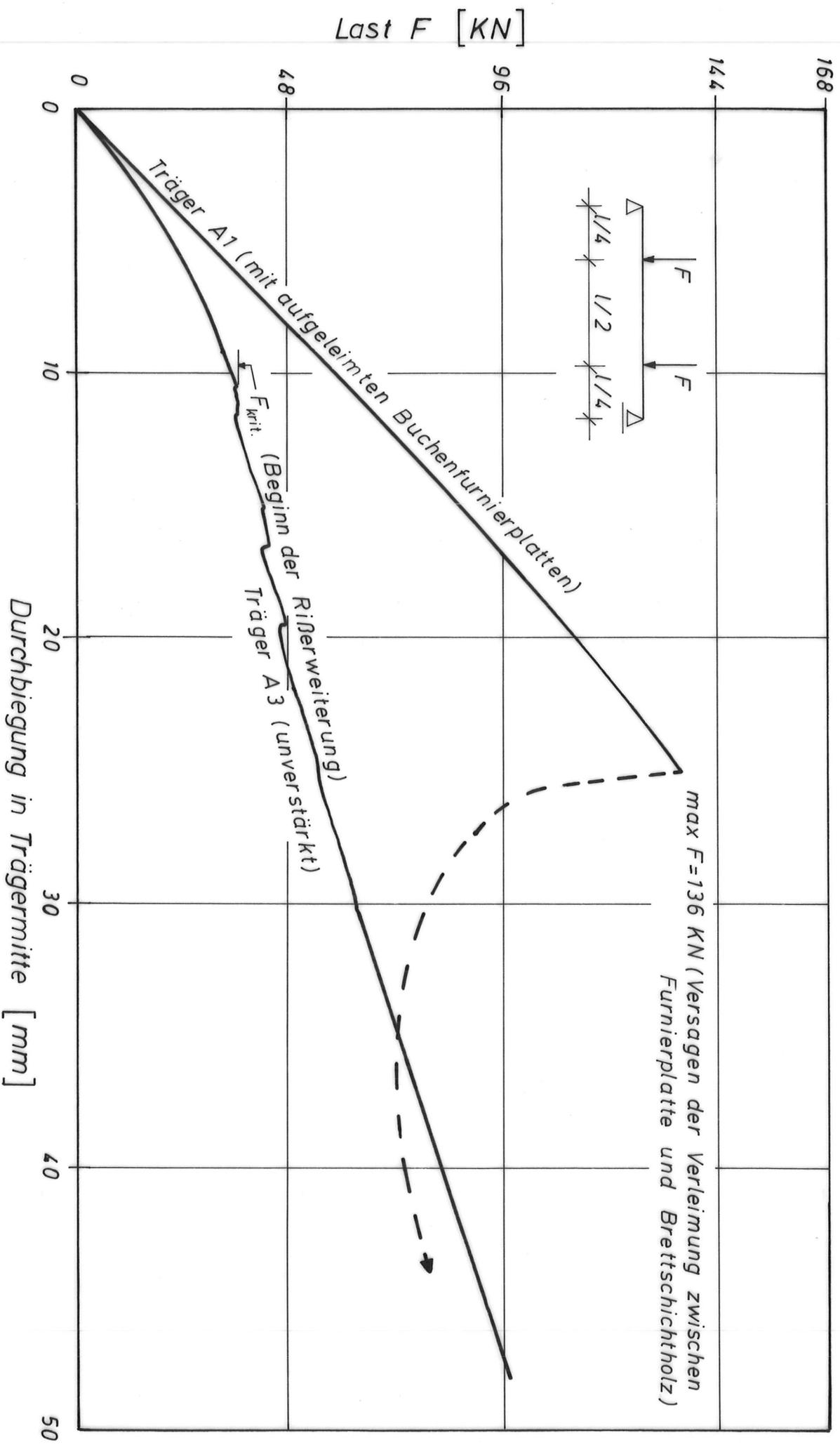
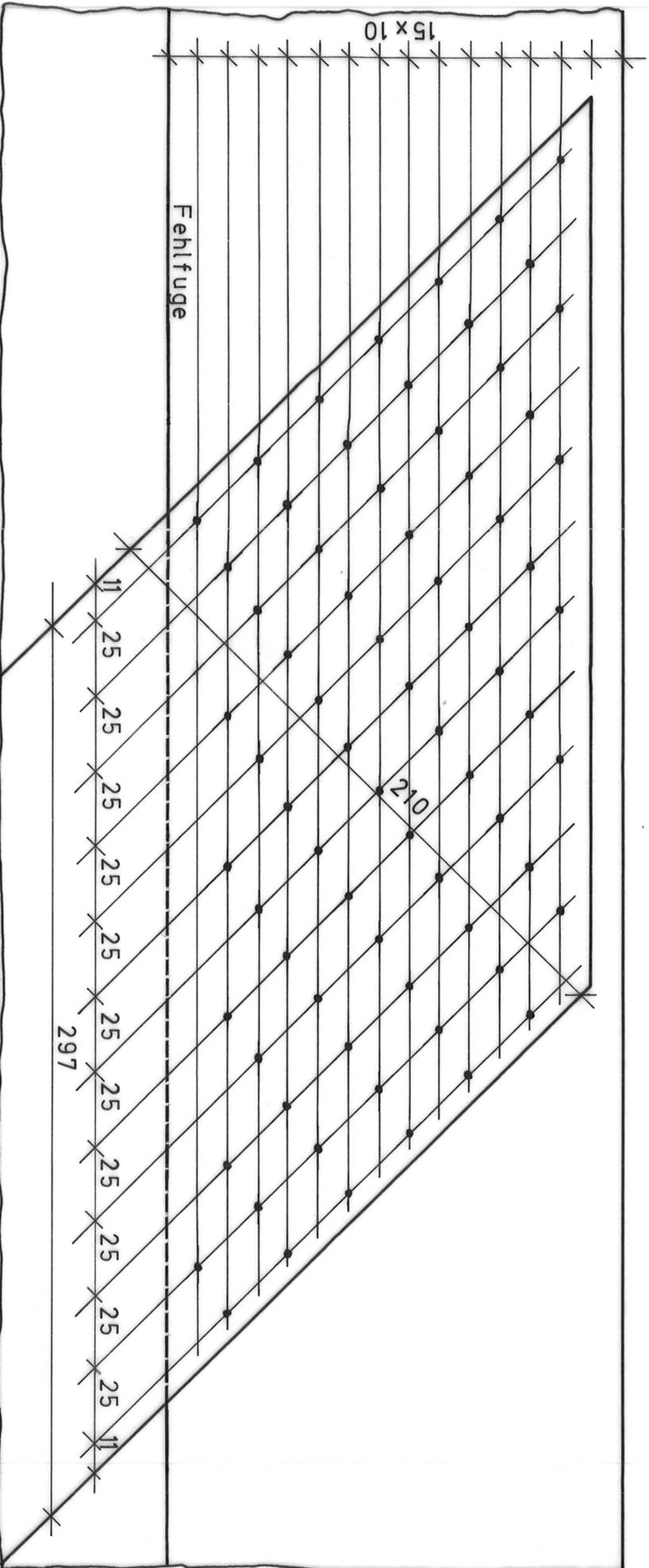


Bild 15: Vergleich zwischen Träger C2 (verstärkt mit aufgeleimten Furnierplatten) und Träger C6 (unverstärkt)



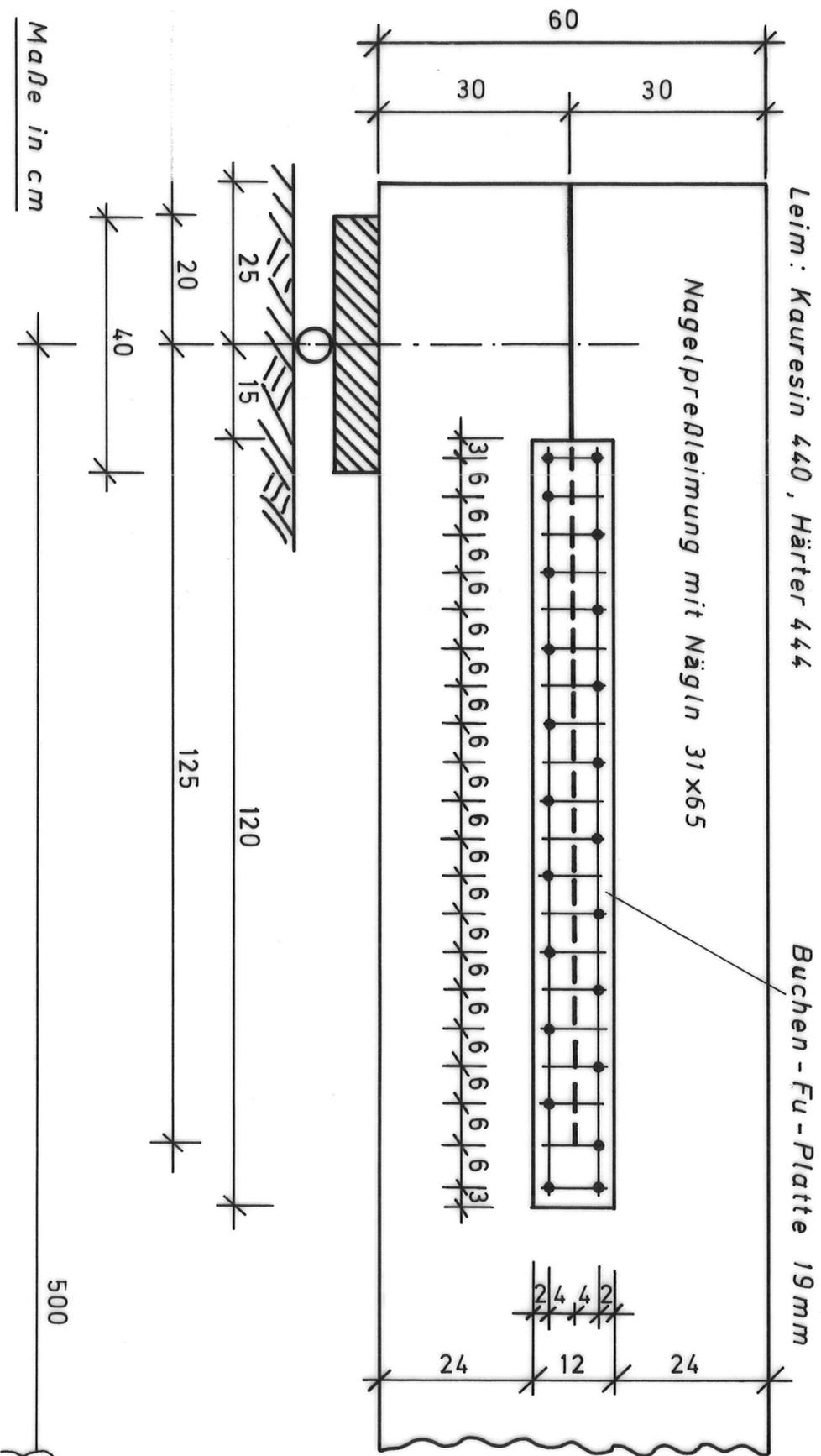
**Bild 14:** Vergleich zwischen Träger A1 (verstärkt mit aufgeleimten Furnierplatten und Träger A3 (unverstärkt))



74 Nägel 31 x 65 / Seite

Maße in mm

Bild 13 : Nagelbild der Blechdiagonalen



**Bild 10 : Verstärkung der Träger A1, B1 und B2 durch aufgeleimte Buchenfurnierplatten**

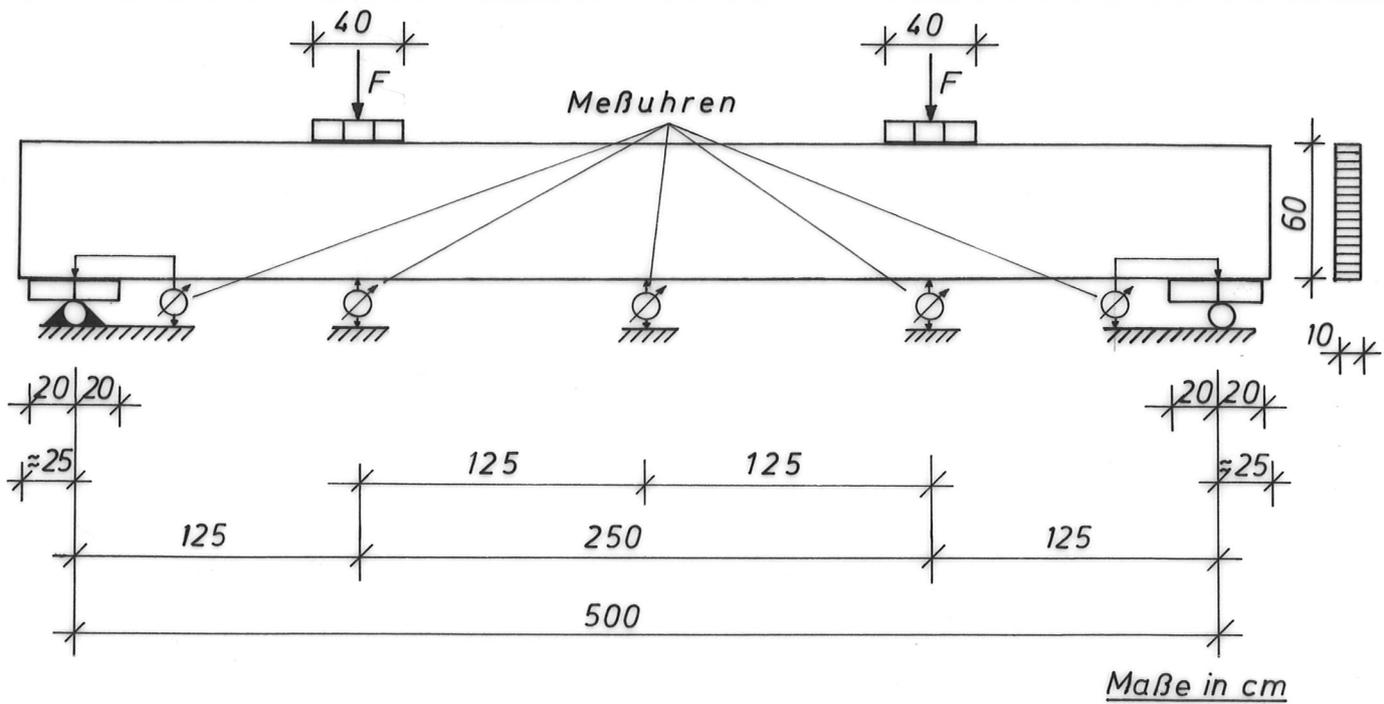


Bild 7 : Lastanordnung I

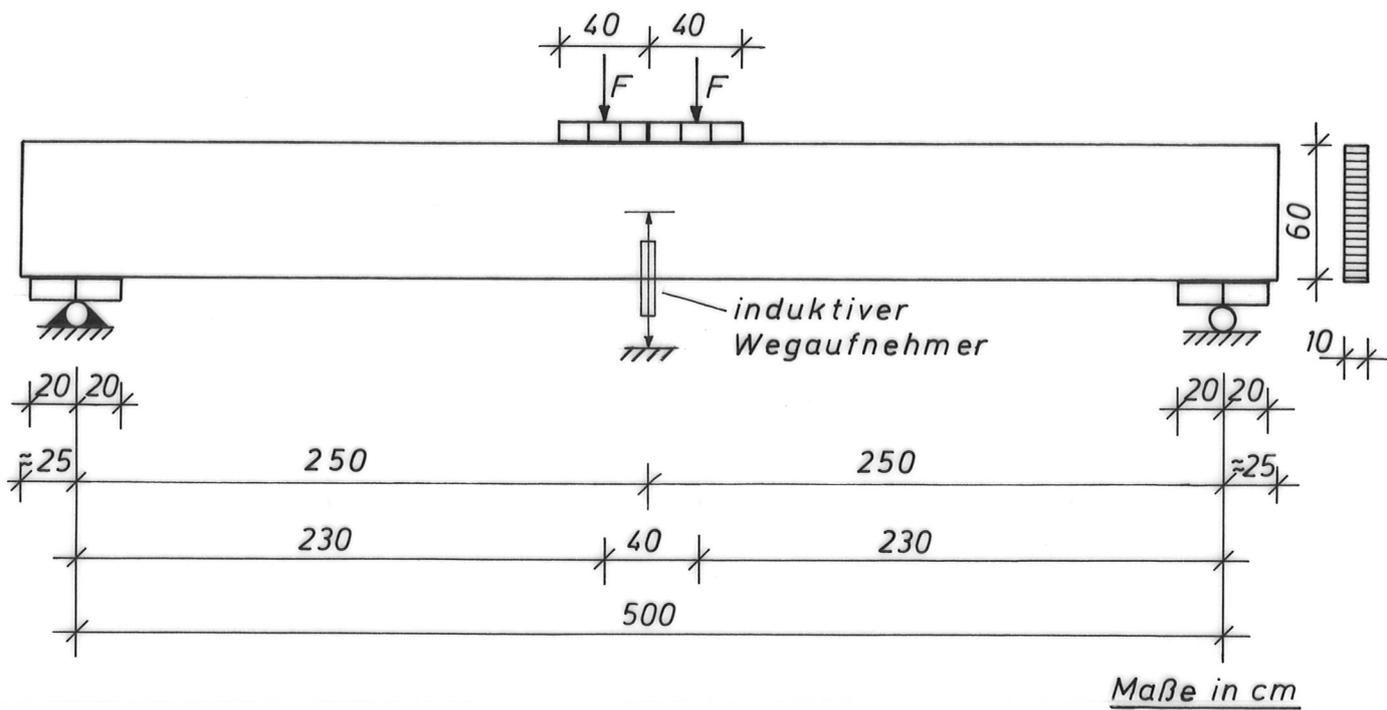
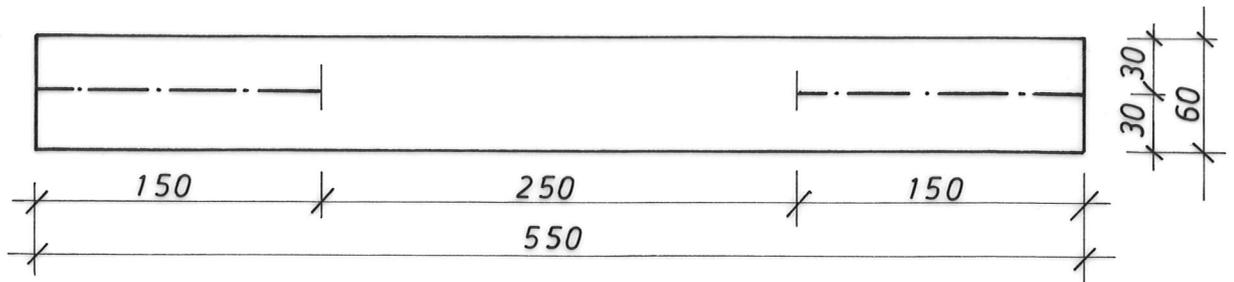


Bild 8 : Lastanordnung II

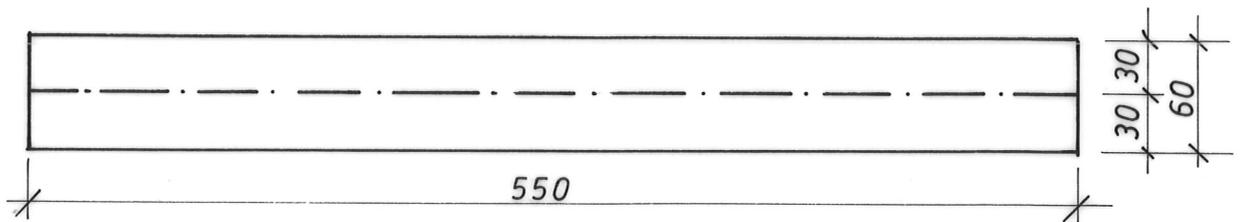
Trägertyp A

Trägerbezeichnungen A1 bis A3



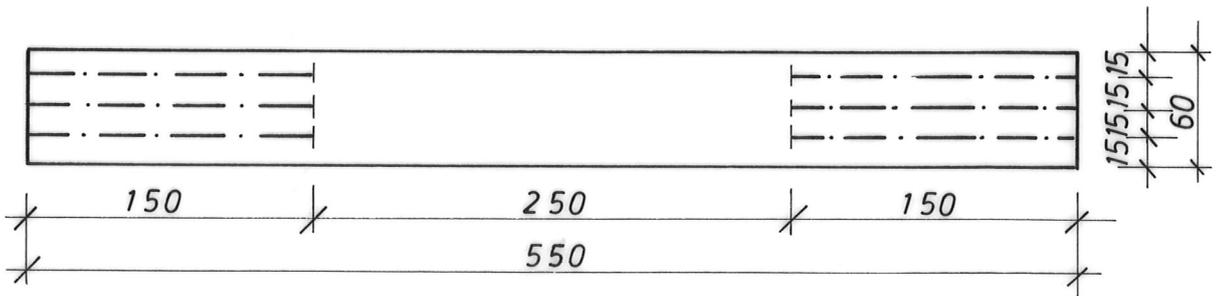
Trägertyp B

Trägerbezeichnungen B1 und B2



Trägertyp C

Trägerbezeichnungen C1 bis C6



Trägertyp D

Trägerbezeichnungen D1 bis D4

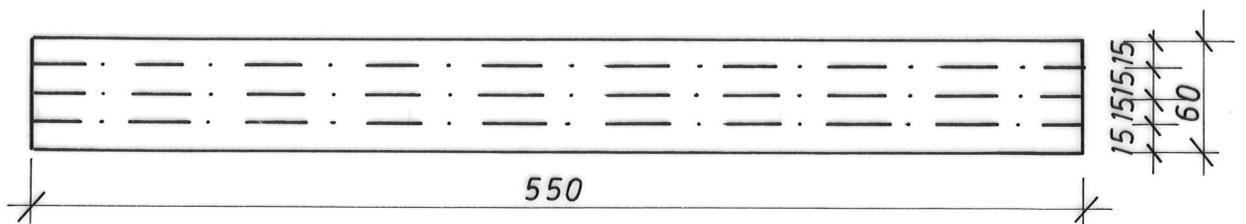


Bild 6 : Übersicht über die Trägertypen  
der Hauptversuche

(-.-.-planmäßig nicht verleimte Fugen)

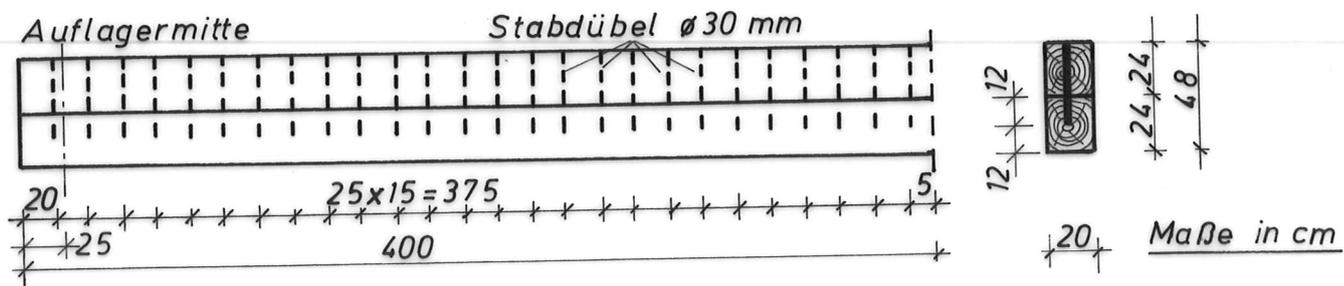


Bild 3: Träger mit Stabdübeln

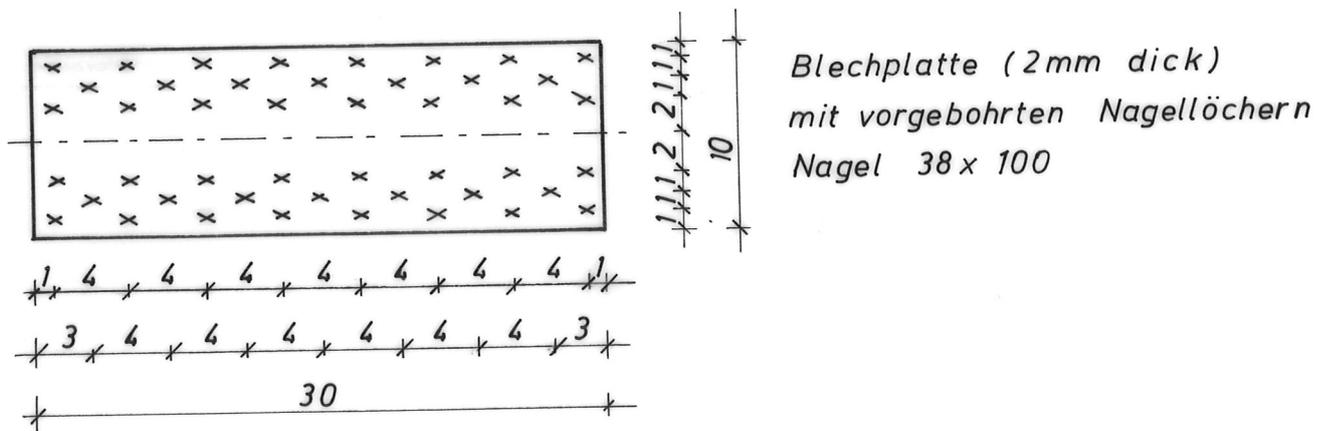
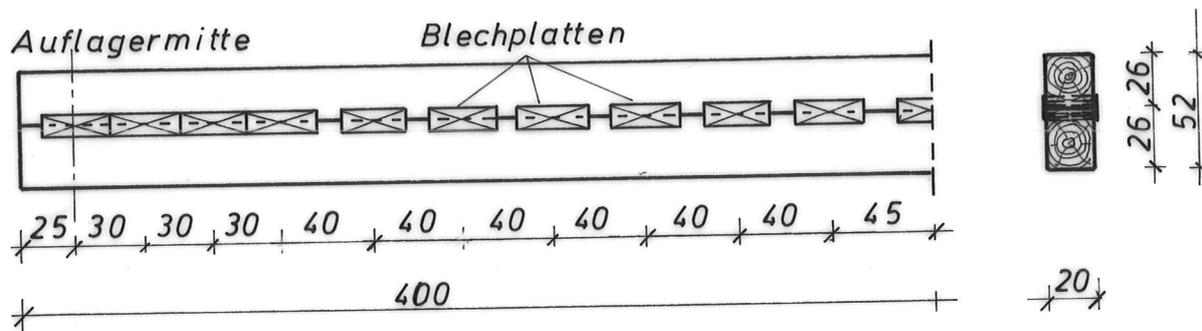


Bild 4: Träger mit aufgenagelten Blechplatten

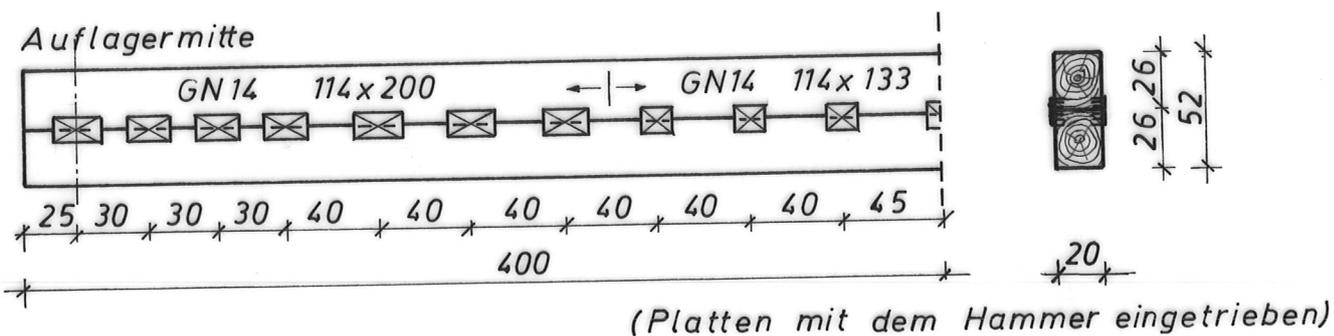


Bild 5: Nagelplattenträger

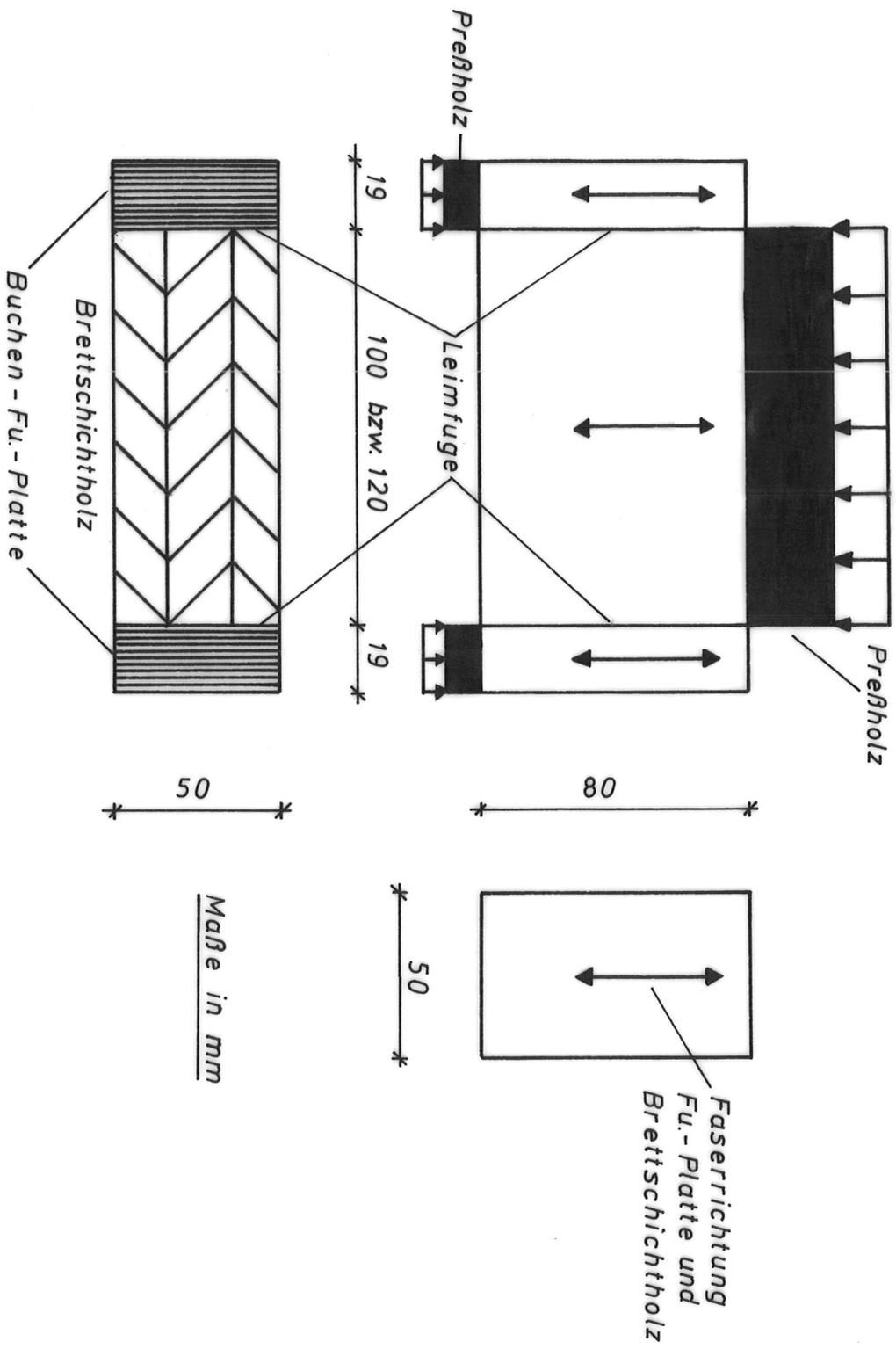


Bild 2 : Form und Abmessungen der Scherproben für Nagelpreßleimungsversuche

Werte ermittelt mit Lastanordnung										
Träger		I (Bild 7)							II (Bild 8)	
Nr.	$E$ N/mm <sup>2</sup>	$EI'_0$ KNm <sup>2</sup>	$EI$ KNm <sup>2</sup>	$EI_{const.}$ KNm <sup>2</sup>	$F_{krit.}$ KN	$max M$ KNm	$max \sigma_b$ N/mm <sup>2</sup>	$max M$ KNm	$max \sigma_b$ N/mm <sup>2</sup>	
A 2	13 500	6 980	24 400	16 800	35,0	218	72,5	—	—	
A 3	13 600	5 610	24 400	15 200	36,0	194	64,6	—	—	
C 5	13 400	2 220	24 400	8 660	31,2	—	—	85,1	56,7	
C 6	12 500	2 260	22 500	8 570	30,0	—	—	80,5	53,7	

Tabelle 4 : Ergebnisse der Steifigkeits- und Bruchversuche mit unverstärkten Brettschichtträgern

# Verstärkungsmaßnahmen

## Wirkungsgrad $\eta$ der

Tabelle 3: Theoretisch möglicher

Trägertyp	16	18	20	22	24	26	28
	A	1,30	1,29	1,27	1,26	1,25	1,24
	B	2,66	2,58	2,50	2,43	2,36	2,30
	C	2,51	2,43	2,36	2,30	2,24	2,18
	D	9,32	8,88	8,48	8,13	7,80	7,51
Wirkungsgrad $\eta$ für $\frac{E}{G} =$							

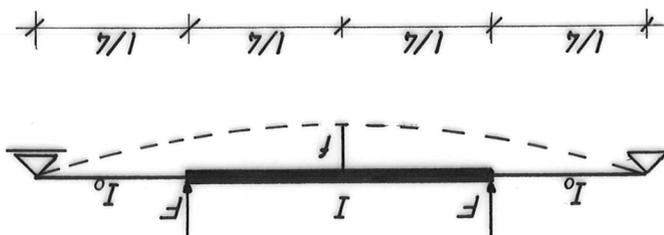
$$\eta = \frac{f_{\text{voll}}}{f_{\text{geschwächt}}} = \frac{\frac{EI_{\text{voll}}}{G} + \frac{12A}{41,9}}{\frac{EI_{\text{const.}}}{G} + \frac{12A}{41,9}}$$

$$f_{\text{geschwächt}} = \frac{384}{11} \frac{Ml^2}{EI_{\text{const.}}} + 1,2 \cdot \frac{GA}{M} \quad (\text{geschwächter Träger})$$

$$A = bh$$

$$f_{\text{voll}} = \frac{384}{11} \frac{Ml^2}{EI_{\text{voll}}} + 1,2 \cdot \frac{GA}{M} \quad (\text{ungeschwächter Träger})$$

$$I_{\text{const.}} = \frac{I_0 \left( \frac{1}{2} + \frac{9}{9} \right)}{11}$$



Versuch zur Ermittlung von	Versuchsaufbau Maße in cm	Verstärkungs- maßnahme	Träger Nr.	mittlerer E-Modul N/mm <sup>2</sup>	wirksames Trägheits- moment aus Versuch $J_{ef}$ cm <sup>4</sup>	volles Trägheits- moment bei starrem Verbund $J_{voll}$ cm <sup>4</sup>	$\eta = \frac{J_{ef}}{J_{voll}}$	Bruch = last max F KN	$v = \frac{\max F}{zul F}$ (+)	Bruchursache B = Biegebruch V = Versagen der Verstärkung
max M		Stabdübel (nach Bild 3)	1	9370	133000	184300	0,722	60,0	2,45	B
		aufgenagelte Blechplatten (nach Bild 4)	2	11400	180000	234000	0,769	74,6	2,60	B
			3	11300	182000		0,778	67,5	2,35	B
		Nagelplatten (nach Bild 5)	4	11100	164000	234000	0,701	79,0	2,75	B
			5	10100	168000		0,718	89,0	3,10	B + (V)
max Q		Stabdübel (nach Bild 3)	6	9850	—	—	—	149,0	2,24	B
		aufgenagelte Blech= platten (nach Bild 4)	7	11700	—	—	—	234,0	3,25	B + V
			8	10700	—	—	—	—	239,0	3,32
		9	10700	—	—	—	—	—	243,0	3,38

(+)  $zul F$  berechnet aus den Querschnittswerten des Vollquerschnitts und  $zul \sigma = 10 \text{ N/mm}^2$  bzw.  $zul \tau = 0,9 \text{ N/mm}^2$

Tabella 2 : Ergebnisse der Vorversuche mit verstärkten Kantholzträgern

Methode	Handnagelung				Maschinennagelung							
	Nägelsort	Nägelsort	Trurnit	Duo - Fast	Haubold -	Senco -	Nägelsort	Nägelsort				
Preßnagelung durch	Nägelsort 34 x 90 DIN 1151	Nägelsort 31 x 65 DIN 1151	Schraubnägelsort 28/33 x 60	Rillennägelsort 28 x 65	Klammersort HD 75 CnK	Klammersort Q 6774						
Oberflächen - behandlung A abgeschliffen B besengereinigt	A	B	A	B	A	B	A	B				
max Teilm N/mm <sup>2</sup> (Mittelwert aus 24 Einzelwerten)	5,87	5,33	6,37	5,79	6,03	4,32	5,28	4,01	3,80	3,95	3,79	4,02
V % (Variations - koeffizient)	8,9	18,5	10,7	16,9	10,1	26,7	11,6	29,7	39,6	23,8	40,6	32,3
τ <sub>5%</sub> N/mm <sup>2</sup> (5% - Fraktile)	4,97	3,64	5,20	4,11	4,98	2,34	4,23	1,97	1,22	2,34	1,15	1,79

Tabella 1: Ergebnis der Nagelpreßbleimungsversuche - Brettschichtholz/Furnierplatte

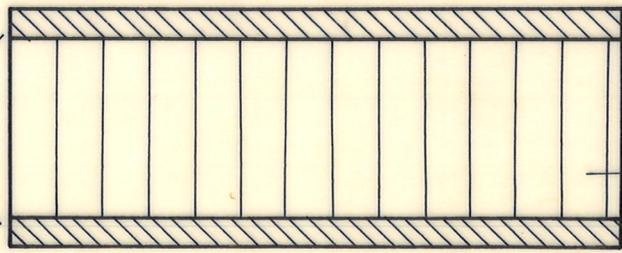
Träger Nr.	unverstärkter Träger				verstärkter Träger							Bruchursache: B = Biegebruch		
	E N/mm <sup>2</sup>	EI' <sub>0</sub> KNm <sup>2</sup>	EI KNm <sup>2</sup>	EI <sub>const</sub> KNm <sup>2</sup>	EI' <sub>0v</sub> KNm <sup>2</sup>	EI <sub>v</sub> KNm <sup>2</sup>	EI <sub>const.v</sub> KNm <sup>2</sup>	$\eta = \frac{EI_{const.v}}{EI_{const}}$	max F KN	max $\frac{F}{48}$ KN	Bruchmoment maxM in KNm bei Lastanordnung		max M 84 KNm	
											I (Bild 7)			II (Bild 8)
C 3	13 200	2 280	23 800	8 760	8 140	25 500	18 400	2,10	>180,5	>3,76	>226	—	>2,69	Lasteinleitung
C 4	13 000	2 190	23 100	8 460	9 300	19 500	16 300	1,93	>172,5	>3,59	>216	367	4,37	B
D 3	17 500	2 530	2 180	2 240	7 390	20 800	15 600	6,96	173,0	3,60	216	—	2,57	B
D 4	18 000	2 430	2 400	2 420	9 490	19 000	16 100	6,65	>157,0	>3,27	>196	(204)	(2,42)	B

Tabella 6: Ergebnisse der Steifigkeits- und Bruchversuche mit Brettschichtträgern  
(Verstärkungsmethode: Aufgenagelte Blechdiagonalen)

Träger Nr.	unverstärkter Träger					verstärkter Träger							Bruchursache: B = Biegebruch L = Versagen der Verleimung	
	E N/mm <sup>2</sup>	EI' <sub>0</sub> KNm <sup>2</sup>	EI KNm <sup>2</sup>	EI <sub>const</sub> KNm <sup>2</sup>	EI' <sub>v</sub> KNm <sup>2</sup>	EI <sub>v</sub> KNm <sup>2</sup>	EI <sub>const.v</sub> KNm <sup>2</sup>	$\eta = \frac{EI_{const.v}}{EI_{const}}$	max F KN	$\frac{\max F}{48 KN}$	Bruchmoment maxM in KNm bei Lastanordnung			maxM 84 KNm
											I (Bild 7)	II (Bild 8)		
A1	9 570	13 000	17 200	16 300	12 500	26 400	22 000	1,35	136,0	2,83	> 170	—	> 2,02	L
B1	14 600	6 850	6 710	6 730	9 890	27 000	20 600	3,06	158,6	3,30	> 198	—	> 2,36	L
B2	15 200	6 980	7 120	7 090	13 700	23 100	20 600	2,91	128,5	2,68	> 161	—	> 1,91	L
C1	12 300	2 120	21 800	8 120	11 300	27 300	21 700	2,67	> 180,0	> 3,75	> 225	289	3,44	B
C2	12 700	2 370	23 100	8 930	11 800	28 600	22 700	2,54	167,5	3,49	> 209	—	> 2,49	L
D1	19 300	2 560	2 430	2 460	11 500	27 000	21 700	8,82	176,2	3,67	> 220	—	> 2,62	L
D2	18 600	2 580	2 220	2 280	33 000	18 800	20 400	8,95	145,5	3,03	> 182	—	> 2,17	L

Table 5: Ergebnisse der Steifigkeits- und Bruchversuche mit Brettschichtträgern  
(Verstärkungsmethode: Aufgeleimte Buchenurnierplatten)

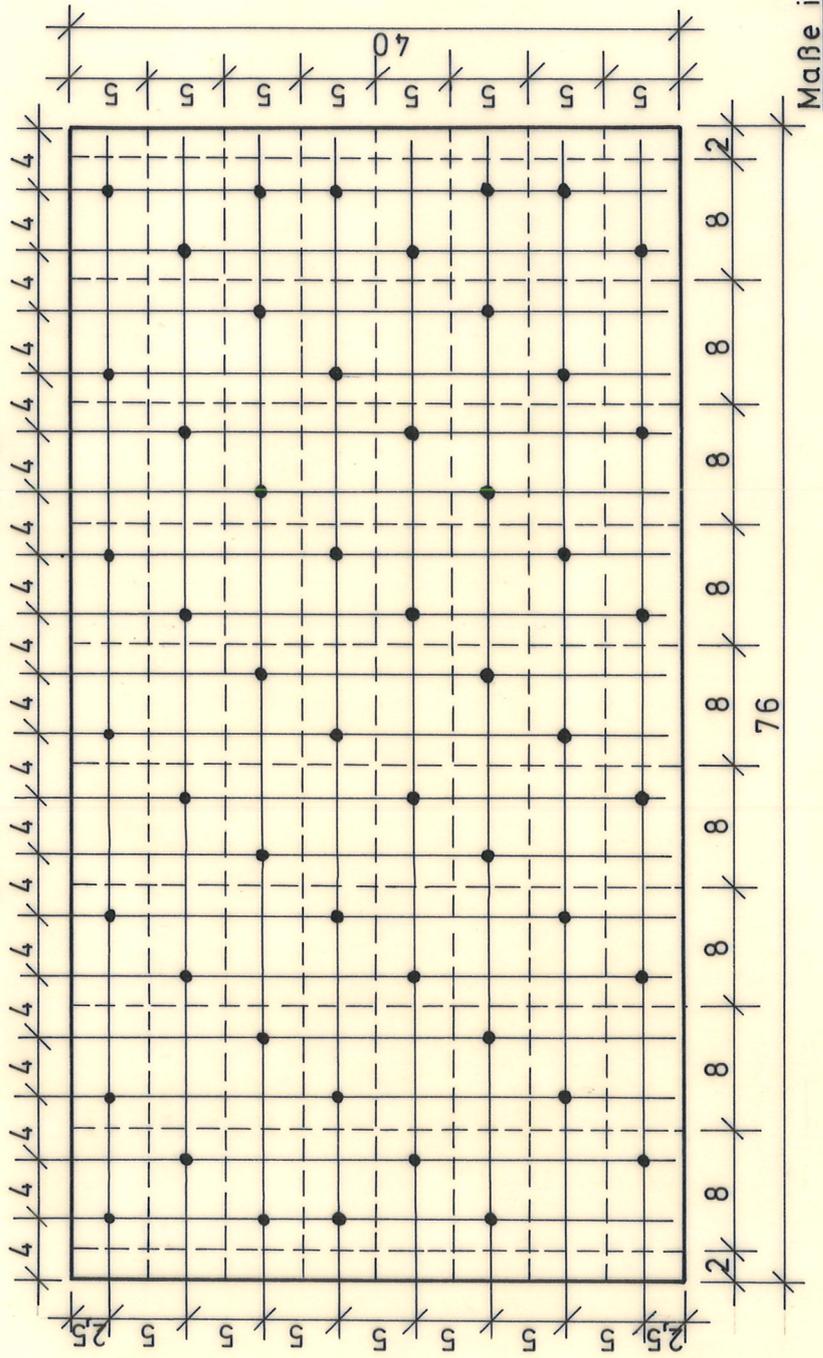
Buchen-Furnierplatte 19mm



1,9  
≈ 12  
1,9

Brettschichtholz

Faserrichtung Furnierplatte und Brettschichtholz



Maße in cm

- Handnagelung: Nägel 34 x 90  
 Maschinennagelung: Duo-Fast Rillennägel 28 x 65
- Nägel 31 x 65  
 Klammern  
 Haubold HD 75 CnK
- Trurnit 28/33 x 60  
 Schraubnägel  
 Klammern  
 Senco Q 6774  
 63 mm lang

**Bild 1 : Versuchskörper für die Nagelpreßleimungsversuche vor dem Zerschnitt in die einzelnen Scherproben**

(— — — Sägeschnittlinien)

122/77

11

Bild 18: Träger B2 nach dem Versagen der  
Verleimung

112/77

6

Bild 19: Träger C2 beim Bruchversuch

124/77

~~8~~ 8

Bild 20: Träger C2 nach dem Versagen der  
Verleimung

126/77

11

Bild 21: Träger D2 nach dem Versagen der  
Verleimung

134/77

10

Bild 22 : Träger D3 nach dem Bruchversuch  
Bruchursache: Biegebruch

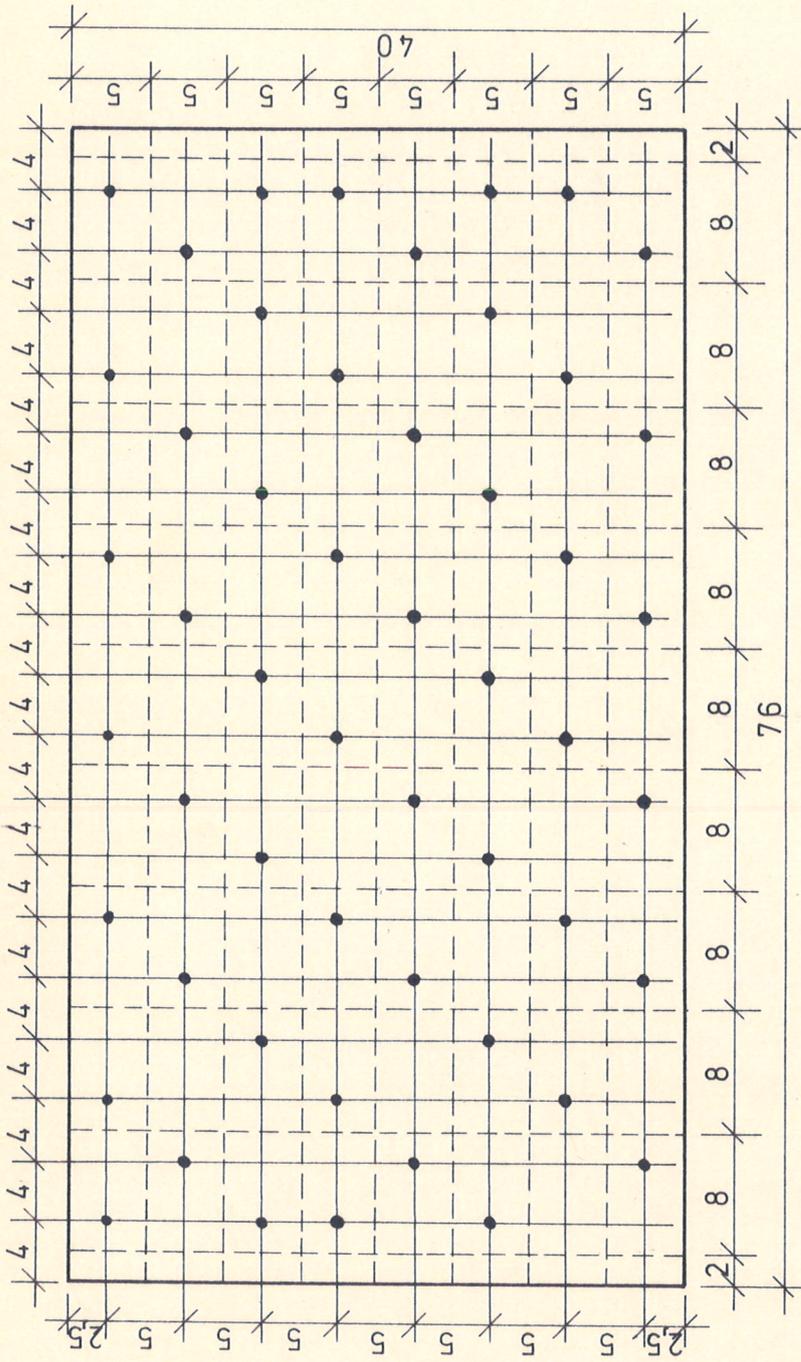
140/77

8

Bild 23 : Träger D4 nach dem 2. Bruchversuch  
(Lastanordnung II nach Bild 8)  
Bruchursache: Biegebruch

Buchen-Furnierplatte 19mm

Faserrichtung Furnierplatte und Brettschichtholz



1,9

≈ 12

1,9

Brettschichtholz

Maße in cm

Handnagelung:	Nägel 34 x 90	Nägel 31 x 65	Trurnit 28/33 x 60
Maschinennagelung:	Duo-Fast Rillennägel 28 x 65	Klammern Haubold HD 75 CnK	Schraubnägel Klammern Senco Q 6774 63 mm lang

**Bild 1:** Versuchskörper für die Nagelpreßleimungsversuche vor dem Zerschnitt in die einzelnen Scherproben

(— — — Sägeschnittlinien)

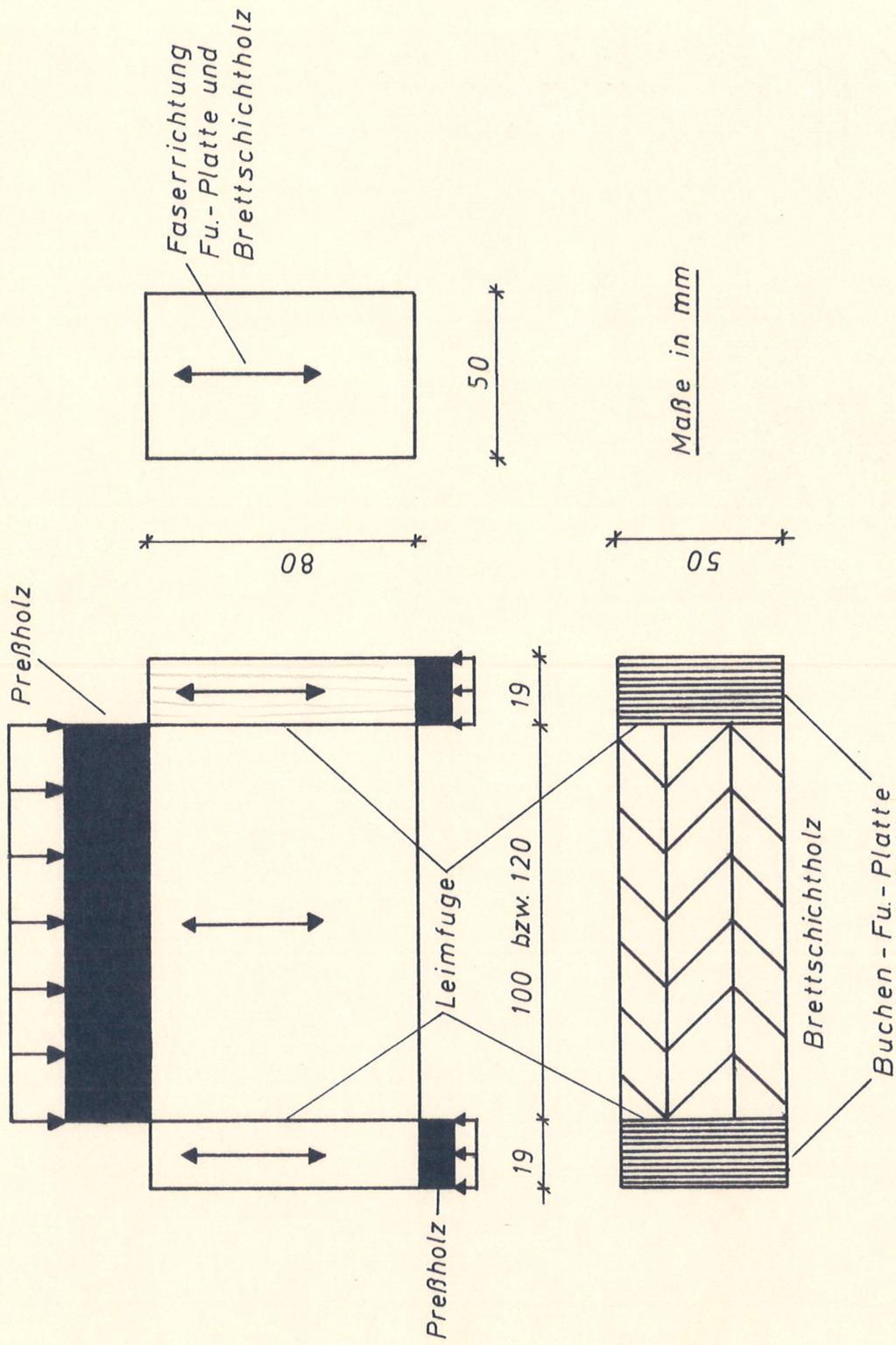


Bild 2: Form und Abmessungen der Scherproben für Nagelpreßleimungsversuche

Methode	Handnagelung				Maschinennagelung							
	Nägels 34 x 90 DIN 1151	Nägels 31 x 65 DIN 1151	Trurnit Schraubnägels 28/33 x 60	Duo - Fast Rillennägels 28 x 65	Haubold - Klammern HD 75 CnK	Senco - Klammern Q 6774						
Oberflächen - behandlung A abgeschliffen B besengereinigt	A	B	A	B	A	B	A	B				
$\max \tau_{\text{leim}}$ N/mm <sup>2</sup> (Mittelwert aus 24 Einzelwerten)	5,87	5,33	6,37	5,79	6,03	4,32	5,28	4,01	3,80	3,95	3,79	4,02
V % (Variations - koeffizient)	8,9	18,5	10,7	16,9	10,1	26,7	11,6	29,7	39,6	23,8	40,6	32,3
$\tau_{5\%}$ N/mm <sup>2</sup> (5% - Fraktile)	4,97	3,64	5,20	4,11	4,98	2,34	4,23	1,97	1,22	2,34	1,15	1,79

85

68

P2

P3

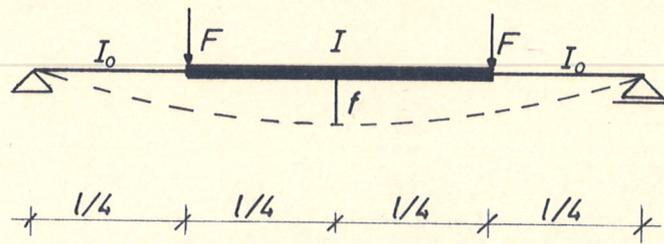
80

*nach Bild 1 und 2.*  
**Table 1: Ergebnis der Nagelpreßleistungsversuche - Brettschichtholz / Furnierplatte (Buche)**  
*19 mm dick.*

Versuch zur Ermittlung von	Versuchsaufbau Maße in cm	Verstärkungs- maßnahme	Träger Nr.	mittlerer E-Modul N/mm <sup>2</sup>	wirksames Trägheits- moment aus Versuch J <sub>ef</sub> cm <sup>4</sup>	volles Trägheits- moment bei starrem Verbund J <sub>voll</sub> cm <sup>4</sup>	$\eta = \frac{J_{ef}}{J_{voll}}$	Bruch= last max F KN	$\eta = \frac{\max F}{zul F}$  (+)	Bruchursache B=Biegebruch V=Versagen der Verstärkung
maxM		Stabdübel (nach Bild 3)	1	9370	133000	184300	0,722	60,0	2,45	B
		aufgenagelte Blechplatten (nach Bild 4)	2	11400	180000	234000	0,769	74,6	2,60	B
		Nagelplatten (nach Bild 5)	3	11300	182000		0,778	67,5	2,35	B
			4	11100	164000	234000	0,701	79,0	2,75	B
			5	10100	168000		0,718	89,0	3,10	B + (V)
maxQ		Stabdübel (nach Bild 3)	6	9850	—	—	—	149,0	2,24	B
		aufgenagelte Blech= platten (nach Bild 4)	7	11700	—	—	—	234,0	3,25	B + V
		Nagelplatten (nach Bild 5)	8	10700	—	—	—	239,0	3,32	V
			9	10700	—	—	—	243,0	3,38	V

(+) zul F berechnet aus den Querschnittswerten des Vollquerschnitts und  $zul \sigma = 10 \text{ N/mm}^2$  bzw.  $zul \tau = 0,9 \text{ N/mm}^2$

Tabelle 2: Ergebnisse der Vorversuche mit verstärkten Kantholzträgern



$$I_{const.} = \frac{11}{\left(\frac{2}{I_0} + \frac{9}{I}\right)}$$

$$f_{voll} = \frac{11}{384} \cdot \frac{Ml^2}{EI_{voll}} + 1,2 \cdot \frac{M}{G \cdot A} \quad (\text{ungeschwächter Träger})$$

$$A = bh$$

$$f_{geschwächt} = \frac{11}{384} \cdot \frac{Ml^2}{EI_{const.}} + 1,2 \cdot \frac{M}{G \cdot A} \quad (\text{geschwächter Träger})$$

$$\eta = \frac{f_{geschwächt}}{f_{voll}} = \frac{\frac{G}{EI_{const.}} + \frac{41,9}{l^2 A}}{\frac{G}{EI_{voll}} + \frac{41,9}{l^2 A}}$$

Trägertyp	Wirkungsgrad $\eta$ für $\frac{E}{G} =$						
	16	18	20	22	24	26	28
A	1,30	1,29	1,27	1,26	1,25	1,24	1,23
B	2,66	2,58	2,50	2,43	2,36	2,30	2,25
C	2,51	2,43	2,36	2,30	2,24	2,18	2,13
D	9,32	8,88	8,48	8,13	7,80	7,51	7,23

Tabelle 3 : Theoretisch möglicher Wirkungsgrad  $\eta$  der Verstärkungsmaßnahmen

Werte ermittelt mit Lastanordnung										
Träger		I (Bild 7)							II (Bild 8)	
Nr.	$E$ N/mm <sup>2</sup>	$EI'_0$ KNm <sup>2</sup>	$EI$ KNm <sup>2</sup>	$EI_{const.}$ KNm <sup>2</sup>	$F_{krit.}$ KN	$max M$ KNm	$max \sigma_b$ N/mm <sup>2</sup>	$max M$ KNm	$max \sigma_b$ N/mm <sup>2</sup>	
A 2	13 500	6 980	24 400	16 800	35,0	218	72,5	—	—	
A 3	13 600	5 610	24 400	15 200	36,0	194	64,6	—	—	
C 5	13 400	2 220	24 400	8 660	31,2	—	—	85,1	56,7	
C 6	12 500	2 260	22 500	8 570	30,0	—	—	80,5	53,7	

Tabelle 4 : Ergebnisse der Steifigkeits- und Bruchversuche mit unverstärkten Brettschichtträgern

Träger Nr.	unverstärkter Träger				verstärkter Träger							Bruchursache: B = Biegebruch L = Versagen der Verleimung		
	E N/mm <sup>2</sup>	EI' <sub>0</sub> KNm <sup>2</sup>	EI KNm <sup>2</sup>	EI <sub>const</sub> KNm <sup>2</sup>	EI' <sub>0v</sub> KNm <sup>2</sup>	EI <sub>v</sub> KNm <sup>2</sup>	EI <sub>const.v</sub> KNm <sup>2</sup>	$\eta = \frac{EI_{const.v}}{EI_{const}}$	max F KN	max $\frac{F}{48 KN}$	Bruchmoment maxM in KNm bei Lastanordnung		max M 84 KNm	
											I (Bild 7)			II (Bild 8)
A1	9 570	13 000	17 200	16 300	12 500	26 400	22 000	1,35	136,0	2,83	> 170	—	> 2,02	L
B1	14 600	6 850	6 710	6 730	9 890	27 000	20 600	3,06	158,6	3,30	> 198	—	> 2,36	L
B2	15 200	6 980	7 120	7 090	13 700	23 100	20 600	2,91	128,5	2,68	> 161	—	> 1,91	L
C1	12 300	2 120	21 800	8 120	11 300	27 300	21 700	2,67	> 180,0	> 3,75	> 225	289	3,44	B
C2	12 700	2 370	23 100	8 930	11 800	28 600	22 700	2,54	167,5	3,49	> 209	—	> 2,49	L
D1	19 300	2 560	2 430	2 460	11 500	27 000	21 700	8,82	176,2	3,67	> 220	—	> 2,62	L
D2	18 600	2 580	2 220	2 280	33 000	18 800	20 400	8,95	145,5	3,03	> 182	—	> 2,17	L

Table 5: Ergebnisse der Steifigkeits- und Bruchversuche mit Brettschichtträgern  
(Verstärkungsmethode: Aufgeleimte Buchenurnierplatten)

Träger Nr.	unverstärkter Träger				verstärkter Träger							Bruchursache: B = Biegebruch	
	E N/mm <sup>2</sup>	EI' <sub>0</sub> KNm <sup>2</sup>	EI KNm <sup>2</sup>	EI <sub>const</sub> KNm <sup>2</sup>	EI' <sub>0v</sub> KNm <sup>2</sup>	EI <sub>v</sub> KNm <sup>2</sup>	EI <sub>const.v</sub> KNm <sup>2</sup>	$\eta = \frac{EI_{const.v}}{EI_{const}}$	max F KN	max $\frac{F}{48}$ KN	Bruchmoment max M in KNm bei Lastanordnung I (Bild 7) II (Bild 8)		max M 84 KNm
C 3	13 200	2 280	23 800	8 760	8 140	25 500	18 400	2,10	>180,5	>3,76	>226	>2,69	Lasteinleitung
C 4	13 000	2 190	23 100	8 460	9 300	19 500	16 300	1,93	>172,5	>3,59	>216	4,37	B
D 3	17 500	2 530	2 180	2 240	7 390	20 800	15 600	6,96	173,0	3,60	216	2,57	B
D 4	18 000	2 430	2 400	2 420	9 490	19 000	16 100	6,65	>157,0	>3,27	>196	(204) (2,42)	B

Tabelle 6: Ergebnisse der Steifigkeits- und Bruchversuche mit Brettschichtträgern  
(Verstärkungsmethode: Aufgenagelte Blechdiagonalen)

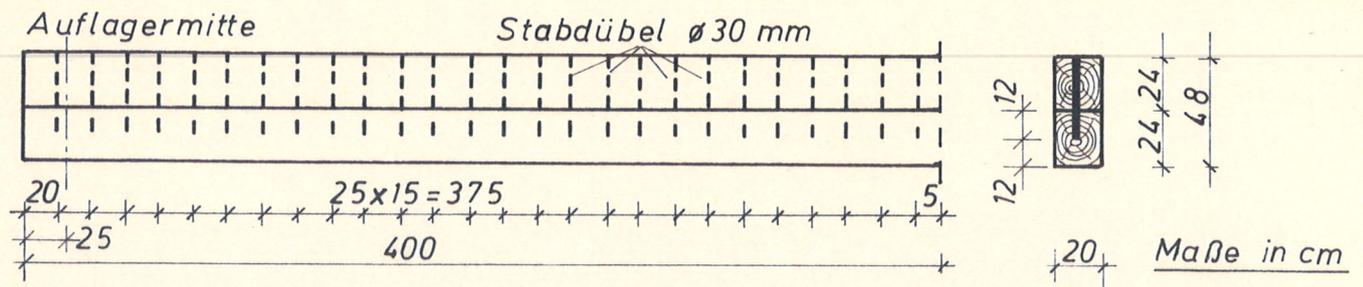


Bild 3: Träger mit Stabdübeln

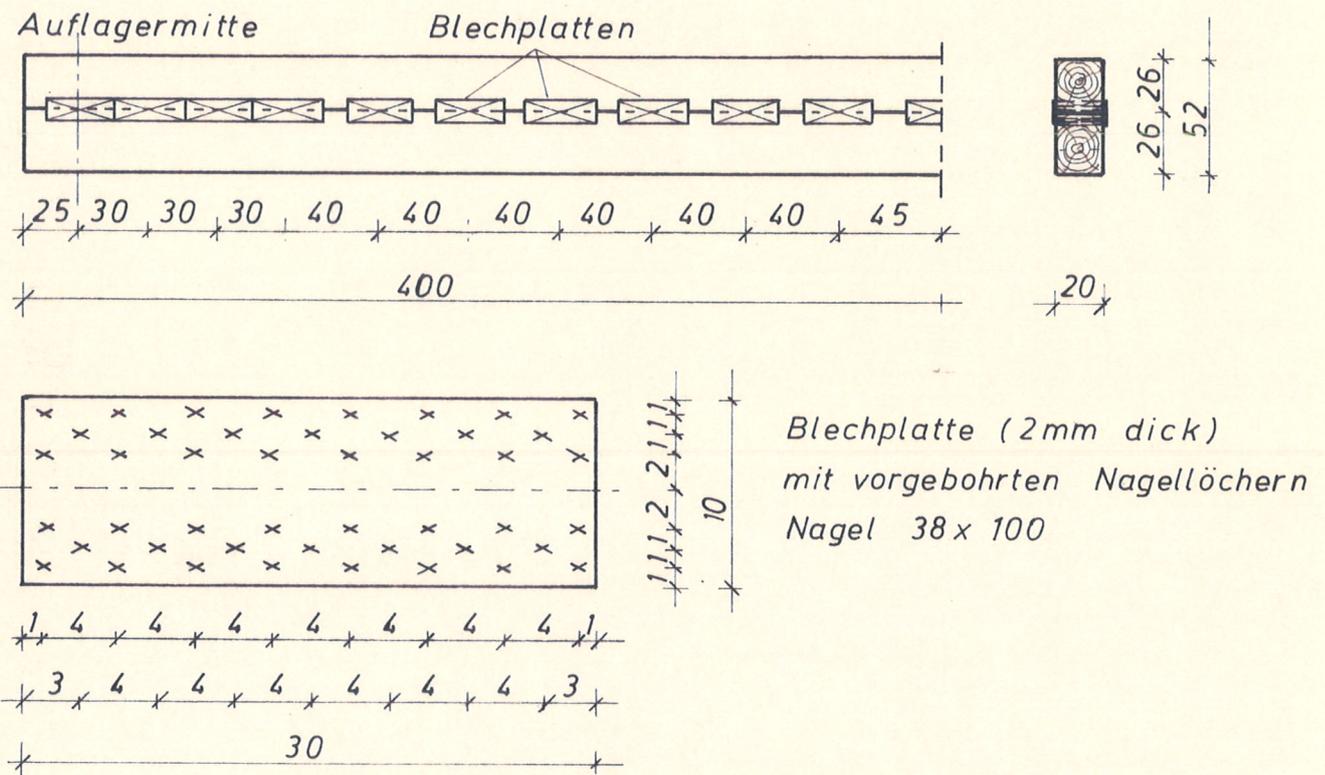


Bild 4: Träger mit aufgenagelten Blechplatten

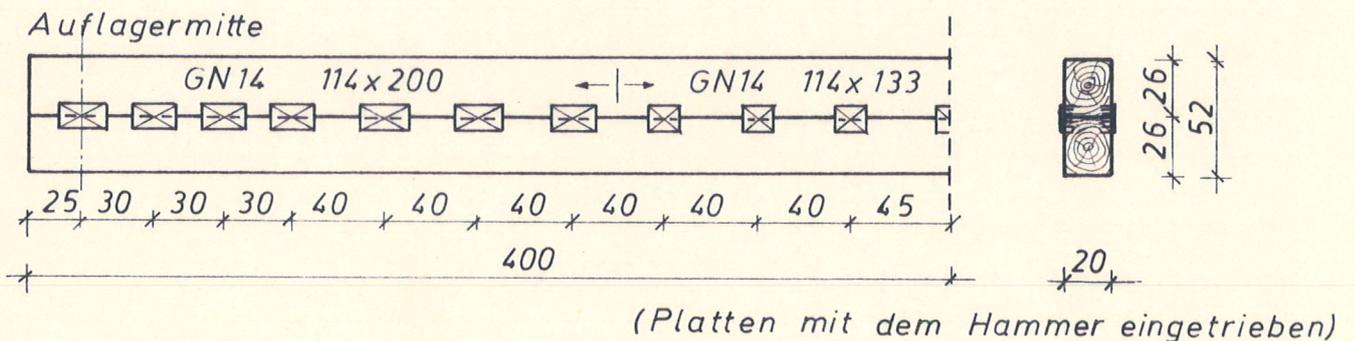
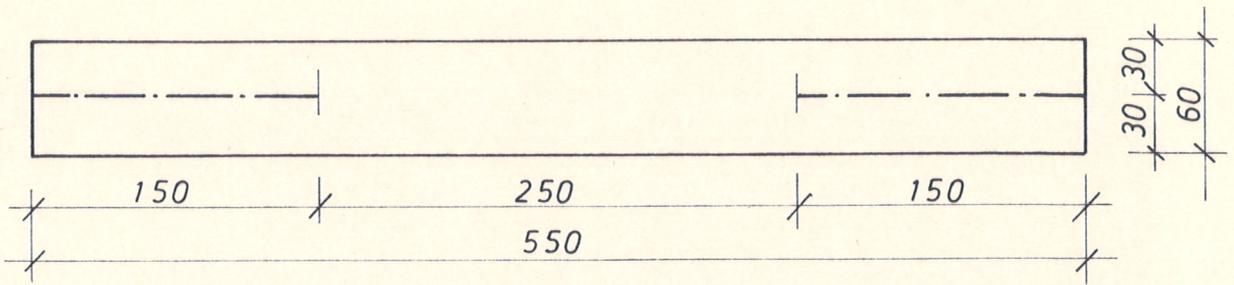


Bild 5: Nagelplattenträger

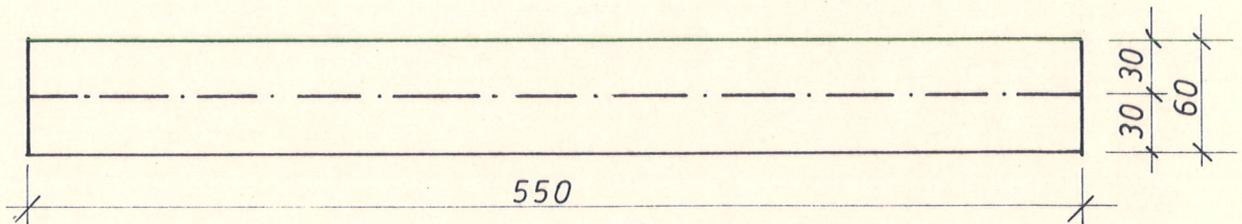
Trägertyp A

Trägerbezeichnungen A1 bis A3



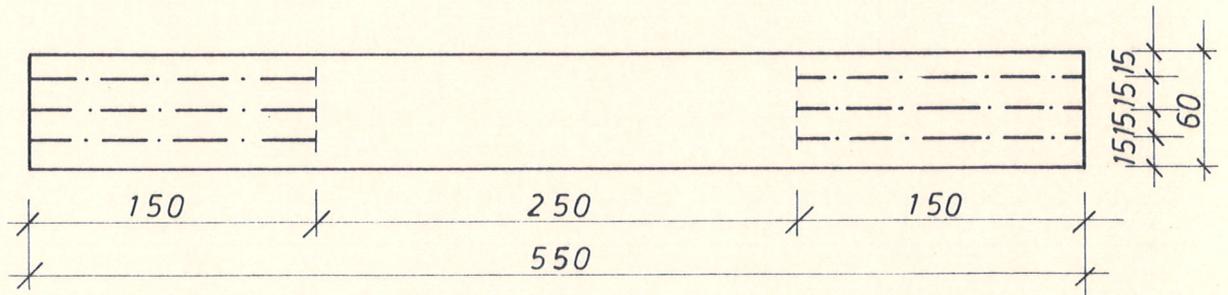
Trägertyp B

Trägerbezeichnungen B1 und B2



Trägertyp C

Trägerbezeichnungen C1 bis C6



Trägertyp D

Trägerbezeichnungen D1 bis D4

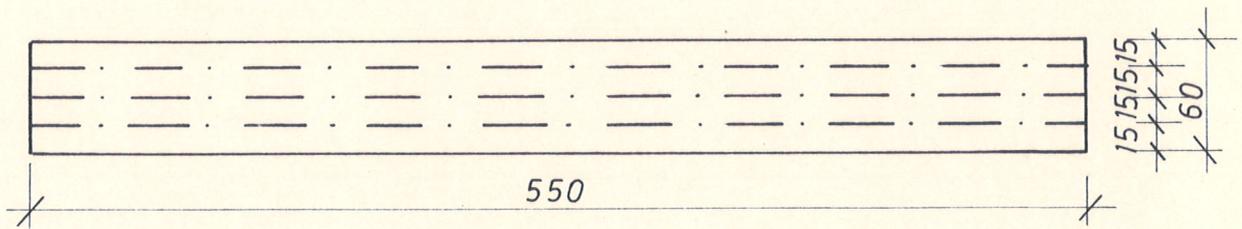


Bild 6 : Übersicht über die Trägertypen  
der Hauptversuche

(- - - - planmäßig nicht verleimte Fugen)

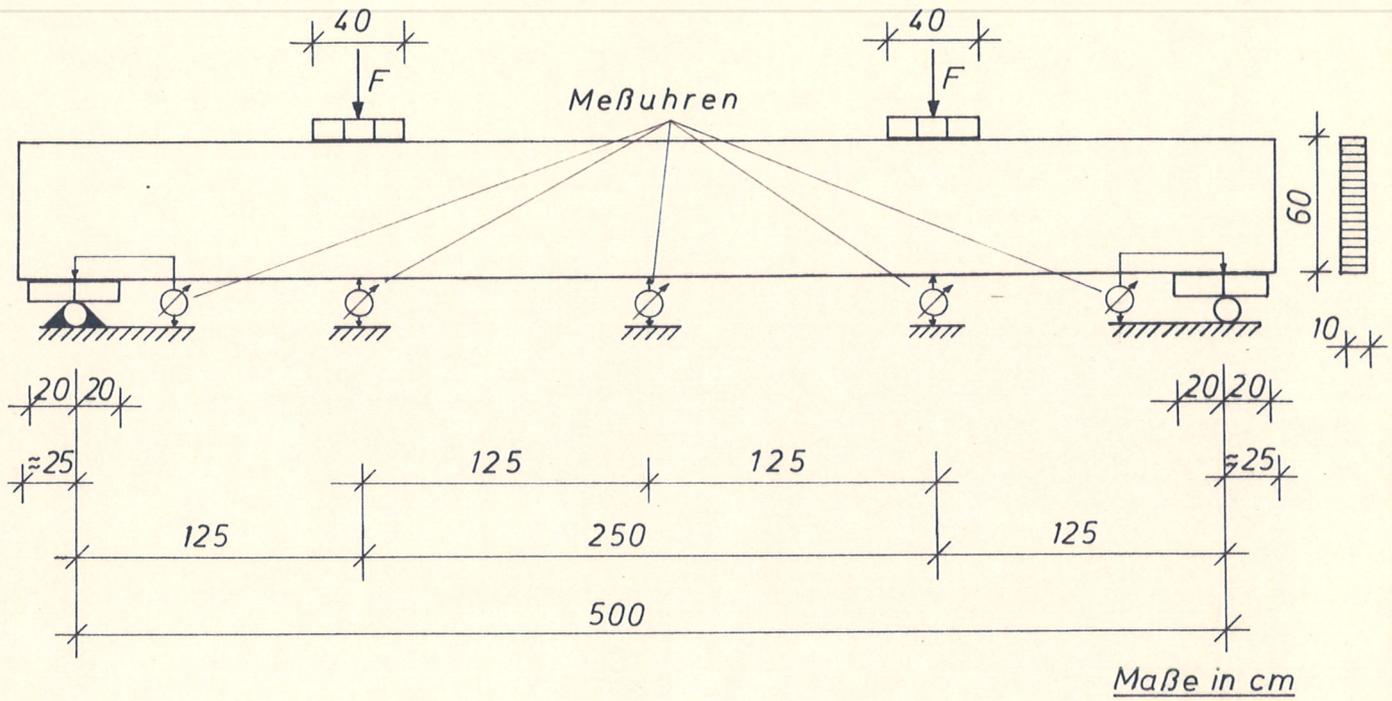


Bild 7 : Lastanordnung I

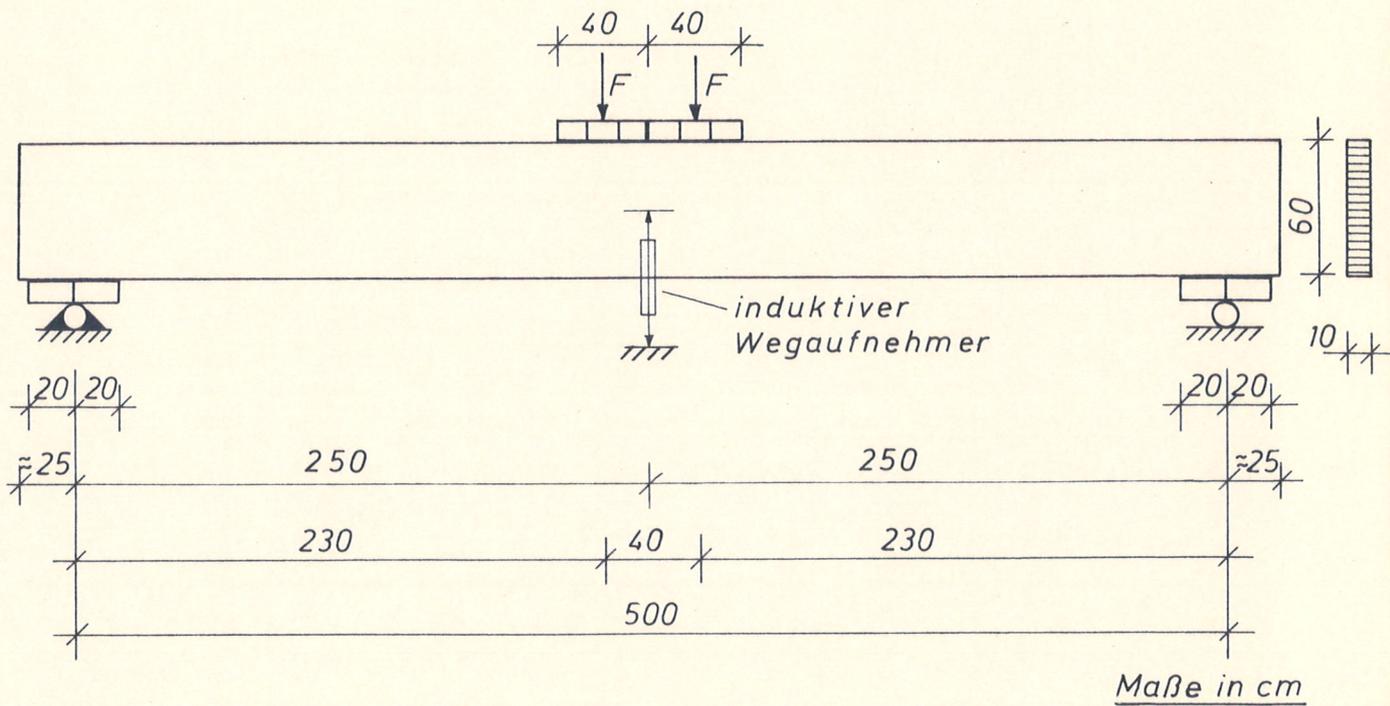
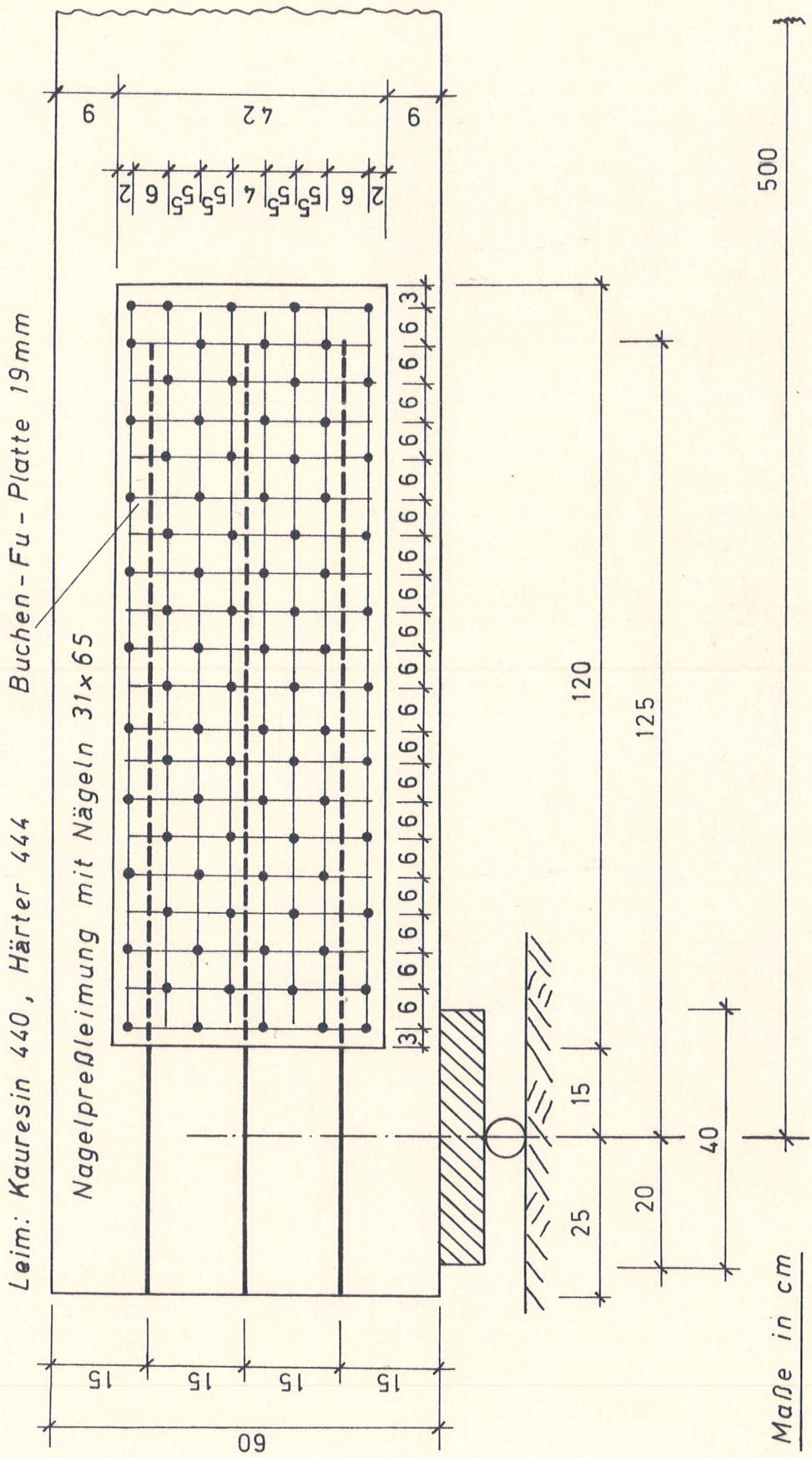


Bild 8 : Lastanordnung II

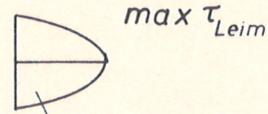
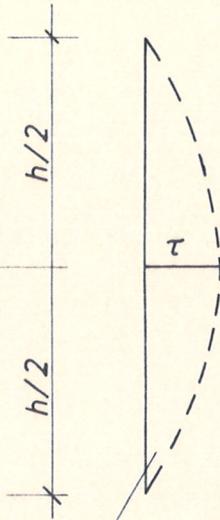
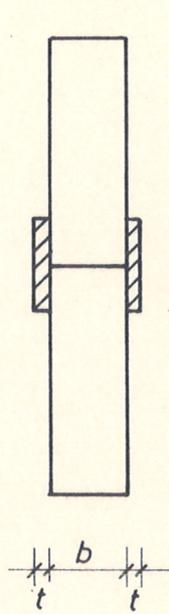




**Bild 10:** Verstärkung der Träger C1, C2, D1 und D2 durch aufgeleimte Buchenfurnierplatten

Dicke

Trägertyp  
A und B



maßgebende

angenommene

Schubspannung im  
ungerissenen Querschnitt

Schubspannungsverteilung  
in der Leimfuge

Trägertyp  
C und D

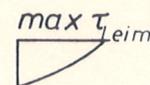
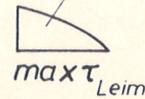
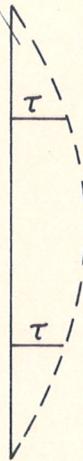
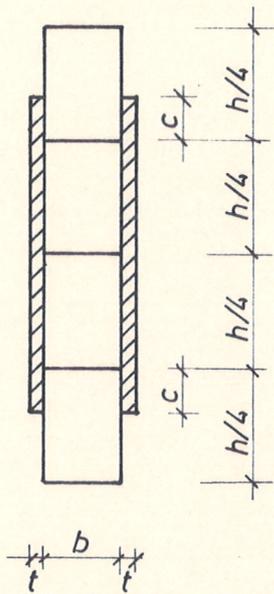
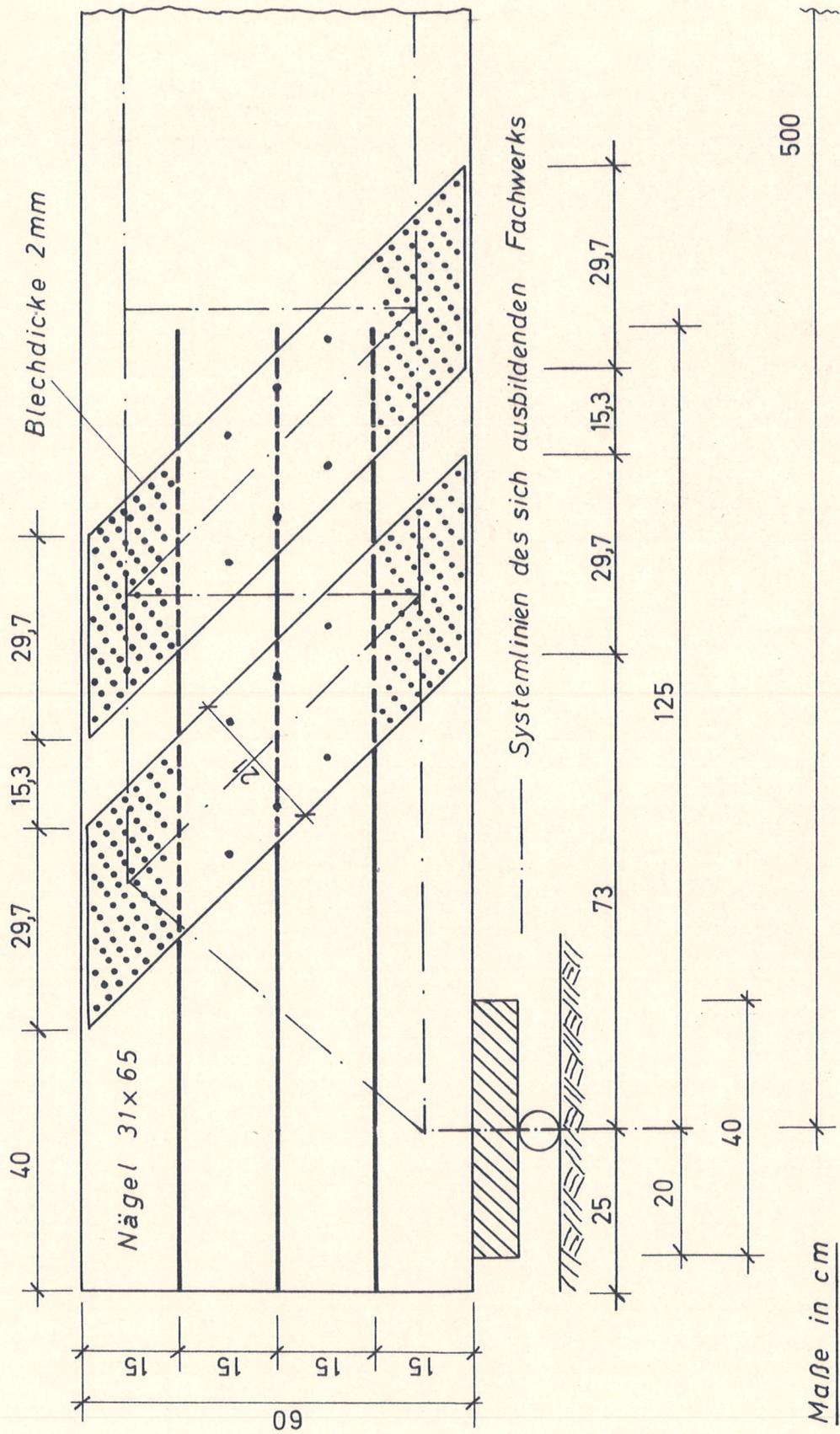
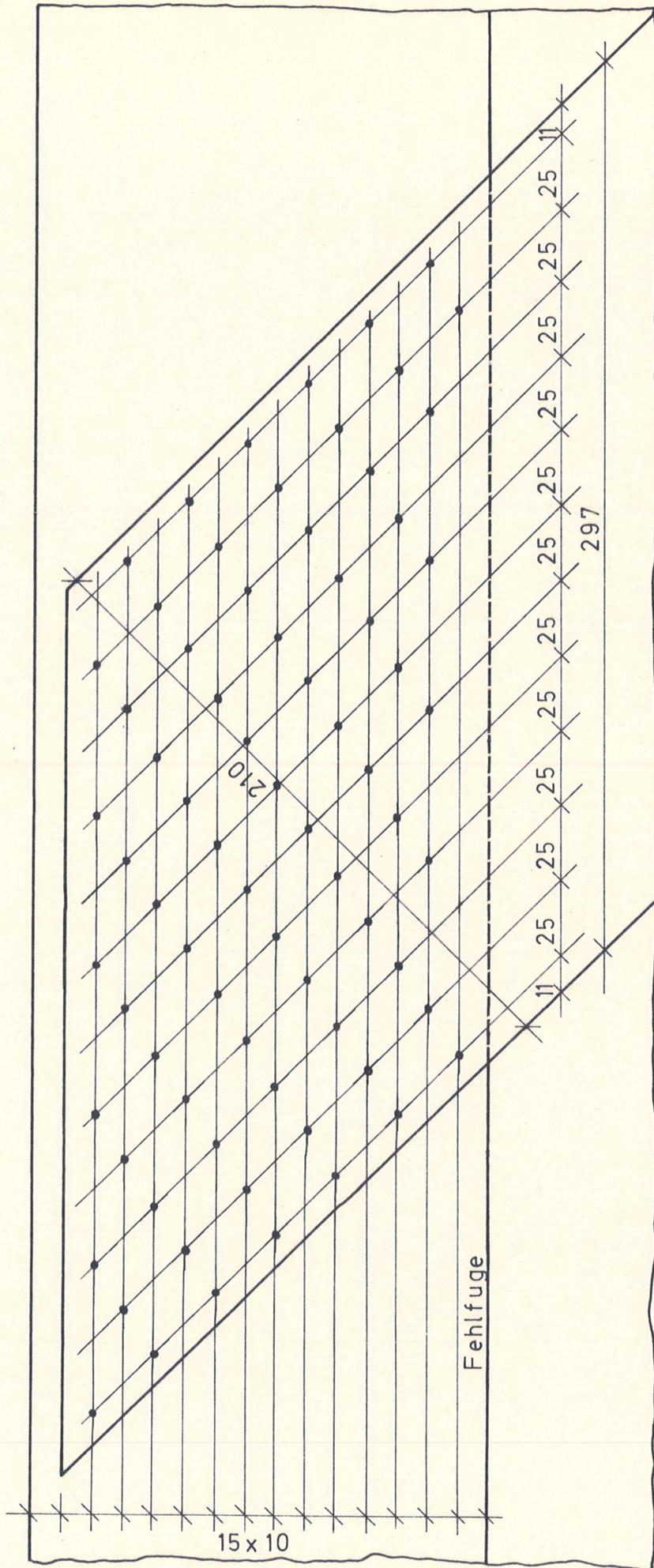


Bild 11: Schubspannungsverteilungen bei Trägern  
mit aufgeleimten Furnierplatten



**Bild 12: Verstärkung der Träger C3, C4, D3 und D4 durch aufgenagelte Blechdiagonalen**



74 Nägel 31x65/Seite

Maße in mm

Bild 13 : Nagelbild der Blechdiagonalen

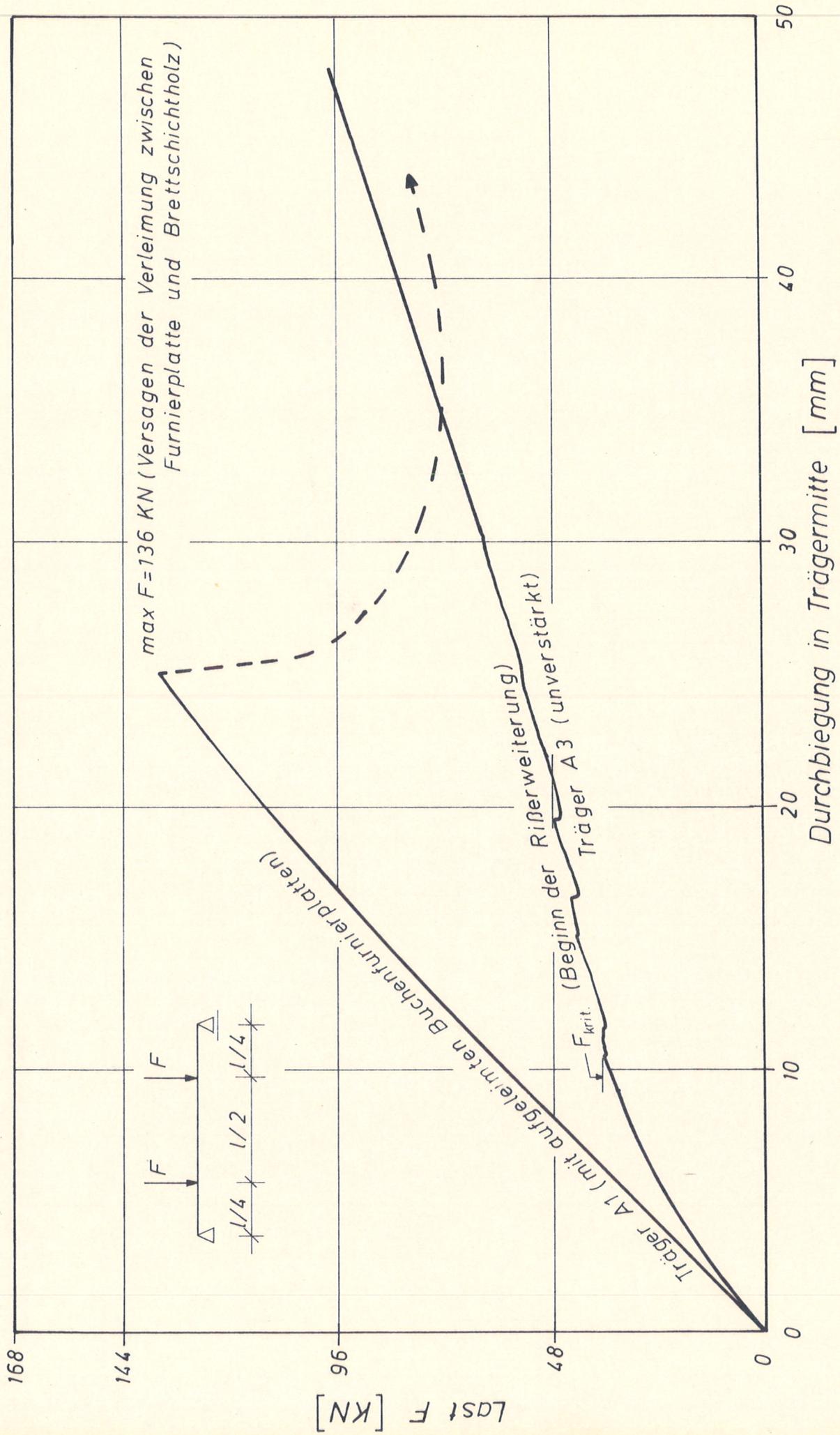
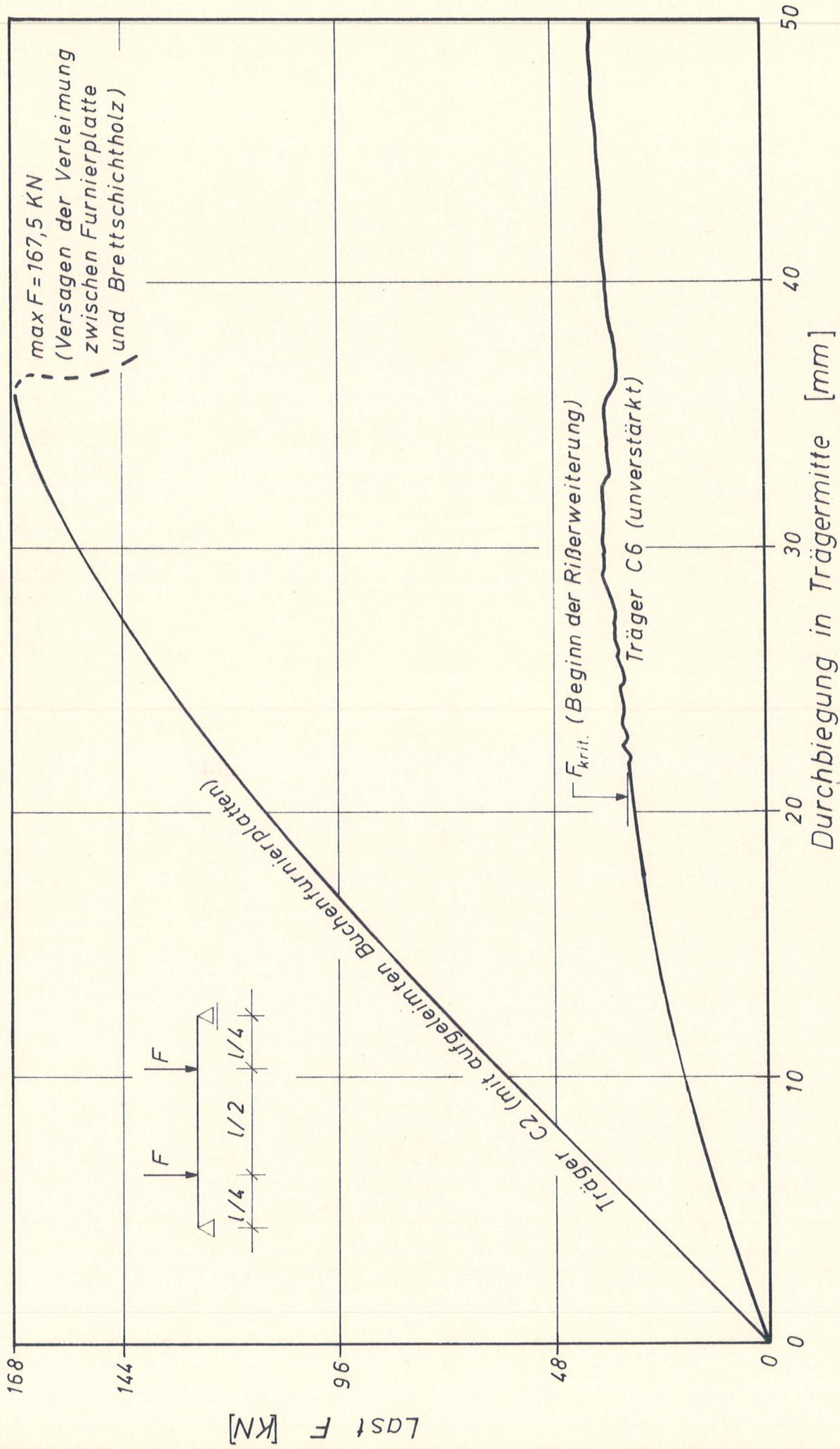


Bild 14: Vergleich zwischen Träger A1 (verstärkt mit aufgeleimten Furnierplatten und Träger A3 (unverstärkt))



**Bild 15: Vergleich zwischen Träger C2 (verstärkt mit aufgeleimten Furnierplatten) und Träger C6 (unverstärkt)**

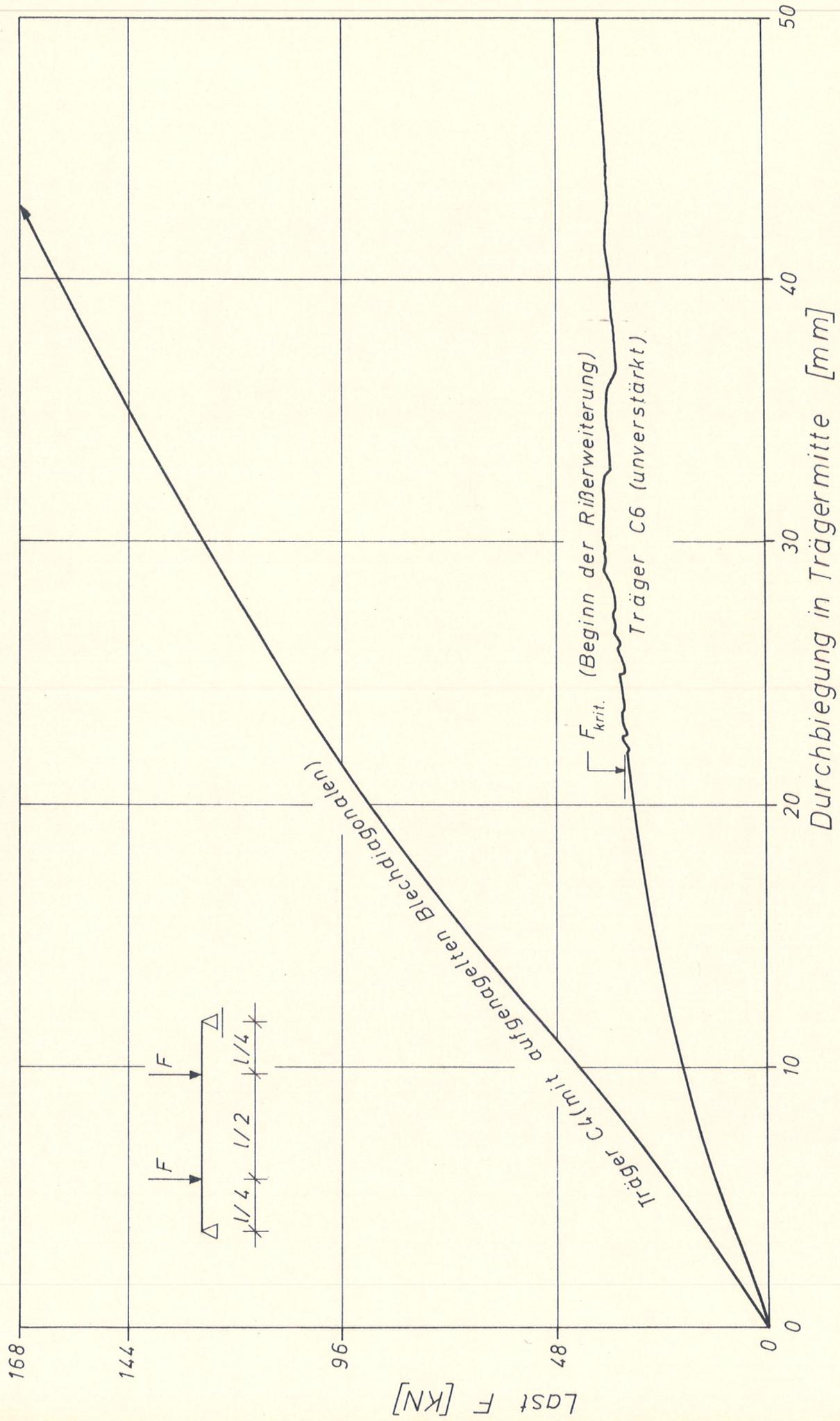


Bild 16 : Vergleich zwischen Träger C4 (verstärkt mit aufgenagelten Blechdiagonalen) und Träger C6 (unverstärkt)

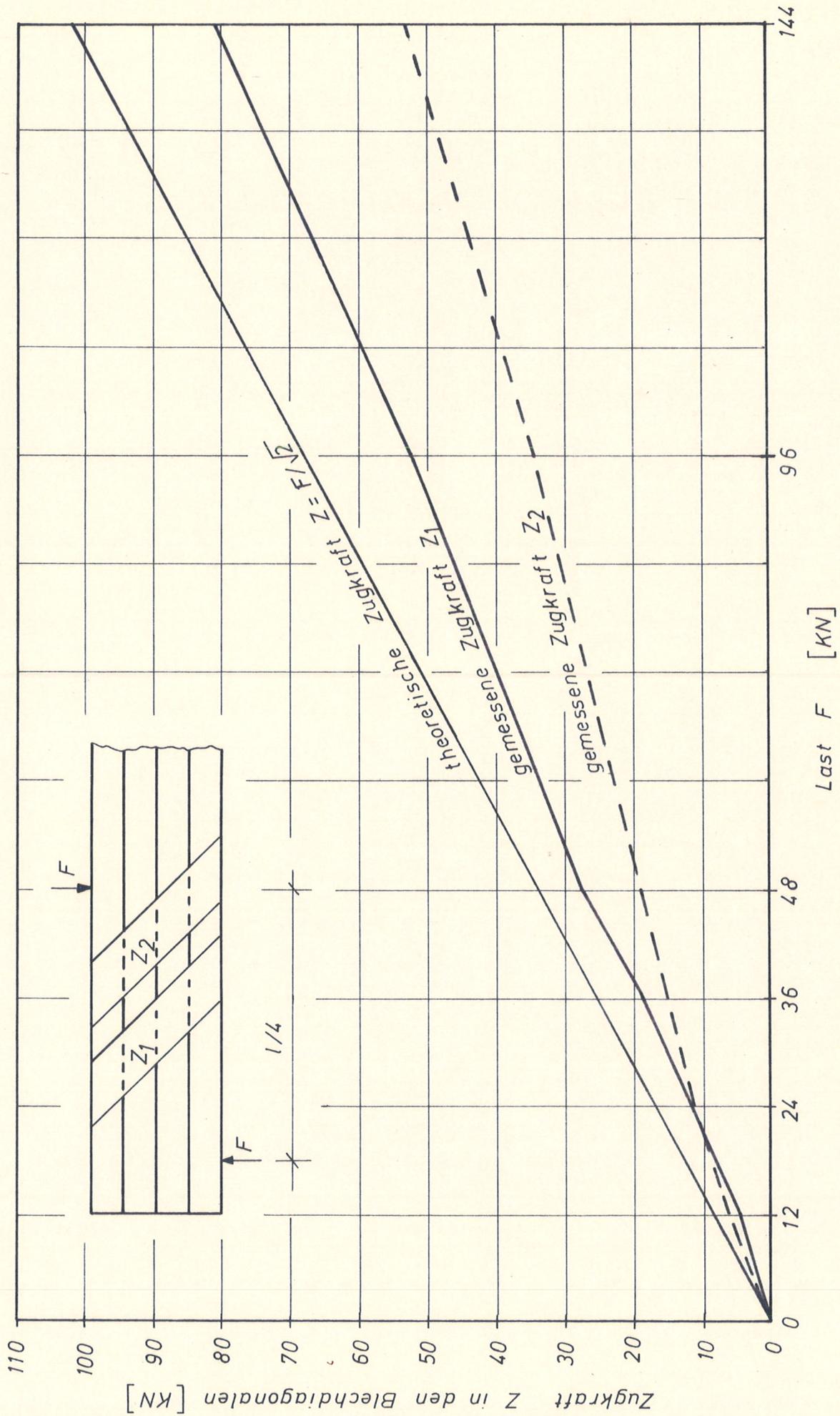


Bild 17: Meßwerte der Zugkräfte in den Blechdiagonalen (Träger D 4)

Methode	Handnagelung						Maschinennagelung					
	Nägels 34 x 90 DIN 1151	Nägels 31 x 65 DIN 1151	Schraubnägels Trurnit 28/33 x 60	Duo - Fast Rillennägels 28 x 65	Haubold- Klammern HD 75 CnK	Senco - Klammern Q 6774						
Oberflächen- behandlung A abgeschliffen B besengereinigt	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
max $\bar{\tau}_{leim}$ N/mm <sup>2</sup>	> 5,87	> 5,33	> 6,37	> 5,79	> 6,03	> 4,32	> 4,01	> 3,80	> 3,95	> 3,79	> 4,02	
V %	8,9	18,5	10,7	16,9	10,1	26,7	29,7	39,6	23,8	40,6	32,3	
±P N/mm <sup>2</sup>	0,22	0,42	0,29	0,41	0,26	0,50	0,50	0,64	0,40	0,67	0,55	
$\tau_{5\%}$ N/mm <sup>2</sup>	4,97	3,64	5,20	4,11	4,98	2,34	1,97	1,22	2,34	1,15	1,79	

Tabelle 1: Ergebnis der Nagelpreßleimversuche-Brettschichtholz / Furnierplatte

Methode	Handnagelung						Maschinennagelung					
	Nägel 34 x 90 DIN 1151	Nägel 31 x 65 DIN 1151	Schraubnägel Trurnit 28/33 x 60	Duo - Fast Rillennägel 28 x 65	Haubold- Klammern HD 75 CnK	Senco - Klammern Q 6774						
Oberflächen- behandlung A abgeschliffen B besengereinigt	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
$\max \bar{\tau}_{\text{leim}}$ N/mm <sup>2</sup>	> 5,87	> 5,33	> 6,37	> 5,79	> 6,03	> 4,32	> 4,01	> 3,80	> 3,95	> 3,79	> 4,02	
V %	8,9	18,5	10,7	16,9	10,1	26,7	29,7	39,6	23,8	40,6	32,3	
$\pm P$ N/mm <sup>2</sup>	0,22	0,42	0,29	0,41	0,26	0,50	0,50	0,64	0,40	0,67	0,55	
$\tau_{5\%}$ N/mm <sup>2</sup>	4,97	3,64	5,20	4,11	4,98	2,34	1,97	1,22	2,34	1,15	1,79	

Tabelle : Ergebnis der Nagelpreßleimversuche-Brettschichtholz / Furnierplatte

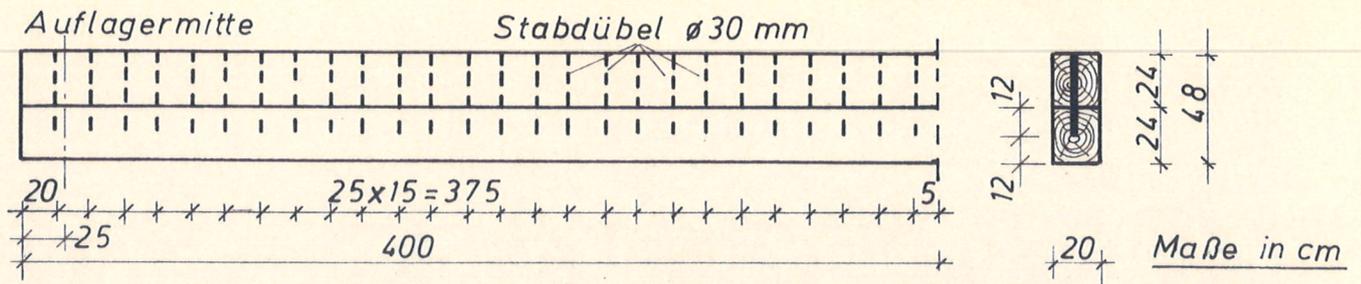


Bild 3: Träger mit Stabdübeln

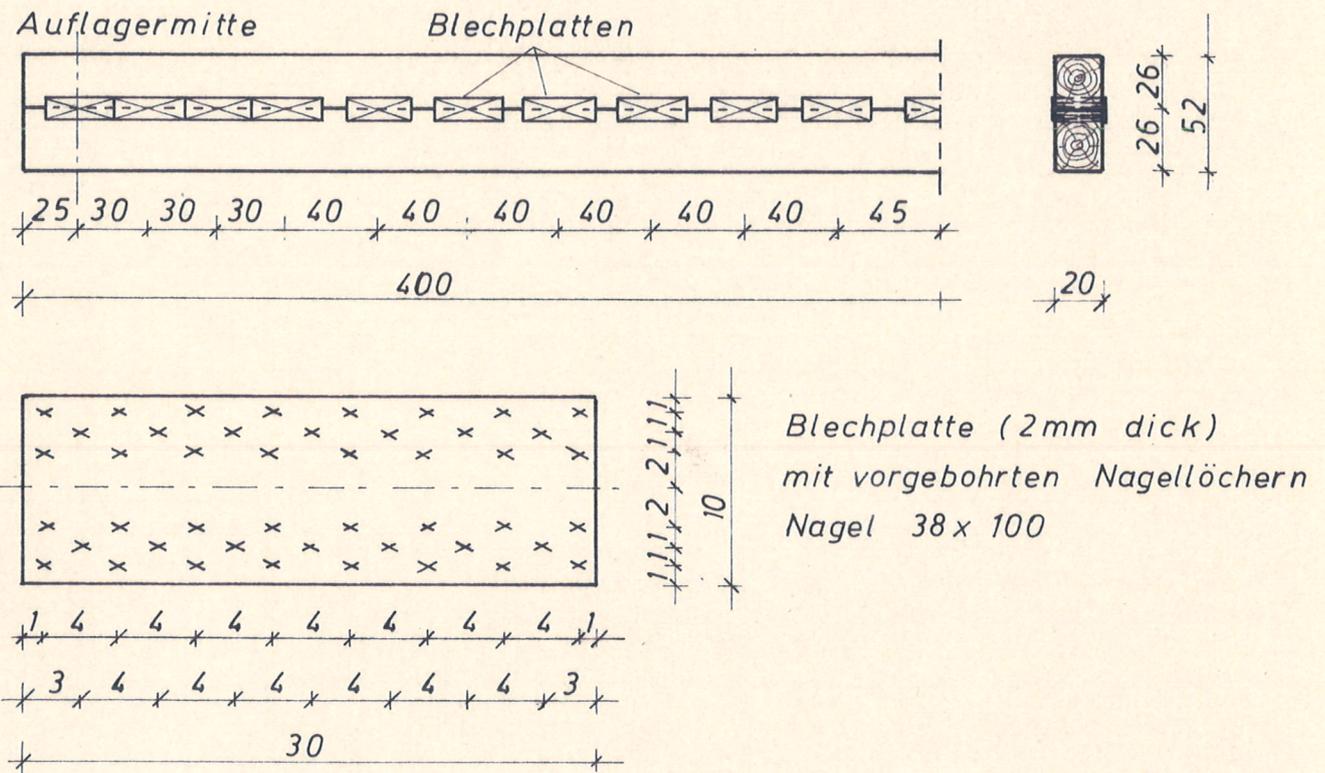


Bild 4: Träger mit aufgenagelten Blechplatten

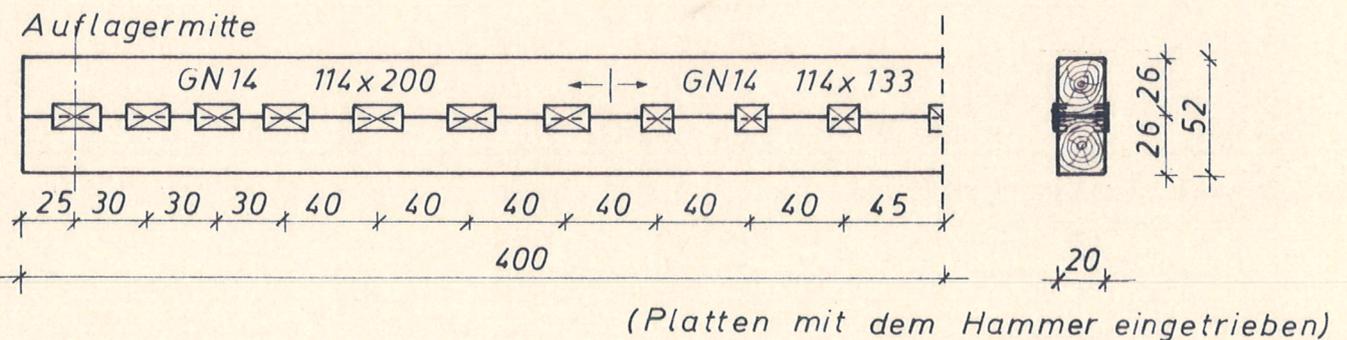
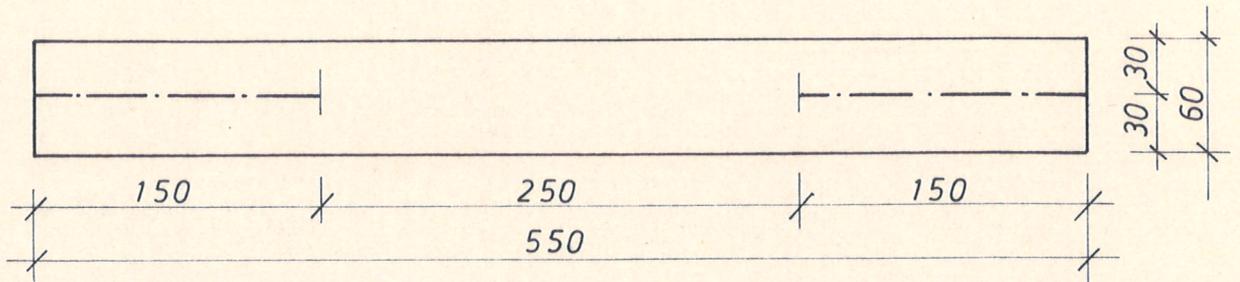


Bild 5: Nagelplattenträger

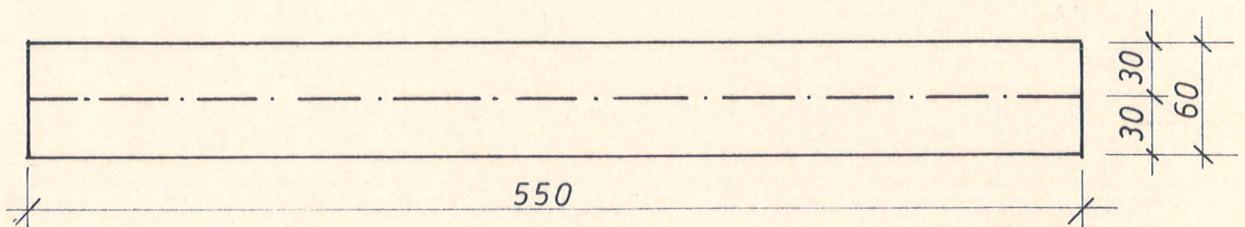
Trägertyp A

Trägerbezeichnungen A1 bis A3



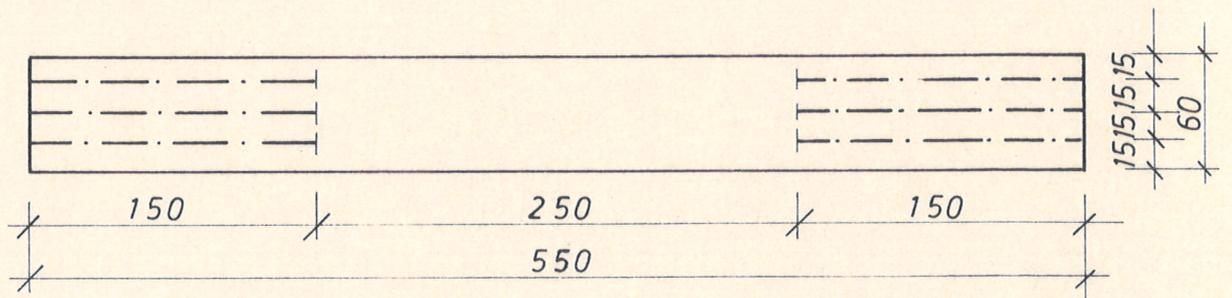
Trägertyp B

Trägerbezeichnungen B1 und B2



Trägertyp C

Trägerbezeichnungen C1 bis C6



Trägertyp D

Trägerbezeichnungen D1 bis D4

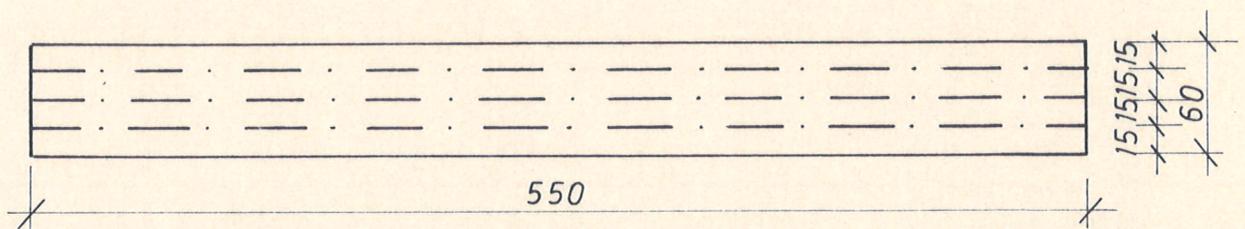


Bild : Übersicht über die Trägertypen der Hauptversuche

(---planmäßig nicht verleimte Fugen)

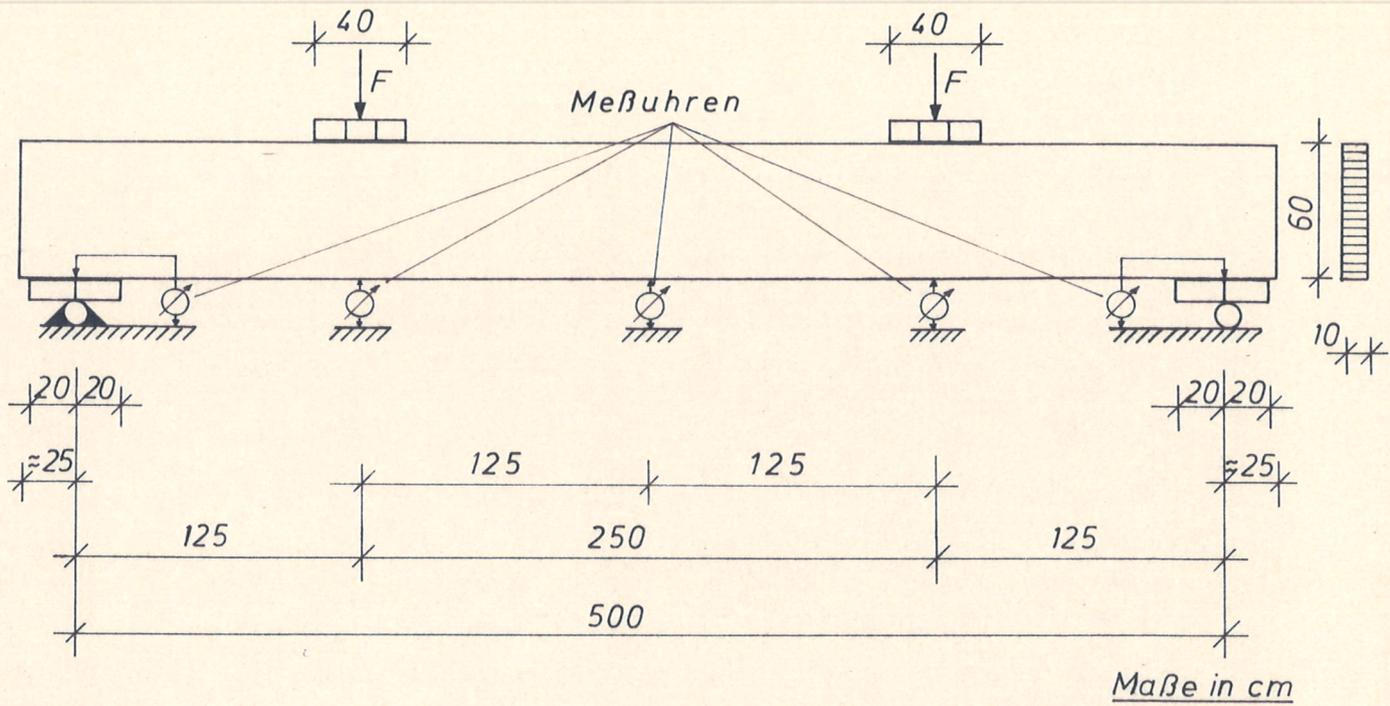


Bild 7 : Lastanordnung I

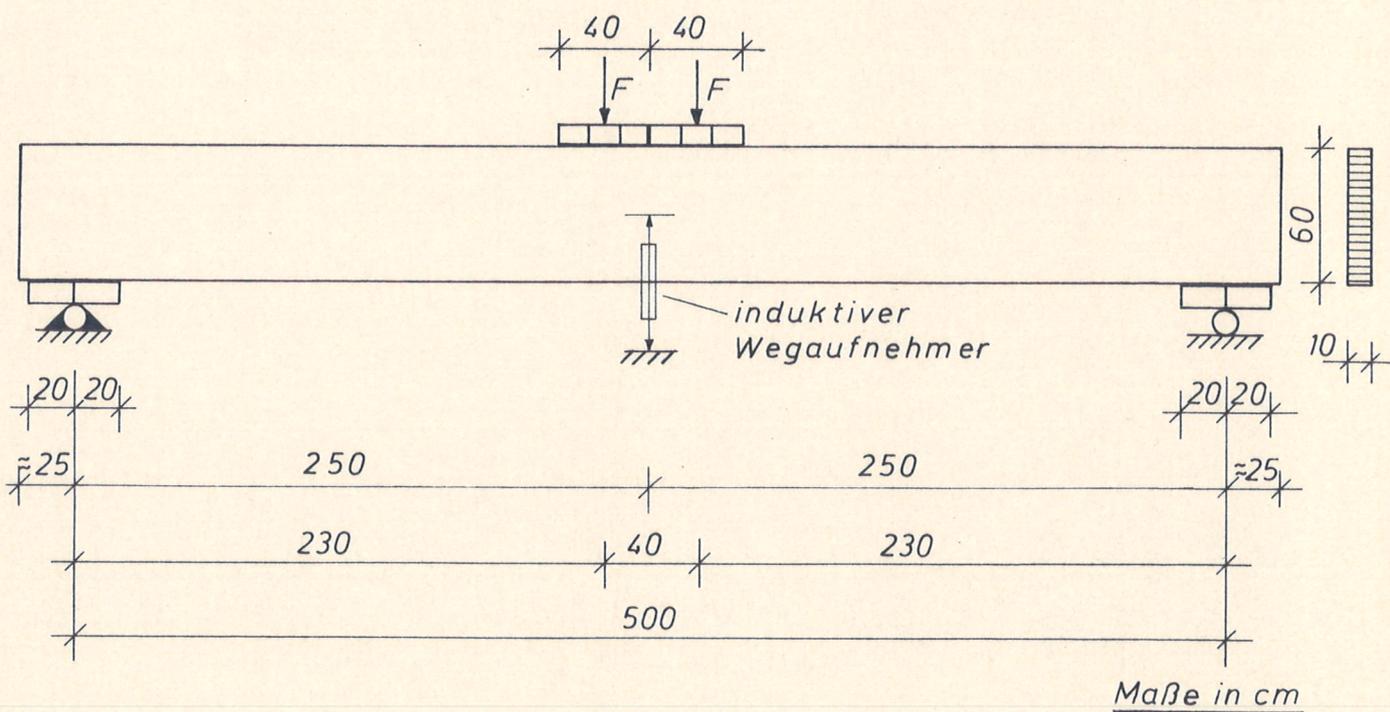
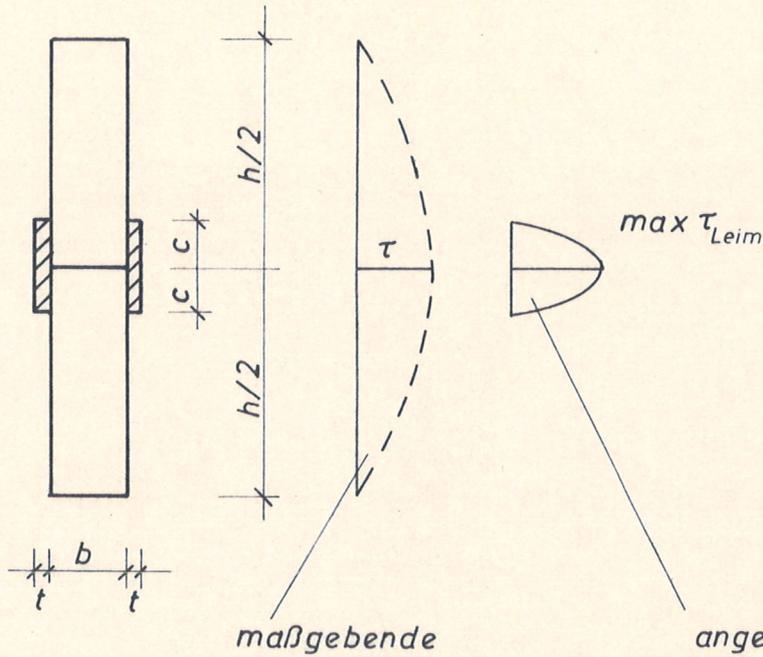


Bild 8 : Lastanordnung II





Trägertyp  
A und B



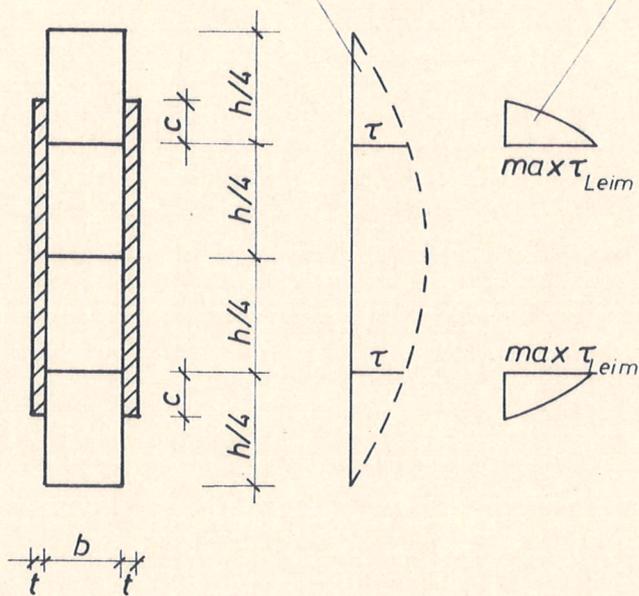
maßgebende

angenommene

Schubspannung im  
ungerissenen Querschnitt

Schubspannungsverteilung  
in der Leimfuge

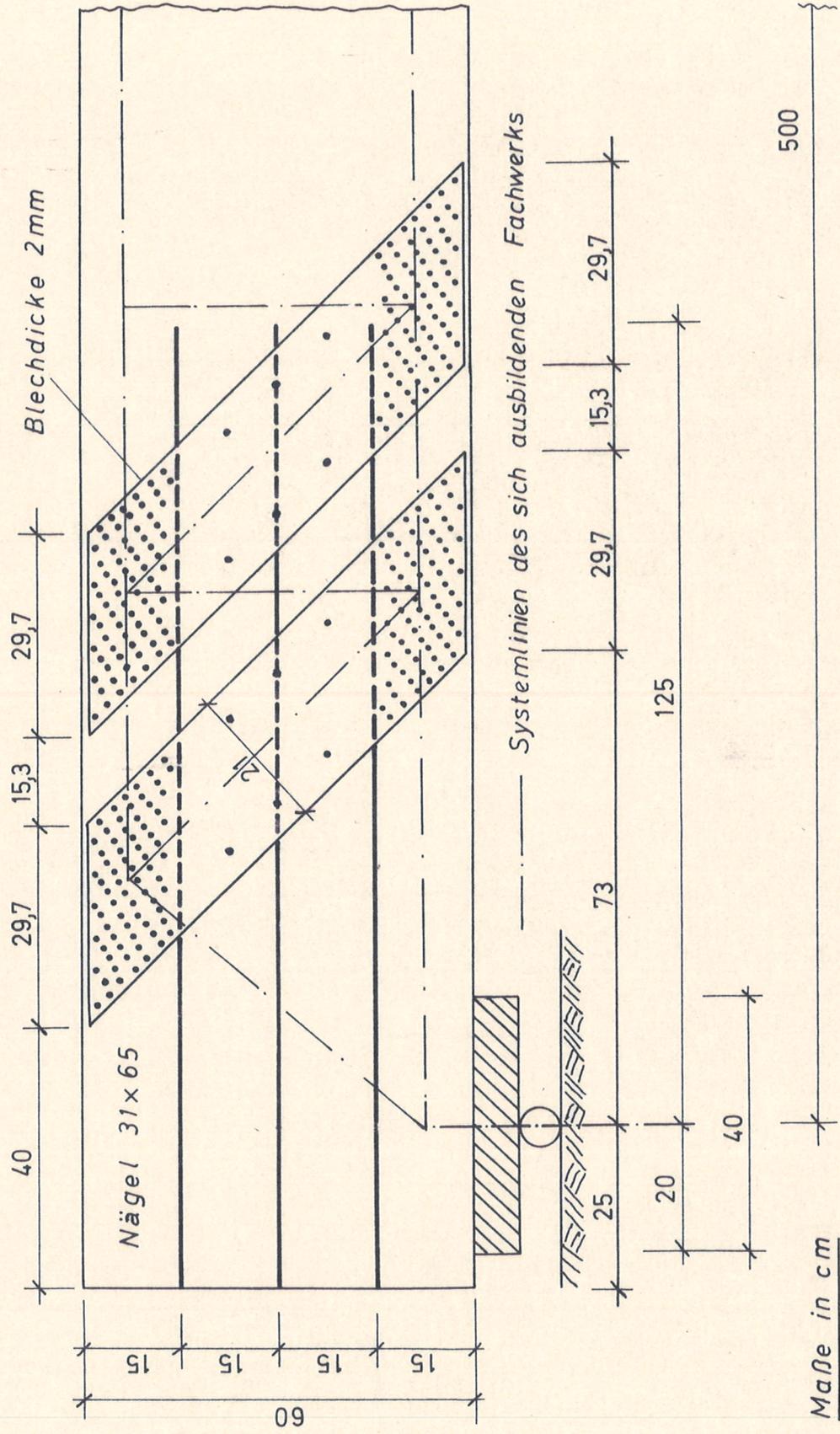
Trägertyp  
C und D



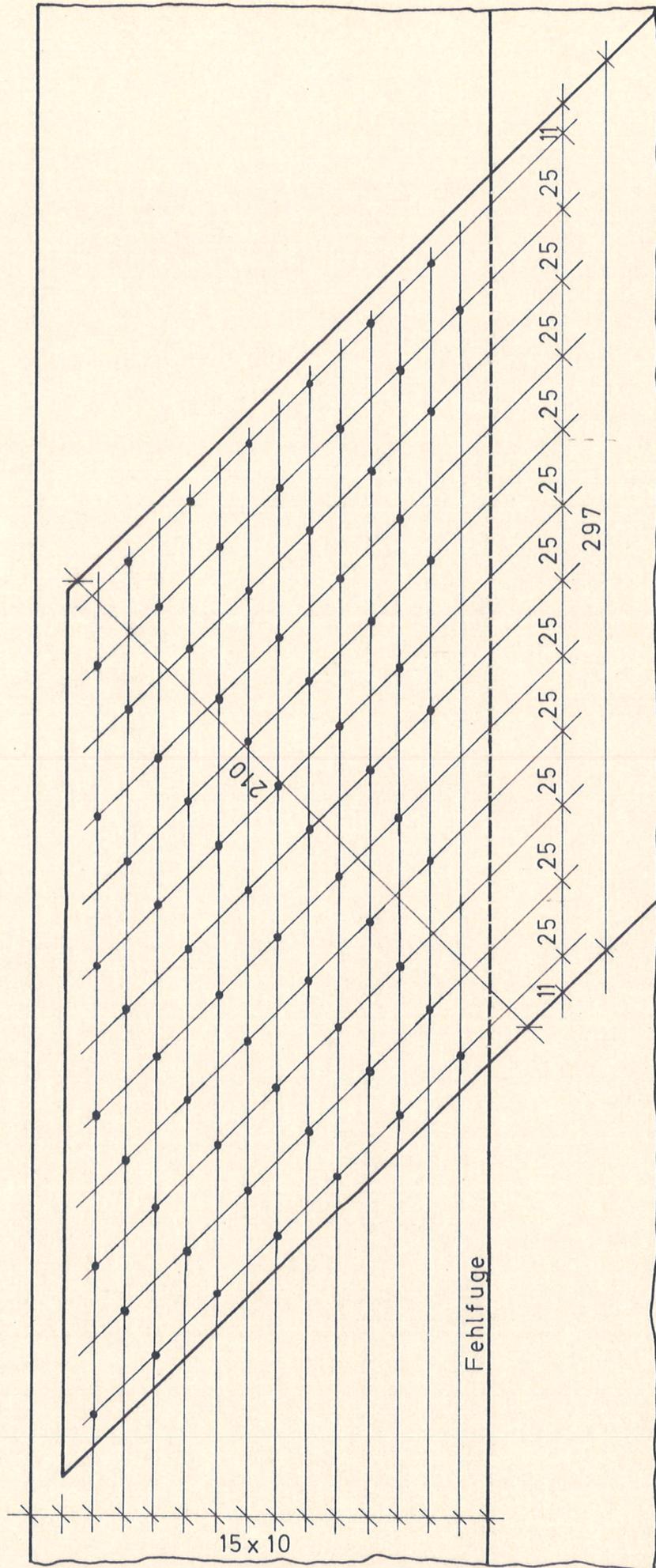
$\max \tau_{Leim}$

$\max \tau_{Leim}$

Bild : Schubspannungsverteilungen bei Trägern  
mit aufgeleimten Furnierplatten



**Bild** : Verstärkung der Träger C3, C4, D3 und D4 durch aufgenagelte Blechdiagonalen



Maße in mm

74 Nägel 31x65/Seite

Bild : Nagelbild der Blechdiagonalen

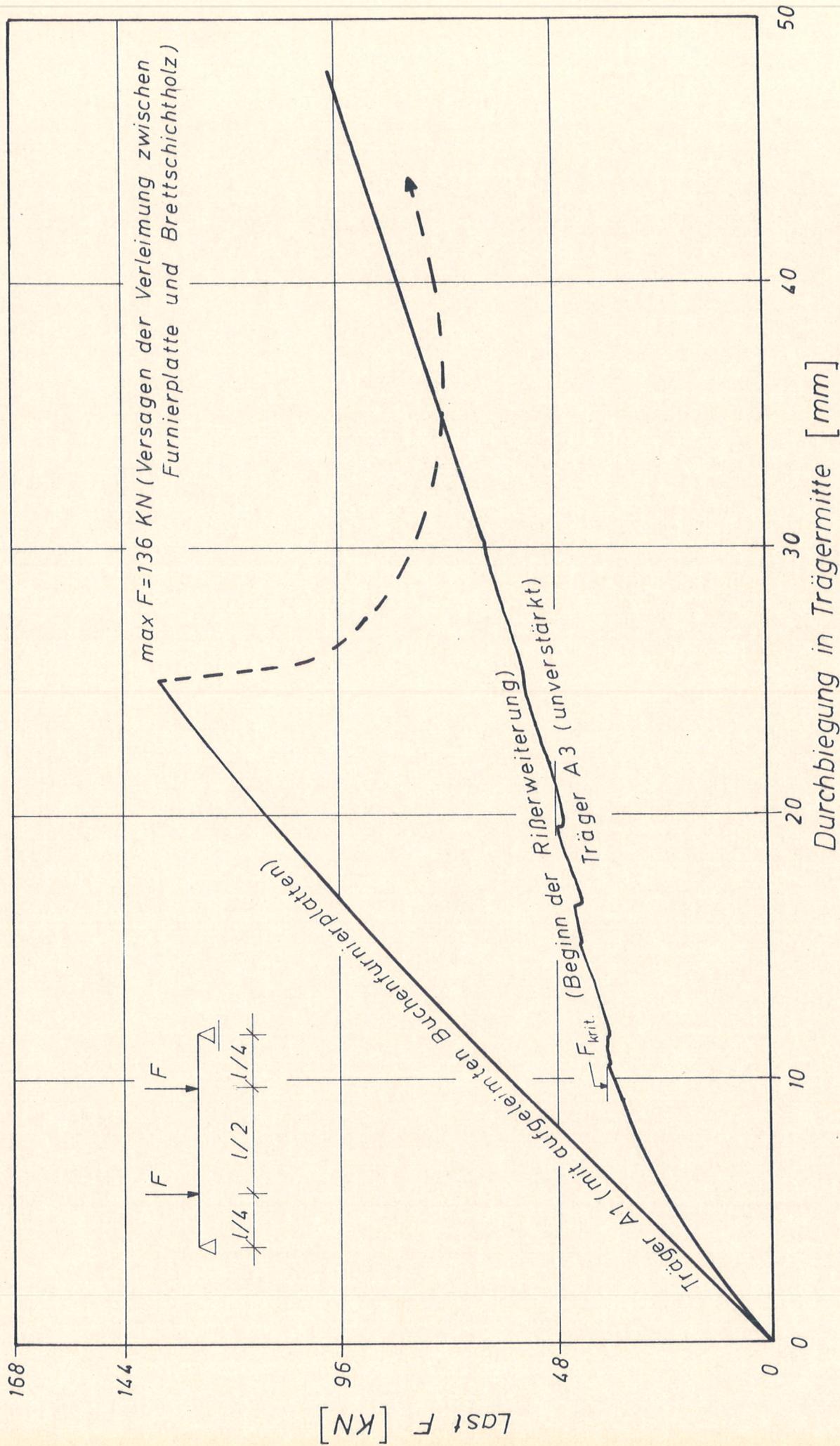


Bild : Vergleich zwischen Träger A1 (verstärkt mit aufgelenkten Furnierplatten und Träger A3 (unverstärkt))

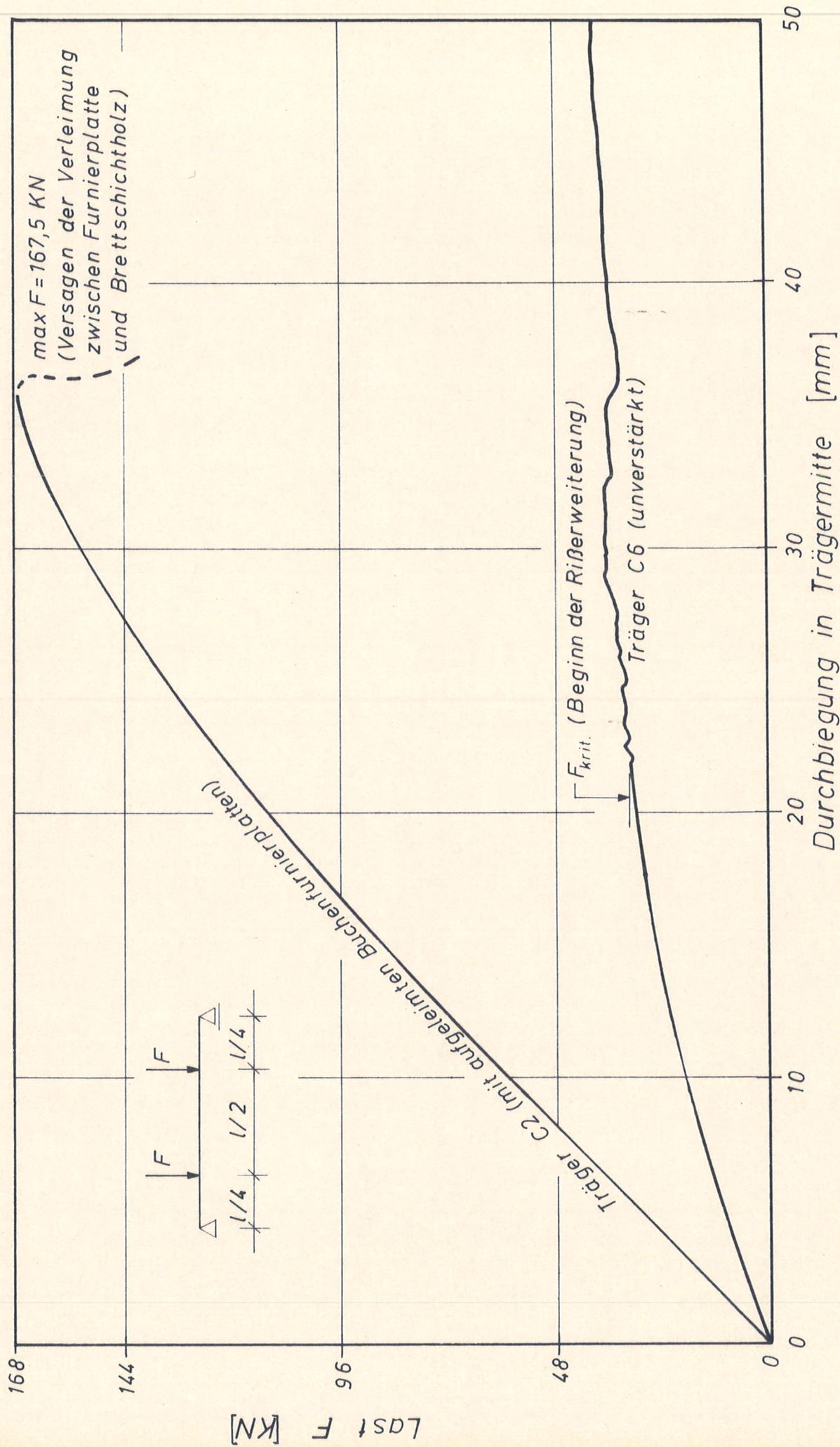


Bild : Vergleich zwischen Träger C2 (verstärkt mit aufgeleimten Furnierplatten) und Träger C6 (unverstärkt)

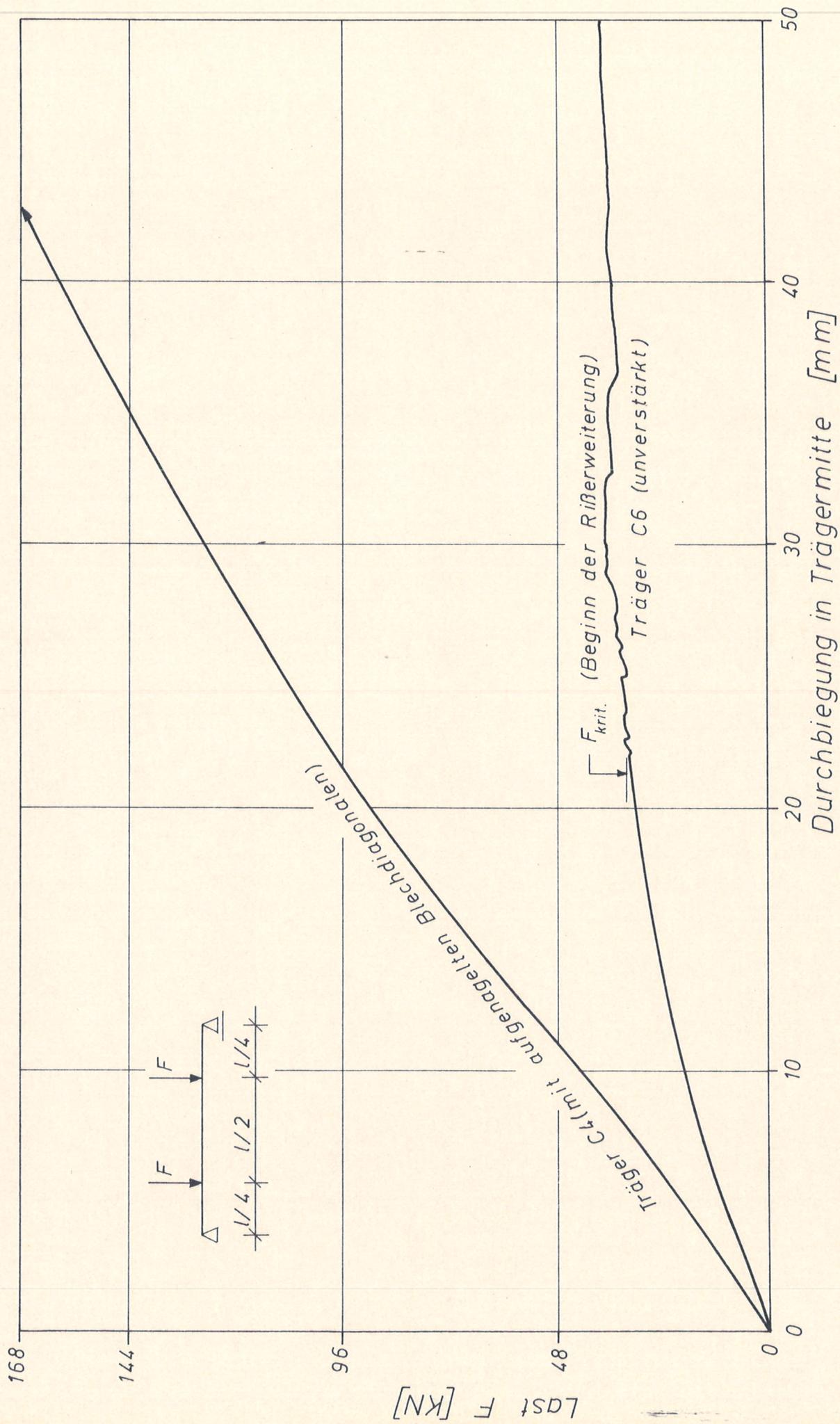


Bild : Vergleich zwischen Träger C4 (verstärkt mit aufgenagelten Blechdiagonalen) und Träger C6 (unverstärkt)

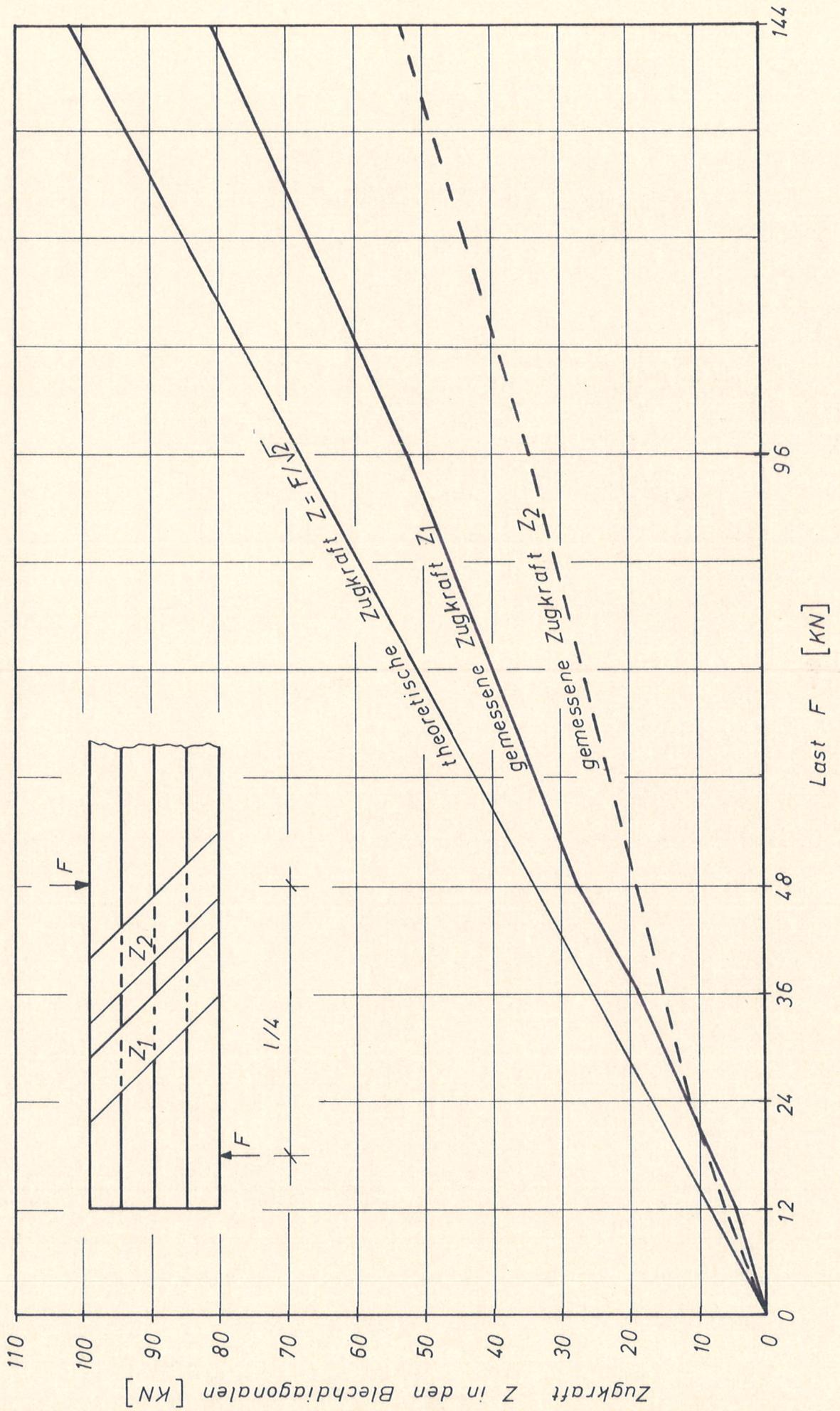


Bild : Meßwerte der Zugkräfte in den Blechdiagonalen (Träger D 4)

122/77

11

Bild : Träger B2 nach dem Versagen der  
Verleimung

112/77

6

Bild : Träger C2 beim Bruchversuch

124/77

~~8~~ 8

Bild : Träger C2 nach dem Versagen der  
Verleimung

126/77

11

Bild : Träger D2 nach dem Versagen der  
Verleimung

134/77

10

Bild \_\_\_\_\_ : Träger D3 nach dem Bruchversuch  
Bruchursache: Biegebruch

140/77

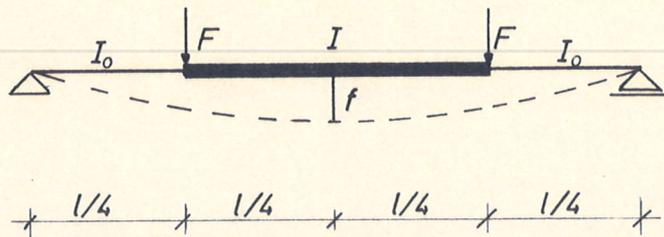
8

Bild \_\_\_\_\_ : Träger D4 nach dem 2. Bruchversuch  
(Lastanordnung II nach Bild 8)  
Bruchursache: Biegebruch

Versuch zur Ermittlung von	Versuchsaufbau Maße in cm	Verstärkungsmaßnahme	Träger Nr.	mittlerer E-Modul N/mm <sup>2</sup>	wirksames Trägheitsmoment aus Versuch J <sub>ef</sub> cm <sup>4</sup>	vollständiges Trägheitsmoment bei starrem Verbund J <sub>voll</sub> cm <sup>4</sup>	$\eta = \frac{J_{ef}}{J_{voll}}$	Bruchlast max F KN	$v = \frac{\max F}{zul F}$ (+)	Bruchursache B=Biegebruch V=Versagen der Verstärkung		
max M		Stabdübel (nach Bild 3)	1	9370	133000	184300	0,722	60,0	2,45	B		
		aufgenagelte Blechplatten (nach Bild 4)	2	11400	180000	234000	0,769	74,6	2,60	B		
			3	11300	182000		0,778	67,5	2,35	B		
				Nagelplatten (nach Bild 5)	4	11100	164000	234000	0,701	79,0	2,75	B
					5	10100	168000		0,718	89,0	3,10	B + (V)
max Q		Stabdübel (nach Bild 3)	6	9850	—	—	—	149,0	2,24	B		
		aufgenagelte Blechplatten (nach Bild 4)	7	11700	—	—	—	234,0	3,25	B + V		
			8	10700	—	—	—	—	239,0	3,32	V	
		9	10700	—	—	—	—	243,0	3,38	V		

(+) zul F berechnet aus den Querschnittswerten des Vollquerschnitts und  $zul \sigma = 10 \text{ N/mm}^2$  bzw.  $zul \tau = 0,9 \text{ N/mm}^2$

Tabelle 2: Ergebnisse der Vorversuche der verstärkten Kantholzträgern



$$I_{const.} = \frac{11}{\left(\frac{2}{I_0} + \frac{9}{I}\right)}$$

$$f_{voll} = \frac{11}{384} \cdot \frac{Ml^2}{EI_{voll}} + 1,2 \cdot \frac{M}{GA} \quad (\text{ungeschwächter Träger})$$

$$A = bh$$

$$f_{geschwächt} = \frac{11}{384} \cdot \frac{Ml^2}{EI_{const.}} + 1,2 \cdot \frac{M}{GA} \quad (\text{geschwächter Träger})$$

$$\eta = \frac{f_{geschwächt}}{f_{voll}} = \frac{\frac{G}{EI_{const.}} + \frac{41,9}{l^2 A}}{\frac{G}{EI_{voll}} + \frac{41,9}{l^2 A}}$$

Trägertyp	Wirkungsgrad $\eta$ für $\frac{E}{G} =$						
	16	18	20	22	24	26	28
A	1,30	1,29	1,27	1,26	1,25	1,24	1,23
B	2,66	2,58	2,50	2,43	2,36	2,30	2,25
C	2,51	2,43	2,36	2,30	2,24	2,18	2,13
D	9,32	8,88	8,48	8,13	7,80	7,51	7,23

Tabelle : Theoretisch möglicher Wirkungsgrad  $\eta$  der Verstärkungsmaßnahmen

Werte ermittelt mit Lastanordnung										
Träger	I (Bild 7)							II (Bild 8)		
	Nr.	$E$ N/mm <sup>2</sup>	$EI'_0$ KNm <sup>2</sup>	$EI$ KNm <sup>2</sup>	$EI_{const.}$ KNm <sup>2</sup>	$F_{krit.}$ KN	$max M$ KNm	$max \sigma_b$ N/mm <sup>2</sup>	$max M$ KNm	$max \sigma_b$ N/mm <sup>2</sup>
A 2		13 500	6 980	24 400	16 800	35,0	218	72,5	—	—
A 3		13 600	5 610	24 400	15 200	36,0	194	64,6	—	—
C 5		13 400	2 220	24 400	8 660	31,2	—	—	85,1	56,7
C 6		12 500	2 260	22 500	8 570	30,0	—	—	80,5	53,7

Tabelle : Ergebnisse der Steifigkeits- und Bruchversuche mit unverstärkten Brettschichtträgern

Träger Nr.	unverstärkter Träger					verstärkter Träger							Bruchursache: B = Biegebruch L = Versagen der Verleimung	
	E N/mm <sup>2</sup>	EI' <sub>0</sub> KNm <sup>2</sup>	EI KNm <sup>2</sup>	EI <sub>const</sub> KNm <sup>2</sup>	EI' <sub>v</sub> KNm <sup>2</sup>	EI <sub>v</sub> KNm <sup>2</sup>	EI <sub>const.v</sub> KNm <sup>2</sup>	$\eta = \frac{EI_{const.v}}{EI_{const}}$	max F KN	max F 48 KN	Bruchmoment maxM in KNm bei Lastanordnung			max M 84 KNm
											I (Bild 7)	II (Bild 8)		
A1	9 570	13 000	17 200	16 300	12 500	26 400	22 000	1,35	136,0	2,83	> 170	—	> 2,02	L
B1	14 600	6 850	6 710	6 730	9 890	27 000	20 600	3,06	158,6	3,30	> 198	—	> 2,36	L
B2	15 200	6 980	7 120	7 090	13 700	23 100	20 600	2,91	128,5	2,68	> 161	—	> 1,91	L
C1	12 300	2 120	21 800	8 120	11 300	27 300	21 700	2,67	> 180,0	> 3,75	> 225	289	3,44	B
C2	12 700	2 370	23 100	8 930	11 800	28 600	22 700	2,54	167,5	3,49	> 209	—	> 2,49	L
D1	19 300	2 560	2 430	2 460	11 500	27 000	21 700	8,82	176,2	3,67	> 220	—	> 2,62	L
D2	18 600	2 580	2 220	2 280	33 000	18 800	20 400	8,95	145,5	3,03	> 182	—	> 2,17	L

Tabelle : Ergebnisse der Steifigkeits- und Bruchversuche mit Brettschichtträgern  
(Verstärkungsmethode: Aufgeleimte Buchenurnierplatten)

Träger Nr.	unverstärkter Träger				verstärkter Träger							Bruchursache: B = Biegebruch		
	E N/mm <sup>2</sup>	EI' <sub>0</sub> KNm <sup>2</sup>	EI KNm <sup>2</sup>	EI <sub>const</sub> KNm <sup>2</sup>	EI' <sub>0v</sub> KNm <sup>2</sup>	EI <sub>v</sub> KNm <sup>2</sup>	EI <sub>const.v</sub> KNm <sup>2</sup>	$\eta = \frac{EI_{const.v}}{EI_{const}}$	max F KN	max $\frac{F}{48}$ KN	Bruchmoment maxM in KNm bei Lastanordnung		max M 84 KNm	
											I (Bild 7)			II (Bild 8)
C 3	13 200	2 280	23 800	8 760	8 140	25 500	18 400	2,10	>180,5	>3,76	>226	—	>2,69	Lasteinleitung
C 4	13 000	2 190	23 100	8 460	9 300	19 500	16 300	1,93	>172,5	>3,59	>216	367	4,37	B
D 3	17 500	2 530	2 180	2 240	7 390	20 800	15 600	6,96	173,0	3,60	216	—	2,57	B
D 4	18 000	2 430	2 400	2 420	9 490	19 000	16 100	6,65	>157,0	>3,27	>196	204	2,42	B

Tabelle : Ergebnisse der Steifigkeits- und Bruchversuche mit Brettschichtträgern  
(Verstärkungsmethode: Aufgenagelte Blechdiagonalen)