

E-76/5

UNTERSUCHUNGEN

ÜBER DEN EINFLUSS VON AUSKLINKUNGEN IM AUFLAGERBEREICH

VON HOLZBIEGETRAEGERN AUF DIE TRAGFESTIGKEIT

UNTERSUCHUNGEN
UEBER DEN EINFLUSS VON AUSKLINKUNGEN IM AUFLAGERBEREICH
VON HOLZBIEGETRAEGERN AUF DIE TRAGFESTIGKEIT

Versuche

durchgeführt im Auftrage der Entwicklungsgemeinschaft Holzbau
in der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung e.V.

von

Karl Möhler und Hans-Ludwig Mistler
Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen
Universität Karlsruhe (TH)

1978

Inhalt :

- 1 Einleitung
- 2 Anlage und Durchführung der Versuche
 - 2.1 Allgemeines
 - 2.2 Versuche mit Modellträgern aus Holz
 - 2.2.1 Versuchshölzer
 - 2.2.2 Ausbildung der Versuchskörper
 - 2.2.3 Versuchsdurchführung
 - 2.2.3.1 Kurzzeitversuche
 - 2.2.3.2 Dauerstandversuche
 - 2.3 Versuche mit Brettschichtträgern
 - 2.3.1 Herstellung der Träger und Holzeigenschaften
 - 2.3.2 Ausbildung der Brettschichtträger
 - 2.3.3 Versuchsdurchführung
- 3 Ergebnisse und Auswertung der Versuche
 - 3.1 Versuche mit ausgeklinkten Modellträgern
 - 3.1.1 Kurzzeitversuche
 - 3.1.2 Dauerstandversuche
 - 3.1.3 Einfluß von Holzfehlern, Feuchteabweichungen, Schnittkerben und Abschrägungen auf das Reiß- und Bruchverhalten der Vollholz-Modellträger
 - 3.2 Versuche mit ausgeklinkten Brettschichtträgern ohne und mit Verstärkungen im Ausklinkungsbereich
 - 3.2.2 Bruchverhalten der unverstärkten und der verstärkten Brettschichtträger
- 4 Zusammenfassung
- 5 Schrifttum

1 Einleitung

Die leichte Bearbeitbarkeit des Holzes bringt es mit sich, daß bei Trägern aus Voll- oder Brettschichtholz oft Ausklinkungen im Auflagerbereich vorgesehen werden, sei es um bündige Anschlüsse bei Pfetten, Wechsellagen oder sonstigen Queranschlüssen zu ermöglichen oder um meist aus wirtschaftlichen oder architektonischen Gründen die Konstruktionshöhe im Auflagerbereich so gering wie möglich zu halten. Nach DIN 1052, Teil 1, Abs. 9.1.10, sollten Ausklinkungen von Vollholzbalkenenden im Hinblick auf die dabei rechtwinklich zur Faserrichtung wirkenden Zugspannungen vermieden werden, wenn nicht durch besondere Vorkehrungen das Aufreißen des Holzes behindert wird. Beispielhaft ist in Bild 14 der DIN 1052 die Sicherung eines ausgeklinkten Balkenendes gegen Aufreißen durch einen Bolzen angegeben. Bemessungsangaben für das Balkenende und für die Sicherung fehlen aber. Nach einigen ausländischen Holzbaubestimmungen (1), (2), (3), (4), (7) ist mit einer erhöhten Schubspannung im ausgeklinkten Trägerteil (Restquerschnitt) ein Nachweis dieser Auflagerart möglich. Durch den angegebenen Erhöhungsfaktor H/h_1 (siehe Bild 1) wird aber der tatsächliche kritische Spannungszustand nur unvollkommen erfaßt. Die näherungsweise Bestimmung der Beanspruchungen des Holzes im Bereich einer Ausklinkung nach Größe, Richtung und Art mit der Methode der finiten Elemente zeigt, daß an der kritischen Stelle des Ausklinkungsbereiches Schub-, Querzug- und Längsspannungen auftreten (8). Das Versagen im Ausklinkungsbereich wird nach den hier durchgeführten Vorversuchen und der Beobachtung von in der Praxis aufgetretenen Schadensfällen in erster Linie durch Ueberschreiten der Querzugfestigkeit des Holzes ausgelöst. Die Tragfestigkeit wird jedoch auch durch gleichzeitig wirkende Schubspannungen beeinflusst. Besonders gefährdet erscheinen Brettschichtholzträger, bei denen oft verhältnismäßig tiefe Ausklinkungen am Auflager vorgenommen werden, die bei Ausnutzung der zulässigen Auflagerpressung Quer- und Schubspannungen zur Folge haben, die oft die Festigkeit des Holzes überschreiten. Zusätzliche Beanspruchungen aus Klimaschwankungen führen dann besonders rasch zu Anrissen oder völligem Abreißen des unterhalb der Ausklinkung liegenden Trägerteils.

Durch Versuche an Voll- und Brettschichtholzträgern sollten Unterlagen für die Aufstellung zutreffender Bemessungsangaben geschaffen werden. Dabei waren auch verschiedene konstruktive Möglichkeiten zur Sicherung von ausgeklinkten Trägerenden, vor allem bei Brettschichtholz, zu untersuchen und das Verhalten unverstärkter Proben bei Langzeitbelastung festzustellen.

2 Anlage und Durchführung der Versuche

2.1 Allgemeines

Aufgrund der rechnerischen Voruntersuchungen und einiger hierzu durchgeführter Vorversuche war bekannt, daß bei rechtwinkliger Ausklinkung die Beanspruchungen am Ausklinkungsgrund mit zunehmendem Ausklinkungsverhältnis $a/H \leq 0,5$ ungünstiger werden, während bei schräger Ausklinkung günstigere Spannungsverhältnisse zu erwarten sind (Bild 1). Außerdem wurde vermutet, daß sich Abrundungen der Ecke günstig und scharfe Einschnitte, wie sie oft in der Praxis vorkommen, ungünstig auf die Tragfähigkeit des ausgeklinkten Auflagerbereiches auswirken. Diese Verhältnisse sollten an Vollholz-Modellträgern untersucht werden, um im Hinblick auf den Aufwand für jeden Parameter eine genügende Anzahl von Versuchen durchführen zu können. Aufgrund der erzielten Ergebnisse sollten dann die bei Brettschichtholz vorliegenden Verhältnisse bei senkrechter und schräger Ausklinkung an einer geringeren Anzahl von Versuchen überprüft und in weiteren Versuchsreihen mögliche Sicherungsmaßnahmen untersucht werden. Dabei wurden neben der DIN-gemäßen Bolzenverstärkung eingeleimte Gewindestangen, aufgenagelte Schrägbleche sowie nagelpreßverleimte und nur genagelte Furnierplatten-Verstärkungen in die Untersuchungen einbezogen.

2.2 Versuche mit Modellträgern aus Vollholz

2.2.1 Versuchshölzer

Aus 23 lufttrockenen 40 mm dicken Bohlen, die aus 7 Fichtenholzstämmen

entnommen wurden, wurden gehobelte Bretter von 32 mm Dicke hergestellt, aus denen die Versuchskörper 32/120/800 mm herausgeschnitten wurden. Die Körper wurden nach dem in Tabelle 1 dargestellten Schema bezeichnet, so daß aus der Bezeichnung für den Vergleich der einzelnen Parameter jeweils Herkunft und Lage des einzelnen Versuchskörpers ersichtlich war. Aus der Mitte der einzelnen Bohlen wurden je 2 Druckproben zur Ermittlung der Holzeigenschaften entnommen. Die in Tabelle 1 zusammengestellten Rohdichten schwankten zwischen 0,444 und 0,576 g/cm³ bei einer mittleren Holzfeuchtigkeit von 10,8%. ρ_{11} mittel betrug 0,51 g/cm³. Die Druckfestigkeit, auf 15% Feuchtigkeit umgerechnet, lag zwischen 34 und 55 N/mm² und betrug im Mittel 42,9 N/mm². Nach der Herstellung der Versuchskörper wurden diese bei Normalklima so lange gelagert, daß sie bei der Prüfung einen Feuchtegehalt von ca. 11 bis 12% aufwiesen.

2.2.2 Ausbildung der Versuchskörper

Form und Abmessungen der Ausklinkungsbereiche der verschiedenen Ausführungsformen sind in Bild 1 dargestellt. Die Ausklinkungshöhe a und die bei den insgesamt 27 Versuchsreihen vorliegenden 5 verschiedenen Ausführungsformen gehen aus Tabelle 2 hervor, die auch für jede Versuchsreihe die Anzahl der Einzelversuche enthält. Insgesamt wurden 309 Versuche durchgeführt, wobei für bestimmte Ausklinkungsverhältnisse bis zu 49 Einzelversuche vorgenommen wurden. Im einzelnen wurden die Ausklinkungen bei den verschiedenen Formen folgendermaßen ausgeführt :

- | | |
|-----------------|--|
| Ausführung I: | mit der Kreissäge rechtwinklig geschnitten |
| Ausführung II: | mit der Bandsäge abgeschrägt |
| Ausführung III: | mit der Fräsmaschine hergestellt |
| Ausführung IV: | Rundung vor dem Ausklinken mit scharfen Astlochbohrern gebohrt |
| Ausführung V: | Einschnitt mit 2 mm dicker Stichsäge hergestellt. |

Bei den Versuchsreihen 1 bis 7, 10 bis 15 und 19 bis 27 sowie bei den Körpern

für die Dauerstandversuche lagen im Ausklinkungsbereich keine sichtbaren Holzfehler vor. Dagegen wurden für die Versuchsreihen 8, 9 und 16 bis 18 Hölzer mit sichtbaren Fehlern wie Schwindrissen, Schrägfaser, Rotfäule oder Aeste verwendet. Die Körper für die Reihen 11 und 20 wurden bis zur Prüfung über einem Wasserbad gelagert, so daß sie eine Holzfeuchte von 19 bis 22% aufwiesen. Die Körper der Reihen 10 und 19 hatten nach Lagerung in trockener Luft bei der Prüfung einen mittleren Feuchtegehalt von 7,7 und 6,6%.

2.2.3 Versuchsdurchführung

2.2.3.1 Kurzzeitversuche

Die Belastungs- und Meßanordnung geht aus Bild 2 bis 4 hervor.

Die Belastungsversuche wurden auf einer 100 kN-Prüfmaschine durchgeführt, bei der die Verformungsgeschwindigkeit stufenlos geregelt werden kann. Die Vorschubgeschwindigkeit am Stempel betrug bei allen Versuchen 2 mm in der Minute bis zum Bruch (Durchriß) der Versuchskörper, so daß die Versuchsdauer bis zum Anriß mindestens eine Minute betrug.

Die "Rißaufweitung" wurde auf der Trägervorder- und -rückseite über Tastspitzen mit 10 mm Meßstrecke erfaßt und über einen Hebel auf einen induktiven Wegaufnehmer mit 1 mm Meßbereich übertragen. Die Aenderungen der Gesamthöhe wurden beidseitig von induktiven Wegaufnehmern mit Tastkopf und 2 mm Meßbereich gemessen und elektrisch gemittelt. (Vergl. Bild 3 und 4). Während des Versuchs wurde mittels zweier X/Y-Schreiber die mittlere "Rißaufweitung" nahe der einspringenden Ecke sowie die mittlere Gesamthöhenänderung in Abhängigkeit von der Last kontinuierlich aufgezeichnet. Mit Hilfe des Last-Verschiebungsschreibers der Prüfmaschine wurde zur Kontrolle der Höchstlast das Last-Verschiebungsdiagramm des Prüfstempels mitgeschrieben. Da jeder Versuchskörper zweimal (Seite A und B) verwendet werden sollte, wurde die Verformung bzw. die Last nur so weit gesteigert, daß die Rißlänge höchstens etwa 35 cm betrug.

2.2.3.2 Dauerstandversuche

Um den Zeitaufwand bis zum Eintreten eines Dauerbruchs zu begrenzen, wurde mit der Anordnung für Kurzzeitversuche die Belastung an jeder einspringenden Ecke der insgesamt 6 Körper in einer Vorbelastung so weit gesteigert, bis die Rißaufweitungslinie eine bleibende (nicht lineare) Verformung von etwa $2 \mu\text{m}$ zeigte. Mit dieser später als "Proportionalitätsgrenze" bezeichneten Belastung wurden die Dauerstandversuche in der Versuchshalle angesetzt, in der ca. 20°C und eine Luftfeuchtigkeit von $65 \pm 5\%$ gehalten wurde. Bild 5 und 6 zeigen den Aufbau der Dauerstandversuche.

Während der Dauer der Versuche wurde mittels Meßuhren mit $0,01 \text{ mm}$ Skalenteilung zu bestimmten Zeiten die Rißaufweitung abgelesen und in Zeitintervallen die Belastung in kleinen Stufen gesteigert. Die Belastung der noch nicht gebrochenen Träger wurde nach ca. 10 Monaten abgebrochen.

2.3 Versuche mit Brettschichtträgern

2.3.1 Herstellung der Träger und Holzeigenschaften

Die $3,5 \text{ m}$ langen Träger mit $10/60 \text{ cm}$ Querschnitt wurden in einem Holzleimbaubetrieb mit Leimgenehmigung A aus zwei 30 cm hohen Hälften hergestellt und nachträglich zusammengeleimt. Für die Verleimung wurde Harnstoffleim verwendet. Die 30 mm dicken Brettlamellen aus Fichtenholz der Güteklasse I laufen ungestoßen durch, um eine möglichst hohe Biegefestigkeit zu erreichen und ein vorzeitiges Versagen durch Ueberschreiten der Biegefestigkeit zu vermeiden.

Die Ausklinkungen und die Verstärkungsmaßnahmen wurden erst in der Versuchsanstalt vor der Durchführung der Versuche angebracht.

Zur Bestimmung der Holzeigenschaften wurde an jeder geprüften Trägerseite von der gerissenen Lamelle je eine Druckprobe entnommen. Die Rohdichten ρ_u ergaben sich im Mittel zu $0,47 \text{ g/cm}^3$ bei einer mittleren Holzfeuchte

von 9,3%. Die Druckfestigkeit betrug im Mittel 41 N/mm^2 , bezogen auf 15% Holzfeuchtigkeit.

2.3.2 Ausbildung der Brettschichtträger

Die Träger für die Versuchsreihen 1 bis 6, die insgesamt 17 Versuchskörperseiten umfaßten, wurden mit der Handkreissäge rechtwinklig ausgeklinkt. Bei 3 Versuchsreihen wurden Abschrägungen nach Bild 7.1 und 7.2 vorgenommen. Bild 7.3 bis 7.11 zeigen die Ausbildung der nach besonderen Maßnahmen verstärkten Ausklinkungsbereiche. Dabei wurde für die verstärkten Träger das Ausklinkungsmaß in den meisten Fällen von 30 cm auf 28,5 cm vermindert, da bei Versuchsreihe 6 die Mittelfuge teilweise Herstellungsmängel aufwies. Die einspringenden Ecken bei den Trägern der Reihen 3 $1/8$ und 6 $1/5$ (Bild 7.1 und 7.2) wurden mit der Holzraspel ausgerundet. Die Ecken der Reihen 6 $1/2$ blieben scharfkantig.

Bei der Dimensionierung der Verstärkungen der Reihen 6 Bo bis 6 LFU (Bild 7.3 bis 7.11) wurde davon ausgegangen, daß der Restquerschnitt $b \cdot h_1$ die volle zulässige Querkraft ohne Abminderung übertragen soll. Unter dieser Voraussetzung ergibt sich die vom verstärkenden Bauteil zu übertragende Zugkraft zu

$$Z = \text{zul } Q \cdot \left[3 \cdot \left(\frac{a}{H}\right)^2 - 2 \cdot \left(\frac{a}{H}\right)^3 \right],$$

wenn angenommen wird, daß die Querkraft im nicht geschwächten Teil des Trägers parabelförmig verteilt ist. Bei $a = 28,5 \text{ cm}$ errechnet sich z.B. Z wie folgt:

$$Z = 2/3 \cdot 1,2 \cdot 100 \cdot 315 \cdot (3 \cdot 0,475^2 - 2 \cdot 0,475^3) = 11\,656 \text{ N.}$$

Die Spannung in der Gewindestange M 16 wird dann $\sigma = \frac{11\,656}{141} = 83 < 140 \text{ N/mm}^2$. Bei $2 \times \text{M } 12$ ergibt sich: $\sigma = \frac{11\,656}{2 \cdot 74,3} = 78 \text{ N/mm}^2$. Im Hinblick auf eine möglichst geringe Dehnung bzw. Nachgiebigkeit wurden alle verstärkenden Bauteile für die 1,7 bis 2,2-fache rechnerische Zugkraft Z bemessen.

Bei der Reihe 6 Bo (Bild 7.3) wurde die Mutter nur leicht angelegt, um die Relaxation des Holzes und die Schwindeinflüsse bei der in der Praxis meist fehlenden Nachspannung des Bolzens nachzuahmen.

Zur Fertigung der Verstärkung mit eingeleimten Gewindestangen (Reihen 6 LSt und 6 LSt 2, Bild 7.4 und 7.5) wurden einige Voruntersuchungen durchgeführt. Es erwies sich, daß eine gleichmäßige Verteilung des fugenfüllenden und die Haftung zwischen Holz und Gewinde erzeugenden Leimes bei einem Bohrlochdurchmesser = Gewindenenddurchmesser nur durch eine Längsnut in der Gewindestange von etwa 3 mm Tiefe erreicht werden konnte, durch die der überschüssige Leim während des Eindrehens der Stange ablaufen kann. Die Löcher wurden als Sackloch ausgebildet, in das vor dem Eindrehen der Stange genügend Leim gefüllt wurde. In einem Vorversuch ließ sich so eine Haftspannung zwischen Holz und Leim von $6,6 \text{ N/mm}^2$ bezogen auf den Gewindenenddurchmesser erreichen. Als Leim wurde Kauresin 440 verwendet.

Die 2 mm dicken, verzinkten Stahlbleche für die Reihen 6 SBH und 6 SBV (Bild 7.6 und 7.7) wurden mit $\varnothing 3 \text{ mm}$ vorgebohrt. Mit einer anzuschließenden Kraft von $1,41 \cdot 11\,656 \text{ N}$ ergibt sich bei 2×39 Nägeln 31×65 eine 2,18-fache Ueberbemessung. Zur Bestimmung des Einflusses von auseinandergezogenen Anschlußflächen wurden bei der Reihe 6 SBH die erforderlichen Nägel möglichst weit an den Enden der Blechstreifen konzentriert.

Für die Reihen 6 FPH, 6 FPV, 6 LFU 1/2 und 6 LFU (Bild 7.8 bis 7.11) wurden 19 mm dicke, 9-lagige Buchenfurnierplatten AW 100 nach DIN 68 705, Teil 3 verwendet. Bei Annahme einer dreieckförmigen Verteilung der Zugspannung ergibt sich mit der gewählten Breite von 15 cm bei der rechnerischen Zugkraft Z die größte Zugspannung in der Furnierplatte

in vertikaler Richtung zu :

$$\max \sigma_{II} = \frac{2 \cdot 11\,656}{2 \cdot 19 \cdot 150} = 4,09 \text{ N/mm}^2 \text{ (1,96-fache Ueberbemessung).}$$

Die Versuchsreihen 6 FPV und 6 LFU sollten mit den in den Auflagerbereich hinein verbreiterten Platten Aufschluß darüber geben, ob sich die zulässige Querkraft über das Maß $\frac{2}{3} \cdot z_{ult} \cdot b \cdot h_j$ hinaus steigern läßt, wenn der Restquerschnitt zusätzlich verstärkt wird. Mit 2 x 27 Nägeln 31 x 65 bei den Reihen FPH und 6 FPV ist der Anschluß 2,13-fach überdimensioniert. Bei den Reihen 6 LFU 1/2 und 6 LFU wurden die Platten vollflächig durch Nagelpreßleimung mit Kauresin 440 befestigt.

2.3.3 Versuchsdurchführung

Die Belastungs- und Meßanordnung gehen aus Bild 8 bis 10 hervor. Die Belastungsversuche wurden mit einer hydraulischen Prüfanlage mit zwei 400 kN-Kolben durchgeführt. Die Belastung wurde mit gleichmäßiger Geschwindigkeit bis zum Bruch (Durchriß) so gesteigert, daß die Versuchsdauer mindestens eine Minute betrug.

Die Rißaufweitung und die Durchbiegung des Trägers wurden jeweils beidseitig mit induktiven Wegaufnehmern gemessen, elektrisch gemittelt und mittels X/Y-Schreibern in Abhängigkeit von der Prüflast kontinuierlich aufgezeichnet (vergl. Bild 9 und 10).

3 Ergebnisse und Auswertung der Versuche

3.1 Versuche mit ausgeklinkten Modellträgern

3.1.1 Kurzzeitversuche

Den aufgezeichneten Last-Rißaufweitungsdigrammen (Beispiel: Bild 11) und zur Kontrolle den Last-Gesamtaufweitungsdigrammen (Beispiel Bild 12) wurden 4 verschiedene Belastungsgrößen entnommen:

1. Die Last P_p bei 2 μm bleibender (nichtlinearer) Rißaufweitung; hier als "Proportionalitätsgrenze" bezeichnet.
2. Die Last P_F bei 20 μm bleibender Rißaufweitung; hier als "Fließgrenze" bezeichnet.
3. Die Last P_R bei 0,2 mm bleibender Rißaufweitung; hier als "Rißgrenze" oder "Last beim Anriß" bezeichnet.
4. Die Höchstlast P_B oder die Last beim Durchriß.

Die Wahl dieser Lastgrößen ergab sich, da bei einer Vielzahl von Versuchen diese Grenzen als "typisch" festzustellen waren. Beispielsweise war bei fast allen Versuchen der hörbare plötzliche Anriß und je nach Ausklinkungsverhältnis a/H auch der Durchriß mit einer bleibenden Rißaufweitung an der einspringenden Ecke von rund 0,2 mm verbunden.

Die umfangreiche Auswertung der 309 Versuche ist auf 30 DIN A4 Bogen durchgeführt, die dem Bericht nicht beigelegt sind. Sie enthalten für jeden Versuch die Lasten P_p , P_F , P_R und P_B sowie die zugehörigen auf den Restquerschnitt $b \cdot h_1$ bezogenen rechnerischen Schubspannungen τ ($\tau = 1,5 Q/bh_1$) in N/mm^2 . Für jede der 27 Versuchsreihen wurden die Mittelwerte τ der 4 Schubspannungen, die Streuungen s , der Variationskoeffizient v und die 1%-Schranke ($\tau - 2,326 \cdot s$) berechnet. Außerdem wurden die Verhältnisse τ_F/τ_p , τ_R/τ_p , τ_B/τ_p , τ_R/τ_F , τ_B/τ_F und τ_B/τ_R gebildet und auch hierfür für jede Reihe Mittelwert, Streuung und Variationskoeffizient angegeben. Mit diesen Angaben lassen sich die bei dem einzelnen Ausklinkungsverhältnis a/H vorliegenden Verformungs- und Bruchverhältnisse ziemlich genau analysieren. Vor allem bei Trägern mit kleinem Ausklinkungsverhältnis a/H war es aus verschiedenen versuchstechnischen Gründen oft nicht möglich, die Last bis zum vollständigen Durchriß zu steigern; den Höchstlasten ist in diesen Fällen ein "M" vorangestellt.

Zur Veranschaulichung der breiten Streuung der Versuchsergebnisse ist in Bild 13 die Häufigkeitsverteilung der Versuchsreihe 3 aufgetragen. Außerdem sind die bestangepaßte Normalverteilung und die Weibull-Verteilung angegeben.

Die Ergebnisse der verschiedenen Versuchsreihen sind in Tabelle 3 zusammengestellt. Für die darin aufgeführten Vergleiche wurden nach Möglichkeit je zwei Versuchskörper herangezogen, die aus demselben Brett und in derselben Reihe ausgeschnitten waren, d.h. deren Bezeichnung in den ersten drei Ziffern übereinstimmte.

Die Ergebnisse der Reihe 26 wurden nicht aufgenommen, da die betreffenden Körper von einer Kerbe aus gerissen sind, die aus meßtechnischen Gründen entlang der Schräge angebracht war.

Aufgrund der aus den Dauerstandversuchen gewonnenen Erfahrung, daß etwa bei der Belastung beim Anriß auf Dauer mit einem Durchriß gerechnet werden muß, sind in Tabelle 3 nur die Schubspannungen beim Anriß enthalten. Bild 14 zeigt die Schubspannungen beim Anriß der Modellträger.

3.1.2 Dauerstandversuche

In Tabelle 4 sind die Ergebnisse der Dauerstandversuche zusammengestellt.

Die erwartete Schubspannung beim Anriß wurde anhand vergleichbarer Kurzzeitversuche ermittelt, indem die beim Vorversuch gefundene "Proportionalitätsgrenze" mit dem Verhältnis zwischen Reißgrenze und Proportionalitätsgrenze der vergleichbaren Versuchskörper multipliziert wurde. Die angegebene Zeit $g_{s.T_i}$ ist jeweils von Versuchsbeginn bis zum Ende der Belastungsdauer mit der entsprechenden Laststufe G_i gerechnet. Die angegebene "Reißweite" wurde ebenfalls am Ende der Belastungsdauer mit G_i abgelesen.

Während der Standzeit der Versuche konnte festgestellt werden, daß sich

die Ableseung der "Rißweite" fast ausschließlich mit den Schwankungen des Hallenklimas änderte, während die tatsächliche Rißweite sich erst kurz vor dem Bruch merklich vergrößerte. Einem Durchriß bzw. Bruch ging meist eine merkliche Klimaänderung voran. Bei einer Belastungserhöhung konnten im Zeitraum von wenigen Stunden danach keine Rißweitenänderungen festgestellt werden, selbst bei einer Belastung, die schon nahe der Bruchlast lag; besonders war dies bei dem Versuch mit Körper Nr. 7211 Seite B festzustellen. Es kann daraus geschlossen werden, daß die übliche Belastungsgeschwindigkeit beim Kurzzeitversuch keinen Einfluß auf die Höhe des Ergebnisses hat.

3.1.3 Einfluß von Holzfehlern, Feuchteabweichungen, Schnittkerben und Abschrägungen auf das Riß- und Bruchverhalten der Vollholz-Modellträger

Bei den rechtwinklig ausgeklinkten, fehlerfreien Proben nahm mit wachsendem Ausklinkungsverhältnis a/H das Verhältnis zwischen Bruchlast und Rißlast (später als "Tragreserve" bezeichnet) ab. Bei Ausklinkungsverhältnissen $a/H \geq 0,5$ trat der Durchriß ohne Vorankündigung ein, d.h. ein Anriß führte zum sofortigen Durchriß. Die Risse verliefen bei allen Versuchen vorwiegend parallel zur Faserrichtung, jedoch zeigte sich vornehmlich bei kleinen Ausklinkungshöhen a öfters eine geringe Neigung des fortschreitenden Risses nach oben zur Trägerschwerachse hin. Die 1%-Schranke der rechnerischen Schubspannungen beim Anriß τ_R nahmen nach Bild 14 bis $a/H = 0,25$ praktisch linear ab. Bei größerem a/H blieben die Spannungen beim Anriß nahezu konstant.

Die Versuchskörper mit Aesten im Ausklinkungsbereich wiesen durchweg eine höhere Rißlast auf als die vergleichbaren fehlerfreien Proben (Tabelle 3).

Die Proben mit Schwindrissen oder Rotfäule im Ausklinkungsbereich ließen entsprechende Einbußen an Tragfähigkeit erkennen.

Abweichungen von der Normalfeuchte ließen sowohl bei geringerer Feuchtig-

keit (6–8%) als auch bei höherer Feuchtigkeit (19–22%) einen geringen mittleren Festigkeitsabfall zwischen 0 und 11% erkennen, der auf Risse zurückzuführen ist, die durch innere Zwängungsspannungen bei ungleichmäßiger Feuchtigkeitszunahme oder -abnahme während des Feuchtigkeitsausgleichs entstehen.

Ein Festigkeitsabfall aufgrund von Einschnittkerben in der einspringenden Ecke konnte nicht nachweislich festgestellt werden.

Eine Ausrundung der einspringenden Ecke scheint erst bei merklich größeren Radien als 17,5 mm ($r/H > 0,15$) merkliche Vorteile zu bringen.

Günstig wirken Abschrägungen des abstehenden Ausklinkungsteils, die umso vorteilhafter sind, je größer das Ausklinkungsverhältnis ist. Bei einer Neigung von $\alpha/s = 1 : 5$ wurden mittlere Festigkeitserhöhungen gegenüber rechtwinkliger Ausklinkung von 46% ohne Ausrundung und 66% mit Ausrundung bei $\alpha/H = 0,25$ und 88% bei $\alpha/H = 0,5$ erhalten. Noch deutlicher ergab sich der günstige Einfluß der Abschrägungen beim Vergleich der 1%-Schrankenwerte.

3.2 Versuche mit ausgeklinkten Brettschichtträgern ohne und mit Verstärkungen im Ausklinkungsbereich

Bild 15 zeigt das typische Rißbild nach dem Durchriß (Bruch), hier beim Träger Nr. 6, Seite A ($a = 10$ cm).

Den aufgezeichneten Last-Rißaufweitungsdiagrammen (Beispiel Bild 16) und zur Kontrolle den Last-Durchbiegungsdiagrammen (Beispiel Bild 17) wurden aufgrund der Feststellungen bei den Modellträgerversuchen nur die 2 maßgebenden Belastungsgrößen entnommen :

1. Die Last P_R beim Anriß.

Meist war während der Laststeigerung erst nach längerem Knistern (oberhalb der bei den Modellträgern als Proportionalitätsgrenze bezeichneten Last) ein deutlicher Anriß hörbar. In den Rißaufweitungsdiagrammen zeigte sich dies durch eine plötzliche Rißweitenänderung

zwischen 0,2 und 0,4 mm. In den Fällen, in denen sich keine eindeutige Reißgrenze zeigte (z.B. bei den meisten Versuchsreihen mit verstärkten Trägern), wurde diejenige Last als Reißgrenze bezeichnet, bei der sich eine geringe Änderung der Biegesteifigkeit des Trägers nachweisen ließ (Änderung der Neigung der Last-Durchbiegungslinie).

2. Die Höchstlast P_B oder die Last beim Durchriß.

Bei den nicht verstärkten Trägern war diese Belastungsgrenze deutlich hörbar und sichtbar. In der Last-Durchbiegungslinie war diese Grenze durch eine plötzliche Erhöhung der Durchbiegung eindeutig zu erkennen. Bei den verstärkten Trägern zeigte sich diese Grenze zwar auch deutlich; bei vielen Versuchen trat eine derartige Grenze jedoch mehrfach (bei verschiedenen Lasten) auf und die Last konnte anschließend (außer bei den Reihen 6 LFU 1/2 und 6 LFU) noch weiter gesteigert werden, da in diesen Fällen die verstärkenden Bauteile noch weiter Last aufnehmen konnten. Als Höchstlast wurde hier diejenige Grenze angesetzt, nach der eine erhebliche Abminderung der Biegesteifigkeit des Trägers festgestellt werden konnte.

Die Ergebnisse und die auf den Restquerschnitt $b \cdot h_f$ bezogenen Schubspannungen τ_R und τ_B sind in Tabelle 5 für jeden Versuch zusammengestellt. Als "Tragreserve" wurde hier das Verhältnis zwischen der Last beim Durchriß und der Last beim Anriß bezeichnet. Dabei ist jedoch zu bedenken, daß bei den Trägern der Reihen 6 Bo, 6 LSt2, 6 SBH, 6 SBV, 6 FPH und 6 FPV nach dem "Durchriß" bei verminderter Steifigkeit die Belastung noch bis zu 130% (beim Träger Nr. 19A) gesteigert werden konnte. Die Mittel- und die Kleinstwerte sowie die Variationskoeffizienten sind für jede Versuchsreihe in Tabelle 6 zusammengefaßt. Die Einzelergebnisse sind in Bild 18 zusammen mit den Mittelwerten und 1%-Schranken der Modellträgerversuche in Abhängigkeit vom Ausklinkungsverhältnis aufgetragen.

3.2.2 Bruchverhalten der unverstärkten und der verstärkten Brettschichtträger

Bei den unverstärkten, senkrecht ausgeklinkten Brettschichtträgern der Versuchsreihen 1 bis 6 war das Bruchverhalten analog zu den entsprechenden Reihen der Vollholz-Modellträger. Hier trat zuerst ein Anriß in der Ausklinkungsecke auf, der sich mit zunehmendem Ausklinkungsverhältnis um so rascher ins Trägerinnere fortsetzte, wobei nur noch eine geringe Laststeigerung von im Mittel 0 bis 8,7% auftrat. Bei der Reihe 6 mit $a/H=0,5$ fielen Rißlast und Bruchlast bei allen 4 Versuchen zusammen, was auf eine gewisse Schwäche der nachträglich verleimten Mittelfuge hinweist. Durch die Abschrägung des eingeschnittenen Trägers konnten Erhöhungen von 61, 120 und 177% gegenüber den mit gleichem Ausklinkungsverhältnis senkrecht eingeschnittenen Trägern erreicht werden. Das günstigste Ergebnis ergab sich bei den mit $s/H=2,5/1$ abgeschrägten Trägern mit Ausrundung der einspringenden Ecke, wobei die Schubspannung beim Anriß im Mittel über $3,0 \text{ N/mm}^2$ betrug. Bei allen abgeschrägten Trägern fielen Rißlast und Bruchlast zusammen.

Die Verstärkung durch einen Bolzen M 16 gemäß Bild 14 der DIN 1052, Teil 1, brachte zwar gegenüber der Vergleichsreihe 6 eine Erhöhung der Rißlast von 63% und der Bruchlast sogar von 126%, das sind jedoch Werte, die durch eine genügende Abschrägung leichter und wirtschaftlicher erreicht wurden. Da bei dieser Verstärkungsart einerseits in der Praxis mit nicht genügend angelegten Bolzenmuttern zu rechnen ist und andererseits der Uebertragungsweg der Querkraft verhältnismäßig groß ist, sollte diese Verstärkungsmaßnahme nicht angewendet werden.

Voll eingeleimte Gewindestangen ergaben Verbesserungen von 158 und 229%, wobei der kleinere Wert für 1 M16, der höhere Wert für 2 nebeneinander liegende Stangen M 12 gilt. Die mittleren Schubspannungen beim Anriß

lagen bei einer Gewindestange knapp unter $3,0 \text{ N/mm}^2$, bei 2 Stangen aber wesentlich darüber. Hier waren Riß- und Bruchlast praktisch gleich. Die Behinderung der Rißaufweitung ist hiernach um so wirkungsvoller, je gleichmäßiger sich die Querbeanspruchungen auf die Verbindungsmittel verteilen können.

Bei den halb- und vollaufgenagelten Blechdiagonalen wurden Steigerungen von 176 und 235% erreicht bei Schubspannungen beim Anriß von 3,1 und $3,7 \text{ N/mm}^2$. Hier waren die Unterschiede zwischen Riß- und Höchstlast mit 51 und 37% am größten. Die mittleren Bruchfestigkeiten lagen mit $\tau_B = 4,56$ und $5,17 \text{ N/mm}^2$ sogar höher als bei parallelgurtigen Brett-schichtträgern zu erwarten gewesen wäre. Etwas geringere Wirkung ergaben die lotrecht aufgenagelten Furnierplattenstreifen bzw. die Furnierplattenwinkelstücke von 19 mm Dicke. Bei ersteren wurde eine Steigerung der Rißfestigkeit von 162%, entsprechend einer Schubspannung beim Anriß von knapp 3,0, bei den letzteren von 215%, entsprechend $\tau_R = 3,5 \text{ N/mm}^2$, festgestellt. Die Bruchlasten lagen um 37 und 16% über den Rißlasten.

Die wirkungsvollste Verstärkung wurde durch die mittels Nagelpreßleimung auf-gebrachten Furnierplattenstücke nach Bild 7.10 und 7.11 erzielt. Hier waren Riß- und Bruchspannungen gleich und lagen 306 bzw. 341% über den Werten der vergleichbaren unverstärkten Träger, wobei Schubspannungen beim Anriß von 4,6 und $5,0 \text{ N/mm}^2$ erreicht wurden.

Als Versagensursache war beim Versuchskörper Nr. 18 A eine gerissene Furnierplatte und bei den Trägern der Reihen 6 LFU 1/2 und 6 LFU das Aufgehen der Leimfugen zwischen Furnierplatten und Träger festzustellen. Bei allen anderen Verstärkungsmaßnahmen war nach dem Durchriß, ausgehend von der einspringenden Ecke des Trägers, kein Versagen des verstärkenden Bauteils oder deren Anschlüsse aufgetreten.

Allgemein ließ sich feststellen, daß die Verstärkungen um so wirkungsvoller waren, je steifer und je kontinuierlicher sie mit dem Brett-schichtträger ver-

bunden waren; am besten läßt sich dies aus den Vergleichen der Reihen 6 Bo/6 LSt, 6 LSt/6 LSt2, 6 SBH/6 SBV, 6 FPH/6 LFU 1/2 und 6 FPV/6 LFU ersehen. Die Ursache für ein Anreißen bzw. Durchreißen der Träger trotz verstärkender bzw. die Querkraft aufnehmender Konstruktionsteile liegt darin, daß die gleichmäßig über die Trägerbreite auftretende Querkraft diskontinuierlich auf ein oder zwei Konstruktionselemente übertragen werden muß und deshalb die Behinderung der Rißaufweitung um so wirkungsloser ist, je weiter der Uebertragungsweg (in der Breite) bis zur Verstärkung ist.

4 Zusammenfassung

Die Versuche haben gezeigt, daß die Riß- und Tragfestigkeiten von am Auflager ausgeklinkten Holzbiegeträgern aus Voll- und Brettschichtholz in erster Linie von der Form und Größe der Ausklinkung abhängen. Bei rechtwinkligen Ausklinkungen nimmt die auf den Restquerschnitt bezogene Traglast mit steigendem Ausklinkungsverhältnis a/H ab, solange $a/H < 1/4$ ist. Bei Ausklinkungsverhältnissen größer als etwa $1/4$ bleibt die bezogene Festigkeit konstant. Bei Vollhölzern wird die Festigkeit durch Aeste erhöht, durch sonstige Holzfehler abgemindert, während eine Trocknung ebenso wie eine Feuchtigkeitszunahme eine geringe Abnahme verursacht. Einschnitte im Kerbgrund wirken sich nicht nachweislich ungünstig aus. Zu geringe Ausrundungen haben praktisch keine Wirkung. Größere Ausrundungen können die Festigkeit erhöhen. Vorteilhaft wirken sich Abschrägungen des abstehenden Trägers aus, die allerdings verhältnismäßig flach mit Neigung $s \geq 2,5H$ bzw. 14a ausgeführt werden müssen. Zwar konnte bei großem Ausklinkungsverhältnis ($a/H=0,5$) auch bei steileren Anschnitten bereits eine deutliche Festigkeitszunahme festgestellt werden, diese Ausführungen erscheinen aber problematisch. Die Ergebnisse der Dauerstandversuche haben gezeigt, daß auf Dauer bei geringen Klimaschwankungen bei Beanspruchungen in Höhe der Last beim Anriß mit einem Durchreißen gerechnet werden muß.

Die Versuche mit Brettschichtholz haben die Ergebnisse der Vollholzversuche im grundsätzlichen Verlauf der Abminderung in Abhängigkeit vom Ausklinkungsverhältnis bestätigt. Der graduelle Unterschied ist in erster Linie auf das größere auf Querkzug beanspruchte Volumen zurückzuführen. Durch verschiedene Verstärkungsmaßnahmen konnte eine Erhöhung der Reiß- und Bruchfestigkeit nachgewiesen werden, wobei aufgeleimte Furnierplatten sich als am wirkungsvollsten erwiesen. Aber auch durch aufgenagelte Furnierplatten- oder Stahlblechstreifen konnten verhältnismäßig hohe Bruchfestigkeiten erreicht werden, wobei aber wegen der Nachgiebigkeit der Anschlüsse mit einer vorher auftretenden Reißbildung zu rechnen ist. Wesentliche Verbesserungen konnten auch durch eingeleimte Gewindestangen erzielt werden, während eine Verstärkung durch Einziehen eines Bolzens geringere Wirksamkeit zeigte.

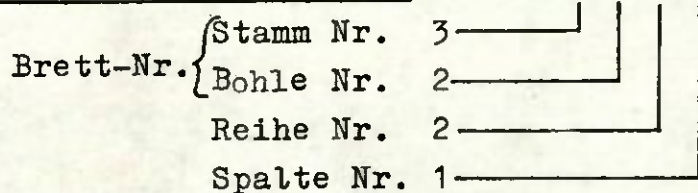
Die Versuchsergebnisse geben die Möglichkeit, ein Bemessungsverfahren für die vom Restquerschnitt aufnehmbare Querkraft anzugeben und die Wirksamkeit verschiedener Verstärkungsmaßnahmen des Ausklinkungsbereiches zu beurteilen.

5 Schrifttum

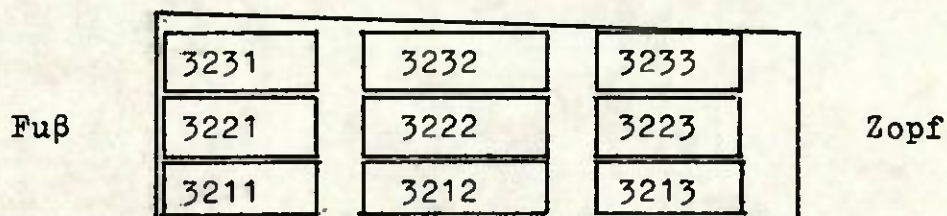
- (1) American Institute of Timber Construction.
Timber Construction Manual
1. Edition 1966 und 2. Edition 1974
New York, London, Sydney, Toronto:
John Wiley and Sons, Inc.: 4-167 and 4-180
- (2) Booth, L.G., Reece, P.O. 1967.
The Structural Use of Timber.
A commentary on the British Standard Code of Practice CP 112.
London: E + F.N. Spon LTD: 75, 76
- (3) Dansk Ingeniørforening's. 1974.
Code of Practice for the Structural Use of Timber. 3. Edition,
Danish Standard DS 413 (Englische Uebersetzung).
Copenhagen: Teknisk Forlag Normstyrelsens Publikationer: 20, 21
- (4) Nordisk Komité for Bygningsbestemmelser. 1977. Forslag til NORDISK
TRÆNORM. Kritikforslag: 5 - 3 bis 5
- (5) Hempel, G. 1970. Der ausgeklinkte Balken.
Bauen mit Holz 8/70: 394, 395.
- (6) Madsen, B. 1975. Duration of Load Tests for Wood in Tension
Perpendicular to Grain. Forest Products Journal Vol.25, No.8: 48 bis 53
- (7) Blumer, H., Flühmann, O., Gehri, E., Kämpf, H.P., Wirz, J., 1976.
Bemessung und Ausführung von Brettschicht-Konstruktionen.
Zürich: Schweizerische Arbeitsgemeinschaft für Holzforschung: 97 bis 100
- (8) Mistler, H.L. 1977 in: Karlsruher Forschungsarbeiten und Versuche im
Ingenieurholzbau von 1972 bis 1977. Bauen mit Holz 5/77: 209, 210

Bezeichnung der (Modellträger-) Versuchskörper

Bezeichnung (Beispiel): 3 2 2 1 (Seiten A und B)



Lage der Versuchskörper im Brett (Beispiel Brett Nr. 32):

Rohdichten:

Brett Nr.	Rohdichte ρ_u (g/cm ³)	Brett Nr.	Rohdichte ρ_u (g/cm ³)
11	0,560	42	0,533
12	0,569	43	0,518
14	0,576	44	0,542
15	0,499	51	0,480
21	0,470	61	0,539
22	0,538	62	0,503
23	0,541	71	0,485
24	0,516	72	0,456
31	0,447	73	0,478
32	0,444	74	0,491
41	0,566	Mittel	0,512

Die Rohdichten sind Mittelwerte aus je zwei Proben, die im klimatisierten Versuchsraum gelagert wurden ($u=10,8\%$).

Tabelle 1: Bezeichnung und Rohdichte der Modellträger

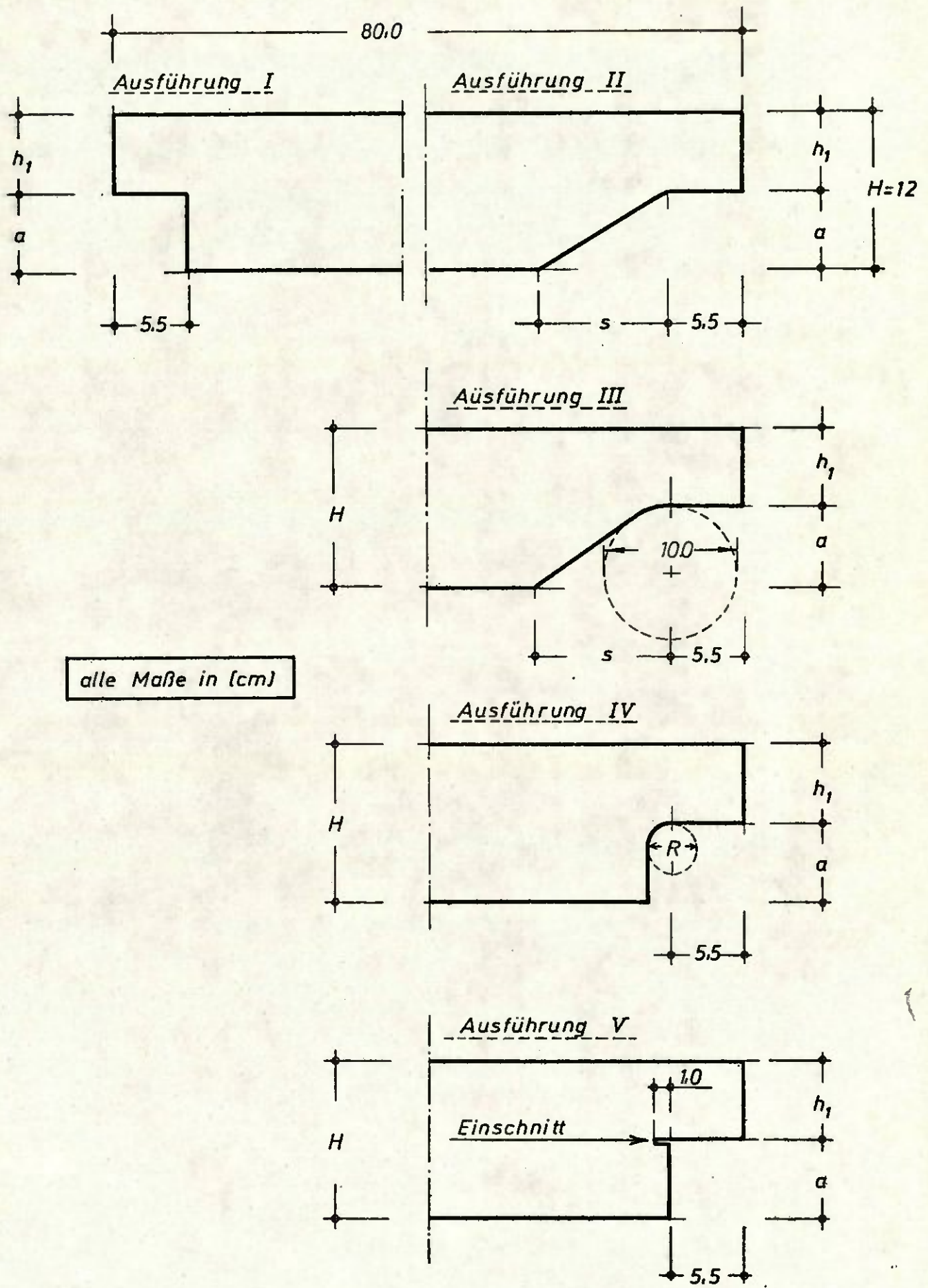


Bild 1: Form und Abmessungen der Modellträger

Versuchsreihe	Ausklinkungshöhe a (cm)	Ausführungsform	s (cm)	R (cm)
1	1	I	-	-
2	2	I	-	-
3	3	I	-	-
4	4	I	-	-
5	5	I	-	-
6	6	I	-	-
7	8	I	-	-
8	2	I	-	-
9	3	I	-	-
10	3	I	-	-
11	3	I	-	-
12	3	II	9	-
13	3	III	9	10
14	3	II	15	-
15	3	III	15	10
16	4	I	-	-
17	5	I	-	-
18	6	I	-	-
19	6	I	-	-
20	6	I	-	-
21	6	V	-	-
22	6	IV	-	1,3
23	6	IV	-	3,5
24	6	II	9	-
25	6	II	18	-
27	6	II	36	-

Seite A entspricht Ausführung I

Tabelle 2: Ausführung der Versuchskörper



Bild 3

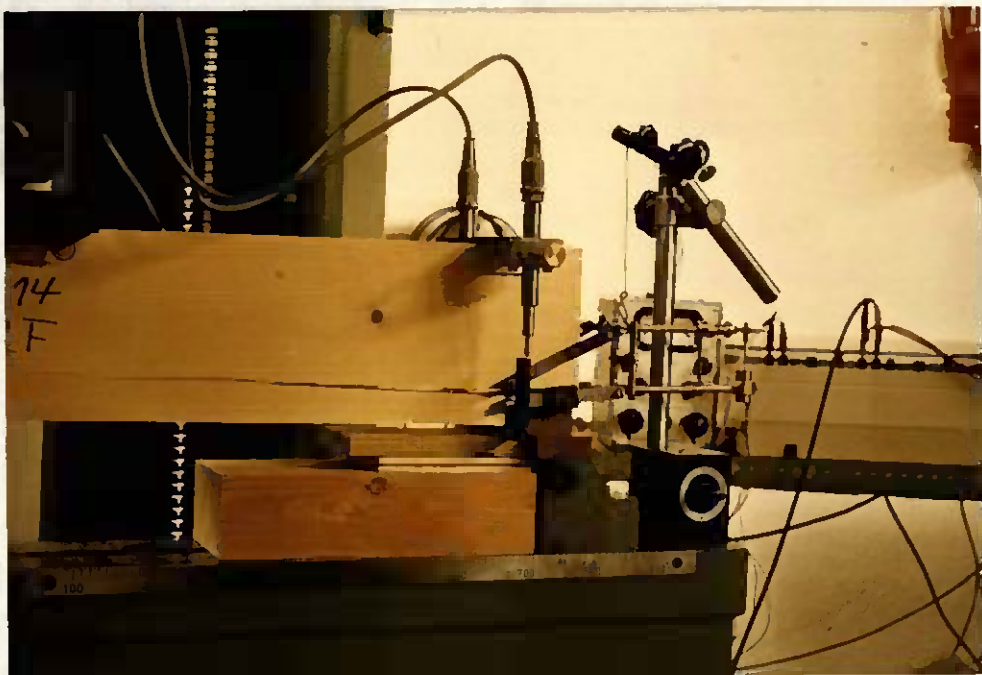


Bild 4

Bilder 3,4: Ausgeklinte Modellträger
in der Prüfmaschine (Meßanordnung)

alle Maße in (cm)

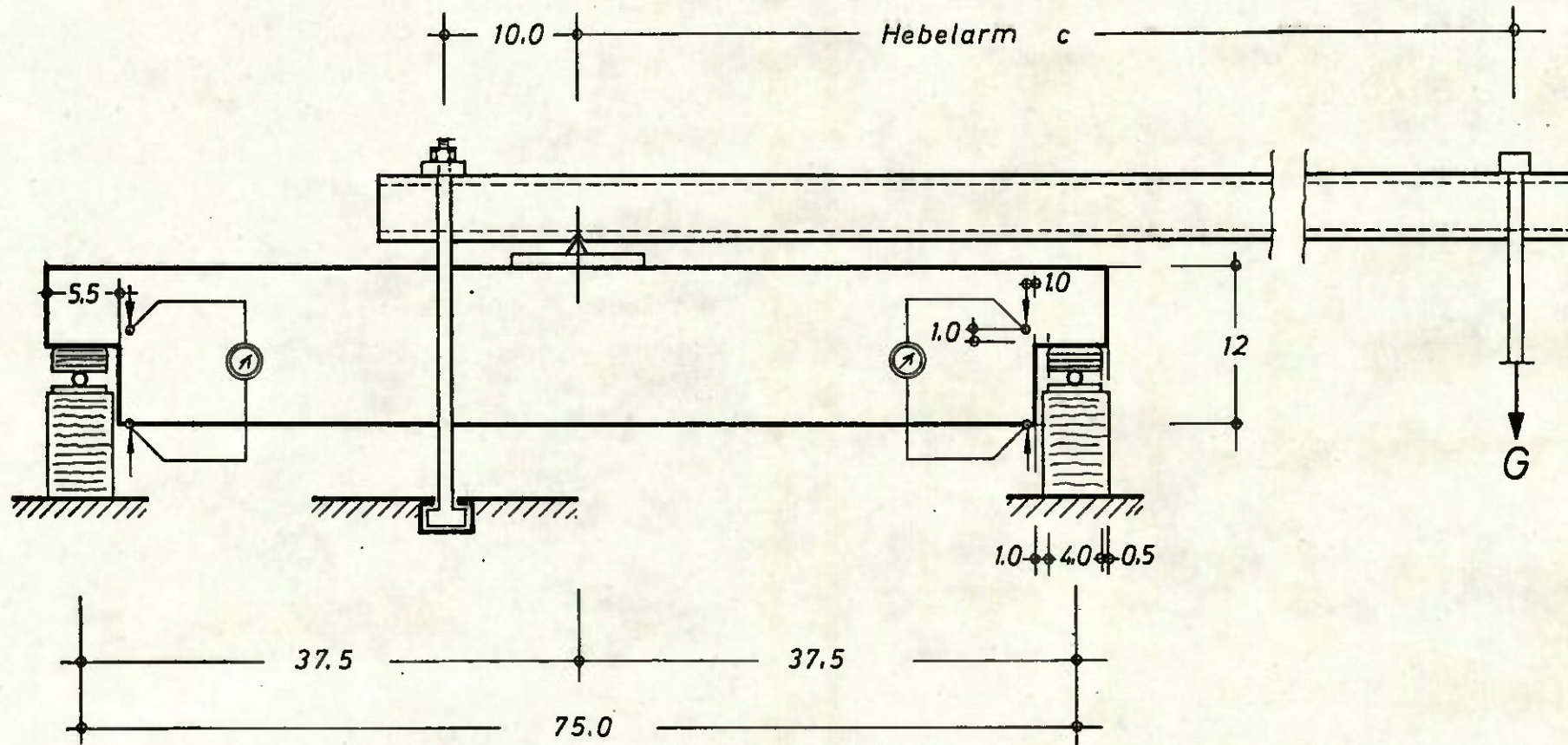
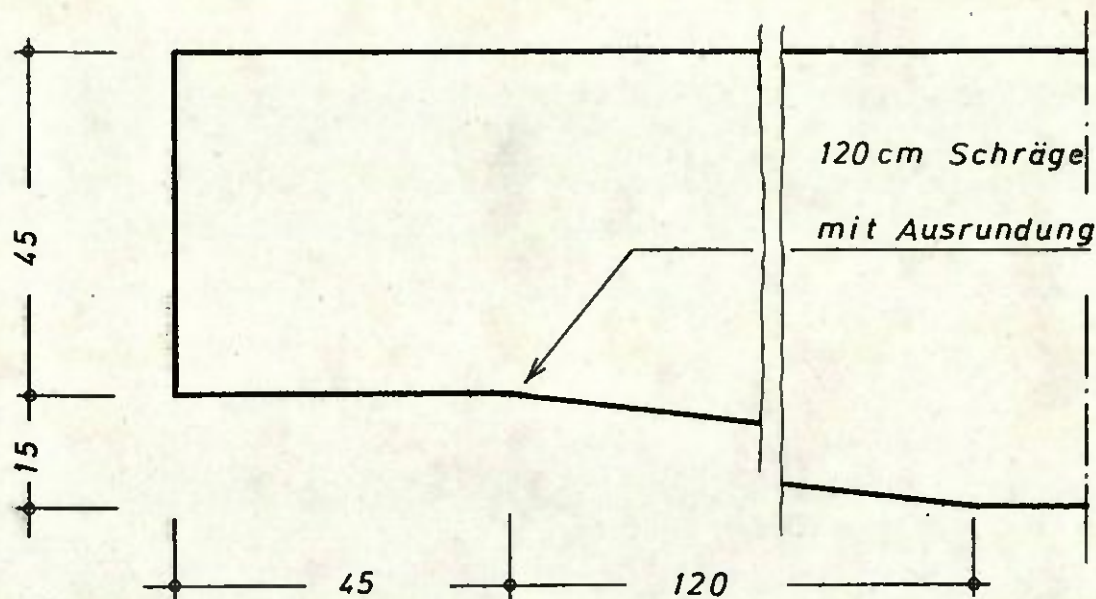


Bild 5: Aufbau der Dauerstandversuche

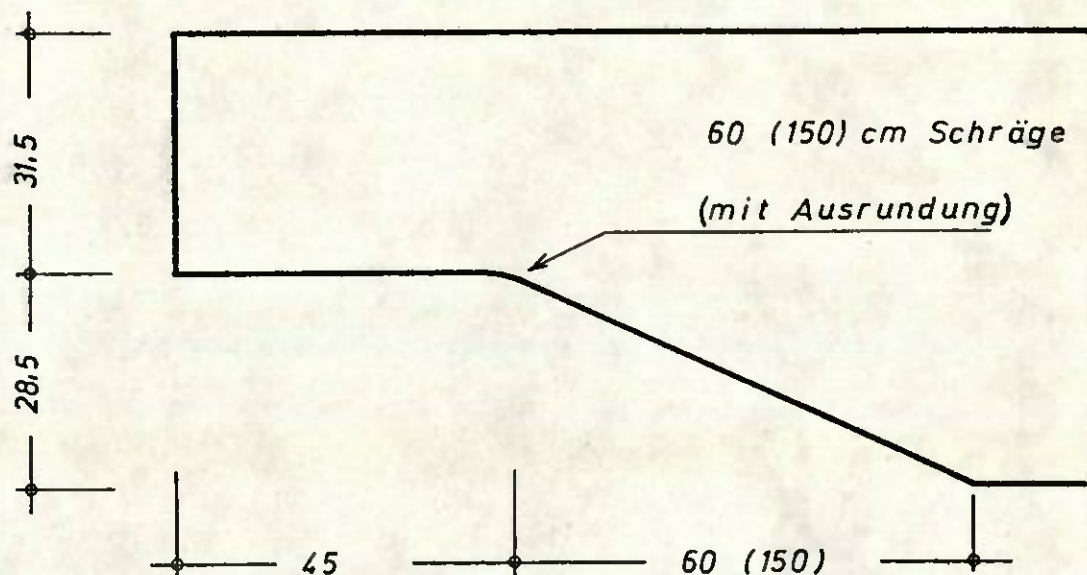


Bild 6: Aufbau der Dauerstandversuche
mit ausgeklinkten Modellträgern

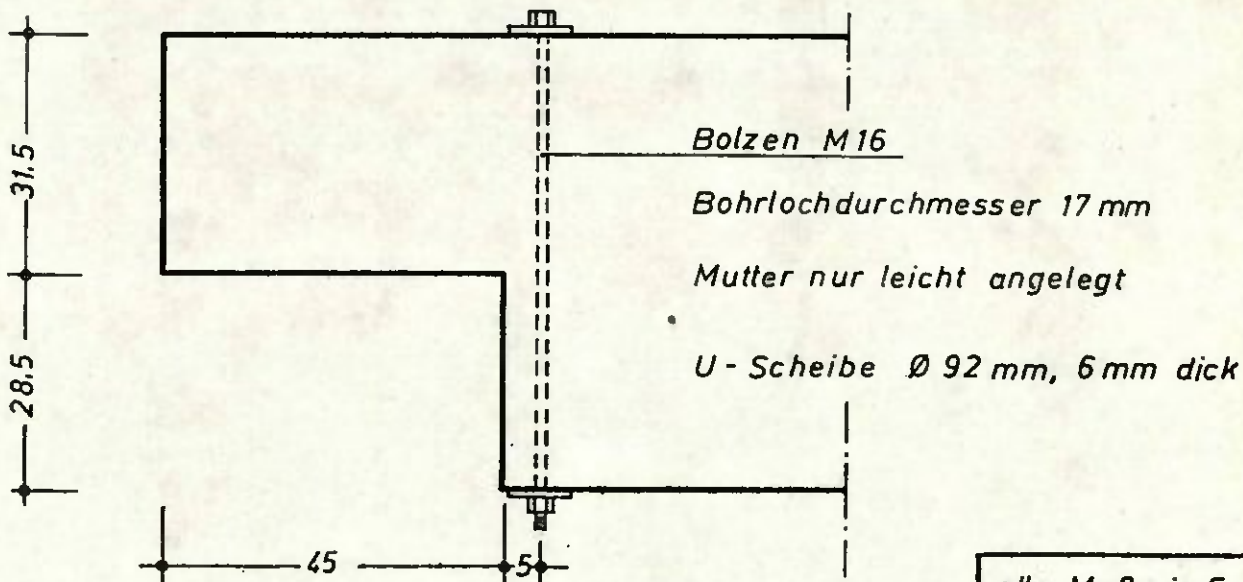
Versuchsreihe 3 1/8



Versuchsreihe 6 1/2 (6 1/5)

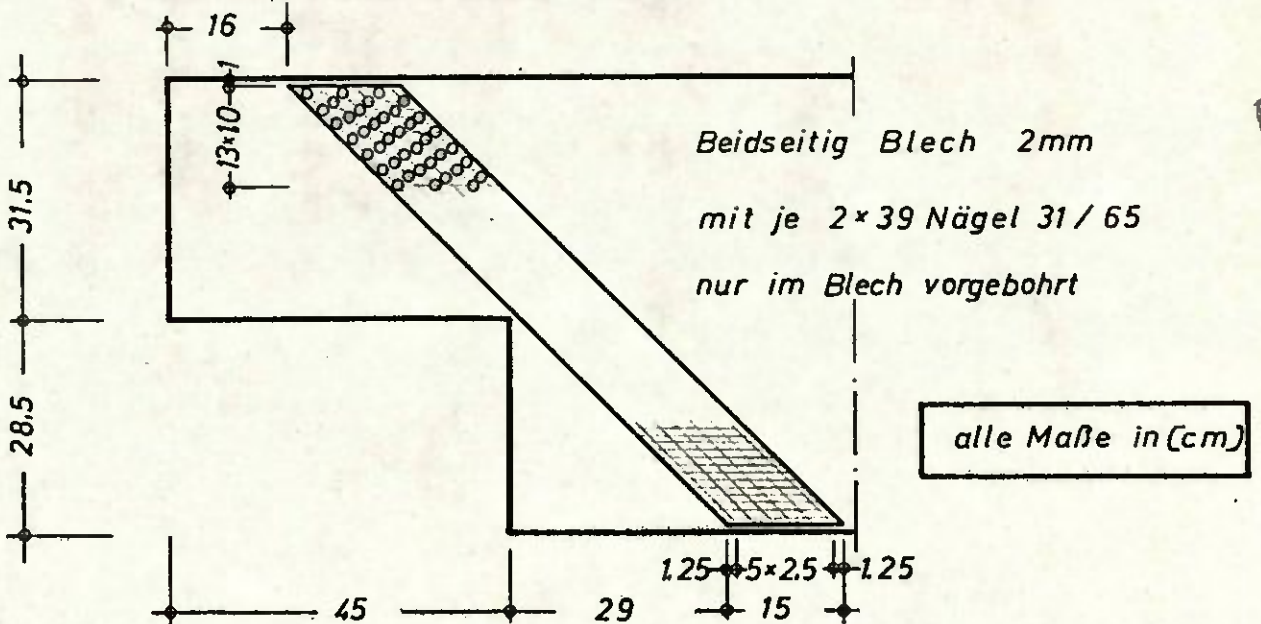
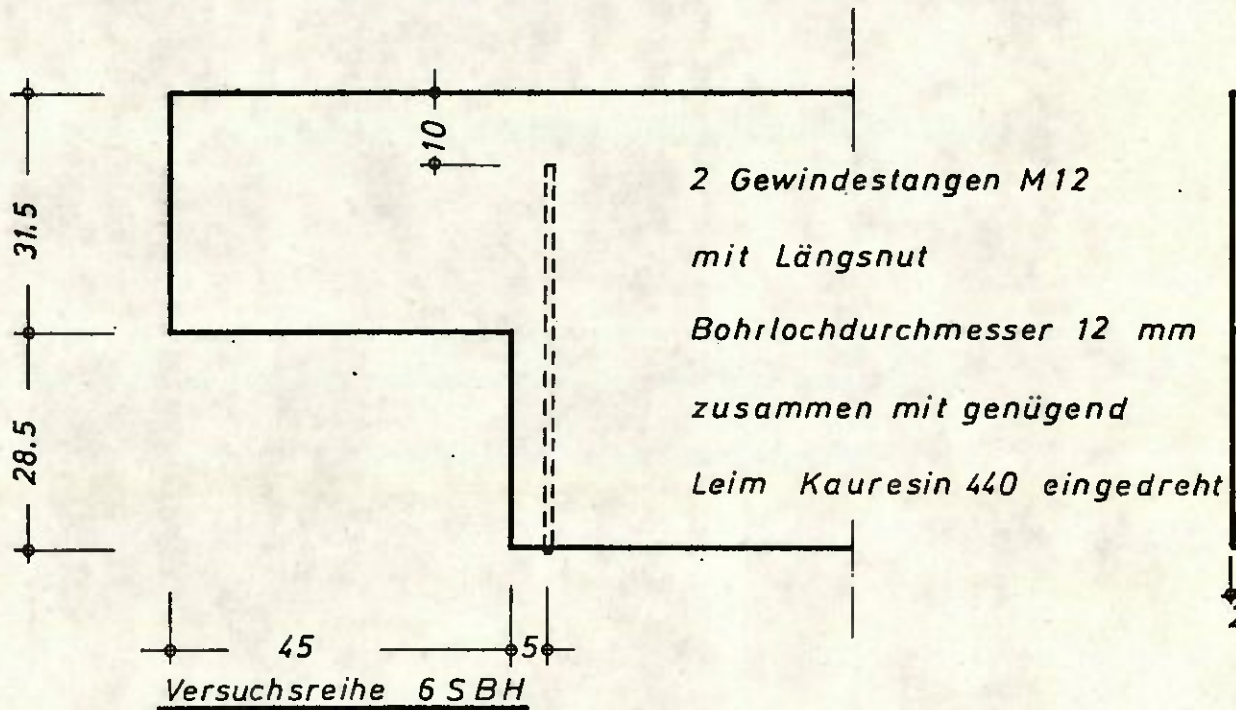
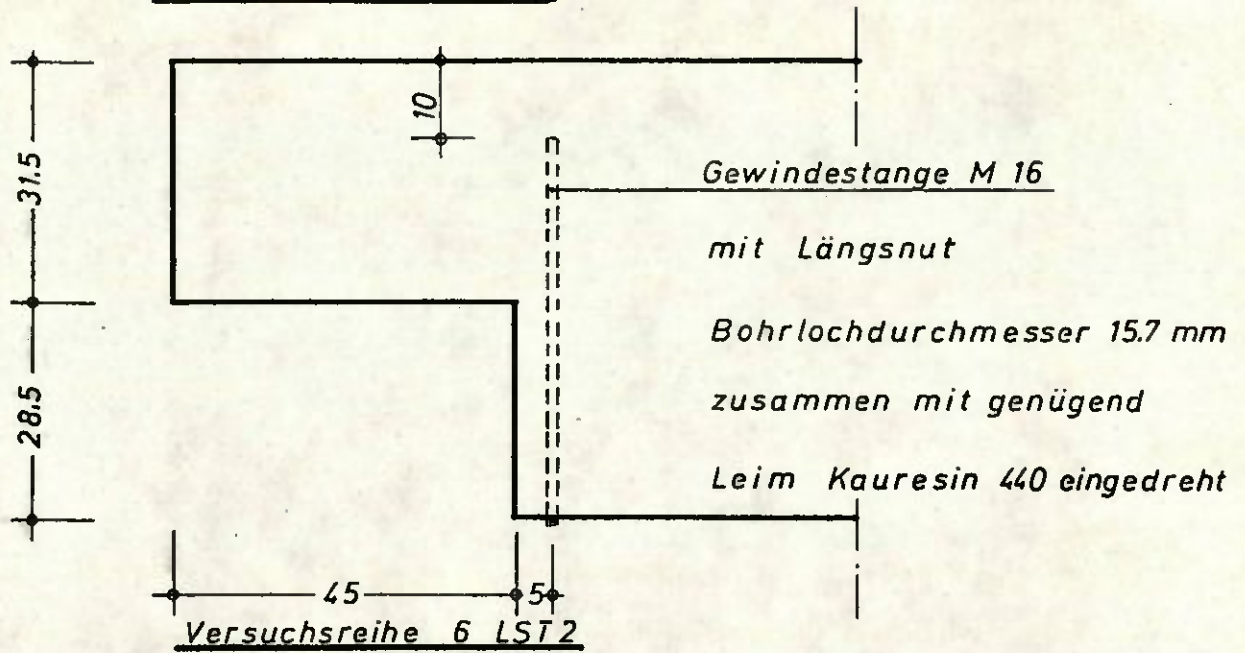


Versuchsreihe 6 B0

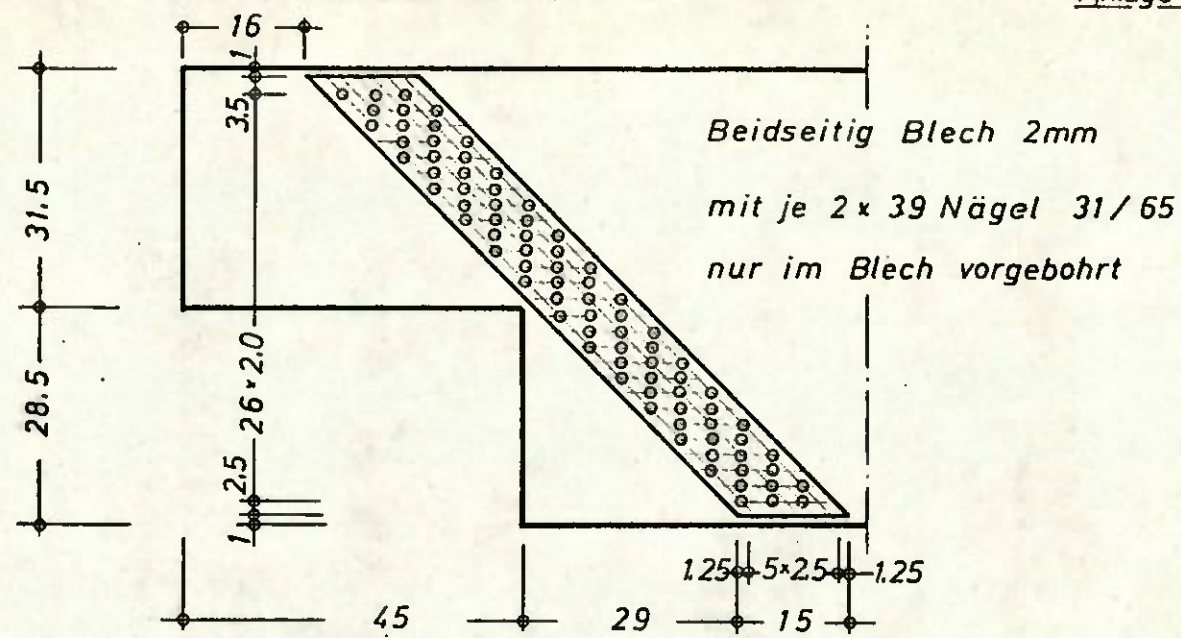


alle Maße in [cm]

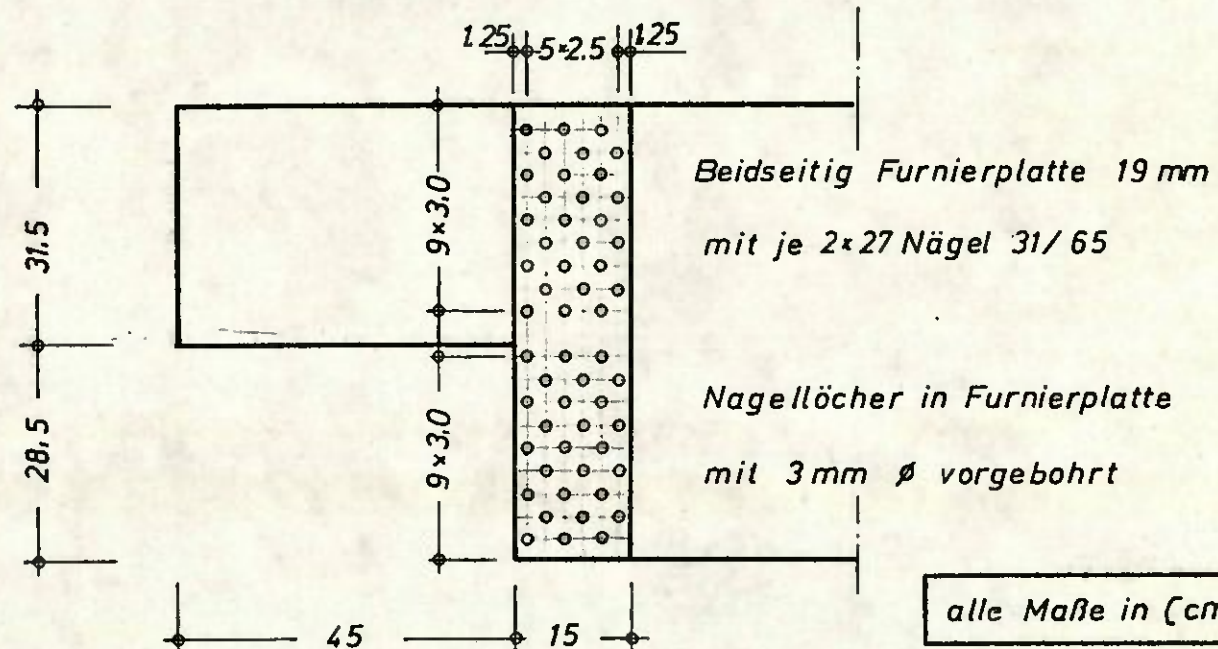
Bilder 7.1-7.3: Verstärkte Brettschichtträger



Bilder 7.4 - 7.6: Verstärkte Brettschichtträger

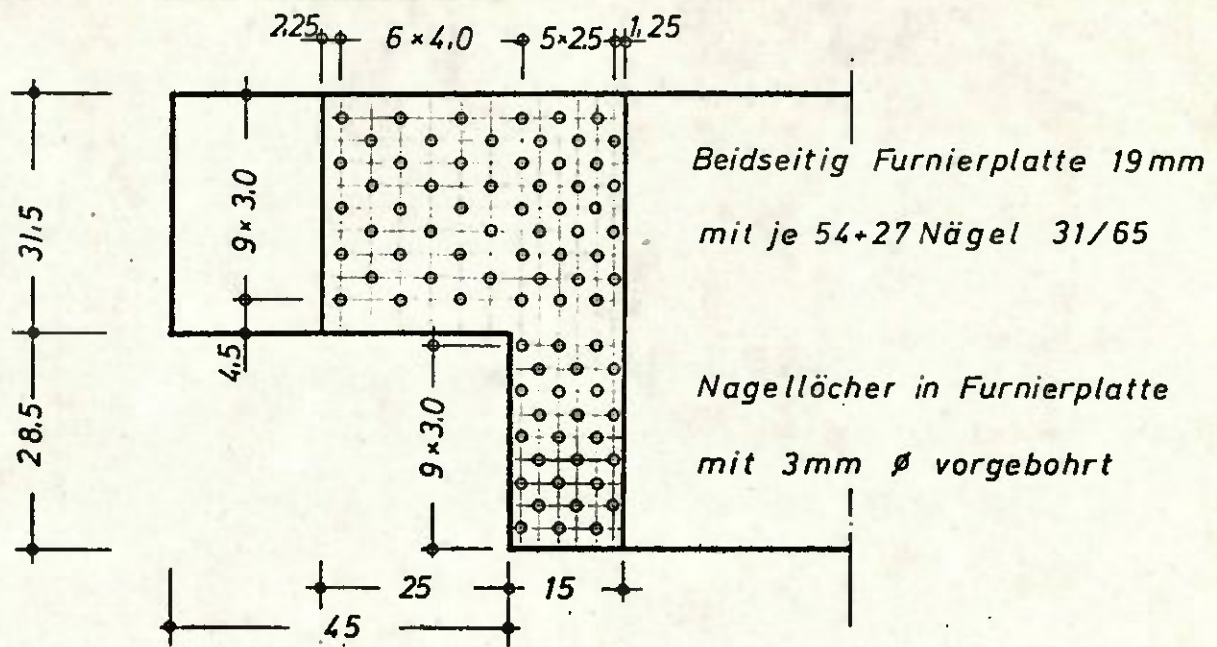


Versuchsreihe 6 FPH

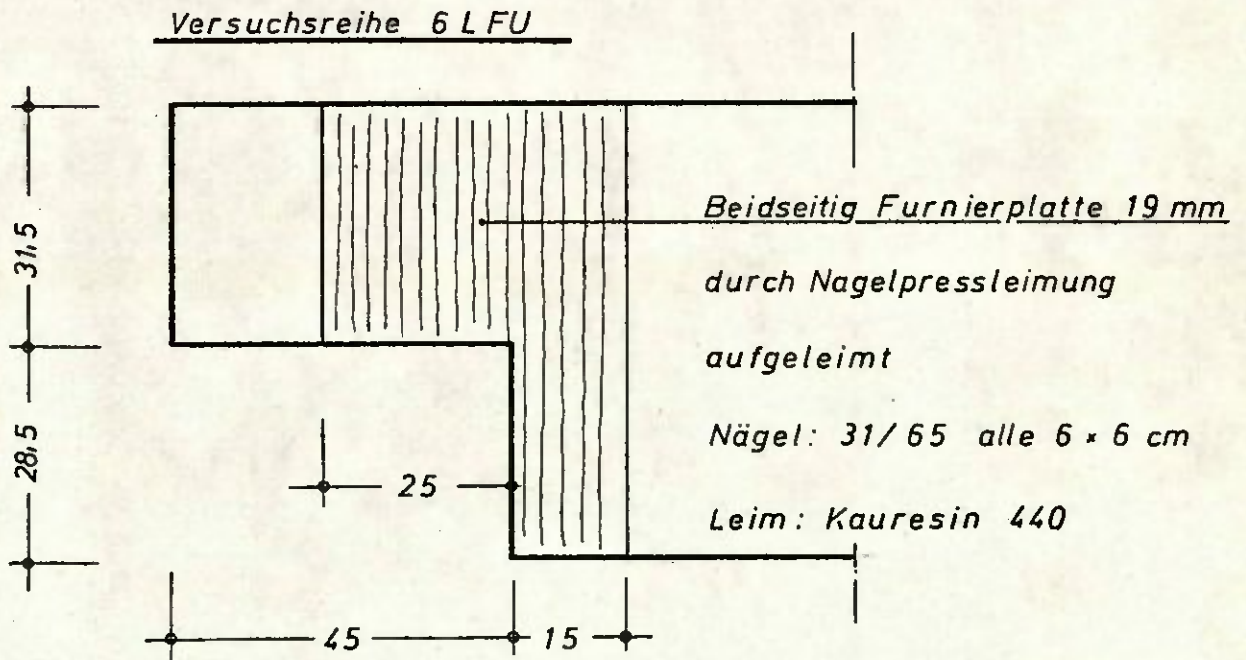
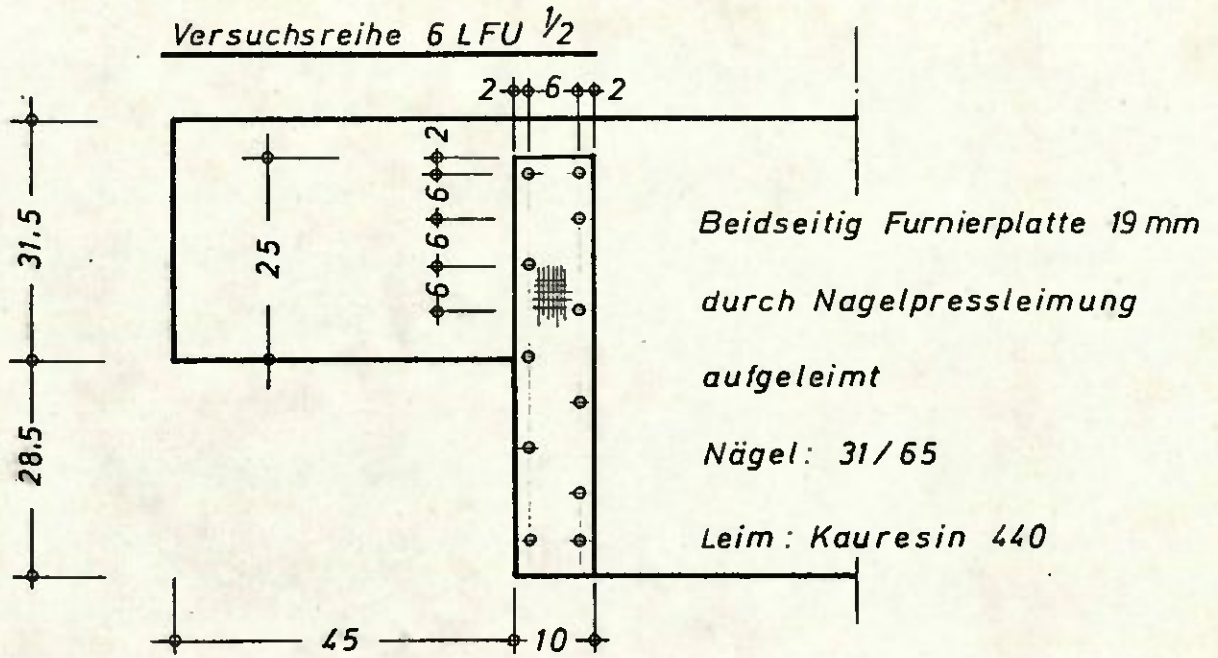


alle Maße in (cm)

Versuchsreihe 6 FPV



Bilder 7.7-7.9: Verstärkte Brettschichtträger



alle Maße in (cm)

Bilder 7.10 - 7.11: Verstärkte Brettschichtträger



Bild 9

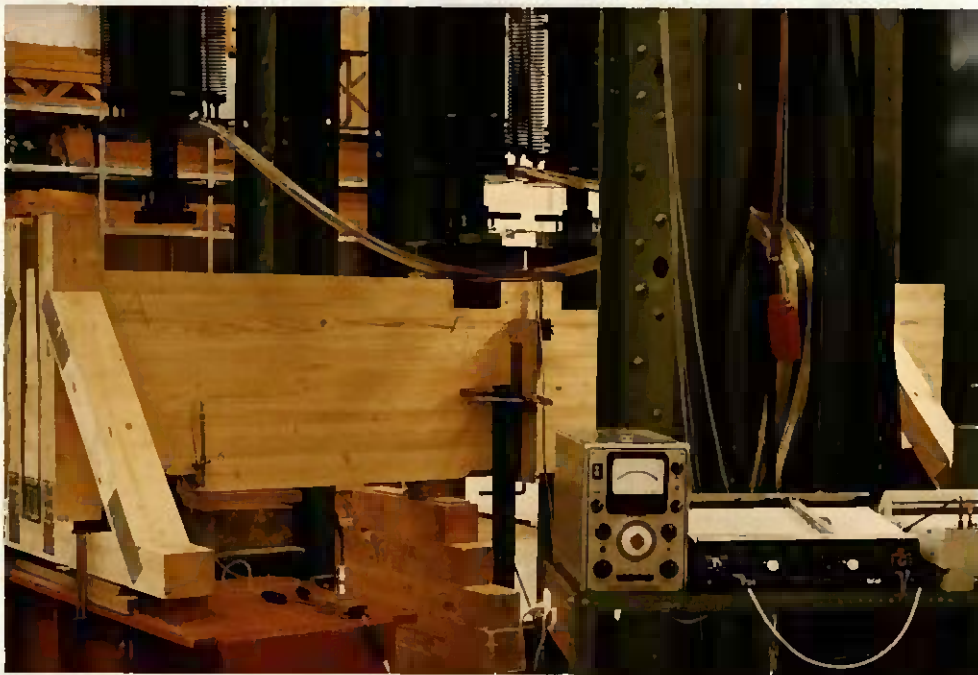


Bild 10

Bilder 9, 10: Ausgeklinte Brettschichtträger
in der Prüfmaschine (Messanordnung)

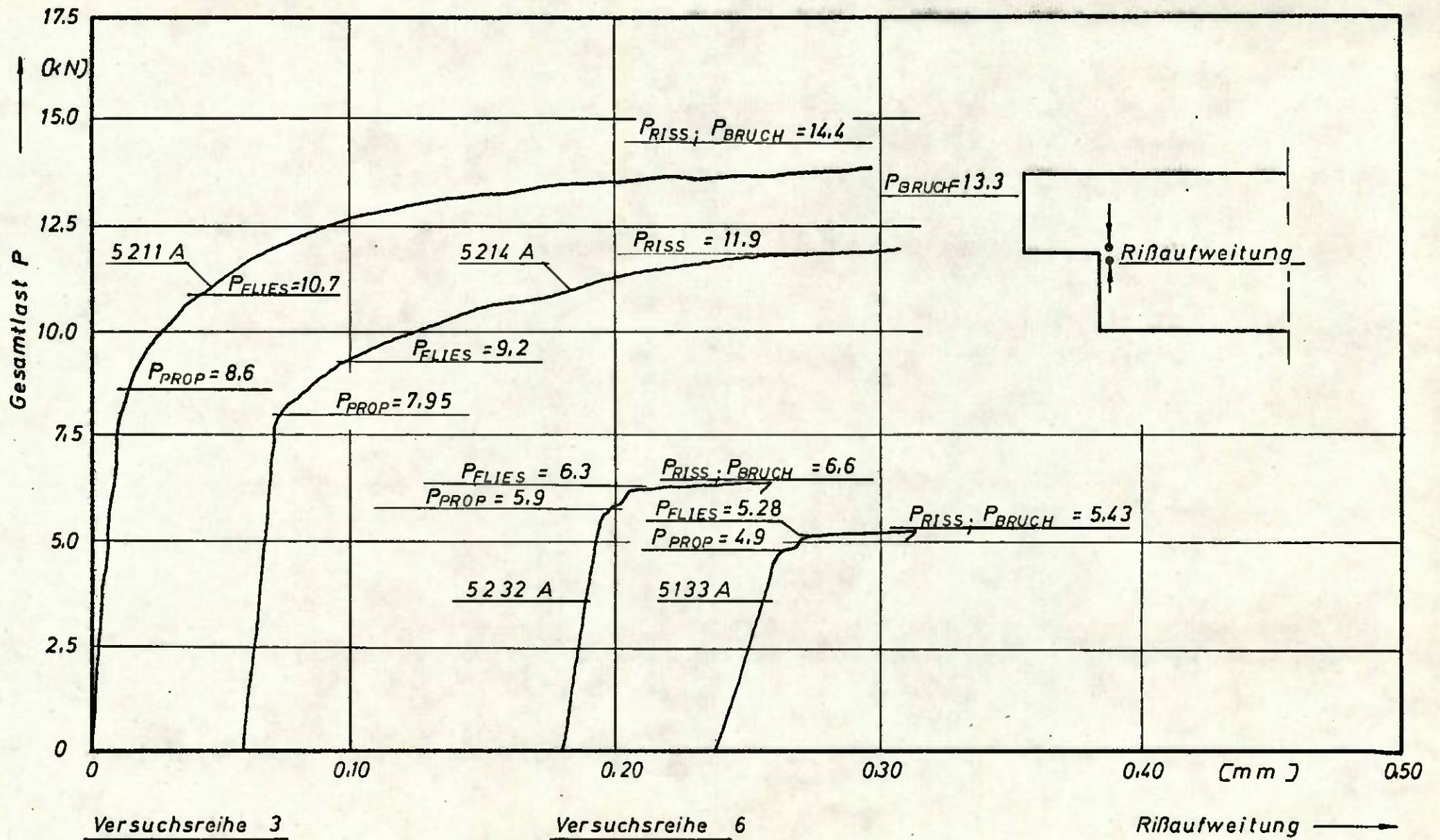


Bild 11: Last - Rißaufweitungsdiagramme von ausgeklinkten Modellträgern

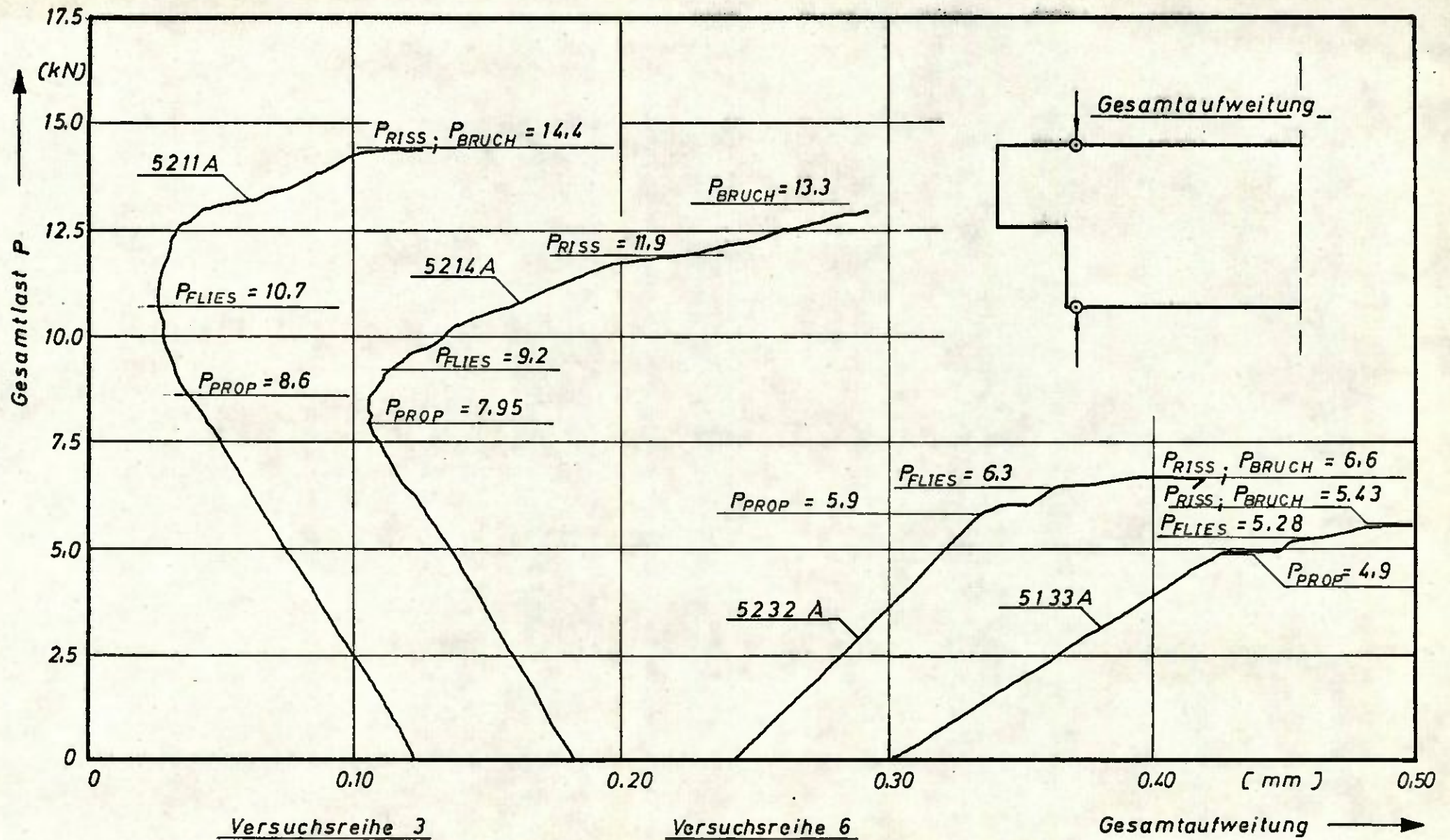


Bild 12: Last-Gesamtaufweitungsdiagramme von ausgeklinkten Modellträgern

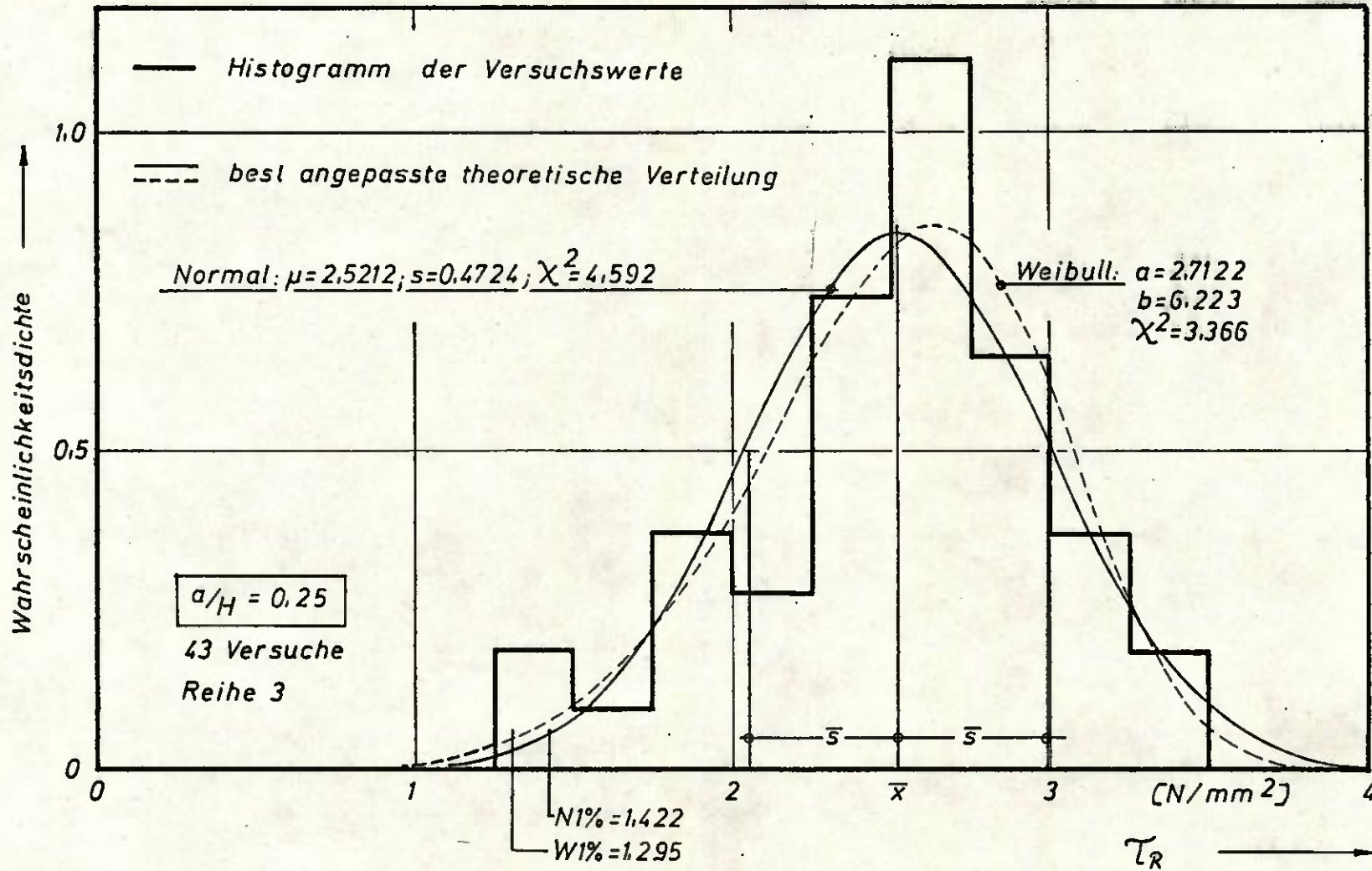


Bild 13: Häufigkeitsverteilung der gemessenen Schubspannungen τ_R beim Anriß

Versuchsreihen - Nummer	Ausklinkungshöhe a (cm)	Ausklinkungsverhältnis a/H	Besondere Versuchs- Randbedingungen	Anzahl der Versuche	Gemittelte Schubspannung im Restquerschnitt beim Anriß $\frac{\tau_R}{\tau_R}$ (N/mm ²)	Variationskoeffizient (°/o)	1°/o - Schranke (N/mm ²) (W:= bei Weibullverteilung)	Vergleichs - Versuchsreihe	Anzahl der Vergleiche n _y	Gemittelte Vergleichswerte $k = \frac{\sum(\tau_R/\tau_Y)}{n_Y}$	Verbesserte Schubspannung $\tau = k \cdot \tau_Y$ (N/mm ²)
1	1	0,083	fehlerfrei im Ausklinkungs- bereich	6	3,541	11,1	2,427W				
2	2	0,167		27	2,898	14,9	1,724W				
3	3	0,250		43	2,521	18,7	1,295W				
4	4	0,333		14	2,273	17,5	1,223W				
5	5	0,417		10	2,251	17,6	1,209W				
6	6	0,500		49	2,383	18,1	1,256W	3	12	0,865	2,181
7	8	0,667		10	2,220	16,1	1,264W				
8	2	0,167	Holzfehler	4	2,693	8,5	2,160	2	2	1,100	3,188
8	2	0,167	Asteinfluß	1	2,982			2	1	1,257	3,642
9	3	0,250	Holzfehler	6	2,659	18,3	1,526	3	5	0,981	2,473
9	3	0,250	Asteinfluß	3	2,878	17,4	1,715	3	3	1,083	2,730
10	3	0,250	8°/o Feuchte	10	2,202	11,6	1,606	3	10	0,940	2,370
11	3	0,250	20°/o Feuchte	10	2,138	26,3	0,832	3	10	0,892	2,249
12	3	0,250	9cm Schräge	5	2,989	7,6	2,461	3	5	1,075	2,710
13	3	0,250	(9cm Schräge) 10cm Rundung	10	3,422	14,3	2,283	3	10	1,352	3,409
14	3	0,250	15cm Schräge	8	3,742	12,4	2,662	3	8	1,460	3,681
15	3	0,250	(15cm Schräge) 10cm Rundung	10	3,703	14,1	2,485	3	10	1,661	4,188
16	4	0,333	Holzfehler	8	2,569	27,6	0,919	4	6	1,146	2,605
16	4	0,333	Asteinfluß	7	2,740	20,5	1,435	4	5	1,473	3,348
17	5	0,417	Holzfehler	5	2,321	25,7	0,936	5	3	1,246	2,804
17	5	0,417	Asteinfluß	1	3,296			5	1	2,232	5,022
18	6	0,500	Holzfehler	6	2,152	20,5	1,124	6	6	0,925	2,054
18	6	0,500	Asteinfluß	3	2,376	23,3	1,089	6	3	1,084	2,406
19	6	0,500	7°/o Feuchte	9	1,974	26,9	0,739	6	9	0,942	2,091
20	6	0,500	20°/o Feuchte	10	1,977	12,8	1,390	6	10	0,890	1,976
21	6	0,500	1cm Schnitt	10	2,122	26,2	0,827	6	10	0,961	2,133
22	6	0,500	1,3cm Rundung	5	2,957	21,6	1,468	6	4	0,976	2,167
23	6	0,500	3,5cm Rundung	10	3,564	16,0	2,242	6	5	1,224	2,717
24	6	0,500	9cm Schräge	6	3,201	16,6	1,963	6	6	1,402	3,112
25	6	0,500	18cm Schräge	10	4,226	20,7	2,192	6	9	1,856	4,120
27	6	0,500	36cm Schräge	6	4,523	12,1	3,252	6	6	1,876	4,165

Tabelle 3: Zusammenstellung der Ergebnisse
der Modellträger - Versuchsreihen

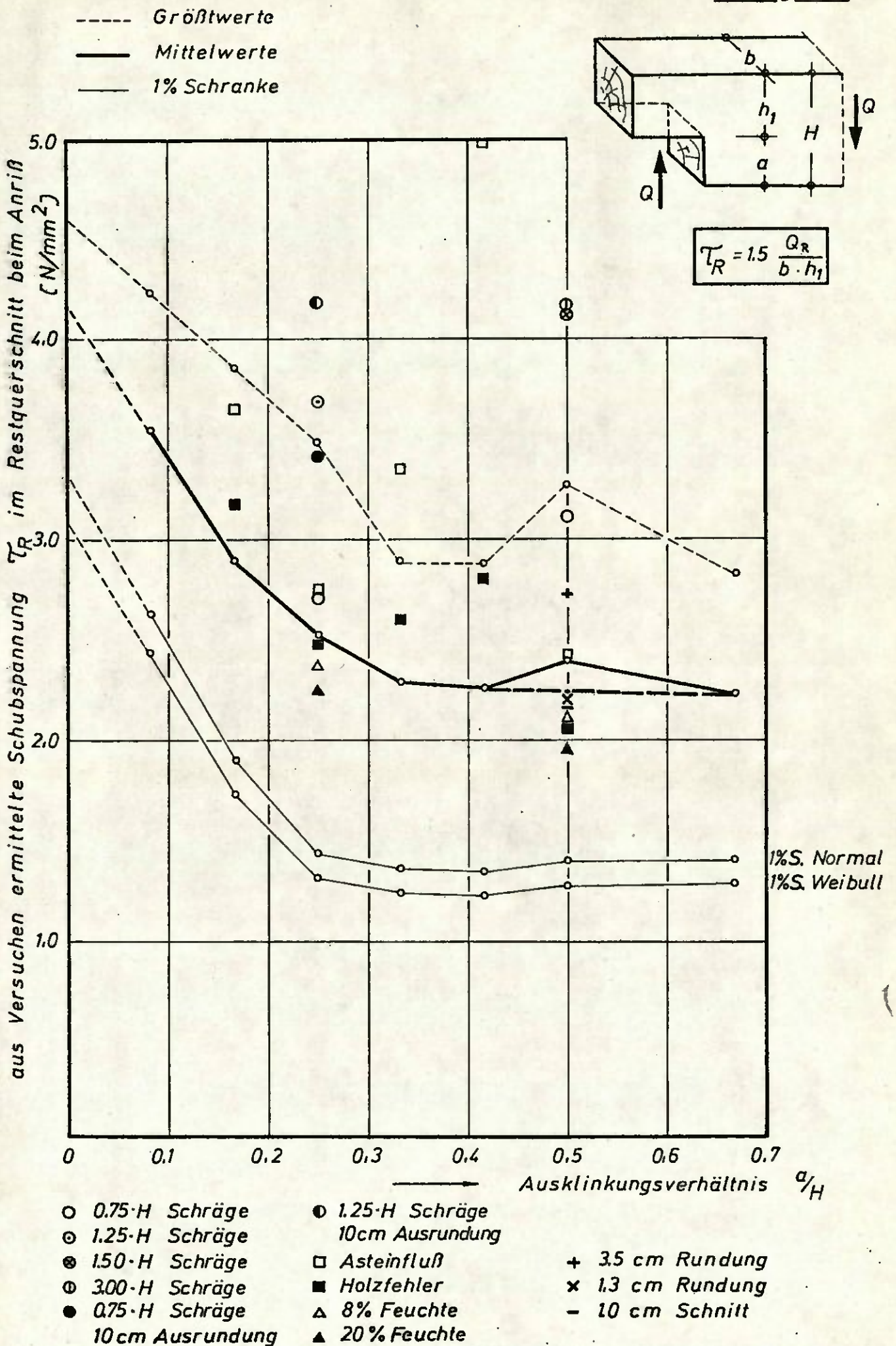


Bild 14: Ausgeklänkte Modellträger $b/H = 3.2/12$

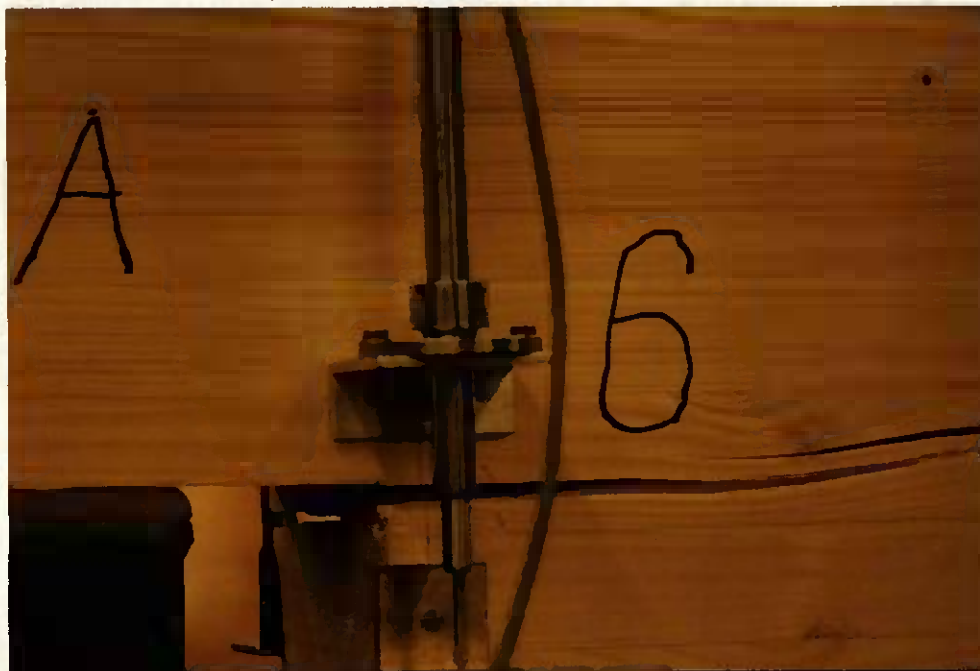


Bild 15: Ausgeklinkter Brettschichtträger
nach dem Bruch

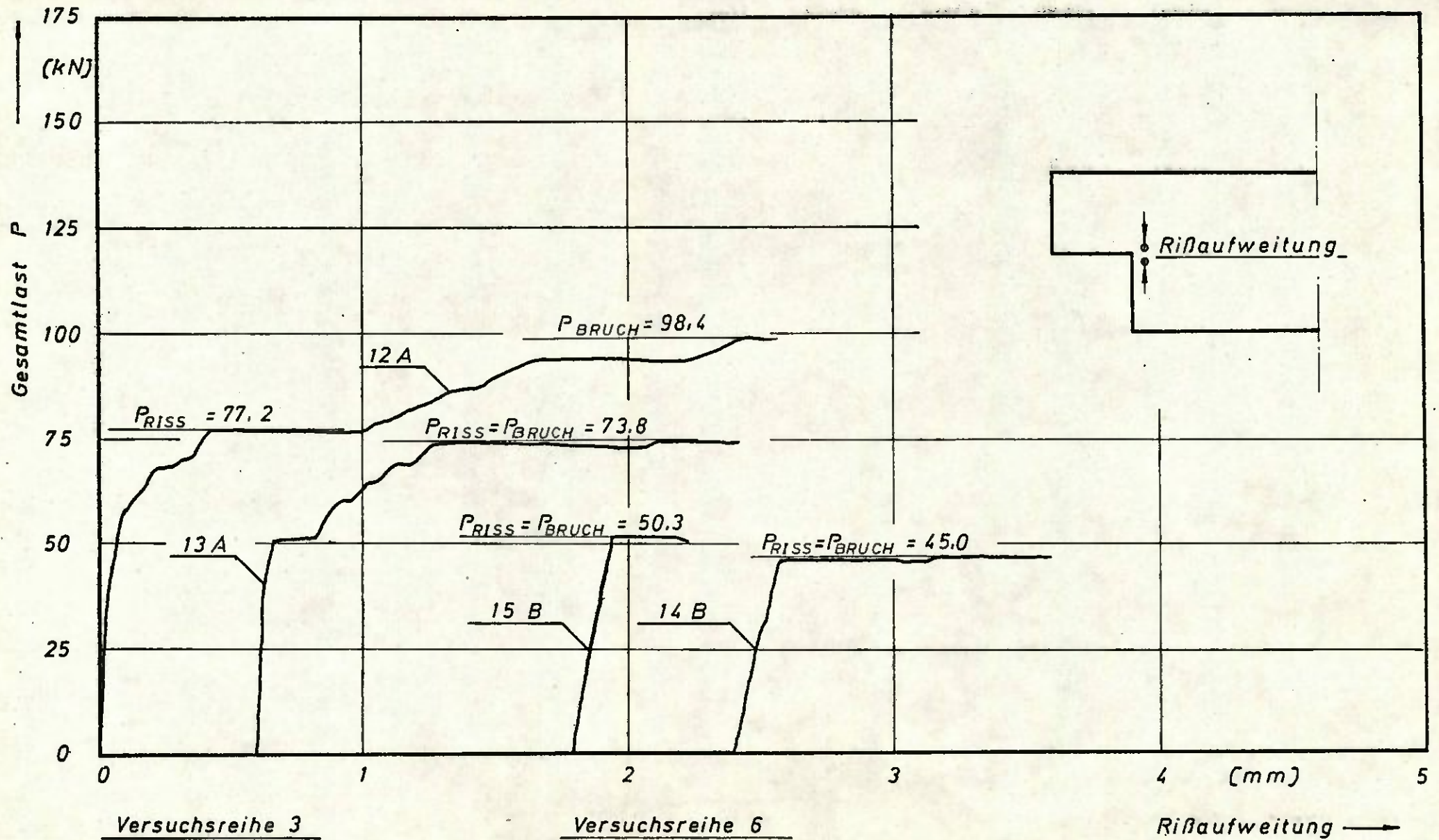


Bild 16: Last - Rißaufweitungsdigramme von ausgeklinkten Brettschichtträgern

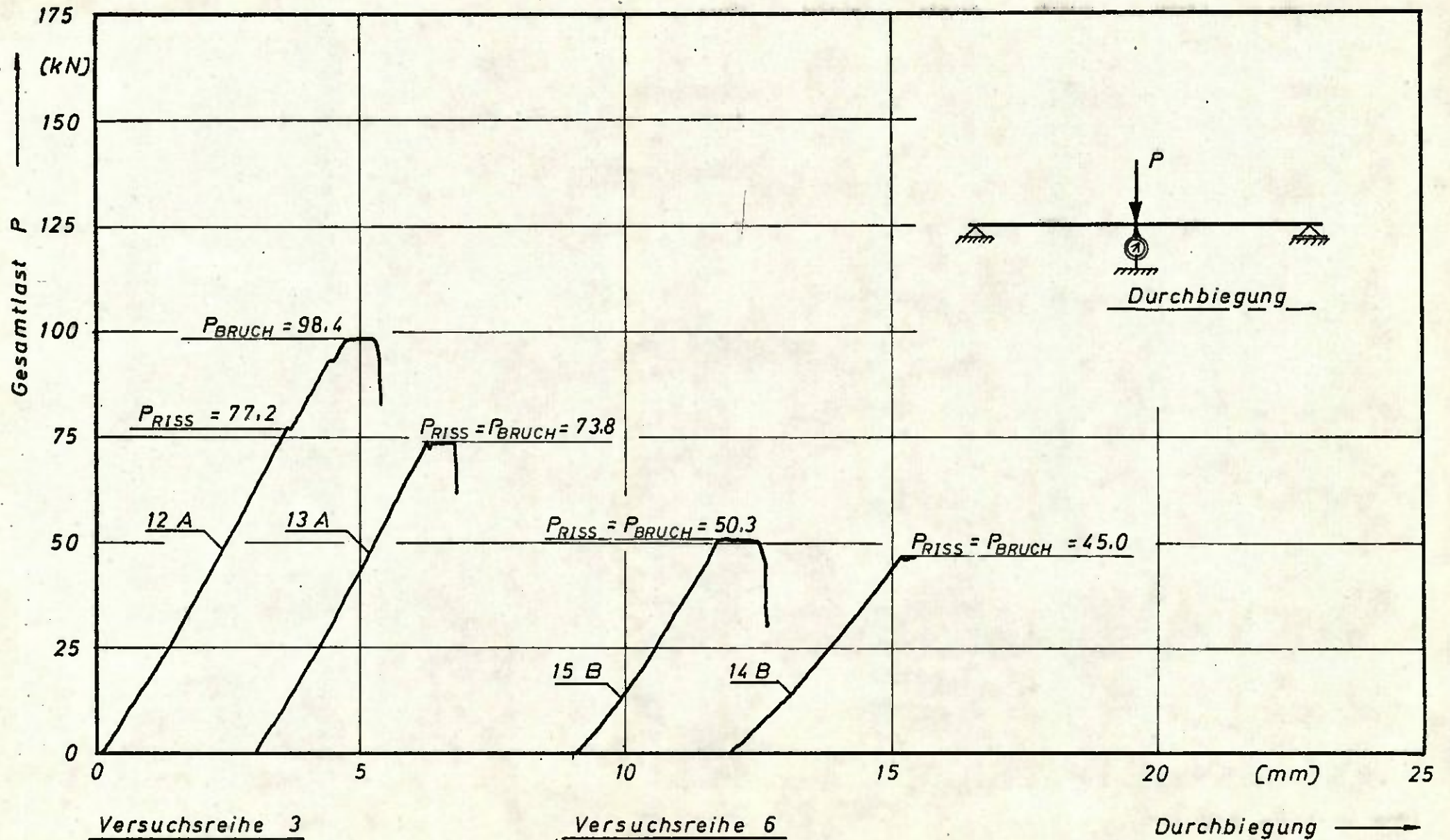


Bild 17: Last-Durchbiegungsdiagramme von ausgeklinkten Brettschichtträgern

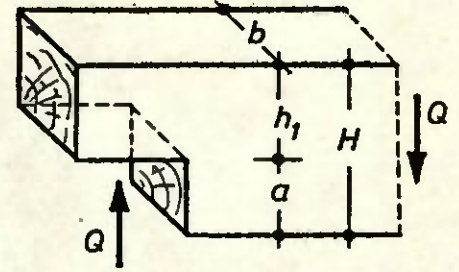
Versuchsreihe	Ausklüpfungshöhe a (cm)	Besondere Versuchs- Randbedingungen	Versuchskörper - Nr.	Seite	Last beim Anriß 2·P _R (kN)	Schubspannung im Restquerschnitt beim Anriß τ _R (N/mm ²)	Tragreserve τ _B /τ _R	Last beim Bruch (Durchriß) 2·P _B (kN)	Schubspannung im Restquerschnitt beim Bruch τ _B (N/mm ²)
1	5		1	A	220	2,830	1,036	228	2,933
			2	A	235	3,023	1,043	245	3,152
			3	A	213	2,740	1,058	225,4	2,900
			4	A	217	2,792	1,089	236,4	3,041
			5	A	284	3,654	1,079	306,4	3,942
2	10		6	A	232	3,283	1,013	235	3,325
			7	A	132	1,868	1,064	140,5	1,988
			8	A	136	1,925	1,000	136	1,925
			9	A	182	2,575	1,102	200,5	2,837
3	15		10	A	94	1,478	1,074	101	1,588
			11	A	89,4	1,406	1,000	89,4	1,406
			12	A	77,2	1,214	1,275	98,4	1,547
			13	A	73,8	1,160	1,000	73,8	1,160
4	20		14	A	75,5	1,335	1,053	79,5	1,406
			15	A	58,5	1,035	1,149	67,2	1,189
			16	A	86	1,521	1,112	95,6	1,691
			17	A	71,7	1,268	1,038	74,4	1,316
6	30		14	B	45	1,061	1,000	45	1,061
			15	B	50,3	1,186	1,000	50,3	1,186
			16	B	45,2	1,066	1,000	45,2	1,066
			17	B	50,6	1,193	1,000	50,6	1,193
3 1/8	15	120cm Schräge ausgerundet	22	B	171,5	2,697	1,000	171,5	2,697
			23	B	195,5	3,074	1,000	195,5	3,074
6 1/2	28,5	60cm Schräge	18	B	72	1,617	1,000	72	1,617
			19	B	89,5	2,010	1,000	89,5	2,010
6 1/5	28,5	150cm Schräge ausgerundet	2	B	152,2	3,419	1,000	152,2	3,419
			4	B	126	2,830	1,000	126	2,830
6Bo	30 28,5	Bolzen M16 durchgehend	22	A	74,5	1,757	1,383	103	2,429
			23	A	85,7	1,925	1,385	118,7	2,666
6Lst	28,5	Stange M16 eingeleimt	6	B	124,5	2,796	1,028	128	2,875
			7	B	121	2,718	1,037	125,5	2,819
			8	B	143	3,212	1,147	164	3,684
6Lst2	28,5 30	2 Stangen M12 eingeleimt	24	A	141	3,167	1,000	141	3,167
			24	B	180	4,245	1,000	180	4,245
6SBH	28,5	halb aufgenag. Schrägblech	10	B	169	3,796	1,331	225	5,054
			11	B	107,5	2,415	1,684	181	4,066
6SBV	28,5	aufgenageltes Schrägblech	12	B	168	3,774	1,470	247	5,548
			13	B	168	3,774	1,268	213	4,784
6FPH	28,5	aufgenagelter Fupl.Streifen	20	B	141	3,167	1,156	163	3,661
			21	B	122	2,740	1,156	141	3,167
6FPV	28,5	aufgenagelte Furnierplatte	18	A	156	3,504	1,192	186	4,178
			19	A	160	3,594	1,025	164	3,684
6LFU1/2	28,5	aufgeleimter Fupl.Streifen	20	A	196,5	4,414	1,000	196,5	4,414
			21	A	211	4,739	1,000	211	4,739
6LFU	28,5	aufgeleimte Furnierplatte	3	B	217,3	4,881	1,000	217,3	4,881
			9	B	224,7	5,047	1,000	224,7	5,047

Tabelle 5: Auswertung der Versuche mit ausgeklünten Brettschichtträgern

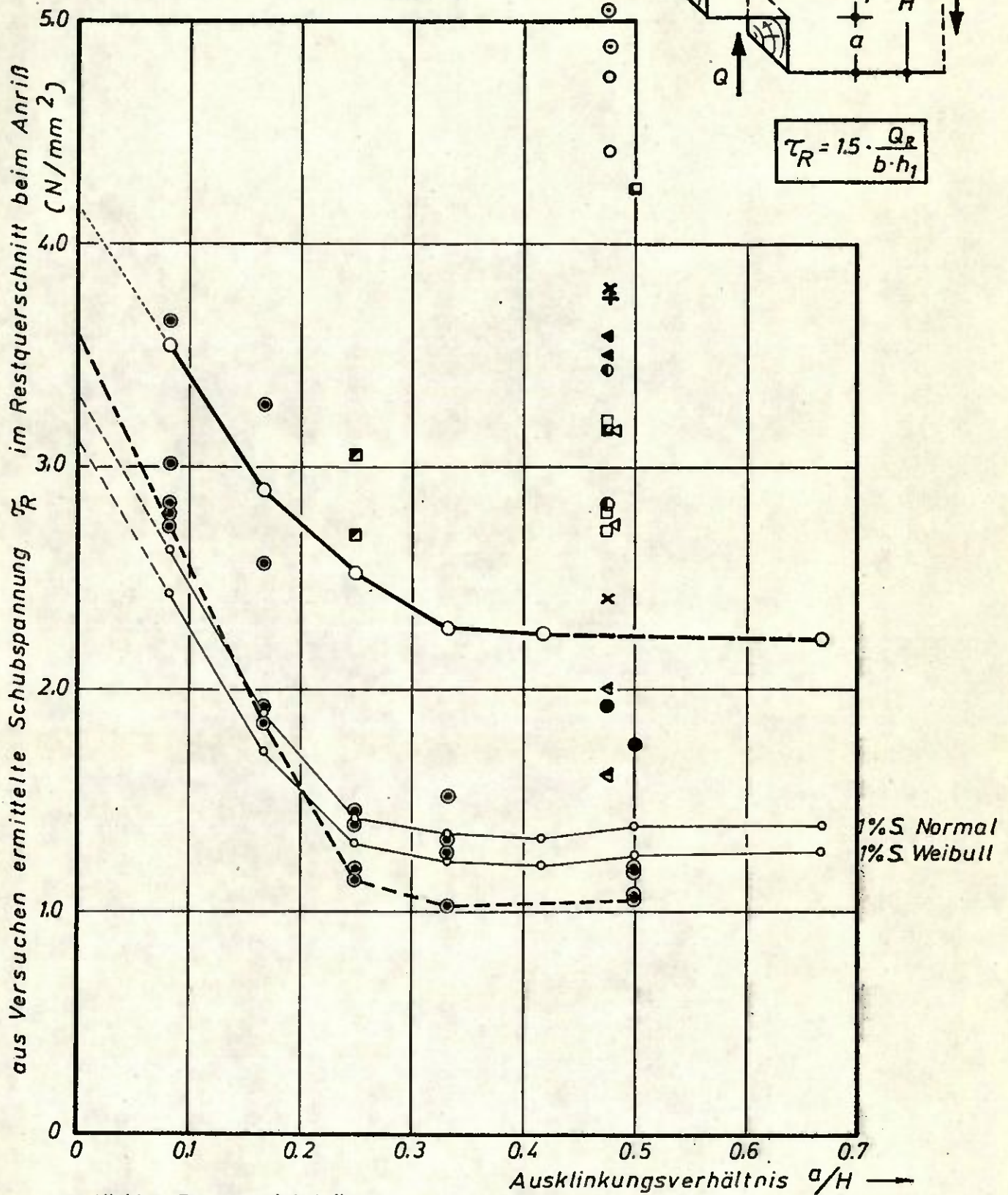
Versuchsreihe	Ausklinkungshöhe (cm)	Ausklinkungsverhältnis a/H	Anzahl der Versuche	Gemittelte Schubspannung im Restquerschnitt beim Anriß $\overline{\tau_R}$ (N/mm ²)	Kleinste Schubspannung im Restquerschnitt beim Anriß min. τ_R (N/mm ²)	Variationskoeffizient (o/o)	Gemittelte Schubspannung im Restquerschnitt beim Bruch $\overline{\tau_B}$ (N/mm ²)	Kleinste Schubspannung im Restquerschnitt beim Bruch min. τ_B (N/mm ²)	Gemittelte Tragreserve (τ_B/τ_R)	Vergleichs - Versuchsreihe	Verbesserung der gemittelten Schubspannungen beim Anriß $\overline{\tau_R} / \overline{\tau_V}$
1	5	0,083	5	3,008	2,740	12,5	3,193	2,900	1,061		
2	10	0,167	4	2,413	1,868	27,5	2,519	1,925	1,044		
3	15	0,250	4	1,314	1,160	11,5	1,425	1,160	1,082		
4	20	0,333	4	1,290	1,035	15,6	1,401	1,189	1,087		
6	30	0,500	4	1,127	1,061	6,5	1,127	1,061	1,000		
3 1/8	15	0,250	2	2,885	2,697	9,2	2,885	2,697	1,000	3	2,195
6 1/2	28,5	0,475	2	1,814	1,617	15,3	1,814	1,617	1,000	6	1,610
6 1/5	28,5	0,475	2	3,124	2,830	13,3	3,124	2,830	1,000	6	2,772
6Bo	30	0,500	2	1,841	1,757	6,4	2,548	2,429	1,384	6	1,634
6LSt	28,5	0,475	3	2,909	2,718	9,1	3,126	2,819	1,071	6	2,581
6LSt2	30	0,500	2	3,706	3,167	20,6	3,706	3,167	1,000	6	3,288
6SBH	28,5	0,475	2	3,105	2,415	31,5	4,560	4,066	1,508	6	2,755
6SBV	28,5	0,475	2	3,774	3,774	0	5,166	4,784	1,369	6	3,349
6FPH	28,5	0,475	2	2,954	2,740	10,2	3,414	3,167	1,156	6	2,621
6FPV	28,5	0,475	2	3,549	3,504	1,8	3,931	3,684	1,109	6	3,149
6LFU1/2	28,5	0,475	2	4,577	4,414	5,0	4,577	4,414	1,000	6	4,061
6LFU	28,5	0,475	2	4,964	4,881	2,4	4,964	4,881	1,000	6	4,405

Tabelle 6: Zusammenstellung der Ergebnisse der Versuchsreihen mit ausgeklinkten Brettschichtträgern

Modellträger — Mittelwert
 3.2 / 12 cm — 1% Schranke
 Brettschichtträger ● Einzelwert
 10 / 60 cm — Kleinsterwerte



$$\tau_R = 1.5 \cdot \frac{Q_R}{b \cdot h_1}$$



verstärkte Brettschichtträger:

- | | |
|---------------------------------|--------------------------------------|
| ■ 120 cm Abschrägung | × schräges Blech halb aufgenagelt |
| ▲ 60 cm Abschrägung | + schräges Blech voll aufgenagelt |
| ● 150 cm Abschrägung | ◁ Furnierplattenstreifen aufgenagelt |
| ● Bolzen M 16 durchgehend | ◄ Furnierplatte aufgenagelt |
| □ Gewindestange M 16 eingeleimt | ○ Furnierplattenstreifen aufgeleimt |
| ■ 2 Stangen M 12 eingeleimt | ⊙ Furnierplatte aufgeleimt |

Bild 18: Anrißfestigkeit von ausgeklinkten Trägern aus Voll- und Brettschichtholz