

Forschungsbericht

**Untersuchung über das Tragverhalten von
zimmermannsmäßigen Holzverbindungen**

T 2189

Dieser Forschungsbericht ist eine mit modernsten Hochleistungskopierern vom IRB Verlag auf Einzelanfrage hergestellte Kopie des reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeiteten Originalmanuskripts des Forschers.

© Copyright by IRB Verlag

Vervielfältigung, auch auszugsweise, nur mit ausdrücklicher Zustimmung des IRB Verlags.

IRB Verlag

Informationszentrum RAUM und BAU
der Fraunhofer-Gesellschaft
Nobelstraße 12, D-7000 Stuttgart 80
Telefon (0711) 68 68-500
Telefax (0711) 68 68-507
Telex 7 255 167 irb d

UNTERSUCHUNG ÜBER DAS TRAGVERHALTEN VON ZIMMERMANNSMÄSSIGEN
HOLZVERBINDUNGEN

durchgeführt im Auftrage der Entwicklungsgemeinschaft
Holzbau (EGH) in der Deutschen Gesellschaft für Holz-
forschung e.V. (DGfH)

von B. Heimeshoff und N. Köhler

am Lehrstuhl für Baukonstruktion und Holzbau
Technische Universität München

1989

Eingeg: 7.12.89

Inhalt

1	Allgemeines	1
1.1	Einleitung	1
1.2	Ziel der Forschungsarbeit	1
1.3	Literatur-Auswertung	4
1.4	Versuchsprogramm	5
1.4.1	Auswahl der Verbindungsarten	5
1.4.2	Holzgüte	6
1.4.3	Prüfkörperherstellung	7
1.4.4	Holzfeuchte	7
2	Das gerade Hakenblatt mit Verstärkung	8
2.1	Abmessungen und Anzahl der Versuchskörper	8
2.2	Verstärkung quer zur Faser	9
2.3	Versuchsdurchführung	11
2.3.1	Versuchseinrichtung	11
2.3.2	Versuchsgrundlagen	12
2.3.3	Erfassung und Aufzeichnung der Meßwerte	13
2.4	Ergebnisse und Auswertung der Versuche	15
2.4.1	Definition der Bruchlast	15
2.4.2	Bruchbilder	15
2.4.3	Anmerkungen zu den Bruchbildern	16
2.4.4	Darstellung der Versuchsergebnisse	17
2.5	Wirkungsweise	18
2.6	Bemessung	21
2.6.1	Vorschlag zur Festlegung der zulässigen Tragkraft und der Bemessungsgleichungen	21
2.6.2	Vergleich der errechneten zulässigen Belastungen mit den Versuchsergebnissen	24
2.6.3	Zur Federkonstanten	25
2.7	Zusammenfassung	27

3	Das einfache Schwalbenschwanzblatt unter Zugbelastung	29
3.1	Abmessungen und Anzahl der Versuchskörper	29
3.2	Versuchsdurchführung	31
3.2.1	Versuchseinrichtung	31
3.2.2	Versuchsgrundlagen	32
3.2.3	Erfassung und Aufzeichnung der Meßwerte	32
3.3	Ergebnisse und Auswertung der Versuche	33
3.3.1	Verformungs- und Bruchverhalten der Verbindung	33
3.3.2	Zum Schlupf	35
3.3.3	Definition der Bruchlast	36
3.3.4	Darstellung der Versuchsergebnisse	36
3.4	Wirkungsweise	37
3.5	Bemessung	41
3.5.1	Vorschlag zur Festlegung der zulässigen Belastung	41
3.5.2	Zur Federkonstanten	43
3.6	Zusammenfassung	43
4	Der rechtwinklige Stirnversatz	45
4.1	Abmessungen und Anzahl der Versuchskörper	45
4.2	Versuchsdurchführung	46
4.2.1	Versuchseinrichtung	46
4.2.2	Versuchsgrundlagen	47
4.2.3	Erfassung und Aufzeichnung der Meßwerte	47
4.3	Ergebnisse und Auswertung der Versuche	49
4.3.1	Verformungs- und Bruchverhalten der Verbindung	49
4.3.2	Definition der Bruchlast	51
4.3.3	Darstellung der Versuchsergebnisse	51
4.4	Wirkungsweise	53
4.5	Bemessung	56
4.5.1	Vorschlag zur Festlegung der zulässigen Belastung	56
4.5.2	Vergleich der nach Abschnitt 4.5.1 berechneten zulässigen Belastung mit den Versuchsergebnissen	57
4.5.3	Zur Verformungsberechnung	58
4.6	Zusammenfassung	60
5	Zitierte Literatur	62
	Anlagenübersicht	65
	Anlagen	

1 Allgemeines ¹⁾

1.1 Einleitung

Von alters her wurden im traditionellen zimmermannsmäßigen Holzbau vielfältige Konstruktionen wie z.B. Fachwerkbauten, Dachstühle, Türme, Brücken, Balkenlagen und Gerüste erstellt. In diesen Konstruktionen wurden Stäbe mittels einer großen Anzahl unterschiedlicher Verbindungen miteinander verknüpft. Nach [1] gab es über 100 verschiedene Verbindungen. Die Kräfte wurden dabei ausschließlich über Druckkontakt und z.T. über Reibung übertragen. Form und Abmessung dieser Verbindungen wurde nicht rechnerisch ermittelt, sondern nach überlieferten Erfahrungswerten festgelegt. Die Querschnitte der einzelnen Stäbe richteten sich oft nach den in den Knoten durch Schwächungen verbleibenden Restquerschnitten und fielen daher aus heutiger Sicht oft unwirtschaftlich aus. In dem Bestreben, den Verlauf der Kräfte nachvollziehbar werden zu lassen und somit rechnerische Tragfähigkeitsnachweise mit hinreichender Genauigkeit liefern zu können, und um nicht nur sichere, sondern auch möglichst wirtschaftliche Lösungen zu finden, wurden seit Beginn des 20. Jahrhunderts neue Verbindungsmittel wie z.B. glatte Nägel, Rohr- und Stabdübel sowie Dübel "besonderer Bauart" entwickelt. Der traditionelle zimmermannsmäßige Holzbau wurde immer mehr vom Ingenieur-Holzbau verdrängt.

In neuerer Zeit ist nun mit einem verstärkten Interesse an der Wiederherstellung alter Konstruktionen sowie mit dem wiedererwachten Bewußtsein der gesundheitlichen Verträglichkeit des Baustoffes Holz die Forderung nach der Anwendung altbewährter und holzgerechter Verbindungstechniken immer lauter geworden.

1.2 Ziel der Forschungsarbeit

Nach Literaturstudium und Auswertung handwerklicher Regeln sollte durch Versuche an Prüfkörpern aus Bauschnittholz (eu-

¹⁾ siehe auch [19]

rop. Nadelholz) der Güteklasse II mit baupraktisch relevanten Querschnittsabmessungen Aufschluß über das Tragverhalten der wichtigsten Holzverbindungen aus dem umfangreichen Feld des traditionellen zimmermannsmäßigen Holzbaues gewonnen werden. Für die geprüften Verbindungsarten sollten die technisch vorteilhaftesten Lösungen gefunden und soweit möglich für den Anwender praxisgerechte Bemessungsverfahren entwickelt werden.

*Tabelle 1.1 Zimmermannsmäßige Holzverbindungen bei der Verbindung zweier Stäbe mit Rechteckquerschnitt
- Übersicht -*

1	2	3	4
Lage der zu verbindenden Stäbe	Winkel zwischen den zwei Stabachsen		
	0°	etwa 30° bis 60°	90°
in einer Ebene ²⁾	Stoßverbindungen Verblattungen s. Bild 1.1a,b	Versatzungen Verblattungen s. Bild 1.1a,d,e	Verzapfungen Verblattungen s. Bild 1.1f,g
in zwei parallelen Ebenen ²⁾	verdübelte Balken siehe Bild 1.1h	Verkämmungen Dollenverbindungen siehe Bild 1.1i und 1.2a	
	Winkel zwischen den zwei Ebenen -		
	0°	etwa 30° bis 60°	90°
in zwei nicht parallelen Ebenen ¹⁾	-	Aufklauungen siehe Bild 1.1k	-
²⁾ Die den jeweiligen Stab zugeordnete Ebene wird durch die Stabachse und eine Querschnittshauptachse aufgespannt.			

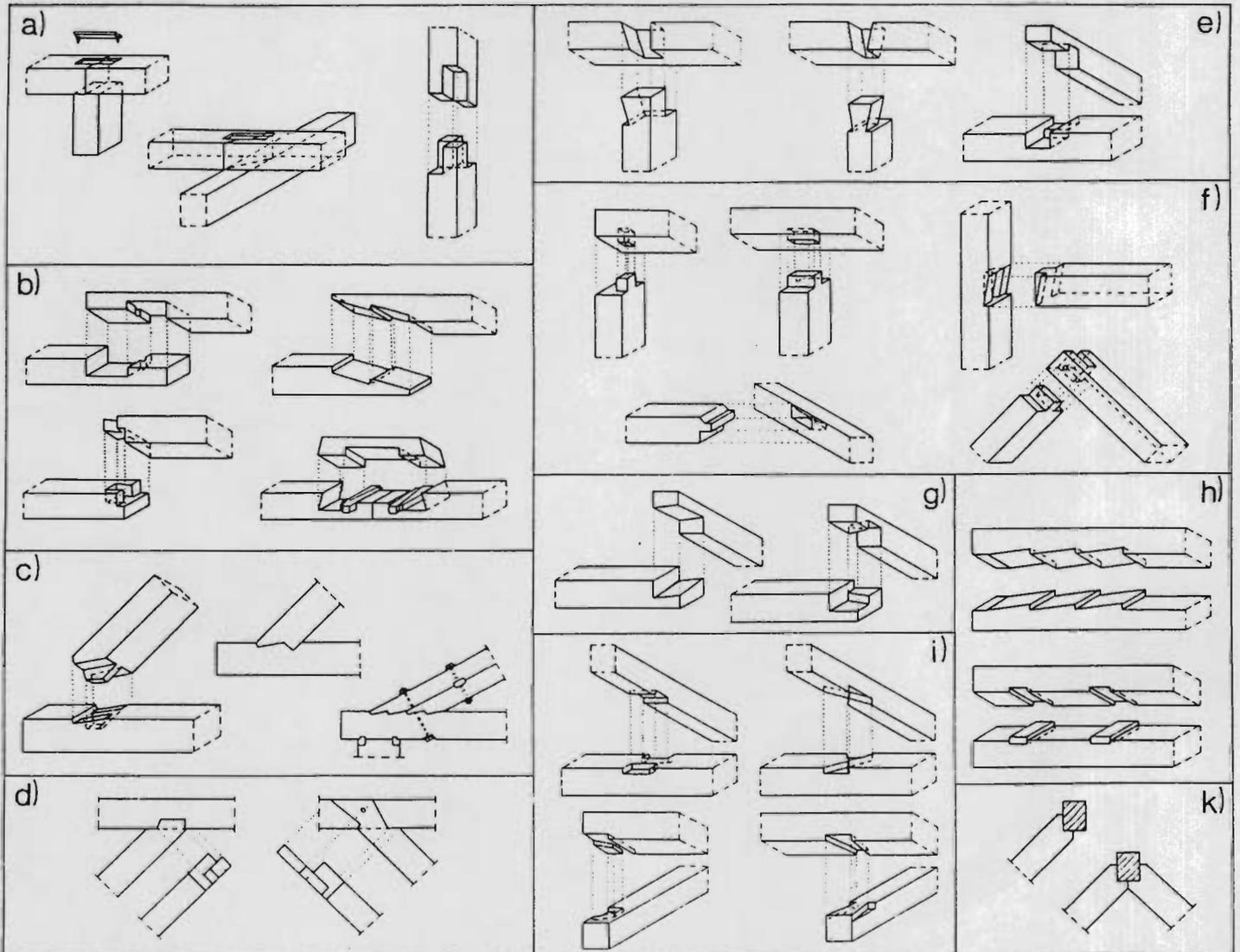


Bild 1.1 "Einfache" zimmermannsmäßige Holzverbindungen, Beispiele [8,14,17]

- | | |
|--------------------------------------|-----------------------------------|
| a) Stoßverbindungen | f) Verzapfungen |
| b) Verblattungen, Längsverbindungen | g) Verblattungen, Eckverbindungen |
| c) Versatzungen | h) Verdübelte Balken |
| d) Verblattungen, Schrägverbindungen | i) Verkämmungen |
| e) Verblattungen, Querverbindungen | k) Aufklauungen |

1.3 Literatur-Auswertung

Die Durchsicht der verfügbaren Literatur hat ergeben, daß es zwar eine Reihe von qualitativen Beschreibungen der im traditionellen zimmermannsmäßigen Holzbau ausgeführten Verbindungsausbildungen gibt [1,4,8,9,14,17], quantitative Angaben ihrer Form sind jedoch sehr selten, Berechnungen über ihre Tragfähigkeit wurden nicht gefunden oder entsprachen, wie die Versuche zeigten, nicht den realen Gegebenheiten [2]. Lediglich über die auch heute noch üblichen Verbindungen (Versatz [3], Hartholzdübel, Zapfen [5,15]) liegen umfangreichere theoretische Betrachtungen vor.

Die Vielzahl der gefundenen Verbindungsausbildungen läßt sich auf einige Grundtypen zurückführen. Man unterscheidet heute zwischen Längsverbindungen, Querverbindungen, Eckverbindungen, Schrägverbindungen und Verkämmungen.

In Tabelle 1.1 ist eine Unterscheidung der Verbindungen je nach der Lage der zu verbindenden Stäbe getroffen. Bild 1.1 zeigt einige Beispiele. Auf zusätzliche Verbindungsmittel für die Kraftübertragung wurde in diesen Verbindungen weitgehend verzichtet. Lediglich für die Lagesicherung kamen die in Bild 1.2 dargestellten Verbindungsmittel zur Verwendung.

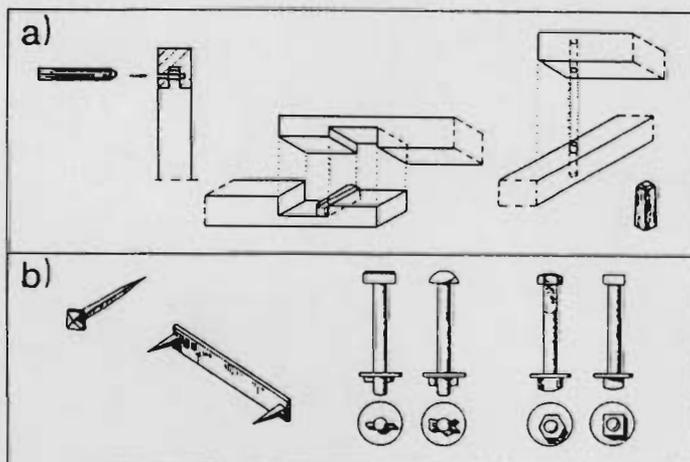


Bild 1.2

Traditionelle Verbindungsmittel,
Beispiele [4,14]

a) Holznagel, Keile, Dollen

b) Eisennagel, Klammer,

Splintbolzen, Schraubenbolzen

1.4 Versuchsprogramm

1.4.1 Auswahl der Verbindungsarten

Der Ausgangspunkt des Forschungsvorhabens war es, für mindestens einen Vertreter aus den oben genannten Verbindungsgruppen - Längsverbindung, Querverbindung, Eckverbindung, Schrägverbindung, Verkämmung - in der Praxis anwendbare Erkenntnisse zu entwickeln und experimentell zu untermauern.

Aus den Längsverbindungen wurde das gerade Hakenblatt ausgewählt. Das schräge Hakenblatt wurde gleichzeitig von Herrn Prof. Reyer an der Ruhr-Universität in Bochum untersucht.

Aus dem Bereich der Querverbindungen wurde das Schwalbenschwanzblatt gewählt, da die ebenfalls in Frage kommende Zapfenverbindung gerade in einem Forschungsbericht von Herrn Prof. Schelling eingehend bearbeitet worden war. Die ursprünglich geplante Untersuchung der rechtwinkligen symmetrischen Schwalbenschwanzverbindung wurde wegen ihrer geringen praktischen Bedeutung ersetzt durch die Untersuchung der einseitigen schrägen Schwalbenschwanzverbindung, siehe Bild 1.3. Wie sich später herausstellte, sind außerdem die gewonne-

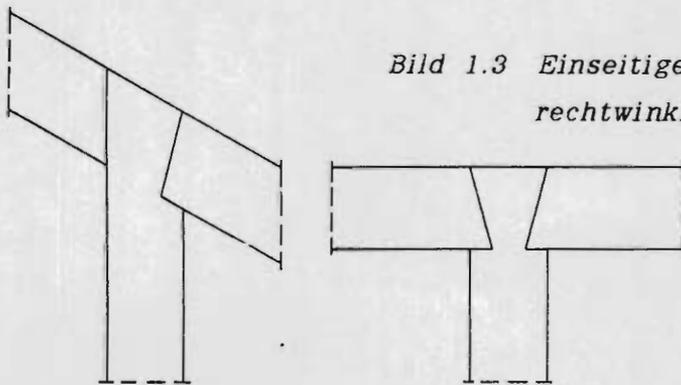


Bild 1.3 Einseitiges, schräges und symmetrisches, rechtwinkliges Schwalbenschwanzblatt

nen Erkenntnisse über das schräge Schwalbenschwanzblatt auch für das rechtwinklige Schwalbenschwanzblatt anwendbar.

Auf die Untersuchung der Eckverbindungen wurde verzichtet, da sie mit den in DIN 1052 enthaltenen Bemessungsregeln und dem erwähnten Forschungsbericht über die Zapfenverbindungen hinreichend genau nachgewiesen werden können.

Als Vertreter der Schrägverbindungen kam der übliche Stirnversatz für die Versuche in Frage. Da über diesen aber schon ausreichende Kenntnisse vorliegen [3,6], wurden auf Wunsch des Zimmereigewerbes die Versuche an einer Versatzausbildung durchgeführt, bei der die beiden Kontaktflächen der Verbindung aufeinander senkrecht stehen (im weiteren rechtwinkliger Stirnversatz genannt). Diese Versatzausbildung hat wegen ihrer im Vergleich zum üblichen Stirnversatz einfacheren Herstellung wachsende Bedeutung. Die Versatzeinkerbung kann nämlich in einem Arbeitsgang mit einem üblichen Fräskopf aus dem Holz gefräst werden.

Auf eine Untersuchung der Verkämmungen wurde aus denselben Gründen wie bei den Eckverbindungen verzichtet.

Es wurden also aus der Vielzahl der traditionellen zimmermannsmäßigen Verbindungen das gerade Hakenblatt, das schräge Schwalbenschwanzblatt und der rechtwinklige Versatz in das Versuchsprogramm aufgenommen.

Alle genannten Abweichungen vom Versuchsprogramm des Antrages wurden mit der für das Forschungsvorhaben zuständigen Beratergruppe abgesprochen.

1.4.2 Holzgüte:

Die Prüfkörper wurden aus Nadelholz der Güteklasse II, Schnittklasse A, gemäß DIN 4074 hergestellt. Das Holz entstammte dem Wuchsgebiet des Bayerischen Waldes.

Die Rohdichte der Hölzer wurde bei den Schwalbenschwanz- und Versatz-Prüfkörpern durch eine Bestimmung von Volumen und Gewicht des gesamten Versuchskörpers ermittelt. Bei den Hakenblatt-Verbindungen wurden hierfür Bohrkerne verwendet, die in der Nähe der Bruchkanten entnommen wurden.

Die in den Anlagen 1, 6 und 11 angegebenen Trockenrohdsichten wurden dann durch Umrechnung mit der in DIN 4074 angegebenen

$$\text{Formel } \rho_u = \rho_o \frac{100 + u}{100 + 0,85 \cdot \rho_o \cdot u} \text{ ermittelt.}$$

1.4.3 Prüfkörperherstellung

Alle Prüfkörper wurden von einem ortsansässigen Zimmereiunternehmen mit der in der Praxis üblichen Genauigkeit mittels Kreissägen und Fräsen hergestellt.

1.4.4 Holzfeuchte

In der Praxis muß in der Regel, wenn nicht ausdrücklich etwas anderes angegeben ist, davon ausgegangen werden, daß das Holz in halbfeuchtem bis frischem Zustand abgebunden und später noch vor oder im Anschluß an den Einbau auf die Ausgleichsfeuchte heruntertrocknet. Um diesen ungünstigen Einfluß mit in die Versuche zu integrieren, wurden die Hölzer in halbtrockenem bis frischem Zustand zugeschnitten und vor der Versuchsdurchführung in der Trockenkammer auf eine Feuchte von 10 - 16% heruntergetrocknet. Durch diese Vorgehensweise traten bei fast allen Probekörpern in unterschiedlichem Maße Schwindrisse auf. Auf den Einfluß dieser Risse wird in den folgenden Kapiteln noch genauer eingegangen.

2 Das gerade Hakenblatt mit Verstärkung ¹⁾

2.1 Abmessungen und Anzahl der Versuchskörper

Die Ausbildung des geraden Hakenblatts lässt sich durch die beiden Parameter Hakenhöhe d und Hakenlänge l_H eindeutig beschreiben, siehe Bild 2.1. Ausgehend von den im Zimmereigewerbe

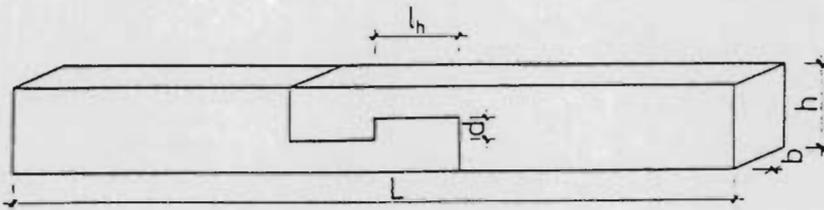


Bild 2.1

Gerades Hakenblatt,
Probekörper

üblichen Größenverhältnissen $d = 2/8 h$ und $l_H = 1,25 h$ [1,17], wurde in insgesamt 6 Hauptserien zunächst die Hakenhöhe ($d = 3/8 h$; $d = 2/8 h$; $d = 1/8 h$) bei gleichbleibender Hakenlänge $l_H = 1,75 h$, und dann die Hakenlänge ($l_H = 1,5 h$; $l_H = 1,25 h$; $l_H = 1,0 \cdot h$) bei gleichbleibender Hakenhöhe $d = 1/8 h$ variiert.

Zur Kontrolle wurden anschließend 2 Sonderserien mit unterschiedlichen Querschnittsabmessungen und der zimmermannsüblichen Hakenblattausführung ($d = 2/8 h$; $l_H = 1,25 h$) geprüft. Für die Hauptserien wurde ein Kantholzquerschnitt von $h/b = 16/12$ für die Sonderserien einer von $h/b = 12/9$ bzw. von $h/b = 20/15$ gewählt. Anfänglich war geplant, von jeder Serie 6 Prüfkörperpaare herzustellen. Im Versuch sollte die Last bis zum Bruch eines der beiden Prüfkörper erhöht werden. In jedem Versuch wäre also ein Probekörper unbeschädigt geblieben. Diese Probekörper sollten zu weiteren Prüfkörperpaaren zusammengestellt werden. Somit hätten mit 6 Prüfkörperpaaren 11 Versuche durchgeführt werden können. Durch die Anordnung der im Abschnitt 2.2 dargestellten zusätzlichen Querverbindung mittels Schraubnägeln wurde die Wiederverwendung der Probekörper unmöglich. Die Anzahl der Prüfungen reduzierte sich demnach auf 6 je Serie. Im einzelnen sind die Anzahl der Ver-

¹⁾ siehe auch [19]

suche und die Abmessungen der Probekörper in der Tabelle 2.1 angegeben.

Tabelle 2.1 Gerades Hakenblatt, Anzahl und Abmessungen der Probekörper, siehe Bild 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8
Serie	Anzahl	Probekörper					Verstärkung ¹⁾ Nagelanzahl
		Maße					
		h cm	b cm	d cm	l _H cm	L cm	
1	6	16	12	6	28	230	4 x 4
2	6	16	12	4	28	230	4 x 4
3	6	16	12	2	28	230	4 x 4
4	6	16	12	2	24	242	4 x 4
5	6	16	12	2	20	234	4 x 4
6	6	16	12	2	16	226	4 x 4
7	6	12	9	3	15	206	4 x 3
8	8	20	15	5	25	304	4 x 5

¹⁾ Bira-Sparrennägel, für Serien 1 bis 6: 5,1 x 150,
für Serie 7: 5,1 x 110, für Serie 8: 5,1 x 180.

2.2 Verstärkung quer zur Faser

In Vorversuchen wurde am Querschnitt der Hauptserien mit der herkömmlichen zimmermannsmäßigen Hakenblattausbildung ($l_H = 1,25 h$, $d = 2/8 h$) der Einfluß einer zusätzlichen Querverbindung untersucht.

Dabei wurde das Prüfkörperpaar mit Metallschellen an unterschiedlichen Orten rechtwinklig zur Faser zusammengehalten, siehe Bild 2.2.

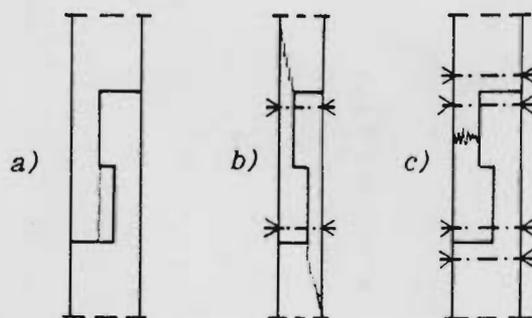


Bild 2.2 Gerades Hakenblatt, Anordnung der Querverbindung in Form von Metallschellen zur Simulation der später verwendeten Schraubnägel und Lage der Bruchfuge

- a) ohne Querverbindung*
- b) Querverbindung am Hakenhals*
- c) Querverbindung am Hakenhals und am Vollholz*

Bei den Versuchen ohne Querverbindung (Bild 2.2a) trat der Bruch durch Abscheren des Hakens auf, bei den Versuchen mit 2 Schellen im Bereich der Verbindung kam es zu Querszugrissen im ungeschwächten Kantholz (Bild 2.2b). Diese Risse vergrößerten sich bei weiterer Laststeigerung terrassenförmig zur Kante des Prüfkörpers hin. Die Längsverformungen bei den Versuchen ohne Querverbindung waren relativ groß und nahmen bei den Versuchen mit Querverbindung mit zunehmendem Abstand der beiden Schellen voneinander ab. Um das Versagen der Verbindung am ungeschwächten Querschnitt zu verhindern, wurden auch dort 2 Schellen angebracht. Der Bruch trat nun durch Überschreitung der Biegezugfestigkeit im Hakenhals auf (Bild 2.2c). Dabei war die Bruchlast etwa 30% - 40% höher als in den Fällen ohne Querverbindung am ungeschwächten Querschnitt.

In Absprache mit der Beratergruppe wurde daraufhin beschlossen, die Hakenblattverbindung mit Bira-Sparrennägeln zusätzlich zu verstärken. Die Nagellöcher wurden dabei im Bereich des glatten Nagelschaftes mit einem Durchmesser von 4 mm ($\approx 0,8 d_n$) vorgebohrt. Anzahl und Anordnung der Nägel ist in Bild 2.3 und Tabelle 2.1 angegeben, siehe auch Anlage 5.2.

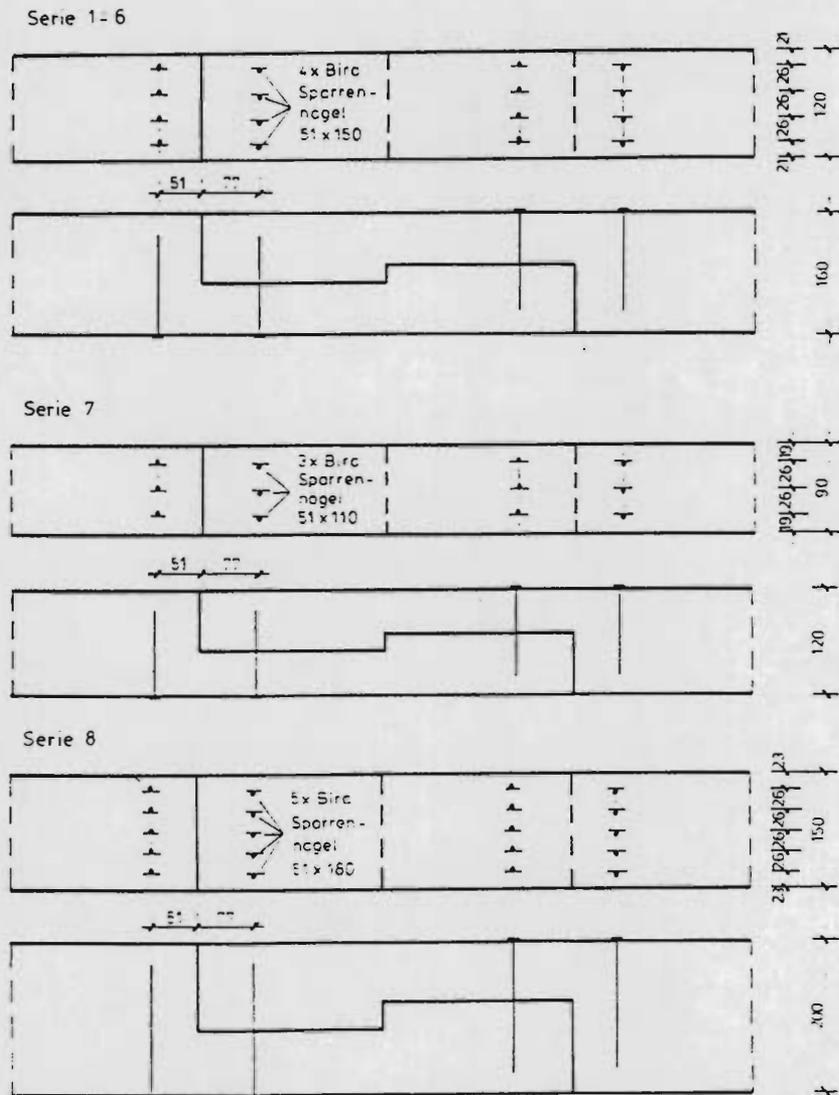


Bild 2.3 Gerades Hakenblatt, Anordnung der für die Querverbindung bestimmten Schraubnägel

2.3 Versuchsdurchführung

2.3.1 Versuchseinrichtung

Die Probekörperpaare wurden senkrecht in die Prüfeinrichtung, Bild 2.4 eingehängt, siehe auch Anlage 5.1. Eine über die im vorigen Absatz besprochenen Nägel hinausgehende Behinderung der Querverformung war nicht vorgesehen. Die Last wurde von zwei hydraulischen 200 kN-Preßtöpfen aufgebracht und mittels geschlitzter Bleche und Bolzen zentrisch in die Probekörper eingeleitet.

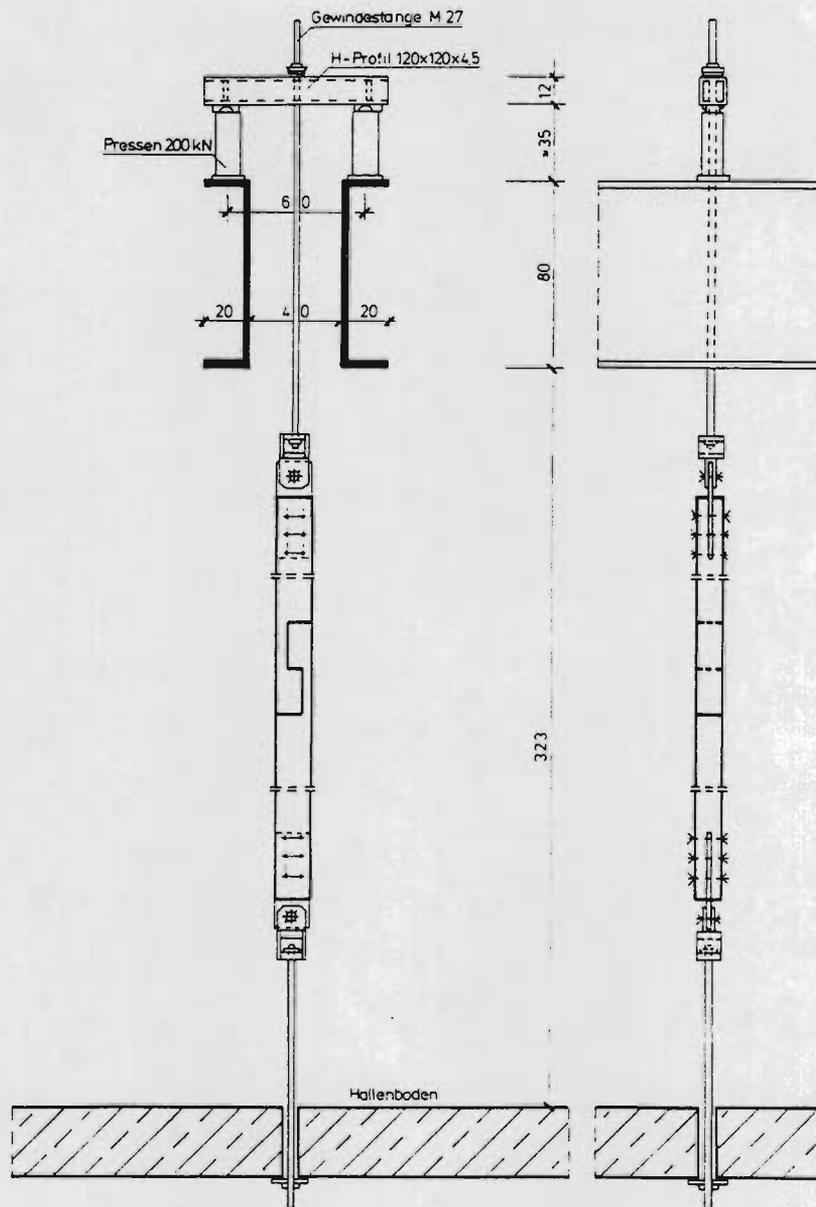


Bild 2.4 Gerades Hakenblatt, Prüfeinrichtung

2.3.2 Versuchsgrundlagen

Die Durchführung der Untersuchungen erfolgte, soweit übertragbar, in Anlehnung an die Festlegungen der ISO-Norm 6891 - 1983 (Timber structures - Joints made with mechanical fasteners) und der "U.E.A.t.c.-Regel für die Erteilung von Agréments für Nagelplatten als Holzverbindungsmittel". Im Gegensatz zu diesen Bestimmungen wurde jedoch bei den Versuchen zum Hakenblatt auf eine Entlastung nach Erreichen von 40% der ge-

geschätzten Bruchlast verzichtet. Die Last wurde gleichmäßig bis zum Erreichen der Bruchlast erhöht und in Lastintervallen von ≈ 1 kN eine Messung ausgelöst. Die angegebene Mindestdauer der Prüfung von 10-15 min. wurde immer eingehalten. Bei Prüfkörpern mit gutem Tragverhalten kam es gelegentlich auch zu einer Überschreitung des angegebenen Prüfzeitraumes.

Nach den genannten Bestimmungen ist die Belastung bei Erreichen einer Verschiebung von 15 mm als maximale Belastung zu werten, wenn die Last nach Erreichen dieser Belastung noch weiter ansteigt. Dieser Fall trat nicht auf.

2.3.3 Erfassung und Aufzeichnung der Meßwerte

Die jeweils aufgebrauchte Prüflast wurde durch eine in die Prüfkörperaufhängung integrierte Kraftmeßdose bestimmt. Die Messung der Verformungen erfolgte mittels induktiver Wegaufnehmer. Die Anordnung der Meßpunkte ist dem Bild 2.5 zu entnehmen. Dabei wurden parallel zur Kraftmessung folgende Deformationen aufgezeichnet:

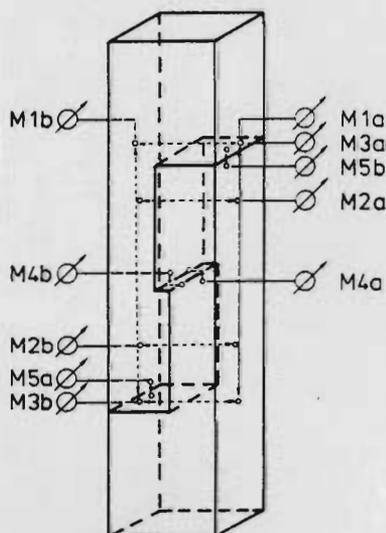


Bild 2.5 Gerades Hakenblatt,
Anordnung der Meßwertgeber

M 1a, b: Verformung parallel zur Faserrichtung über die gesamte Verbindungslänge. Unterschiedliche Zug- bzw. Biegeverformungen der beiden zu einem Prüfkörperpaar gehörenden Hölzer werden durch den Unterschied der beiden Messungen deutlich. Dies trat insbesondere bei Erreichen der Biegezugfestigkeit im Hakenhals auf.

M 2a, b: Querverformung der beiden Proben und Aufweitung der Fuge zwischen den beiden Hölzern in der Nagelebene.

M 3a, b: Querverformung (Riß) der ungeschwächten Querschnitte.

M 4a, b: Scherverformung des Hakens.

M 5a, b: Längsverformung des einzelnen Verbindungshalses einschließlich der Tangentialverschiebung aus der Biegung des Halses.

Die Meßwerte wurden mit Hilfe einer Vielstellenmeßanlage HBM-UPM 60 in Verbindung mit einem Rechner HP 85 parallel zu den Versuchen abgespeichert und später nach geeigneter Umformung ausgedruckt und geplottet, siehe Anlage 2.

Zur Kontrolle wurden außerdem während der Versuche die Meßwerte der Meßstelle 1a in Abhängigkeit von der Kraft von einem x-y Recorder 26 000 A3 aufgezeichnet.

Zu jedem Prüfkörper wurde ein Datenbogen angelegt, auf dem die Holzfeuchte zum Zeitpunkt des Abbundes und der Prüfung, die Lage des Kerns, Schwindrisse, Äste und die Bruchlast festgehalten wurden.

2.4 Ergebnisse und Auswertung der Versuche

2.4.1 Definition der Bruchlast und der Verformung

Die Bruchlast jedes Prüfkörperpaares wurde mit Hilfe der in Abschnitt 2.3.3 beschriebenen Last-Verformungsdiagramme (Anlage 2) und den dazugehörigen Meßprotokollen bestimmt. Als Bruchlast wurde die größte gemessene Last vor Abfallen der Prüflast bei weiter ansteigender Verformung festgelegt. Ein erneutes Ansteigen der Prüflast nach dem Erreichen einer Längsverformung von 15 mm aus der Resttragfähigkeit des Prüfkörpers wurde mit Rücksicht auf die ISO-Norm 6891-1983 nicht berücksichtigt (siehe auch Abschnitt 2.3.2). Für die Ermittlung der Verformung der Verbindung wurde das Mittel aus den beiden Längsverschiebungen M 1a und M 1b zugrundegelegt.

2.4.2 Bruchbilder

Für die untersuchte Hakenblatt-Verbindung ergaben sich zwei mögliche Versagensbilder: Der Bruch trat entweder durch Erreichen der Scherfestigkeit des Hakens in der Verlängerung des Hakenhalses oder durch Erreichen der Biegezugfestigkeit im Hakenhals auf, siehe Bild 2.6. Die Anlagen 5.3 bis 5.5 zeigen die Bruchausbildung in zwei charakteristischen Versuchen.

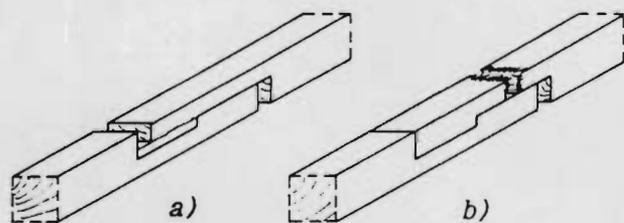


Bild 2.6

Gerades Hakenblatt mit Verstärkung,
mögliche Bruchbilder:

a) Scherbruch

b) Biegebruch

2.4.3 Anmerkungen zu den Bruchbildern

Scherbruch: Die Scherfestigkeit ist abhängig von der beanspruchten Scherfläche, also bei gleicher Breite der Prüfkörper von der Hakenlänge l_H . Erwartungsgemäß traten auch bei den Proben mit der maximalen Hakenlänge ($l_H = 28$ cm) überwiegend Biegezugbrüche auf (in 15 von 18 Fällen). Bei den Proben mit kurzen Hakenlängen ($l_H = 20$ cm und $l_H = 16$ cm) kam es überwiegend zu Scherbrüchen (in 8 von 12 Fällen).

Der Bruch trat bei dieser Versagensart schlagartig auf. Nach dem Bruch blieb die Tragfestigkeit des Anschlusses konstant auf dem Wert, der von den Nägeln übernommen wurde. Der dabei auftretende Verformungssprung macht deutlich, daß ein Großteil der Tragwirkung der Nägel auf Abscheren erst nach dem Bruch des Holzes aktiviert wird. Dies war aufgrund ihrer größeren Nachgiebigkeit auch zu erwarten.

Biegezugbruch: Die Biegezugfestigkeit ist abhängig von der Querschnittsfläche des geschwächten Querschnittes (Probenhals) und ferner von der Exzentrizität der Achse des Verbindungshalses, also vom Zusatzmoment im Hals. Dementsprechend traten auch die höchsten Bruchlasten bei den Prüfkörpern mit der geringsten Hakenhöhe $d = 2$ cm (bei gleicher Hakenlänge $l_H = 28$ cm) auf.

Der Bruch trat in diesem Fall meist schrittweise auf. Nach dem Riß der Randfasern konnte der Restquerschnitt einen oft noch beträchtlichen Teil der Last übernehmen. Es kam sogar vor, daß die Last noch einmal über den Wert vor dem ersten Riß anstieg, allerdings in Verbindung mit größeren Verformungen.

Die Rißlinie lag fast immer an einer der beiden Nagelreihen, siehe auch Anlage 5.4 und 5.5. Ausnahmen bildeten Fälle, in denen die Schwächung der Hölzer durch Äste größer war als durch die Nägel.

Ein auch noch für möglich gehaltenes Versagen der Druckfestigkeit parallel zur Faser an den Kontaktflächen der beiden Haken

ist nicht vorgekommen.

Bei allen Versuchskörpern kam es schon bei einer Last von 10-15 kN zur Ausbildung eines Risses im Vollquerschnitt in der Verlängerung des Hakenhalses bis zu den Nägeln der Querverbindung des Vollquerschnittes siehe auch Anlage 5.7.

2.4.4 Darstellung der Versuchsergebnisse

Neben den im vorigen Abschnitt erwähnten Kraft-Verformungsdiagrammen der Anlage 2 sind in Anlage 3 für jede Serie die Bruchlasten und Dehnungen zusammengestellt, wobei nach dem Bruchkriterium unterschieden wird in Scherbruch (S) und Biegezugbruch (BZ).

Tabelle 2.2 Gerades Hakenblatt mit Verstärkung, Ergebnisse der einzelnen Versuchsserien (Mittelwerte)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Serie	Bruchkriterium	Anzahl	Höchstlast max Z_m	Verformung bei Bruch- $z_{ul} \cdot Z$ last		Zulässige Belastung $z_{ul} \cdot Z$ ¹⁾	Sicherheit $\nu = \frac{\max Z}{z_{ul} \cdot Z}$	Federkonstante C	$k_c = \frac{C}{z_{ul} \cdot Z}$
Nr.			kN	mm	mm	kN		kN/mm	mm
1	BZ	6	31,9	9,07	1,25	6,4	5,0	5,22	0,82
2	BZ (maßgebend) S	4	46,9	7,75	1,48	9,4	5,0	6,35	0,68
		2	49,1	7,80	3,32	22,7	2,2	6,84	0,30
3	BZ (maßgebend) S	5	48,5	6,60	1,44	13,9	3,5	9,65	0,69
		1	67,0	6,80	1,96	22,7	3,0	11,58	0,51
4	BZ (maßgebend) S	3	54,0	5,63	1,93 1,47 ¹⁾	13,9	3,9	7,20 9,46 ¹⁾	0,52 0,68 ¹⁾
		3	60,4	5,40	1,95	19,4	3,1	9,95	0,51
5	BZ (maßgebend) S	2	51,3	4,15	0,95	13,9	3,7	14,63	1,05
		4	51,1	4,38	1,25	16,2	3,2	12,96	0,80
6	BZ S (maßgebend)	2	42,4	4,60	1,29	13,9	3,1	10,78	0,78
		4	43,0	4,45	1,30	13,0	3,3	10,00	0,77
7	S	6	27,2	4,76	1,53	9,1	3,0	5,95	0,65
8	S	8	66,1 69,4 ²⁾	8,99	2,57	25,3	2,6 2,75 ²⁾	9,84	0,39

¹⁾ Werte ohne Versuch 33, siehe Abschnitt 2.6.2
²⁾ Werte ohne Versuch 73, siehe Abschnitt 2.6.2
³⁾ siehe Abschnitt 2.6.1

Die Tabelle 2.2 enthält für die einzelnen Serien die Höchstlasten (Mittelwert) und die mittleren Verformungen bei Bruchlast und bei Erreichen der nach Abschn. 2.6.1 ermittelten zulässigen Belastungen. Dabei wurde für die zulässige Belastung das Bruchkriterium als maßgebend angesehen, das bei dem entsprechenden Versuch auch zum Bruch geführt hatte. Außerdem ist in Tabelle 2.2 noch angegeben: das Bruchkriterium, die nach Abschn. 2.6.1 bestimmte zulässige Belastung und die mittlere Federkonstante sowie der daraus resultierende Abminderungsbeiwert k_c (siehe auch Abschn. 2.6.2 und 2.6.3).

In Anlage 4 ist die Häufigkeitsverteilung der Bruchlasten dargestellt.

2.5 Wirkungsweise des geraden Hakenblatts mit Verstärkung

Läßt man zunächst die Wirkung der zusätzlichen Querverbindung außer acht und betrachtet die Kräfte an den in Bild 2.7 dargestellten möglichen Bruchfugen, so ergeben sich aus den Gleichgewichtsbedingungen für die einzelnen Holzteile folgende Schnittgrößen, siehe Bild 2.8.

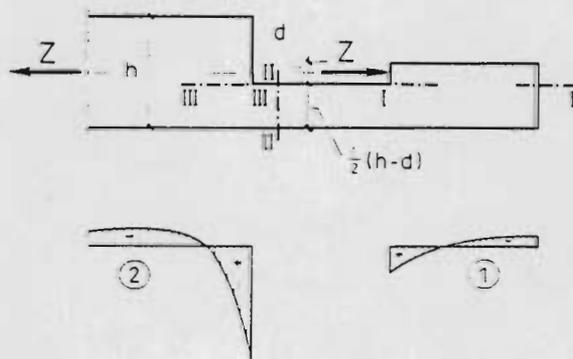


Bild 2.7 Zur Wirkungsweise des geraden Hakenblatts

- ① Querspannungen im Schnitt I - I
- ② Querspannungen im Schnitt III - III

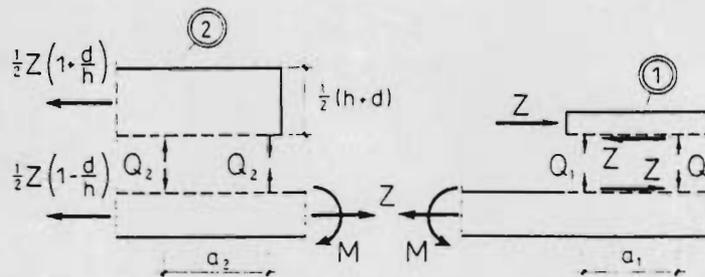


Bild 2.8 Zur Wirkungsweise des geraden Hakenblatts, Einzelheiten

Für Holzteil ① folgt aus $\sum M = 0$:

$$Q_1 \cdot a_1 = 1/2 \cdot Z \cdot d \quad (2.1)$$

Im Schnitt II-II erhält man ferner

$$M = 1/4 \cdot Z \cdot h (1 + d/h) \quad (2.2)$$

und aus $\sum M = 0$ am Holzteil ②:

$$Q_2 \cdot a_2 = 1/8 \cdot Z \cdot h \cdot (1 + d/h) \quad (2.3)$$

In den Schnitten I-I und III-III wirken somit Querkzug- und -druckspannungen. Der Extremwert der Querkzugspannungen tritt jeweils in den inneren Ecken auf, siehe Bild 2.7. Wie die Gleichungen (2.1) und (2.3) zeigen, sind diese Spannungen umso kleiner, je geringer die Hakenhöhe d bzw. das Verhältnis d/h ist. Eine untere Schranke für d würde sich aus der Pressung an der Stirnseite des Holzteiles ① ergeben. Aus konstruktiven Gründen wurde aber für die experimentelle Untersuchung eine untere Schranke von d = 2 cm festgelegt.

Bildet man aus den Gleichungen (2.1) und (2.3) das Verhältnis

$$\frac{Q_2 \cdot a_2}{Q_1 \cdot a_1} = \frac{1}{4} \cdot \frac{(1 + d/h)^2}{d/h} \quad \text{mit } d/h < 1 \quad (2.4)$$

so läßt sich unmittelbar erkennen, daß die Querkzugspannungen im Schnitt III-III stets größer sind als diejenigen im Schnitt I-I.

Bei der Betrachtung des Tragverhaltens der verstärkten Hakenblattverbindung genügt es nicht mehr, nur die Gleichgewichtsbedingungen heranzuziehen, vielmehr muß auch ihr Verformungsverhalten berücksichtigt werden. In Bild 2.9 ist die



Bild 2.9 Verformungsfigur des geraden Hakenblatts ohne Verstärkung

Verformungsfigur des nicht verstärkten Hakenblattes dargestellt (Verformungen vergrößert). Sie wird maßgeblich von der Verbiegung des Hakenhalses bestimmt, der durch den infolge der Querkzugspannungen auftretenden Riß noch "verlängert" wird. Aus dieser Verformungsfigur kann man unmittelbar auf die aus der Verstärkung herrührenden Kräfte P_1 und P_2 schließen, die nunmehr bei der Betrachtung des Kräftespiels zusätzlich anzutragen sind, siehe Bild 2.10. Anlage 5.6 zeigt die Verformung an einem der durchgeführten Versuche.



Bild 2.10 Zur Wirkungsweise des geraden Hakenblatts mit Verstärkung

Während durch die Kräfte P_1 , vor allem die Querkzugbeanspruchung im Schnitt I-I verringert wird - in einem weiten Bereich aber auch die Biegebeanspruchung des Hakenhalses, werden die Querkzugkräfte im Schnitt III-III vorwiegend von den Kräften P_2 der Verstärkung aufgenommen. Dies führt dazu, daß nunmehr die Tragfähigkeit im Schnitt I-I (Abscheren) und im Schnitt II-II (Zug und Biegung) der Bemessung der Verbindung zugrundegelegt werden kann. Dagegen braucht die Querkzugbeanspruchung in den

Schnitten I-I und III-III bei der verstärkten Hakenblatt-Verbindung üblicher Holzbalken rechnerisch nicht berücksichtigt zu werden.

2.6 Bemessung

2.6.1 Vorschlag zur Festlegung der zulässigen Tragkraft und der Bemessungsgleichungen

Wie in Abschnitt 2.5 dargelegt, sind für die Bemessung des verstärkten Hakenblatts nach Bild 2.11 folgende drei Nachweise zu führen:

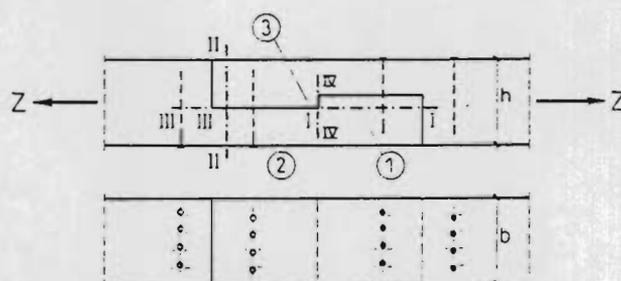


Bild 2.11 Zur Bemessung des geraden Hakenblatts mit Verstärkung, Ansicht, Draufsicht

① Haken, ② Hakenhals, ③ Stirn

a) Sicherheit des Hakens gegen Abscheren im Schnitt I-I:
Um der in Bild 2.7 dargestellten ungleichmäßigen Verteilung der Scherspannungen über die Hakenlänge und dem damit verbundenen Spannungsmaximum am vorderen Ende des Hakens Rechnung zu tragen und um die kombinierte Beanspruchung des Hakens auf Abscheren und Querkraft zu berücksichtigen, wird vorgeschlagen, den Haken nur zu 3/4 seiner Länge in Ansatz zu bringen.

Somit ergibt sich die zulässige Zugkraft $zul^* Z$ ¹⁾ zu

$$zul^* Z = 3/4 \cdot b \cdot l_H \cdot zul \tau_a \quad (2.5)$$

und der Spannungsnachweis zu

$$\tau_a = 3/4 \cdot \frac{Z}{b \cdot l_H} \leq zul \tau_a$$

b) Sicherheit des Hakenhalses gegen Biegezugbruch im Schnitt II-II: zulässige Zugkraft

$$zul^* Z = \frac{1}{K} \text{ mit } k = \frac{1}{A_n \cdot zul \sigma_{Z\parallel}} + \frac{4}{4 \cdot W_n \cdot zul \sigma_B} \cdot (1 - d/h) \quad (2.6)$$

Spannungsnachweis

$$\frac{Z/A_n}{zul \sigma_{Z\parallel}} + \frac{\frac{Z \cdot h}{4 \cdot W_n} \cdot (1 + d/h)}{zul \sigma_B} \leq 1$$

c) Sicherheit der Stirnfläche des Hakens im Schnitt IV-IV:

Zulässige Zugkraft

$$zul^* Z = b \cdot d \cdot zul \sigma_{D\parallel} \quad (2.7)$$

Spannungsnachweis

$$\sigma_{D\parallel} = \frac{Z}{b \cdot d} \leq zul \sigma_{D\parallel} \quad (2.8)$$

Dabei sind die zulässigen Spannungen ($zul \tau_a$; $zul \sigma_{Z\parallel}$; $zul \sigma_B$; $zul \sigma_{D\parallel}$) der Norm DIN 1052 Teil 1 Tab. 5 zu entnehmen. Für die Größen A_n und W_n sind die Fläche bzw. das Widerstandsmoment des Hakenhalses unter Berücksichtigung der durch die Querverbindung (Schraub- oder Rillennägel) verursachten Querschnittsschwächung anzusetzen. Eine Zusammenstellung der Bemessungsgleichungen enthält die Tabelle 2.3

¹⁾ Mit der Bezeichnung $zul^* Z$ (statt $zul Z$) soll darauf hingewiesen werden, daß es sich um einen empfohlenen Wert für die zulässige Zugkraft handelt.

Tabelle 2.3 Bemessungsgleichungen des geraden Hakenblatts mit Verstärkung

1	2	3
Nachweis für Schnitt	Nachweis der empfohlenen zulässige Tragkraft zul* Z	Spannungsnachweis bzw. zugehörige Bemessungsgleichung
I - I, siehe Bild 2.11	$zul*Z = \frac{3}{4} \cdot b \cdot l_H \cdot zul \tau_a$ zul τ_a zulässige Spannung für Abscheren nach DIN 1052 Teil 1	$\tau_a = \frac{4 \cdot Z}{3 \cdot b \cdot l_H} \leq zul \tau_a$
II - II siehe Bild 2.11	$zul*Z = \frac{1}{K}$ $K = \frac{1}{A_n \cdot zul \sigma_{Z }} - \frac{h}{4 W_n \cdot zul \sigma_B} \cdot \left(1 + \frac{d}{h}\right)$ A_n W_n Fläche bzw. Widerstandsmoment des Hakenhalses mit der Höhe $1/2 \cdot (h - d)$, unter Berücksichtigung der Querschnittsschwächung durch die Schraub- oder Rillennägel, siehe DIN 1052 Teil 1 zul $\sigma_{Z }$ zul σ_B zulässige Zug- bzw. Biegespannung nach DIN 1052 Teil 1	$\sigma_{Z } = \frac{Z}{A_n}$, $\sigma_B = \frac{Z \cdot h}{4 W_n} \cdot \left(1 + \frac{d}{h}\right)$ $\frac{\sigma_{Z }}{zul \sigma_{Z }} + \frac{\sigma_B}{zul \sigma_B} \leq 1$
IV - IV siehe Bild 2.11	$zul*Z = b \cdot d \cdot zul \sigma_{D }$ zul $\sigma_{D }$ zulässige Druckspannung nach DIN 1052 Teil 1	$\sigma_{D } = \frac{Z}{b \cdot d} \leq zul \sigma_D$

Für die Querverbindung werden entsprechend den Versuchen Schraub- oder Rillennägel ϕ 5 mm Tragfähigkeitsklasse III empfohlen, und zwar bei Trägerhöhen h bis 12 cm 3 Stück, bei h = 12 cm ... 17 cm 4 Stück, bei h = 17 cm ... 21 cm 5 Stück und bei h > 21 cm 6 Stück und mehr.

Bemerkung: Bei Trägern mit Zug- und Querbelastung ist es aus konstruktiven Gründen i. allg. erforderlich, die Kontaktfuge parallel zur Faser der gestoßenen Hölzer in die Ebene der kürzeren Querschnittsachse zu legen (Auflager im Stoßbereich).

2.6.2 Vergleich der errechneten zulässigen Belastungen mit den Versuchsergebnissen

Wie schon erwähnt, enthält die Tabelle 2.2 für die einzelnen Serien jeweils gegliedert nach den Bruchkriterien die Mittelwerte der Bruchlasten, die zulässigen Belastungen nach Abschnitt 2.6.1; die Bruchsicherheiten

$$\gamma = \frac{\max Z_m}{zul * Z}$$

und den Mittelwert der Verformung bei $zul * Z$.

Es ist erkennbar, daß im allgemeinen die mittlere Verformung bei Bruchlast (Spalte 6) unter 1,5 mm liegt, lediglich in den Fällen, in denen das nicht maßgebende Kriterium zum Bruch führte, wurde diese Verformung überschritten. Eine Ausnahme von dieser Regel bildet die Serie 4. Hier trat beim Versuch Nr. 33 der Bruch wegen Erreichen der Biegezugfestigkeit auf, die Verformung bei $zul * Z$ war mit 2,87 mm unerwartet hoch. Die Ursache hierfür lag in einer schlechten Passung der beiden Probekörper durch nicht maßgenauen Abbund. Dadurch wurde der Schlupf der Verbindung überdurchschnittlich erhöht, siehe Anlage 2. Auf die Höhe der Bruchlast hatte dies keinen Einfluß. Wird dieser Versuch aus der Wertung genommen, so ergibt sich auch hier eine mittlere Verformung bei $zul * Z$ von 1,47 mm.

Die Bruchsicherheit liegt in allen Fällen über 2,75. Nur bei Serie 8 ergab sich ein Wert von 2,6. Dies ist auf den Versuch 73 zurückzuführen. Hier wies der Haken von einem der beiden Probekörper Schwindrisse in der Scherfuge auf. Deshalb lag die Bruchlast mit 42,5 kN sehr niedrig. Wird dieser Versuch aus der Wertung genommen, so ergeben sich für die mittlere Bruchlast (Spalte 4) der Serie 8 ein Wert von 69,4 kN und für die Bruchsicherheit ein Wert von 2,75.

2.6.3 Zur Federkonstanten

Wie die Kraft-Weg-Diagramme der Anlage 2 zeigen, ist der Zusammenhang zwischen Belastung und Verformung der Verbindung annähernd linear. Der Schlupf ist bei paßgenauer Herstellung vernachlässigbar gering. Man kann also für die Verformungsrechnung von einem konstanten Verschiebungsmodul ausgehen.

Spalte 9 der Tabelle 2.2 gibt das Mittel der Federkonstanten der einzelnen Serien an. Der Wert C wurde dabei aus der nach Abschnitt 2.6.1 berechneten zulässigen Belastung und der dazugehörigen Verformung ermittelt. Soll C mit $C = k_c \cdot z_{ul}$ als Funktion der zulässigen Belastung dargestellt werden, so ergibt sich für das Mittel des Abminderungsfaktors k_c aus den Serien 3 bis 6 ein Wert von $0,80 \text{ mm}^{-1}$. Auf die Berücksichtigung der Serien 1 und 2 sowie 7 und 8 wurde hier verzichtet, da sich, wie oben gezeigt, die sinnvolle Anwendung der Hakenblattverbindung auf Hakenhöhen von 2,0 bis 2,5 mm beschränkt. In Serie 4 wurde hier wieder, wie in Abschn. 2.6.2 erläutert, der Versuch 33 unberücksichtigt gelassen.

Unter Beachtung der Kleinstwerte der einzelnen Serien wird für die Bemessung vorgeschlagen, den Wert k_c für die Hakenhöhen von 2,0 bis 2,5 cm mit $0,7 \text{ mm}^{-1}$ in Ansatz zu bringen.

Bemerkung: Wie in Abschn. 2.5 gezeigt wurde, erreicht die Verbindung die größte Festigkeit bei möglichst kurzer Hakenlänge und möglichst niedriger Hakenhöhe. Das Optimum der Verbindung lag bei der aus konstruktiven Gründen gewählten minimalen Hakenhöhe von 2 cm und der zu derselben zulässigen Belastung führenden Hakenlänge von 17,2 cm. Diese Tendenz läßt sich auch in bezug auf die Federkonstanten der Prüfkörper feststellen. Betrachtet man die mittleren Federkonstanten der Serien 1-3, siehe Tabelle 2.4, bei denen unter Beibehaltung der Hakenlänge das Verhältnis d/h von 0,37 auf 0,25 und 0,13 verringert wurde, so nimmt dabei ihr Wert annähernd linear mit der Verringerung von d/h zu.

*Tabelle 2.4 Gerades Hakenblatt mit Verstärkung,
Vergleich der erzielten Federkonstanten*

Serie	Nr.	1	2	3	4	5	6
l_H	cm	28	28	28	24	20	16
$\frac{d}{h}$		0,37	0,25	0,13	0,13	0,13	0,13
mittlere Federkonstante C	$\frac{kN}{mm}$	5,22	6,35	9,65	9,46 ¹⁾	14,63	10,00
1) Werte ohne Versuch 33 siehe Abschnitt 2.6.2							

Bei den Serien 3 bis 6, bei denen unter Beibehaltung der Hakenhöhe die Hakenlänge von 28 cm schrittweise auf 16 cm reduziert wurde, nimmt sie ebenfalls zu.

Die Tatsache, daß bei der Serie 6 (Hakenlänge 16 cm) die Federkonstante wieder abnimmt, erklärt sich folgendermaßen: Die Verformung der Verbindung setzt sich aus zwei Anteilen zusammen, aus der Längsverformung des Hakenhalses und der Schubverformung des Hakens. Bei großer Hakenlänge geht die Schubverformung gegen Null, die Hakenhalsdehnung ist maßgebend.

Bei sehr kurzem Haken wird die Hakenhalsdehnung geringer, aber die Schubverformung des Hakens steigt. Auch hier zeigt sich also, daß das Optimum der Verbindung bei einer Hakenlänge von etwa 20 cm (also $1,25 \cdot h$) liegt.

2.7 Zusammenfassung

Auf Grund von in den Vorversuchen auftretenden Querszugrissen wurde die übliche gerade Hakenblattverbindung durch die Anordnung von Rillennägeln in den gefährdeten Bereichen zusätzlich in Querrichtung verstärkt. Diese Verbindung wurden an insgesamt 50 Prüfkörperpaaren aus europäischem Nadelholz der Güteklasse II. Schnittklasse A-B untersucht.

Die Bestimmung der Bruchlasten erfolgte an Kantholzquerschnitten mit den Abmessungen $b/h = 12/16$ für die Hauptserien und $9/12$ sowie $15/20$ für 2 Sonderserien. In den Hauptserien wurde die Hakenhöhe und die Hakenlänge variiert. Für die Hakenhöhe wurden Werte von 2 cm, 4 cm und 6 cm gewählt, für die Hakenlänge 28 cm, 24 cm, 20 cm und 16 cm. Die Hakenhöhen der Sonderserien betragen 3 cm und 5 cm, die Hakenlängen 15 cm und 25 cm.

Sämtliche Prüfkörper wurden in halbfeuchtem bis frischem Zustand abgebunden und vor der Prüfung in der Trockenkammer auf 10 bis 16% Feuchte heruntergetrocknet.

Die Auswertung der Hauptserien läßt erkennen, daß bei gegebenen Querschnittsabmessungen die aufnehmbare Belastung der Verbindung zum einen vom Verhältnis der Hakenhöhe zur Querschnittshöhe und zum anderen von der Hakenlänge abhängt.

Im Rahmen der untersuchten Verbindungsabmessungen ergab sich ein Optimum der Verbindung bei der minimalen Hakenhöhe von 2 cm und einer Hakenlänge von 24 cm.

Schwindverformungen hatten keinen negativen Einfluß auf die Tragfähigkeit der Verbindung, Schwindrisse nur dann, wenn sie in der Scherebene des Hakens lagen.

Aus den Versuchsergebnissen wurde ein Bemessungsvorschlag entwickelt, bei dem sich die in den Hölzern auftretenden Spannungen aus den Querschnitts- und den Hakenabmessungen ermitteln läßt. Unter Einbeziehung der nach DIN 1052 Teil 1 zulässigen Spannungen kann man ferner die zulässige Belastung der Verbindung errechnen.

3 Das einfache Schwalbenschwanzblatt unter Zugbelastung ¹⁾

3.1 Abmessungen und Anzahl der Versuchskörper:

Für die Versuche wurde ein Kantholz mit dem Querschnitt $b/h = 10/14$, im weiteren "Strebe" genannt, in einen Gurt mit den Abmessungen $b/h = 14/18$ eingeklattet. Die Dicke der Verblattung entsprach der halben Breite der Strebe, also 5 cm, siehe Bild 3.1.

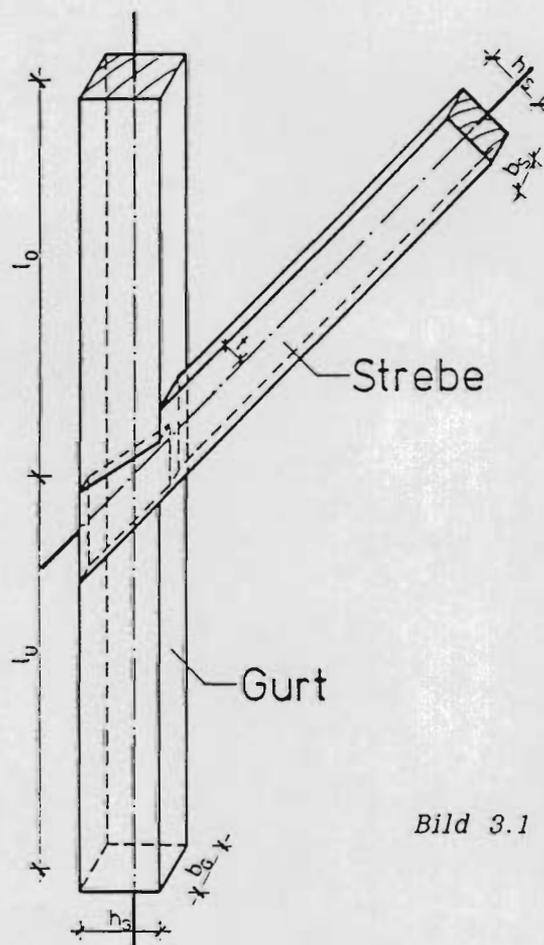


Bild 3.1 Schräges Schwalbenschwanzblatt,
Abmessungen der Prüfkörper

In 5 Hauptserien wurde zunächst die Einkerbung in die Strebe variiert. Die Einschnitttiefe wurde in 1 cm-Schritten von 3 cm auf 7 cm erhöht. Dabei betrug der Anschlußwinkel 45 Grad, siehe Bild 3.2.

¹⁾ siehe auch [19]

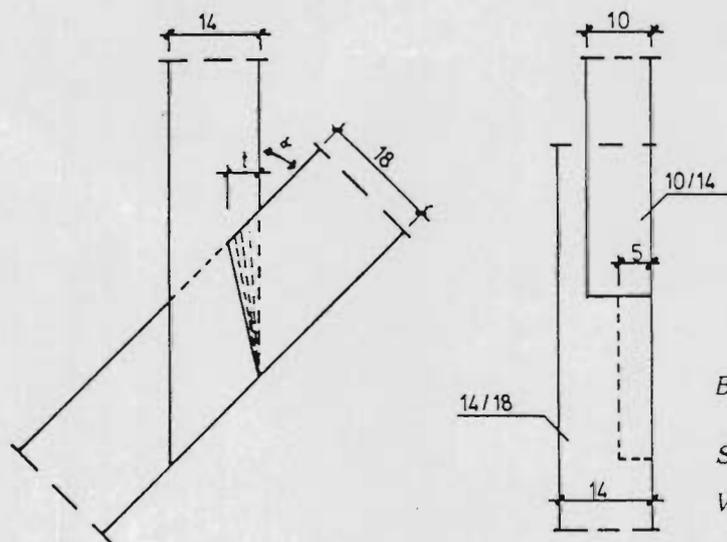


Bild 3.2

Schräges Schwalbenschwanzblatt,
Variation der Einschnittiefen

Anschließend wurde in 2 Sonderserien mit der Kerbtiefe 5 cm der Anschlußwinkel einmal mit 35 Grad und einmal mit 55 Grad ausgeführt. Die Anzahl der Versuche und die Abmessungen der Probekörper sind in Tabelle 3.1 angegeben.

Tabelle 3.1 Schräges Schwalbenschwanzblatt, Anzahl und Abmessungen der Prüfkörper, siehe Bild 3.1

1	2	3	4	5	6	7
Serie	Anzahl	Probekörper				
		Maße				
		t cm	α	l_0 cm	l_u cm	l_D cm
1	6	7,0	45°	87	87	110
2	6	6,0	45°	87	87	110
3	7	5,0	45°	87	87	110
4	6	4,0	45°	87	87	110
5	6	3,0	45°	87	87	110
6	6	5,0	55°	86	86	104
7	6	5,0	35°	89	89	114

3.2 Versuchsdurchführung

3.2.1 Versuchseinrichtung

Die Strebe wurde mittels eines Schlitzbleches lotrecht in die Versuchseinrichtung, siehe Bild 3.3 und Anlage 10.1, eingehängt. Die Auflagerung des mit ihr über das zu prüfende Schwalbenschwanzblatt verbundenen Gurtholzes erfolgte mit 2 Balkenschuhen. Die Balkenschuhe ihrerseits waren über Stahlbänder in der lotrechten Achse der Versuchseinrichtung zugfest am Hallenboden verankert. Durch Verlängerung oder Verkürzung der Stahlbänder konnte der gewünschte Anschlußwinkel zwischen den beiden Hölzern eingestellt werden.

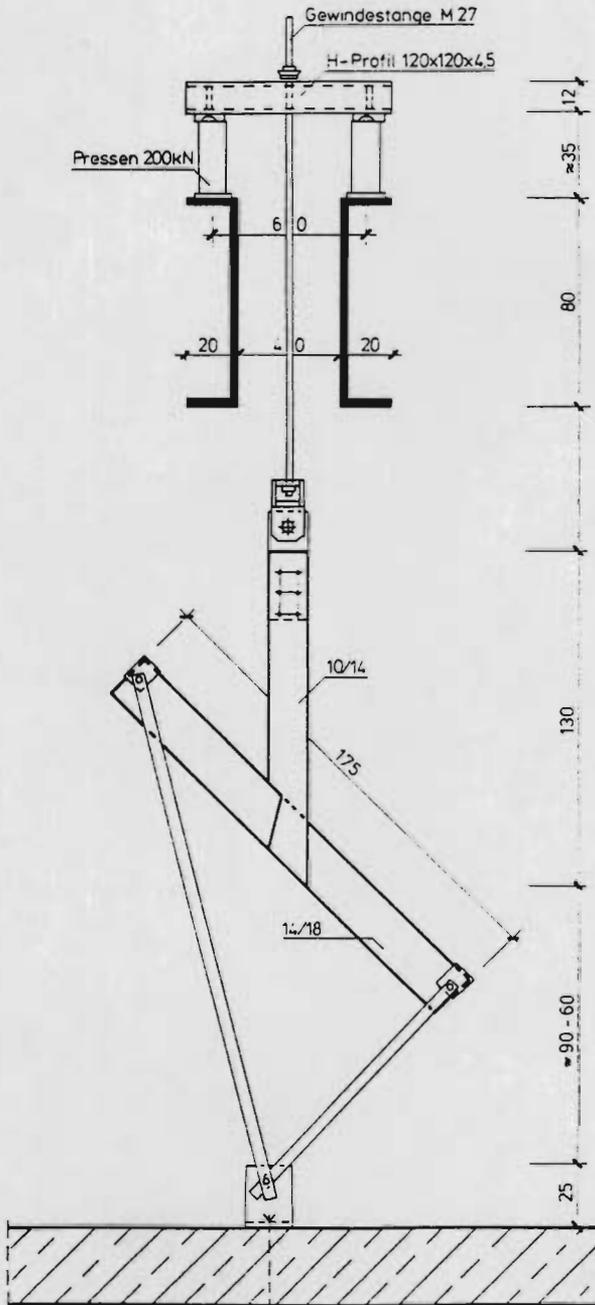


Bild 3.3

Schräges Schwalbenschwanzblatt,
Prüfeinrichtung

3.2.2 Versuchsgrundlagen:

Es wurde auf dieselben Vorschriften wie beim Hakenblatt, siehe Abschn. 2.3.2 zurückgegriffen. Auch hier wurde auf eine Vorbelastung verzichtet, da sich schon bei geringen Lasten beachtliche bleibende Verformungen einstellten.

3.2.3 Erfassung und Aufzeichnung der Meßwerte:

Die Prüflast wurde wieder wie vorher mit einer in die Prüfeinrichtung integrierten Druckmeßdose ermittelt. Die Anordnung der für die Deformationsmessungen erforderlichen induktiven Wegaufnehmer ist dem Bild 3.4 zu entnehmen. Im einzelnen wurden dabei folgende Wege aufgezeichnet:

- M1a,b: Verschiebung der Strebe in ihrer Längsachse relativ zur Unterkante des Gurtes; die Messung wurde auf beiden Seiten des Prüfkörpers durchgeführt.
- M2 : Abspalten der Oberseite des Gurtes im gefährdeten Bereich der Verbindung.
- M3 : Aufweitung der Auskerbung des Gurtes
- M4 : Seitliches Ausweichen der Strebe aus dem Gurt.

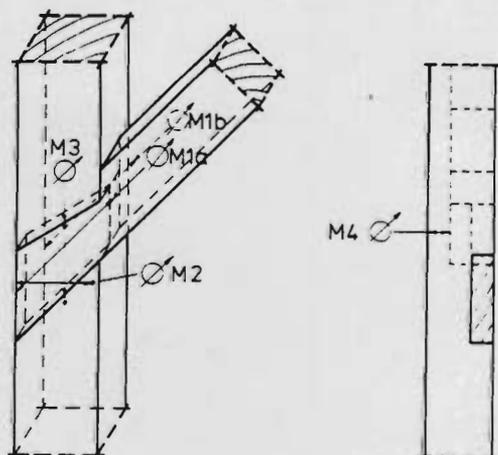


Bild 3.4
Schräges Schwalbenschwanzblatt
Anordnung der Meßgeber

Die Meßwerte wurden wieder mit der schon erwähnten Vielstellenmeßanlage HPM-UPM 60 aufgezeichnet. Der Auswertung wurden jedoch die Plots eines x-y Recorders 26000 A3 zugrunde gelegt, der die Verformungen der Meßstellen M1a und b in Abhängigkeit von der Prüflast aufzeichnete. Dies war erforderlich, da das Kraft-Verformungsdiagramm einen sägezahnförmigen Verlauf aufwies, siehe Anlage 9. Die Kraft stieg hierbei kontinuierlich an, bis die in der Verbindung wirkende Reibungskraft überschritten wurde. Dann wurde die Strebe ruckartig um 0,25-2,0 mm aus dem Gurt herausgezogen, wobei die angreifende Last wieder geringfügig abnahm. Dieses Verhalten wiederholte sich, wobei die relativen Maxima der Prüflast zunächst anstiegen und nach Erreichen des absoluten Maximums langsam wieder abfielen. Ein derartiger Versuchsverlauf konnte nur mit einer analogen Meßwertaufzeichnung hinreichend genau aufgezeichnet werden. Beispielhaft ist in Anlage 9 ein solches Meßprotokoll dargestellt. Zu jedem Prüfkörper wurde wieder ein Datenbogen angelegt, der die Holzfeuchte zum Zeitpunkt des Abbundes und der Prüfung sowie Kernlage, Schwindrisse, Äste und Bruchlast enthält. Des Weiteren wurde auch der in Abschn. 3.3.2 noch genauer behandelte Schlupf der Verbindung notiert. Für die Bestimmung der Rohdichte wurden die Ist-Maße und das Gewicht der Prüfkörper angegeben.

3.3 Ergebnisse und Auswertung der Versuche

3.3.1 Verformungs- und Bruchverhalten der Verbindung

Wie oben erwähnt, verläuft das Kraft-Verformungsdiagramm der Verbindung nicht geradlinig. Die Strebe wurde schrittweise aus dem Gurt herausgezogen, wobei nach jeder Verformung die anliegende Prüflast erst abnahm und dann wieder langsam anstieg, bis es zur nächsten Verformung kam. Betrachtet man nun den Verlauf der so entstandenen relativen Lastmaxima, so ergibt sich nach einer mehr oder weniger deutlichen Phase der

Schlupfverformung ein annähernd linearer Verlauf der Kraft-Verformungslinie, der in der Nähe der absoluten Höchstlast wieder flacher wird.

Nach Erreichen der Höchstlast blieb der Wert der relativen Lastmaxima zunächst annähernd gleich und nahm schließlich wieder langsam ab. Es kam also nie zu einem Bruch, bei dem die Last wieder auf Null abfiel. In Bild 3.5 sind vereinfacht für die Serien 2 bis 5 die Verformungsverläufe dargestellt.

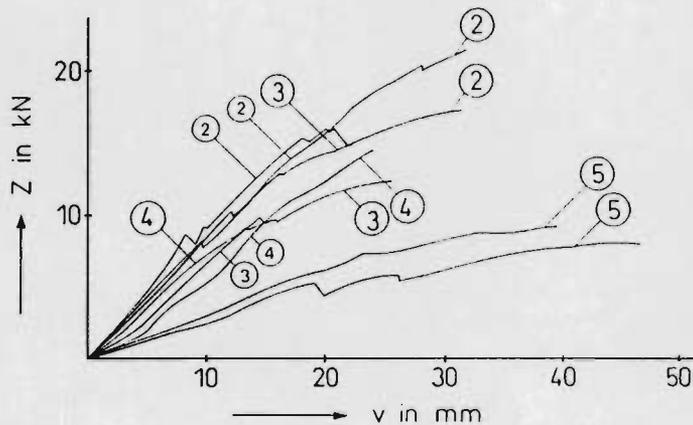


Bild 3.5

Schräges Schwalbenschwanzblatt,
Kraft-Verformungsverläufe der
Serien 2 bis 5 - vereinfacht -

Zum Bruch der Verbindung kam es durch schichtweises Abplatzen der einzelnen Holzschichten im Gurt auf der Seite des stumpfen Anschlußwinkels über dem Blatt der Strebe. Bild 3.6 zeigt schematisch die Ausbildung der zum Bruch führenden Risse an einem Prüfkörper, siehe auch Anlage 10.2 und 10.3. Verantwortlich für den Bruch war also das Erreichen der Quersugfestigkeit im Gurt. Der Bruch begann im allgemeinen durch einen Riß im oberen Drittel des Gurtes. Zu diesem Riß kamen dann weitere Risse hinzu, die im Gurt immer weiter unten angesiedelt waren, siehe Bild 3.6.

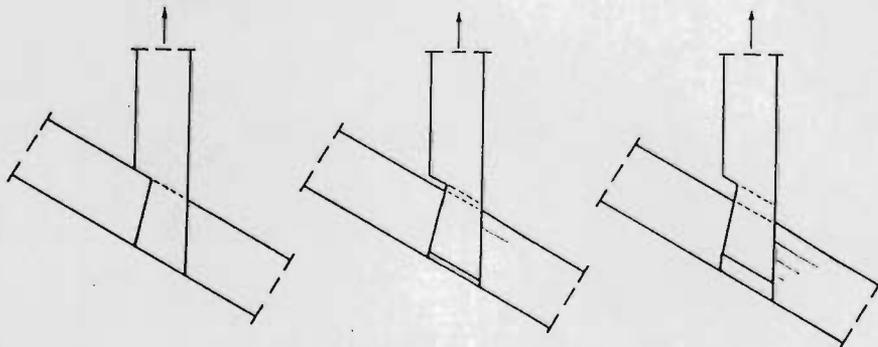


Bild 3.6

Schräges Schwalben-
schwanzblatt,
Rißentwicklung

Betrachtet man die durch das Trocknen hervorgerufene Schwindverformung der Verbindung, Bild 3.7, so ist erkennbar, daß zu Beginn des Versuches die Kraftübertragung im oberen Bereich der Kerbe des Gurtes stattfand. Wenn die obere Schicht des Gurtes abgeplatzt war, wanderte die Berührungsfuge nach unten, und es entstanden neue Risse. Dieser Effekt wird umso deutlicher, je größer die Kerbtiefe der Verbindung wird.

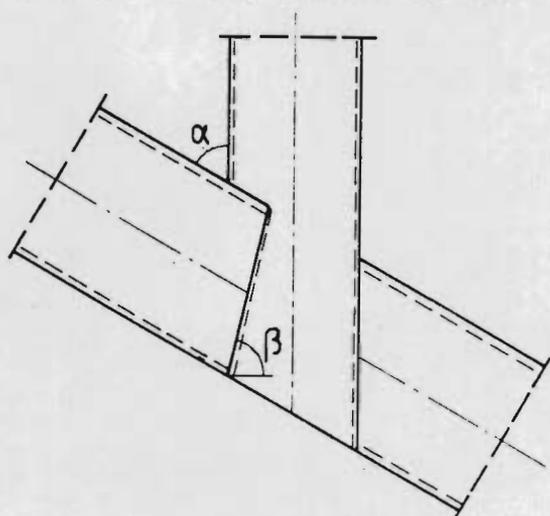


Bild 3.7 Schräges Schwalbenschwanzblatt, Schwindverformung

3.3.2 Zum Schlupf

Aus Bild 3.7 ist auch erkennbar, daß durch das Trocknen der Hölzer nach dem Abbund beträchtliche Schlupfverformungen ermöglicht werden. So ergibt sich z.B. für einen Probekörper der Serie 4 ($h_g = 14\text{cm}$, $t = 4\text{ cm}$, $h_R = 18\text{ cm}$, $\beta \approx 80^\circ$) bei einer Feuchteabnahme der Strebe von nur 1% ein Schlupf s der Verbindung in der Strebenachse von 1,6 mm.

$$s = \tan \beta \cdot \Delta u \cdot \alpha_g \cdot (h_g - t/2) \quad (3.1)$$

Das Schwindmaß wurde dabei mit $\alpha_g = 0,24\%$ für europäisches Nadelholz nach DIN 1052 Teil 1 zugrunde gelegt.

Bei den Versuchen wurde der aus dem Trocknen des Holzes entstandene Schlupf der Prüfkörper gemessen und in Anlage 6 Sp.12 angegeben. Die Prüfkörper wurden so zugeschnitten, daß sie zum Zeitpunkt der Herstellung streng ineinander paßten. Um die, wie oben erläutert, doch erheblichen Schlupfverformungen für die Prüfung zu reduzieren, wurde die entstandene Fuge auf der

nicht bruchgefährdeten Seite des Gurtes mit Eichen-Furnierholzblättchen ausgefüttert. Der noch verbleibende Schlupf von 1 bis 2 mm wurde bei der Verformungsbestimmung unberücksichtigt gelassen.

3.3.3 Definition der Bruchlast

Nicht nur die Verformung aus Schlupf, sondern auch die lastabhängige Verformung der Verbindung waren beträchtlich. Mit Ausnahme von 2 Versuchen war die Verformung bei der maximal aufgenommenen Prüflast über 15 mm. Sie lag im allgemeinen zwischen 20 und 40 mm. Bei Beachtung der im Abschn. 2.4.1 erwähnten ISO-Norm 6891-1983 wurde deshalb als Bruchlast die Last herangezogen, die eine Verformung von 15 mm hervorrief. Nur bei Versuch 3 und Versuch 51 wurde auf die maximal auftretende Prüflast zurückgegriffen.

3.3.4 Darstellung der Versuchsergebnisse

Materialkennwerte sowie die Ergebnisse der einzelnen Versuche sind in Anlage 6 angegeben. Im einzelnen sind in der Anlage enthalten: Die Rohdichte, ermittelt aus Gewicht und Volumen des gesamten Prüfkörpers, die Feuchte zum Zeitpunkt des Abbundes und der Prüfung, die Höchstlasten, die Lasten bei einer Verformung von 15 mm und 1,5 mm, die Verformung bei Höchstlast und der nach Abschn. 3.5.1 festgelegten zulässigen Belastung. Des weiteren enthält die Anlage 6 noch die Steigungen der Kraft-Verformungsdiagramme $\tan \alpha = \frac{z_{ul} \cdot Z}{v} = C$ im unteren linearen Bereich der Diagramme und den durch die Trocknung hervorgerufenen Schlupf. Tabelle 3.2 enthält für die einzelnen Serien die Mittelwerte von Höchstlast und Verformung bei Höchstlast, die zulässige Belastung nach Abschnitt 3.5.1, das Verhältnis von Höchstlast zur zulässigen Last und die Verformungen bei zulässiger Last. Außerdem sind in Tabelle 3.2 noch

die mittleren Federkonstanten, berechnet aus der zulässigen Belastung und der dabei aufgetretenen Verformung, sowie die gemittelten Abminderungsbeiwerte zur Bestimmung der Federkonstante aus der zulässigen Last angegeben. Anlage 7 stellt für die einzelnen Serien die Höchstlasten und die dabei erzielten Verformungen graphisch dar. Die Häufigkeitsverteilungen sind in Anlage 8 angegeben.

Tabelle 3.2 Schräges Schwalbenschwanzblatt, Ergebnisse der einzelnen Versuchsserien (Mittelwerte)

1	2	3	4	5	6	7	8
Serie	Höchstlast max Z ¹⁾	Gesamt- Verformung	Zulässige Belastung zul*Z	Sicherheit max Z $\gamma = \frac{\text{max Z}}{\text{zul*Z}}$	Verformung bei zul*Z	Feder- konstante zul*Z $C = \frac{\text{zul*Z}}{v}$	$k_c = \frac{C}{\text{zul*Z}}$
Nr.	kN	mm	kN ²⁾		mm	kN/mm	mm
1	10,6	30	- 3)	- 3)	- 3)	- 3)	- 3)
2	17,4	24	1,25	14	1,4	1,11	0,9
3	8,5	24	0,85	10	1,6	0,67	0,8
4	7,0	28	0,55	13	1,6	0,38	0,7
5	3,7	45	0,35	11	1,5	0,24	0,7
6	12,3	29	0,85	14	1,4	0,67	0,8
7	6,9	32	0,65	11	1,5	0,46	0,7

1) Ggf. Last bei 15 mm Verformung, gemäß ISO 6891 - 1983
2) Siehe Abschnitt 3.5.1
3) Kerbtiefe t = 7 cm nicht empfohlen, siehe Abschn. 3.5.1

Die Serie 1 mit einer Kerbtiefe von $t = 7 \text{ cm} = 0,5 \cdot h_s$ wurde nur bedingt in die Auswertung einbezogen, da auf Grund der entstehenden Exzentrizität im Blatt der Strebe nur eine maximale Kerbtiefe von $0,4 \cdot h_s$ empfohlen werden kann, siehe auch Abschnitt 3.5.1.

3.4 Wirkungsweise

Das Kräftespiel in dieser Verbindung ist relativ kompliziert. Es soll vereinfachend für einen rechtwinkligen Anschluß dargestellt werden.

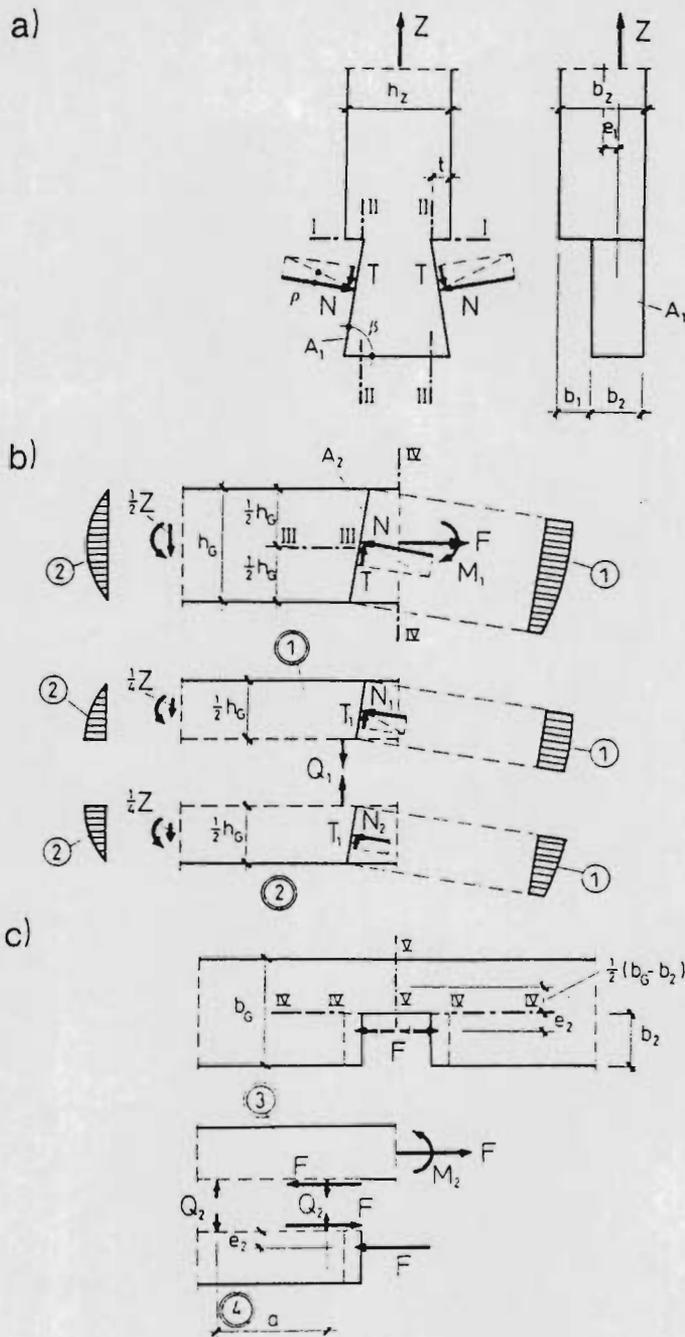


Bild 3.9 Zur Wirkungsweise des rechtwinkligen Schwalbenschwanz-Anchlusses

a) Zugstab; Ansicht, Seitenansicht

b) Gurtstab; Ansicht

Einzelheiten:

① Verteilung der Normalspannungen in der Kontaktfläche A

② Verteilung der Schubspannungen infolge Querkraft im Gurtstab

c) Gurtstab; Draufsicht, Einzelheiten

Bild 3.8 zeigt ein auf Zug beanspruchtes rechtwinkliges Schwalbenschwanzblatt, Bild 3.9 die voneinander losgelösten Stäbe.

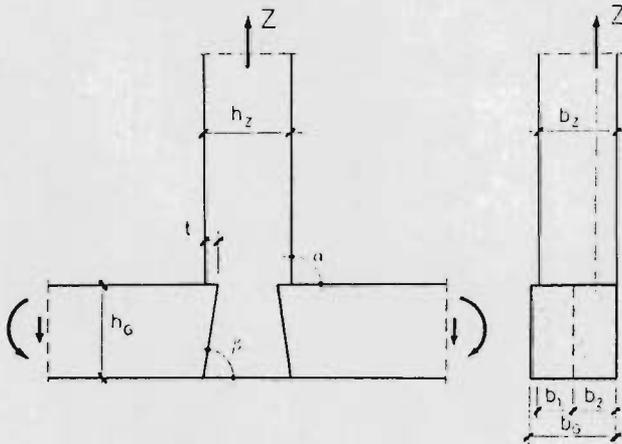


Bild 3.8
Rechtwinkliges, symmetrisches
Schwalbenschwanzblatt

Die Zugkraft Z ist zunächst im Schnitt I-I aufzunehmen, in den Schnitten II-II ist jeweils $1/2 Z$ als Scherkraft zu übertragen. Diese Kraft wirkt auch in den jeweiligen Kontaktflächen zwischen Strebe und Gurt. Sind die beiden Flächen A_1 und A_2 nicht gleich groß, ist für die Bemessung die kleinere Fläche maßgebend. Bei Berücksichtigung der unter der Kontaktpressung entstehenden Reibungskraft T folgt aus dem Kräftegleichgewicht nach Bild 3.10

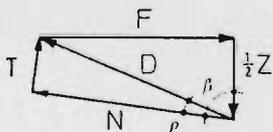


Bild 3.10 Rechtwinkliges Schwalbenschwanzblatt, Kräfteplan

$$N = \frac{1}{2} \cdot Z \frac{\cos \varphi}{\cos (\beta - \varphi)} \quad (3.2)$$

$$T = \frac{1}{2} \cdot Z \frac{\sin \varphi}{\cos (\beta - \varphi)} \quad (3.3)$$

$$F = \frac{1}{2} \cdot Z \cdot \tan (\beta - \varphi) \quad (3.4)$$

Es ist erkennbar, daß bereits eine relativ geringe Zugkraft Z zu einer großen Normalkraft N und zu einer fast ebenso großen Zugkraft F führt.

Die Spannungsverteilung in der Kontaktfuge wird - auch bei paßgenauer Herstellung der Verbindung - nicht symmetrisch sein, siehe die schematische Darstellung in Bild 3.9a und 3.9b. Die Unsymmetrie der Spannungsverteilung führt zu einer Querkzugbeanspruchung im Schnitt III-III siehe Bild 3.9b, die i.allg. bruchauslösend ist. Aus dem Kräftegleichgewicht im Holzteil ① ergibt sich:

$$Q_1 = T_1 \cdot \cos\beta + N_1 \cdot \sin\beta - \frac{1}{4} Z \quad (3.5)$$

und mit $T_1 = N_1 \cdot \tan\varphi$ (3.6)

$$Q_1 = N_1 (\sin\beta + \cos\beta \cdot \tan\varphi) - \frac{1}{4} Z \quad (3.7)$$

Auch im Schnitt IV-IV treten Querkzugspannungen auf, wie aus Bild 3.9c ersichtlich ist. Das Momentengleichgewicht am Holzteil ④ liefert:

$$Q_2 \cdot a = F \cdot e_2 \quad (3.8)$$

Die aus Q_2 herrührende Querkzugspannung ist i.allg. geringer als diejenige infolge Q_1 , so daß sie für die Bemessung nicht berücksichtigt zu werden braucht. Der Gurtstab wird weiterhin im Schnitt V-V durch die Zugkraft F und die Biegemomente M_1 und M_2 beansprucht. Je nach der Stützweite des Gurtstabes und der Schwächung im Bereich der Verbindung kann hier ein Biegezugbruch auftreten.

Darüber hinaus wird der Gurtstab - wegen der Exzentrizität des Schwalbenschwanzanschlusses - in einem großen Bereich durch ein Torsionsmoment beansprucht, das zur Erhaltung des Gleichgewichts erforderlich ist und nicht durch Behinderung der Verformung verringert wird. Da eine ständige Torsionsbeanspruchung im Laufe der Zeit i.allg. zu relativ großen Verformungen führt [11], ist es nur dann vertretbar, diese Auswirkung zu vernachlässigen, siehe DIN 1052 Teil 1, wenn die Beanspruchung des Gurtstabes aus der angeschlossenen Zugkraft gering bleibt.

3.5 Bemessung

3.5.1 Vorschlag zur Festlegung der zulässigen Belastung

Eine hinreichend zuverlässige rechnerische Bestimmung der zulässigen Belastung einer Schwalbenschwanzverbindung ist nicht in einfacher Weise möglich. Solange keine weiteren systematischen Versuche mit größeren Stückzahlen vorliegen, in denen insbesondere die Variation der Feuchte der Prüfkörper in die Untersuchung einbezogen wird, werden die in Tabelle 3.2 angegebenen Werte als höchste Zugbelastung der Schwalbenschwanzverbindung empfohlen. Es handelt sich dabei um die gerundeten mittleren Versuchslasten der Serien 2-5, bei einer Verformung von 1,5 mm, wie sie sich aus den Neigungen der Kraft-Verformungslinien ergeben. Sie gelten unmittelbar für einen Anschlußwinkel $\alpha = 45$ Grad, für Kerbtiefen $t = 3 \dots 6$ cm und eine Breite $b_2 = 5$ cm der Kontaktfläche A_2 .

Sie können näherungsweise auch für Anschlußwinkel zwischen 45 Grad und 55 Grad der Bemessung zugrundegelegt werden. Für Anschlußwinkel $\alpha = 35$ Grad wird eine Abminderung von etwa 25% empfohlen. Kerbtiefen $t < 3$ cm und > 6 cm sollten nicht ausgeführt werden, ferner sollte die Kerbtiefe nicht mehr als etwa 40% der Höhe h_s der Strebe betragen. Für $3 < b_2 < 5$ und $5 < b_2 < 6$ können die angegebenen Werte sinngemäß umgerechnet werden.

Es wird darauf hingewiesen, daß die in Tab. 3.2 angegebenen Werte nur bei paßgenauer Herstellung der Verbindung eingehalten werden können. Wie Bild 3.11 zeigt, führen schon geringe Ungenauigkeiten zu einem Schlupf zwischen den zu verbindenden Stäben und können in der Kontaktfläche wesentliche Kraftumlagerungen verursachen. Bei einem konstanten Spiel S_2 in der Kontaktfuge erhält man für den Schlupf S_1

$$S_1 = \tan\beta \cdot S_2 \quad (3.9)$$

d.h., wenn der Schlupf nicht größer als 1 mm werden soll, so darf das Spiel bei einem Winkel $\beta = 80^\circ$ nicht mehr als 0,2 mm betragen.

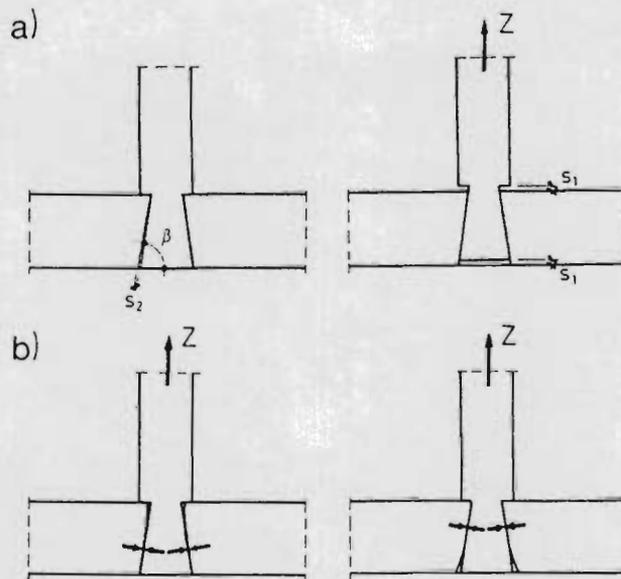


Bild 3.11 Zur Herstellungsgenauigkeit des rechtwinkligen Schwalbenschwanzblattes

- a) Herstellung mit Spiel. Schlupf der Verbindung
 b) Herstellung mit ungleichmäßigem Spiel;
 Kraftumlagerung (Beispiel)

Auf ebenso gravierende Schlupfverformungen aus Schwinden wurde schon in Abschnitt 3.3.2 hingewiesen.

Da eine Verformung von mehr als 1,5 mm für eine Holzverbindung nicht mehr als zulässig anzusehen ist, bedeutet dies:

- Der mit einer Schwalbenschwanzverbindung anzuschließende Zugstab muß bereits bei der Herstellung des Anschlusses soweit getrocknet sein, daß seine Holzfeuchte höchstens dem unteren Wert der Gleichgewichtsfeuchte entspricht.
- Schwalbenschwanzverbindungen sollten in Dauerbauten, bei denen es auf Steifigkeit und Formbeständigkeit ankommt, nicht auf Zug beansprucht werden. Auch bei ausreichender Trocknung der Hölzer vor dem Abbund sowie bei paßgenauer Herstellung des Anschlusses sollten im Hinblick auf die zu erwartenden großen Verformungen nur relativ geringe und nur kurzzeitig wirkende Zugkräfte angeschlossen werden.

3.5.2 Zur Federkonstanten

Die Federkonstante $C = \text{zul} \cdot Z / v$ für die einzelnen Versuche ist in Anlage 6 mit angegeben. Über die Mittelwerte aus den Serien 2 bis 7 gibt die Tabelle 3.2 Aufschluß. Der Abminderungsfaktor

$$K_C = \frac{C}{\text{zul} \cdot Z}$$
 zur Beschreibung von C als Funktion der zulässigen

Belastung ist ebenfalls in Tab. 3.2 angegeben. Es erscheint vertretbar, für alle derartigen Schwalbenschwanzverbindungen überschlägig einen Wert von $k_C = 0,8 \text{ mm}^{-1}$ in Ansatz zu bringen

3.6 Zusammenfassung

Die Überprüfung der ausgewählten Schwalbenschwanzverbindung erfolgte an insgesamt 43 Probekörperpaaren aus europäischem Nadelholz der Güteklasse II, Schnittklasse A-B. Für die 5 Haupt- und 2 Sonderserien wurde ein Zugstab mit den Abmessungen $b/h = 10/14$ mit einem Gurtstab mit dem Querschnitt $b/h = 14/18$ verbunden. In den Hauptserien wurde die Einschnitttiefe in 10 mm-Schritten von 3 bis 7 cm variiert. Der Anschlußwinkel betrug dabei 45 Grad. In den beiden Sonderserien betrug die Einschnitttiefe 5 cm, der Anschlußwinkel 35 Grad und 55 Grad. Sämtliche Prüfkörper wurden wieder in halbfeuchtem bis frischem Zustand abgebunden und vor der Prüfung in der Trockenkammer auf 10 bis 16% heruntergetrocknet.

Die Auswertung der Versuche zeigt eine Abhängigkeit der Bruchlasten und der Verformungen von der Einschnitttiefe. Auf dieser Grundlage wurden überschlägige Werte für die zulässigen Belastungen angegeben.

Allerdings ergibt sich dabei, daß die auf Zug beanspruchte Schwalbenschwanzverbindung, selbst wenn sie paßgenau gearbei-

tet ist und mit der späteren Ausgleichsfeuchte hergestellt wird, nur sehr geringe Kräfte aufnehmen kann und beträchtlichen Verformungen unterworfen ist. Durch die Einbeziehung der Holzrocknung zwischen Abbund und Prüfung ergab sich außerdem eine große Streuung der Versuchsergebnisse, sodaß eine genaue Beschreibung der Ergebnisse in Bemessungsformeln, die über die angegebenen Werte hinausgehen, nicht möglich war. Dies könnte zwar durch weitere systematische Versuche insbesondere unter Einbeziehung der gezielten Variation der Holzfeuchte verbessert werden, erscheint aber aus baupraktischer Sicht nicht sehr sinnvoll, da die Verbindung wegen ihrer geringen Belastbarkeit und ihrer großen Nachgiebigkeit selbst den einfachsten mechanischen Verbindungsmitteln weit unterlegen ist.

4 Der rechtwinklige Stirnversatz ¹⁾

4.1 Abmessungen und Anzahl der Versuchskörper

Wie schon in Abschn. 1.4.1 erläutert, wurde nicht der übliche Stirnversatz geprüft, sondern eine Versatzausbildung, bei der die beiden Kontaktflächen der Verbindung aufeinander senkrecht stehen.

Die für die Versuche gewählten Querschnittsabmessungen betragen für die Druckstrebe $b/h = 12/12$ und für den Gurtstab $b/h = 12/14$. In den insgesamt 7 Hauptserien wurde zunächst die Vorholzlänge mit 90 cm relativ groß gewählt und die Versatztiefe in 3 Schritten variiert. Im einzelnen betrug die Einschnitttiefe $t_v = 1/12 h_G = 1,17 \approx 1,2$ cm, $t_v = 2/12 h_G = 2,34 \approx 2,3$ cm und $t_v = 3/12 h_G = 3,51 \approx 3,5$ cm mit h_G als Höhe des Gurtes. Dann wurde die Versatztiefe mit $t_v = 2,3$ cm fest gewählt und die Versatzlänge in 4 Schritten variiert, und zwar $l_v = 20$ cm, $l_v = 16$ cm, $l_v = 14$ cm und $l_v = 12$ cm. In 2 Sonderserien wurde schließlich noch die Verbindung bei einem Anschlußwinkel von 35 Grad und 55 Grad geprüft. Die Versatztiefe dieser Sonderserien betrug 2,3cm, die Vorholzlänge 90cm.

Tabelle 4.1 Rechtwinkliger Stirnversatz, Anzahl und Abmessungen der Probekörper, siehe Bild 4.1

1	2	3	4	5	6	7
Serie Nr.	Anzahl n	Anschlußwinkel	Versatztiefe t_v [cm]	Vorholzlänge L_v [cm]	Gurtlänge L_G [cm]	Strebenlänge L_S [cm]
1	6	45°	1,17	90	165	116
2	6	45°	2,34	90	165	116
3	7	45°	3,51	90	165	116
4	6	45°	2,34	20	95	116
5	6	45°	2,34	16	91	116
6	3	45°	2,34	14	89	116
7	4	45°	2,34	12	87	116
8	6	35°	2,34	90	165	116
9	6	55°	2,34	90	165	116

¹⁾ siehe auch [19]

Die Abmessungen der Prüfkörper sind in Tabelle 4.1 angegeben, siehe hierzu auch Bild 4.1. Außerdem gibt Tabelle 4.1 auch Aufschluß über die Anzahl der einzelnen Versuche.

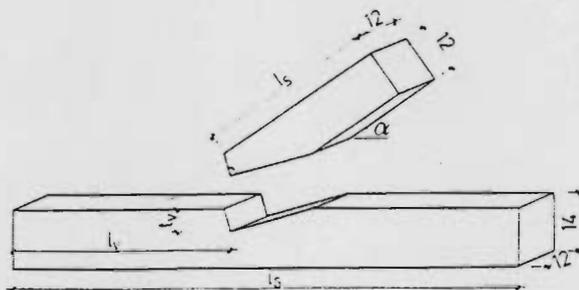


Bild 4.1 Rechtwinkliger Stirnversatz,
Abmessungen der Prüfkörper

4.2 Versuchsdurchführung

4.2.1 Versuchseinrichtung

Für die Versuche wurde der Gurt in schräger Lage in die Versuchseinrichtung eingehängt, siehe Bild 4.2. Am gezogenen Ende wurde der Gurt mittels eines Schlitzbleches und 4 bzw. 6 Bolzen mit der Prüfeinrichtung zugfest verbunden. Lotrecht unter der zu prüfenden Verbindung erfolgte die Auflagerung mit einem Walzenkäfig, so daß an dieser Stelle Bewegungen in der Gurtlängsachse ungehindert möglich waren. Das verbleibende auskragende Ende des Gurtes wurde nicht weiter abgestützt. Der an seinem unteren Ende in der Form der zu prüfenden Verbindung zugeschnittene Druckstab wurde von oben lotrecht in den Gurtstab eingelassen. Als Verbindung zwischen der Druckstrebe und der die Prüflast erzeugenden 100 kN-Pressen, diente ein Vierkant-Hohlprofil aus Stahl. Die Presse selbst war mit dem Hallenportal biegesteif verbunden, siehe auch Anlage 15.1.

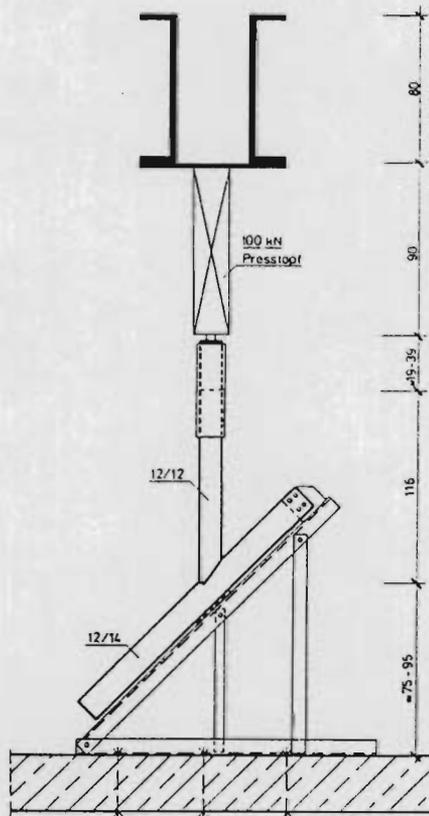


Bild 4.2 Rechtwinkliger Stirnversatz, Prüfeinrichtung

4.2.2 Versuchsgrundlagen

Es gelten, wie für das Hakenblatt und das Schwalbenschwanzblatt, die in Abschnitt 2.3.2 aufgeführten Vorschriften.

Der Versuchsablauf unterscheidet sich von den oben beschriebenen Versuchen dadurch, daß die Probekörper nach einer Vorbelastung von etwa 40% der erwarteten Bruchlast wieder bis zu einer Last von ca. 0,5 kN entlastet wurden und dann die Last erneut bis zum Bruch gesteigert wurde.

4.2.3 Erfassung und Aufzeichnung der Meßwerte

Wie schon bei den oben beschriebenen Versuchen wurde auch hier die Prüflast mit einer in die Prüfeinrichtung integrierten Druckmeßdose aufgenommen. Diese Meßdose wurde zwischen Presse und Druckstab montiert. Die Lage der für die Deformationsmessungen erforderlichen Wegaufnehmer ist dem Bild 4.3 zu entnehmen. Dabei wurden folgende Wege aufgezeichnet:

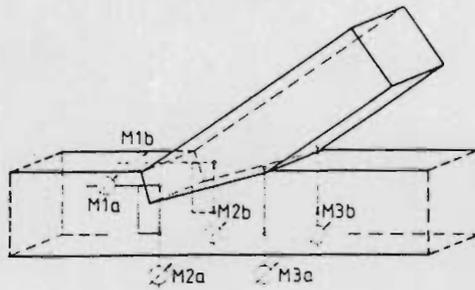


Bild 4.3

Rechtwinkliger Stirnversatz,
Anordnung der Meßwertgeber

- M1 a/b: Verschiebung des Stirnbereiches des Druckstabes in Richtung der Längsachse des Gurtes relativ zur unteren Hälfte des Gurtes.
- M2 a/b: Verschiebung des Stirnbereiches des Druckstabes rechtwinklig zur Achse des Gurtes relativ zur unteren Hälfte des Gurtes
- M3 a/b: Verschiebung des hinteren Endes der Kontaktfläche des Druckstabes rechtwinklig zur Achse des Gurtes relativ zur unteren Hälfte des Gurtes

Sämtliche Messungen wurden auf beiden Seiten der Verbindung durchgeführt. Die Aufzeichnung der Meßwerte erfolgte wieder mit einer Vielstellenmeßanlage HPM-UPM60, die Auswertung mit einem Rechner HP 85.

Zur Kontrolle wurden während der Versuche mit einem x-y-Recorder 26000 A3 die Meßwerte der Wegaufnehmer M1a und M2a in Abhängigkeit von der Prüflast aufgezeichnet.

Zu jedem Prüfkörper wurde auch hier ein Datenbogen mit Angaben über die Holzfeuchte (zum Zeitpunkt des Abbundes und der Prüfung), die Lage des Kerns, über Schwindrisse und Äste sowie über die Ist-Maße und das Gewicht zum Zeitpunkt der Prüfung angelegt.

4.3 Ergebnisse und Auswertung der Versuche

4.3.1 Verformungs- und Bruchverhalten der Verbindung

Sämtliche Probekörper wurden paßgenau hergestellt. Die mit dem Trocknen verbundenen Schwindverformungen führten jedoch dazu, daß sich an der Kerbfläche der Verbindung eine Fuge bildete, die sich zum hinteren Ende hin öffnete, siehe Bild 4.4 und Anlage 15.5.

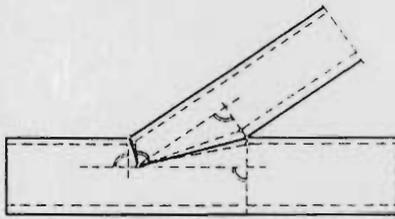


Bild 4.4 Rechtwinkliger Stirnversatz,
Klaffung im hinteren Bereich
der Kontaktfuge durch
Schwindverformungen

In Fällen, in denen sich in der Strebe ein seitlicher Riß bildete, konnte es zusätzlich zu einer offenen Fuge im vorderen Bereich der Kerbflächen kommen, siehe Bild 4.5 und Anlage 15.6.

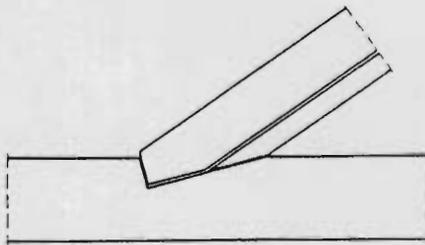


Bild 4.5 Rechtwinkliger Stirnversatz,
Klaffung im vorderen Bereich
der Kontaktfuge durch
Schwindrisse

Zu Beginn der Lastaufbringung paßten sich die Kontaktflächen der Hölzer einander an, und die Fugen schlossen sich. Diese Phase ist in den Kraft-Weg-Diagrammen der Anlage 12 an der anfänglich noch relativ geringen Steigung zu erkennen. Sobald der kraftschlüssige Kontakt zwischen den Hölzern hergestellt war, ergab sich ein annähernd linearer Verlauf. Erst kurz vor dem Bruch nahm die Verformung wieder überdurchschnittlich zu. Der Bruch selbst kam dadurch zustande, daß die oberste Schicht des Gurtes ganz oder teilweise abscherte oder daß die Pressung an der Versatzstirn den plastischen Bereich erreichte, siehe

Anlage 15.2 bis 15.4. Dann bohrte sich die Druckstrebe immer weiter in den Gurt, wobei die Prüflast oft noch weiter anstieg, allerdings nicht in demselben Maße wie vor dem Erreichen der Plastizitätsgrenze. Die plastische Verformung betraf in diesen Fällen sowohl die Druckstrebe als auch den Gurtstab, siehe Anlage 15.7 und 15.8.

Betrachtet man die Verformung getrennt nach ihren Komponenten parallel und rechtwinklig zur Achse des Gurtstabes, so zeigt sich, daß nach der erwähnten Schlupfphase die Querverformung des Gurtstabes schneller zunimmt als die Längsverformung. Erst bei Erreichen des plastischen Bereiches nimmt die Längsverformung mehr zu als die Querverformung. Die Verformung der Verbindung im Gebrauchslastbereich resultiert also in erster Linie aus der Pressung des Gurtstabes rechtwinklig zu seiner Achse. In Bild 4.6 sind exemplarisch die Kraft-Verformungslinien des Versuches 42, aufgegliedert in die beiden Komponenten rechtwinklig (H) und parallel (L) zur Achse des Gurtstabes, dargestellt.

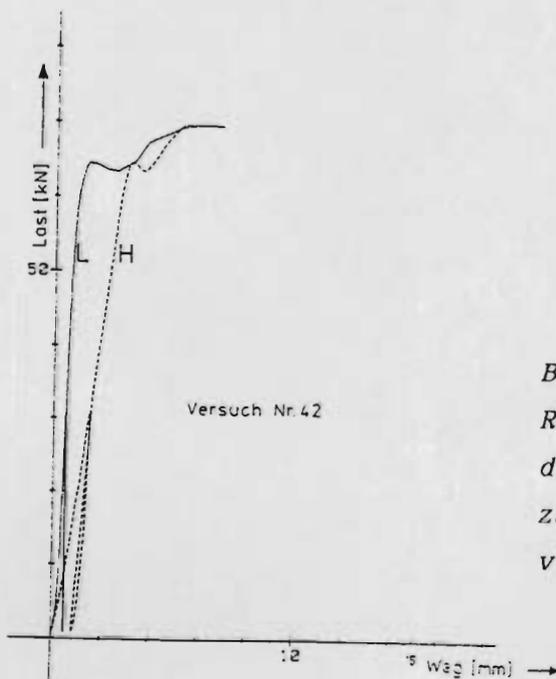


Bild 4.6

Rechtwinkliger Stirnversatz Verformung der Verbindung längs (L) und quer (H) zur Achse des Gurtstabes am Beispiel von Versuch 42

Im allgemeinen wurde bei den Versuchen zunächst die Plastizitätsgrenze erreicht. Die Prüflast stieg dann langsam noch weiter an, bis einzelne Fasern der oberen Schicht des Gurtes aus dem Verband ausbrachen, und es so zu einem manchmal schlagartigen Lastabfall kam. Zu Scherbrüchen vor Erreichen der Plastizitätsgrenze kam es vermehrt in Serie 7, also der Serie mit einer Vorholzlänge von nur 12 cm, und in Fällen, in denen Äste in der zu erwartenden Scherebene zu einer Richtungsänderung der gedrückten Fasern des oberen Bereiches des Gurtes führten.

4.3.2 Definition der Bruchlast

Wie bei den in den vorigen Abschnitten behandelten Verbindungen wurde als Bruchlast die größte gemessene Last vor Abfallen der Prüflast bei weiterem Ansteigen der Verformung als Bruchlast angesehen. Bei noch ansteigender Prüflast auch nach Erreichen einer Verformung von 15 mm wurde wieder die Prüflast bei 15 mm Verformung als Bruchlast gewertet.

4.3.3 Darstellung der Versuchsergebnisse

In Anlage 11 sind die Daten der Versuche der Versatzverbindung zusammengestellt. Im einzelnen enthält die Anlage die Rohdichte, die Feuchte zum Zeitpunkt des Abbundes und der Prüfung, die Höchstlasten, die Lasten bei einer Verformung von 1,5 mm und die Verformung bei Höchstlast und der nach Abschnitt 4.5.1 festgelegten zulässigen Belastung. Bei der für eine Verformung von 1,5 mm erforderlichen Belastung werden 2 Fälle unterschieden. Im ersten Fall - "mit Schlupf" - wird die Verformung von Beginn des Versuches an gewertet. Die Verformung beinhaltet also auch den nicht linearen Anfangsbereich des Kraft-Weg-Diagrammes, in dem sich die durch das Trocknen entstandenen Fugen schließen. Der 2. Fall - "ohne

Schlupf" - basiert auf der Verformung bei der 2. Belastung. Es handelt sich also um die Kraft, die erforderlich ist, um die Verbindung - beginnend von der in diesem Fall vorhandenen Anfangsbelastung von ca. 0,5 kN - um weitere 1,5 mm zu verformen. Die hieraus resultierenden Ergebnisse gelten für Fälle, in denen die Einzelteile der Verbindung paßgenau aufeinander sitzen. Dies ist der Fall, wenn die Hölzer schon beim Abbund die zu erwartende Gleichgewichtsfeuchte aufweisen. Eine paßgenaue Bearbeitung wird natürlich vorausgesetzt.

Darüber hinaus wurde noch die Federkonstante C, also die Steigung der Spannungs-Verformungslinie $\tan \alpha = \text{zul} \cdot D / v$ im Bereich bis 1,5 mm Verformung angegeben. Auch hier wurde unterschieden in den Fall "mit Schlupf" (Erstbelastung) und "ohne Schlupf" (Zweitbelastung).

Tabelle 4.2 Rechtwinkliger Stirnversatz, Ergebnisse der einzelnen Versuchsserien (Mittelwerte)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Serie	Höchstlast max D	zul*D ¹⁾	Sicherheit $\gamma = \frac{\text{max D}}{\text{zul} \cdot D}$	Last bei 1,5 mm Verformung mit Schlupf	ohne Schlupf	Verformung v bei Höchstlast: max v	Verformung bei zul*D ¹⁾ mit Schlupf	ohne Schlupf	Federkonstante $C = \frac{\text{zul} \cdot D}{v}$	
Nr.	kN	kN		kN	kN	mm	mm	mm	mit Schlupf	ohne Schlupf
									kN/mm	kN/mm
1	72,1	7,9	9,1	14,2	36,2	15,0	0,9	0,4	9,8	21,5
2	78,1	16,9	4,8	14,7	32,2	10,2	1,9	0,9	9,7	18,8
3	108,0	25,5	4,2	21,5	40,1	9,4	2,0	1,1	15,0	26,3
4	70,1	16,3	4,3	19,2	41,3	6,8	1,6	0,7	12,0	23,5
5	68,9	16,3	4,3	13,8	37,3	8,3	2,0	0,8	9,9	23,7
6	80,1	16,3	4,9	23,6	45,6	5,9	1,2	0,6	14,4	27,6
7	69,4	16,3	4,3	14,4	39,2	4,7	1,6	0,8	10,0	24,6
2*	72,8	16,3	4,5	16,6	38,3	7,5	1,7	0,8	10,9	23,5
8	83,2	17,4	4,8	18,8	45,2	8,8	1,7	0,6	12,2	31,6
9	95,3	15,7	6,1	13,5	28,1	10,4	2,0	1,1	9,2	17,2

¹⁾ zul*D nach Abschnitt 4.5.1

Tabelle 4.2 gibt für die einzelnen Serien Auskunft über den Mittelwert der Höchstlasten, die nach Abschn. 4.5.1 ermittelte zulässige Last, das Verhältnis von Höchstlast zur zulässigen Last, die mittlere Last bei einer Verformung von 1,5 mm und die gemittelte Verformung bei Höchstlast und bei zulässiger

Last. Außerdem wurde noch die Federkonstante der Verbindung $C = \text{zul} \cdot D/v$ aufgeführt. Die Angaben über die Last bei 1,5 mm Verformung, die Verformung bei $\text{zul} \cdot D$ sowie die Federkonstante C sind wieder unterschieden in den Fall "mit Schlupf" und "ohne Schlupf". Neben den Serien 1 bis 9 wurde noch eine Serie 2* eingeführt, in der die Mittel aus den Serien 2, 4, 5, 6, 7 gebildet wurden. Diese Serien weisen alle eine Einschnitttiefe von 2,2 cm und einen Anschlußwinkel von $\alpha = 45^\circ$ auf. Sie unterscheiden sich nur in den Vorholzlängen.

In Anlage 13 sind für die einzelnen Serien die Höchstlasten und die dabei erzielten Verformungen graphisch dargestellt. Die Häufigkeitsverteilungen der Höchstlasten sind in Anlage 14 angegeben.

4.4 Wirkungsweise

In Bild 4.7 ist der rechtwinklige Stirnversatz dargestellt. Das Kräftespiel in der Versatzverbindung wird deutlich, wenn man wieder die zu verbindenden Hölzer voneinander gelöst betrachtet und die angreifenden Kräfte anträgt, siehe Bild 4.8. Die im Inneren der Hölzer wirkenden Kräfte werden wieder durch die entsprechende Schnittführung "sichtbar". Die eingetragenen Schnittgrößen können mit Hilfe der Gleichgewichtsbedingungen bestimmt werden.

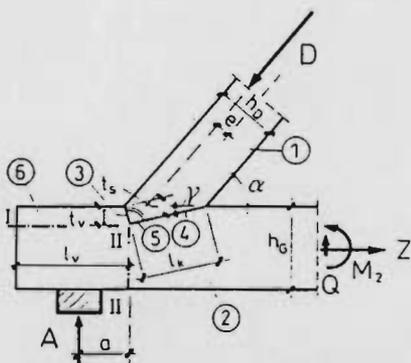


Bild 4.7

Rechtwinkliger Stirnversatz

Bezeichnungen:

- ① Strebe, ② Gurt, ③ Stirnfläche,
- ④ Kerbfäche, ⑤ Grundwinkel,
- ⑥ Vorholz

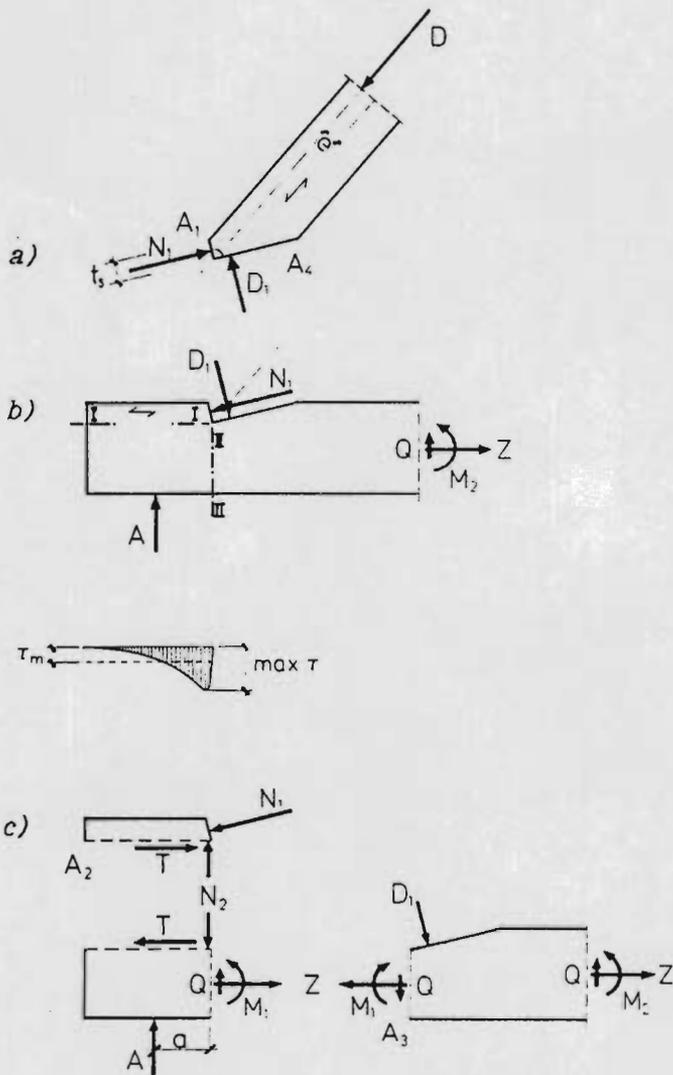


Bild 4.8
Zur Wirkungsweise des
rechtwinkligen Stirnversatzes
a) Strebe b) Gurt
c) Einzelheiten des Gurtes

Wie Bild 4.9 zeigt, gilt beim rechtwinkligen Stirnversatz im Gegensatz zum herkömmlichen Stirnversatz

$$t_v \cdot \tan \gamma + t_v \cdot \frac{1}{\tan \gamma} = h_D \cdot \frac{1}{\sin \alpha} \quad (4.1)$$

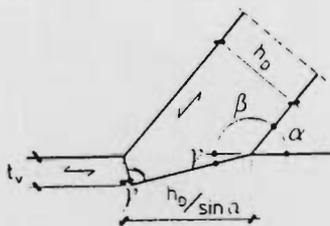


Bild 4.9 Zur Geometrie des rechtwinkligen Stirnversatzes

Daraus wird nach Umformung

$$\sin 2\gamma = 2 \cdot \frac{t_v}{h_D} \cdot \sin \alpha \quad (4.2)$$

Bei gegebener Strebenhöhe h_D lässt sich hieraus für eine bestimmte Einschnitttiefe t_v der Winkel γ berechnen. Somit erhält man für die Stirnfläche

$$A_1 = h_D \cdot b \cdot \frac{\sin \gamma}{\sin \alpha} = t_v \cdot b \cdot \frac{1}{\cos \gamma} \quad (4.3)$$

und für die Kerbfläche

$$A_2 = h_D \cdot b \cdot \frac{\cos \gamma}{\sin \alpha} = t_v \cdot b \cdot \frac{1}{\sin \gamma} \quad (4.4)$$

Die Schnittkräfte kann man nun in einfacher Weise nach Bild 4.8 und 4.10 bestimmen. Es ergibt sich für die Stirnfläche

$$N_1 = D \cdot \cos (\alpha - \gamma) \quad (4.5)$$

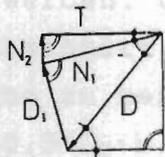


Bild 4.10 Rechtwinkliger

Stirnversatz,

Kräfteplan

für die Kerbfläche

$$D_1 = D \cdot \sin (\alpha - \gamma) \quad (4.6)$$

im Schnitt I-I

$$N_2 = N_1 \cdot \sin \gamma \quad (4.7)$$

$$T = N_1 \cdot \cos \gamma \quad (4.8)$$

und schließlich im Schnitt II-II

$$M_1 = A \cdot a - N_2 \cdot t_v \cdot \frac{\sin \gamma}{2} - T \cdot \frac{h_G - t_v}{2} \approx A \cdot a - \frac{1}{2} T \cdot (h_G - t_v) \quad (4.9)$$

$$Z = T = N_1 \cdot \cos \gamma \quad (4.10)$$

$$Q = A - N_2 = A - N_1 \sin \gamma \quad (4.11)$$

Die Versatztiefe t_v lässt sich mit den Gleichungen (4.3) und (4.5) bzw. (4.4) und (4.6) in Abhängigkeit von der Strebenkraft D , von den Winkeln α und γ sowie von der Breite b ausdrücken.

4.5 Bemessung

4.5.1 Vorschlag zur Festlegung der zulässigen Belastung

Für die Bemessung des rechtwinkligen Stirnversatzes sind zunächst 2 Kriterien von Bedeutung:

- Tragfähigkeit der Versatzflächen (Druck), die jeweils zur Aufnahme der Strebenkraft D bzw. deren Komponenten herangezogen werden. Um die beim Trocknen des Holzes entstehende, in Abschnitt 4.3.1 näher erläuterte Klaffung in der Kerbfläche zu berücksichtigen, sollte die gedrückte Fläche nur mit $0,5 \cdot l_k \cdot b$, aber mindestens mit $1,5 \cdot t_s \cdot b$ in Rechnung gestellt werden. Die Klaffung in der Stirnfläche wird relativ gering bleiben. Folglich werden sich die Kontaktflächen schon bei geringer Belastung aneinander anpassen. Die Klaffung kann deshalb unberücksichtigt bleiben.
- Tragfähigkeit des Vorholzes (Abscheren) im Schnitt I-I.

Darüber hinaus ist

- für die Strebe i.allg. die Ausmitte e der Strebenkraft zu berücksichtigen,
- für den Gurt i.allg. die Tragfähigkeit (Zug und Biegung) im Schnitt II-II nachzuweisen.

Für die Verteilung der Druckspannungen in den Versatzflächen wird von vereinfachenden Annahmen ausgegangen. Es wird die rechnerische durchschnittliche Spannung in der Stirnfläche der zulässigen Spannung gegenübergestellt. Entsprechendes gilt für die Abscherbeanspruchung im Schnitt II-II. Daß hier die maximale Spannung wesentlich über dem Durchschnittswert liegt, wurde bereits bei der Festlegung von zul τ_s berücksichtigt. Jedoch soll deswegen die Vorholzlänge l_v höchstens mit $8 t_v$ in Rechnung gestellt werden. Im übrigen soll aus konstruktiven Gründen l_v mindestens 20 cm betragen.

In Tab. 4.3 sind die Bemessungsgleichungen noch einmal zusammengefaßt.

Tabelle 4.3 Rechtwinkliger Stirnversatz, Bemessungsgleichungen

		Neigung der Kerbfläche γ : $\sin 2\gamma = 2 \cdot \frac{t_v}{h_D} \cdot \sin \alpha$					
		erforderliche Versatztiefe: $t_v = \frac{D \cdot \cos(\alpha - \gamma) \cdot \cos \gamma}{b \cdot \text{zul } \sigma_{D\gamma}(\alpha - \gamma)}$ für $\frac{t_v}{h_D} \leq \frac{1}{2}$ $t_v = \frac{D \cdot \cos(\alpha - \gamma) \cdot \cos \gamma}{b \cdot \text{zul } \sigma_{D\gamma}}$ für $\frac{t_v}{h_D} > \frac{1}{2}$					
		erforderliche Vorholzlänge: $l_v = \frac{D \cdot \cos(\alpha - \gamma) \cdot \cos \gamma}{b \cdot \text{zul } \tau_a} = \frac{\text{zul } \sigma_{D\gamma}(\alpha - \gamma) \cdot t_v}{\text{zul } \tau_a}$ $l_v \leq 8 t_v \text{ und } \geq 20 \text{ cm}$					
		Ausmitte: $e = \frac{t_v}{4} \cdot \frac{\sin(\alpha - \gamma)}{\sin \gamma}$					
D in kN, t_v und b in cm; Voraussetzung: Nadelholz, Güteklasse II ; zul $\sigma_{D\gamma}$, τ_a siehe DIN 1052 Teil 1							
maximal zulässige Einschnitttiefen (DIN 1052, Teil 1) zul $t_v = \kappa_1 \cdot h_G$							
α	$\leq 50^\circ$	52°	54°	56°	58°	$\geq 60^\circ$	
κ_1	0,250	0,233	0,217	0,200	0,183	0,167	

4.5.2 Vergleich der nach Abschnitt 4.5.1 berechneten zulässigen Belastung mit den Versuchsergebnissen

Setzt man die nach Abschn. 4.5.1 ermittelten zulässigen Belastungen ins Verhältnis zu den bei den Versuchen erzielten Höchstlasten, so ergibt sich für die Serien 2 bis 8 ein Sicherheitskoeffizient von 4,2 bis 4,9, siehe Tab. 4.2 Spalte 4. Der Sicherheitskoeffizient der Serie 1, also der Serie mit der geringsten Versatztiefe, beträgt sogar 9,1. Diese unerwartete Festigkeit der Serie 1 beruht darauf, daß in dieser Serie bei allen Versuchen die Plastizitätsgrenze bei weiter ansteigender Prüflast überschritten wurde. Die Höchstlasten wurden also ausnahmslos bei einer Verformung von 15 mm ermittelt, siehe Anlagen 11 und 12. Es stellt sich hier die Frage, ob nicht die

Höchstlast für einen anderen Verformungswert als den der ISO-Norm 6891-19983 von 15 mm definiert werden sollte.

Der Sicherheitskoeffizient der Serie 9 liegt mit 6,1 auch relativ hoch. Auch in dieser Serie kam es in 2 Fällen zu steigender Last bis zu einer Verformung von 15 mm.

Die im Verhältnis zu anderen mechanischen Verbindungsmitteln relativ hohen Sicherheiten erscheinen gerechtfertigt, da durch sie eine Vielzahl von Einflüssen wie z.B. Langzeitverhalten, Holzfeuchte und deren Änderung, dynamische Lasteinflüsse, unterschiedliche Holzqualität und ähnliches abzudecken sind und auch in anderen Fällen entsprechend hohe Sicherheiten gegen die Querkzug- und Schubfestigkeit angesetzt werden.

Betrachtet man die Last bei einer Verformung von 1,5 mm so unterschreitet sie in der Spalte mit Schlupf" in den Serien 2, 3, 5 und 9 die zulässige Belastung um maximal 16%. In der Spalte "ohne Schlupf" überschreitet sie in den Serien 1-8 die zulässige Belastung um mehr als 100%, in Serie 9 um 80%.

4.5.3 Zur Verformungsberechnung

Als Verformung der Verbindung wurde die Verformung des Strebenkopfes in Richtung der Strebenachse relativ zur unteren Hälfte des Gurtes betrachtet. Diese Verformung wurde bei den Versuchen zerlegt in die beiden Komponenten parallel und rechtwinklig zur Gurtachse, siehe Abschn. 4.2.3 mit Bild 4.3. Wie schon in Abschnitt 4.3.1 beschrieben, blieb im allgemeinen die Verformung in Gurtlängsrichtung im Bereich der Gebrauchslast geringer als die in Gurtquerrichtung. Erst im Bereich des Bruches nahm die Längsverformung stark zu. Dieser Sachverhalt wurde schon in Bild 4.6 am Beispiel des Versuchs 42 dargestellt. Lediglich in Fällen, in denen die Prüfkörper starke Schwinddeformationen an der Versatzstirn aufwiesen, kam es auch bei Versuchsbeginn zu stärkeren Längsverformungen.

Es zeigt sich also, daß die Verformung der Verbindung in erster Linie aus der Zusammendrückung des Gurtstabes rechtwinklig zu seiner Achse resultiert.

Nach (3) ist diese Verformung nur in geringem Maße abhängig von der Versatzart.

In Tabelle 4.2 Spalte 10 und 11 sind die Federkonstanten der einzelnen Serien angegeben. Die Werte wurden aus den nach Abschnitt 4.5.1 festgelegten zulässigen Belastungen und den dabei auftretenden Verformungen ermittelt. Aus den Ergebnissen für die Serien 8, 2* und 9 läßt sich für die Federkonstante "ohne Schlupf" in Abhängigkeit vom Anschlußwinkel α eine Regressionsgerade der Form

$$C = 45,2 - 42,1 \cdot \sin^2 \alpha \quad (4.12)$$

errechnen, siehe Bild 4.11. C hat dabei die Dimension kN/mm. Diese Gleichung gilt für Winkel zwischen 30 Grad und 60 Grad, eine Strebenbreite von 12 cm und eine Einschnitttiefe von 2,34 cm. Für Streben mit davon abweichender Breite läßt sich die Federkonstante C auf einfache Weise mit dem Korrekturfaktor

$$K_b = \frac{b}{12}, \text{ mit } b = \text{Breite der Verbindung in cm, umrechnen.}$$

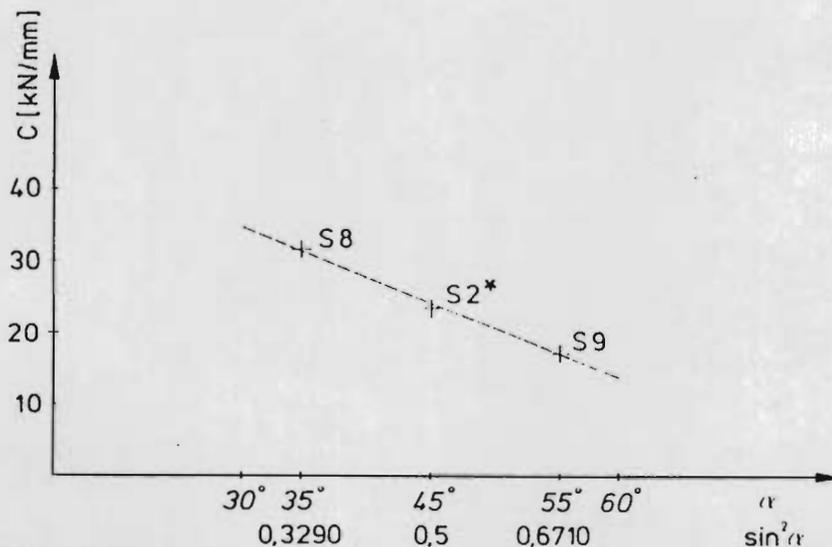


Bild 4.11 Rechtwinkliger Stirnversatz, Regressionsgerade der Federkonstante in Abhängigkeit vom Anschlußwinkel für eine Strebenbreite $b_S = 12\text{cm}$ und eine Einschnitttiefe $t_V = 2,3\text{ cm}$

Auf eine genauere Untersuchung des Einflusses der Versatztiefe wurde wegen der großen Streuung der Versuchsergebnisse verzichtet. Überschlägig ergibt sich bei einem Vergleich von Serie 1 ($t_v = 1,17$ cm), Serie 2* ($t_v = 2,34$ cm) und Serie 3 ($t_v = 3,51$ cm): Eine Verdoppelung der Einschnitttiefe führt zu einer Erhöhung der Federkonstante von ca. 10%. Dieser Einfluß last sich somit durch einen weiteren Korrekturfaktor K_t der Form

$$K_t = 1 + \frac{t_v - 2,34}{2,34} \cdot 0,1 \quad (4.13)$$

einbeziehen.

Die Gleichung für die Federkonstante der rechtwinkligen Versatzverbindung ergibt sich somit in allgemeiner Form zu

$$C = (45,2 - 42,1 \cdot \sin^2 \alpha) \cdot K_b \cdot K_t \quad (4.14)$$

mit $K_b = \frac{b}{12}$ und $K_t = 1 + \frac{t_v - 2,34}{2,34} \cdot 0,1$.

b und t_v haben die Dimension cm, C die Dimension kN/mm.

4.6 Zusammenfassung

Auch die insgesamt 50 Probekorperpaare für den rechtwinkligen Stirnversatz bestanden aus europäischem Nadelholz der Güteklasse II, Schnittklasse A-B. Sie bestanden aus einem Gurtstab mit den Abmessungen $b/h = 12/14$ und einer damit verbundenen Druckstrebe mit dem Querschnitt $b/d = 12/12$. In den 7 Hauptserien wurde zunächst die Versatztiefe in 3 Schritten mit $t_v = 1/12 h_G$, $t_v = 1/6 h_G$ und $t_v = 1/4 h_G$ variiert. Dabei betrug die Vorholzlänge 90 cm. Anschließend wurde bei einer Versatztiefe von $1/6 h_G$ die Vorholzlänge variiert. Sie betrug dabei 20 cm, 16 cm, 14 cm und 12 cm. Der Anschlußwinkel der Hauptserien betrug 45 Grad. In 2 weiteren Sonderserien mit einer Vorholzlänge von 90 cm und einer Einschnitttiefe von $1/6 h_G$ wurde der Anschlußwinkel einmal mit 35 Grad und einmal mit 55 Grad ausgeführt. Bei der Auswertung der Versuche ergab sich

erwartungsgemäß eine Abhängigkeit der Bruchlast von Versatztiefe und Anschlußwinkel.

Auf dieser Grundlage wurden Bemessungsformeln entwickelt, bei denen sich die erforderliche Einschnitttiefe und Vorholzlänge aus der angreifenden Last, dem Strebenquerschnitt und den nach DIN 1052 Teil 1 festgelegten zulässigen Spannungen ermitteln läßt. Die so ermittelten zulässigen Belastungen liegen zwar um ca. 15%-20% unter denen des üblichen Stirnversatzes, weisen aber eine relativ hohe Sicherheit auf. In Tabelle 4.4 werden die beiden Versatzarten für die den Versuchen zugrundeliegenden Abmessungen gegenübergestellt.

Tabelle 4.4 Vergleich der zulässigen Belastungen des herkömmlichen und des rechtwinkligen Stirnversatzes

	1	2	3	4	5
Anschlußwinkel	45°			35°	55°
Einschnitttiefe t [cm]	1,17	2,34	3,51	2,34	2,34
herkömmlicher Stirnversatz; zul*D ₁ [kN]	9,881	19,761	29,642	20,211	19,624
rechtwinkliger Stirnversatz; zul*D ₂ [kN]	7,896	16,293	25,533	17,354	15,678
$\frac{zul*D_2}{zul*D_1}$	0,799	0,825	0,861	0,859	0,799

An dieser Stelle sei noch einmal darauf hingewiesen, daß die angegebenen Werte nur für paßgenau gearbeitete Verbindungen gelten. Das heißt insbesondere, daß die Hölzer schon beim Abbund etwa die zu erwartende Gleichgewichtsfeuchte des Bauteiles aufweisen müssen, sodaß praktisch nicht mit weiteren Schwinddeformationen zu rechnen ist.

Die Versuche waren darauf ausgerichtet, den negativen Einfluß dieser Schwinddeformationen mit einzubeziehen, was zu relativ großen Streuungen der Ergebnisse führte. Es wird deshalb empfohlen, in einem weiteren Forschungsvorhaben die Verbindung mit bei Ausgleichsfeuchte abgebundenen Hölzern zu prüfen, wobei insbesondere der Anschlußwinkel weiter variiert werden sollte.

Zitierte Literatur

DIN 1052 Teil 1 Holzbauwerke; Berechnung und Ausführung (4.88)

DIN 4074 Blatt 1 Bauholz für Holzbauteile; Gütebedingungen für Bauschnittholz (Nadelholz)

ISO 6891-1983 Timber Structures-Joints made with mechanical fasteners-General principles for the determination of strength and deformation characteristics

U.E.A.t.c. - Regel für die Erteilung von Agreements für Nagelplatten als Holzverbindungsmittel

- [1] Batran, B., Frey, V., Husfeld, H. und K. Köhler: Fachstufen Bau Ausbau - Zimmerer. 3. Aufl.-Hamburg: Handwerk und Technik 1983.
- [2] Deinhard, M.: Tragfähigkeit historischer Holzkonstruktionen. Karlsruhe: Bruderverlag 1963
- [3] Dröge, G. und K.H. Stoy: Grundzüge des neuzeitlichen Holzbaues. Band 1: Konstruktionselemente, Berechnung und Ausführung. Berlin, München: W. Ernst & Sohn 1981
- [4] Ehlbeck, J. und R. Hättich: Über die Erforschung des Trag- und Verformungsverhaltens von Knotenpunkten und Verbindungsmitteln alter Holzkonstruktionen. In: Wenzel, F (Hrsg.): Erhalten historisch bedeutsamer Bauwerke. Berlin: Ernst & Sohn 1986 S. 180-190.
- [5] Hinkes, E.J.: Experimentelle und rechnerische Untersuchung zur Ermittlung der Tragfähigkeit von Zapfenverbindungen. Diss. Universität Hannover 1987

- [6] Fonrobert, F.: Grundzüge des Holzbaues im Hochbau.
7. Aufl.- Berlin: Ernst & Sohn 1960
- [7] Huber, G. und Reim A.: Spannungen und Verformungen bei
Lasteintragungen schräg zur Faserrichtung. bauen mit
holz 9 (1982) S. 556-563
- [8] Klassen, L: Handbuch der Holz- und Holzeisen-Construk-
tionen des Holzbaues. Leipzig: A. Felix 1877
- [9] Kress, F.: Der praktische Zimmerer. 7. Aufl.- Leipzig:
O. Maier 1951
- [10] Menzel, C.A.: Das Dach. Halle: G. Knapp 1872
- [11] Möhler, K. und K. Hemmer: Rechnerischer Nachweis von
Spannungen und Verformungen aus Torsion bei einteili-
gen Vollholz- und Brettschichtholzbauteilen.
HOLZBAU-STATIK-AKTUELL, Folge 2 (1977). S. 10-11.
- [12] Mönk, W.: Zimmererarbeiten. 2. Aufl.- Berlin: VEB
Verlag für Bauwesen 1981
- [13] Mönk, W.: Holzbau. 6. Aufl.- Leipzig: VEB Verlag für
Verlag für Bauwesen 1978
- [14] Romberg, J. A.: Die Zimmerwerks-Baukunst in allen ihren
Theilen. 3. Aufl.- Glogau: c. Flemming 1847
- [15] Schelling, W. und F.J. Hinkes: Tragverhalten von Zap-
fenverbindungen. Forschungsbericht. Institut für Bau-
technik und Holzbau, Universität Hannover. Stuttgart
Informationszentrum Raum und Bau 1985
- [16] Staudacher, E.: Der Baustoff Holz. Diss. E.T.H. Zürich
1936

- [17] Wagner, A., Großmann, B. und G. Carstens: Lehrbuch für Zimmerer. 24. Aufl.- Hannover: Schroedel 1976
- [18] Warth, O.: Die Konstruktionen in Holz. 6. Aufl.- Leipzig: J.M. Gebhardt. Reprint Hannover Th. Schäfer 1982.
- [19] Heimeshoff, B., Schelling, W. und E. Reyer: Zimmermannsmäßige Holzverbindungen. In: Entwicklungsgemeinschaft Holzbau (EGH) in der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung (DGfH), München (Hrsg.); Agrarwirtschaft mbH (CMA), Bonn (Hrsg.) in Zusammenarbeit mit dem Bund Deutscher Zimmermeister im ZDB, Bonn, und Arbeitsgemeinschaft Holz e.V. Düsseldorf, 1988.

ANLAGENÜBERSICHT

Anlage 1	Gerades Hakenblatt mit Verstärkung, Materialkennwerte der Probekörper und Versuchsergebnisse	67
Anlage 2	Gerades Hakenblatt mit Verstärkung, Kraft-Verformungsdiagramme	70
Anlage 3	Gerades Hakenblatt mit Verstärkung, Bruchlasten und Dehnungen	79
Anlage 4	Gerades Hakenblatt mit Verstärkung, Häufigkeitsverteilung der Bruchlasten	81
Anlage 5	Gerades Hakenblatt mit Verstärkung, Bilder zur Durchführung der Versuche	82
Anlage 6	Schräges Schwalbenschwanzblatt, Materialkennwerte der Probekörper und Versuchsergebnisse	86
Anlage 7	Schräges Schwalbenschwanzblatt, Höchstlasten und Dehnungen	89
Anlage 8	Schräges Schwalbenschwanzblatt, Häufigkeitsverteilung der Höchstlasten	91
Anlage 9	Schräges Schwalbenschwanzblatt, Beispiel für die Versuchsaufzeichnung mit einem x-y Recorder 26000 A3	92
Anlage 10	Schräges Schwalbenschwanzblatt, Bilder zur Durchführung der Versuche	93
Anlage 11	Rechtwinkliger Stirnversatz, Materialkennwerte der Probekörper und Versuchsergebnisse	95

Anlage 12	Rechtwinkliger Stirnversatz, Kraft-Verformungsdiagramme	98
Anlage 13	Rechtwinkliger Stirnversatz, Bruchlasten und Dehnungen	106
Anlage 14	Rechtwinkliger Stirnversatz, Häufigkeitsverteilung der Bruchlasten	109
Anlage 15	Rechtwinkliger Stirnversatz, Bilder zur Durchführung der Versuche	110

**Anlage 1 Gerades Hakenblatt mit Verstärkung, Material-
kennwerte der Probekörper und Versuchsergebnisse**

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Serie	Prüf- körper	Roh- dichte	Feuchte		Bruch- krite- rium	Bruch- last	Verformung		Feder- konstante
Nr.	Nr.	g/cm ³	Abbund	Prüfung		kN	bei Bruch- last	bei zul*Z ¹⁾	c = zul*Z/v
			%	%			mm	mm	kN/mm
1	1a	0,40	22,0	14,0					
	1b	0,36	20,0	13,5	BZ	38,0	13,0	1,13	5,66
	2a	0,38	20,0	14,0					
	2b	0,35	20,0	14,0	BZ	30,5	5,8	1,25	5,12
	3a	0,34	21,0	13,0					
	3b	0,41	20,0	13,0	BZ	28,9	8,4	1,62	3,95
	4a	0,38	21,0	13,5					
	4b	0,35	20,0	13,5	BZ	23,2	5,2	1,07	5,98
	5a	0,39	21,0	13,5					
	5b	0,38	22,0	13,5	BZ	34,4	12,8	1,21	5,29
	6a	0,31	20,0	12,0					
	6b	0,42	20,0	13,0	BZ	36,1	9,2	1,21	5,29
1) für BZ: zul*Z = 6,4 kN									
2	11a	0,35	22,0	13,0	S	49,0	8,9	3,90	5,82
	11b	0,38	20,0	13,5					
	12a	0,37	20,0	14,5					
	12b	0,37	21,0	15,0	S	49,1	6,7	2,74	8,29
	13a	0,45	20,0	16,0	BZ	44,0	7,2	1,43	6,57
	13b	0,37	21,0	15,5					
	14a	0,32	22,0	16,0					
	14b	0,34	20,0	16,0	BZ	48,1	8,3	1,57	5,99
	15a	0,34	20,0	14,0	BZ	56,2	8,3	1,33	7,07
	15b	0,49	21,0	13,5					
16a	0,35	21,0	14,0						
16b	0,47	20,0	13,5	BZ	39,3	7,2	1,57	5,98	
1) für BZ: zul*Z = 9,4 kN; für S: zul*Z = 22,7 kN									
3	21a	0,36	20,0	13,5					
	21b	0,37	20,0	13,5	BZ	61,9	6,8	1,38	10,07
	22a	0,41	21,0	13,0					
	22b	0,32	22,0	13,5	BZ	41,0	4,3	1,06	13,11
	23a	0,31	20,0	12,5					
	23b	0,45	21,0	12,5	BZ	44,0	10,3	1,33	10,45
	24a	0,43	22,0	12,5	S	67,0	6,8	1,96	11,58
	24b	0,36	21,0	12,5					
	25a	0,38	20,0	13,0					
	25b	0,42	20,0	12,5	BZ	57,0	6,9	2,09	6,65
26a	0,32	22,0	13,5						
26b	0,36	20,0	12,5	BZ	38,7	4,7	1,32	10,35	
1) für BZ: zul*Z = 13,9 kN; für S: zul*Z = 22,7 kN									

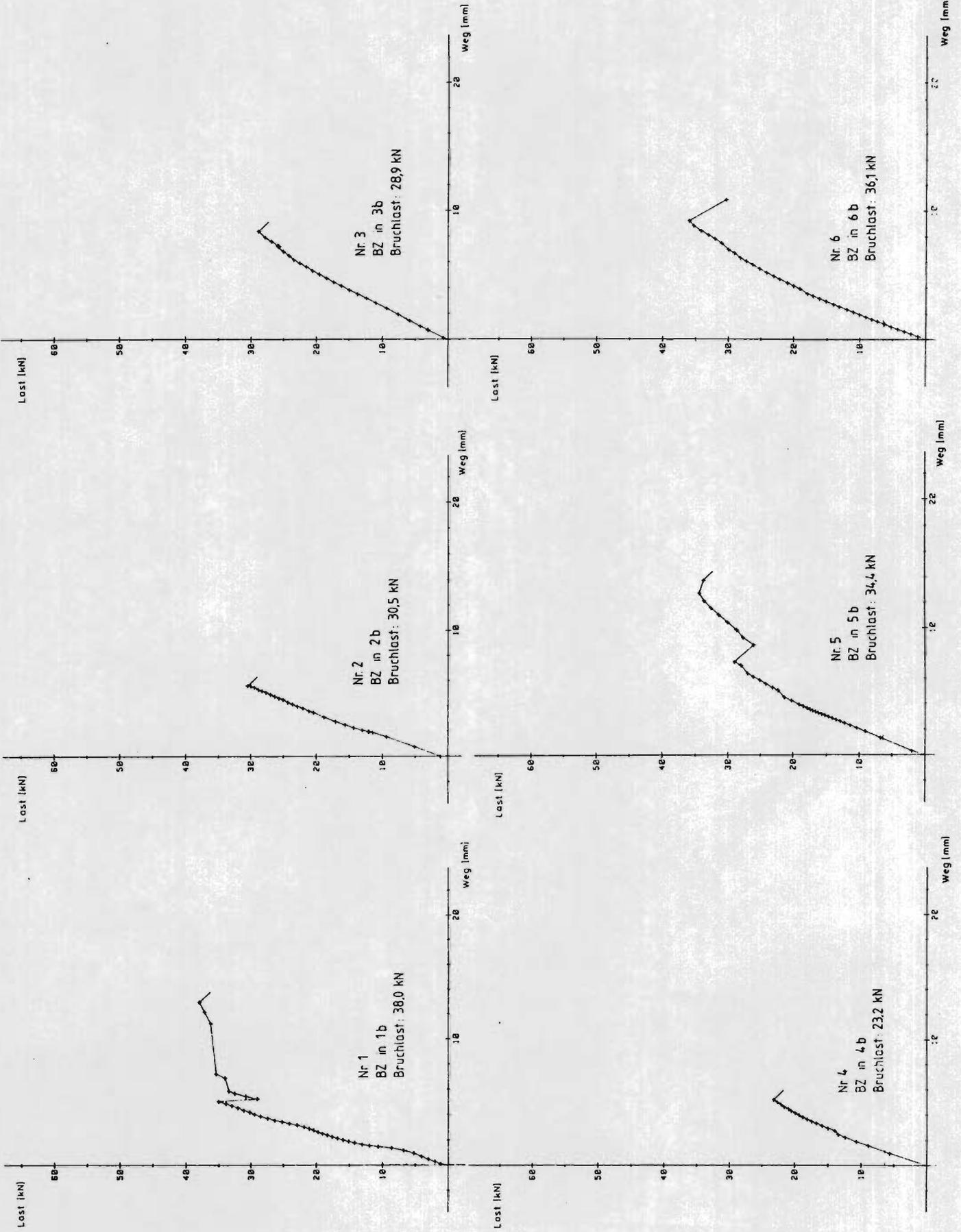
**Anlage 1 Gerades Hakenblatt mit Verstärkung, Material-
kennwerte der Probekörper und Versuchsergebnisse,
Fortsetzung**

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Serie	Prüf- körper	Roh- dichte	Feuchte Abbund	Feuchte Prüfung	Bruch- krite- rium	Bruch- last	Verformung bei Bruch- bei zul*Z ¹⁾ last		Feder- konstante c = zul*Z/v
Nr.	Nr.	g/cm ³	%	%		kN	mm	mm	kN/mm
4	31a	0,46	21,0	13,0	S	64,0			
	31b	0,39	21,0	12,5			5,1	1,38	10,32
	32a	0,36	21,0	12,5	BZ	57,1	4,9	1,50	9,27
	32b	0,43	20,0	12,5					
	33a	0,40	20,0	13,5					
	33b	0,41	20,0	13,0	BZ	50,8	5,9	2,87	4,84
	34a	0,38	21,0	13,5	S	43,2	4,1	1,78	10,90
	34b	0,42	21,0	13,0					
	35a	0,36	21,0	13,0					
	35b	0,43	21,0	13,0	BZ	54,2	6,1	1,43	9,72
	36a	0,46	21,0	13,5			7,0	2,20	8,82
	36b	0,38	22,0	13,5	S	74,0			
1) für BZ: zul*Z = 13,9 kN; für S: zul*Z = 19,4 kN									
5	41a	0,39	20,0	13,5	S	51,2	4,3	0,91	17,80
	41b	0,39	21,0	13,5					
	42a	0,37	22,0	13,5					
	42b	0,36	22,0	13,5	BZ	53,6	4,5	0,95	14,63
	43a	0,46	25,0	14,0	S	54,2	4,2	1,08	15,00
	43b	0,40	22,0	13,5					
	44a	0,36	21,0	12,5					
	44b	0,36	22,0	13,0	BZ	49,0	3,8	0,94	14,79
	45a	0,37	21,0	13,0	S	53,7	5,1	1,79	9,05
	45b	0,38	20,0	12,5					
	46a	0,38	21,0	13,0			3,9	1,22	13,28
	46b	0,38	20,0	12,5	S	45,2			
1) für BZ: zul*Z = 13,9 kN; für S: zul*Z = 16,2 kN									
6	51a	0,37	20,0	13,0			4,4	1,00	13,00
	51b	0,37	20,0	13,5	S	42,6			
	52a	0,38	21,0	14,5	S	36,8	3,4	1,28	10,16
	52b	0,37	22,0	14,0					
	53a	0,46	22,0	14,0	BZ	45,5	4,3	1,10	12,64
	53b	0,40	23,0	14,0					
	54a	0,53	20,0	13,5	S	49,1	5,5	1,70	7,65
	54b	0,40	21,0	13,5					
	55a	0,37	22,0	13,0					
	55b	0,42	22,0	14,0	BZ	39,3	4,9	1,47	9,46
	56a	0,40	20,0	13,0			4,5	1,20	10,83
	56b	0,40	22,0	13,5	S	43,6			
1) für BZ: zul*Z = 13,9 kN; für S: zul*Z = 13,0 kN									

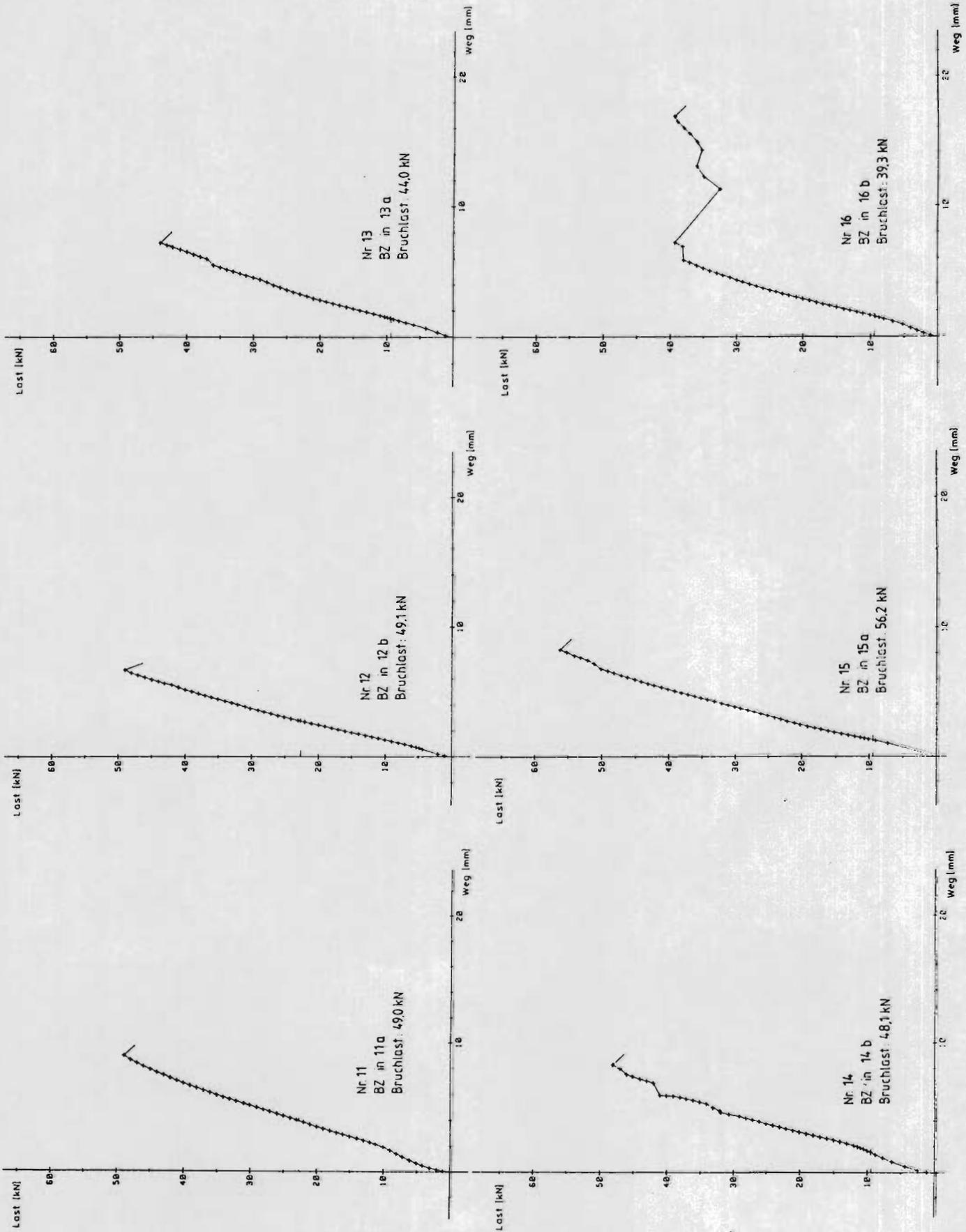
Anlage 1 Gerades Hakenblatt mit Verstärkung, Material-
kennwerte der Probekörper und Versuchsergebnisse,
Fortsetzung

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Serie	Prüf- körper	Roh- dichte	Feuchte Abbund Prüfung		Bruch- krite- rium	Bruch- last	Verformung bei Bruch- bei zul*Z ¹⁾ last		Feder- konstante c = zul*Z/v
Nr.	Nr.	g/cm ³	%	%		kN	mm	mm	kN/mm
7	61a	0,43	20,0	12,5	S	28,9	5,5	1,61	5,65
	61b	0,38	30,0	12,5					
	62a	0,39	35,0	13,0	S	26,8	4,8	1,52	5,99
	62b	0,45	35,0	12,5					
	63a	0,37	35,0	14,0	S	26,0	6,8	1,80	5,06
	63b	0,36	35,0	14,5					
	64a	0,39	35,0	12,5	S	26,1	6,4	1,56	5,83
	64b	0,42	40,0	14,5					
	65a	0,44	35,0	12,5	S	27,6	5,1	1,32	6,89
	65b	0,35	38,0	14,5					
66a	0,41	35,0	13,5	S	27,5	5,0	1,38	6,59	
66b	0,44	38,0	14,0						
1) für S: zul*Z = 9,1 kN									
8	71a	0,42	80,0	16,5	S	69,4	12,7	2,37	10,68
	71b	0,35	80,0	16,0					
	72a	0,46	21,0	13,5	S	78,0	7,4	1,98	12,78
	72b	0,40	21,0	13,5					
	73a	0,41	65,0	16,0	S	42,5	5,9	3,00	8,43
	73b	0,36	75,0	16,5					
	74a	0,33	60,0	16,0	S	67,7	10,1	2,97	8,52
	74b	0,36	65,0	16,0					
	75a	0,34	65,0	15,5	S	59,4	11,8	3,60	7,03
	75b	0,37	65,0	16,0					
	76a	0,38	21,0	14,5	S	75,0	9,6	2,30	11,00
	76b	0,66	21,0	15,0					
	77a	0,42	70,0	15,5	S	67,6	6,6	1,77	14,29
	77b	0,41	65,0	16,5					
78a	0,43	65,0	16,5	S	68,9	7,8	2,60	9,73	
78b	0,30	55,0	16,0						
1) für S: zul*Z = 25,3 kN									

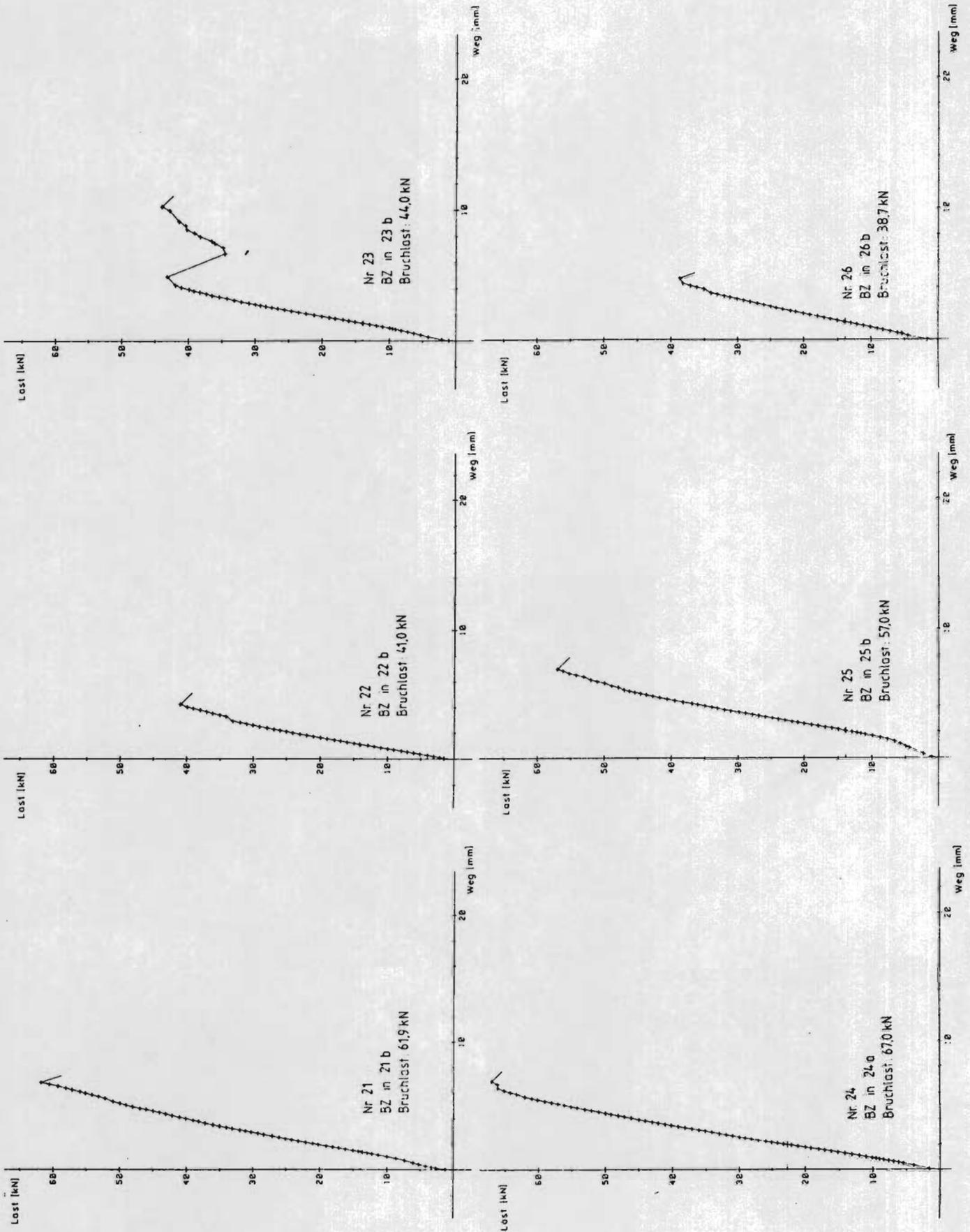
Anlage 2 Gerades Hakenblatt mit Verstärkung, Kraft-Verformungsdiagramme, Serie 1



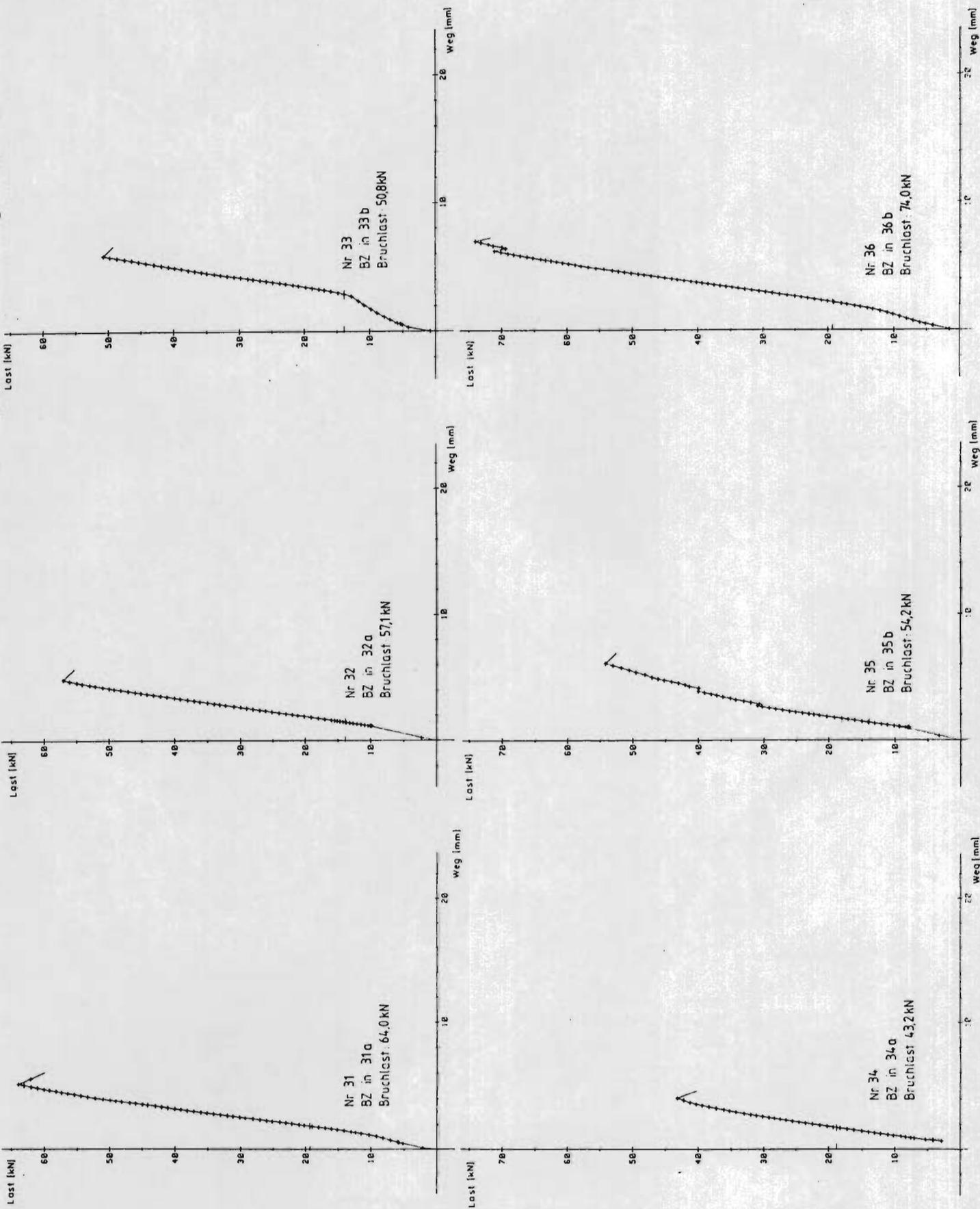
Anlage 2 Gerades Hakenblatt mit Verstärkung, Kraft-Verformungsdiagramme, Fortsetzung, Serie 2



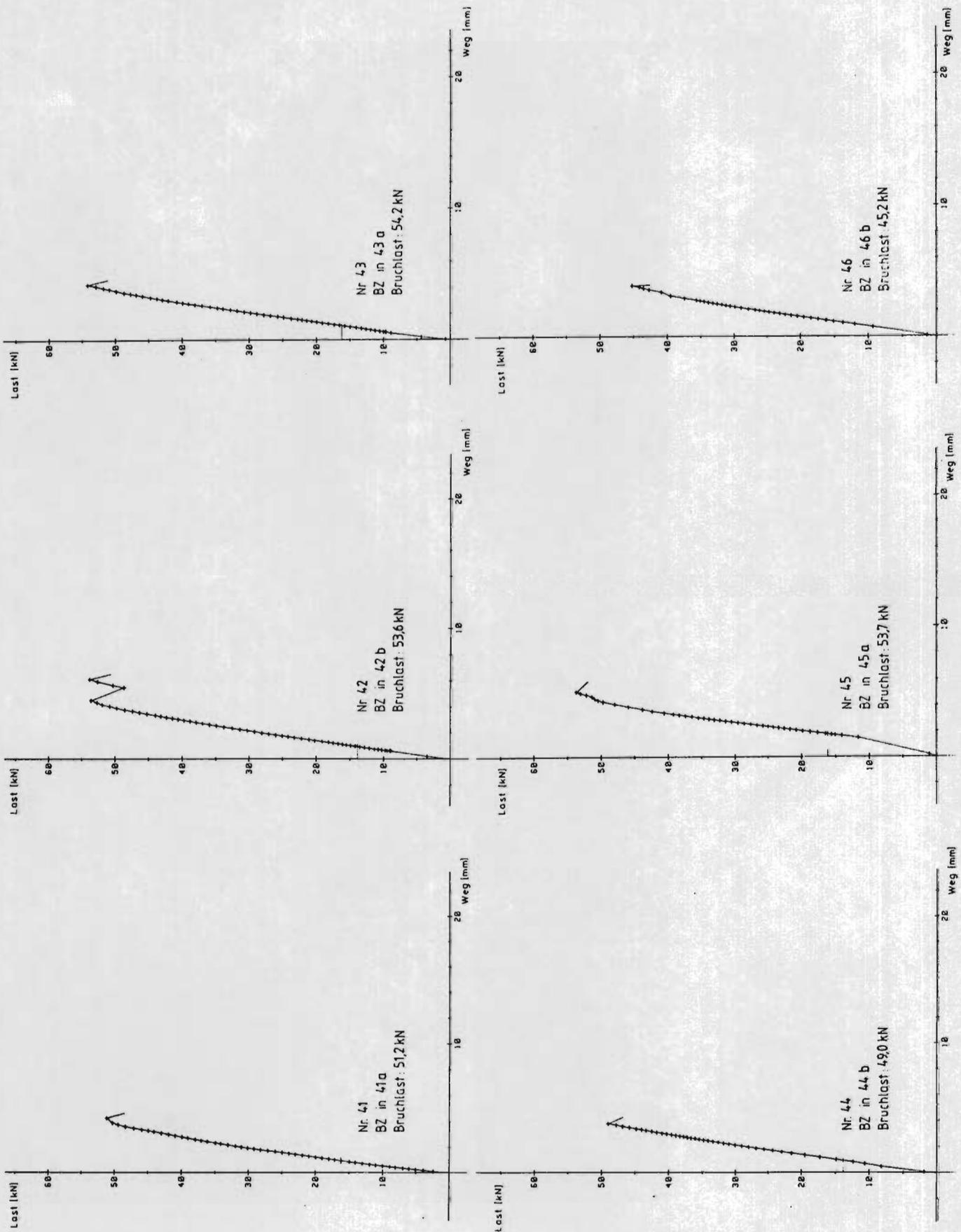
Anlage 2 Gerades Hakenblatt mit Verstärkung, Kraft-Verformungsdiagramme, Fortsetzung, Serie 3



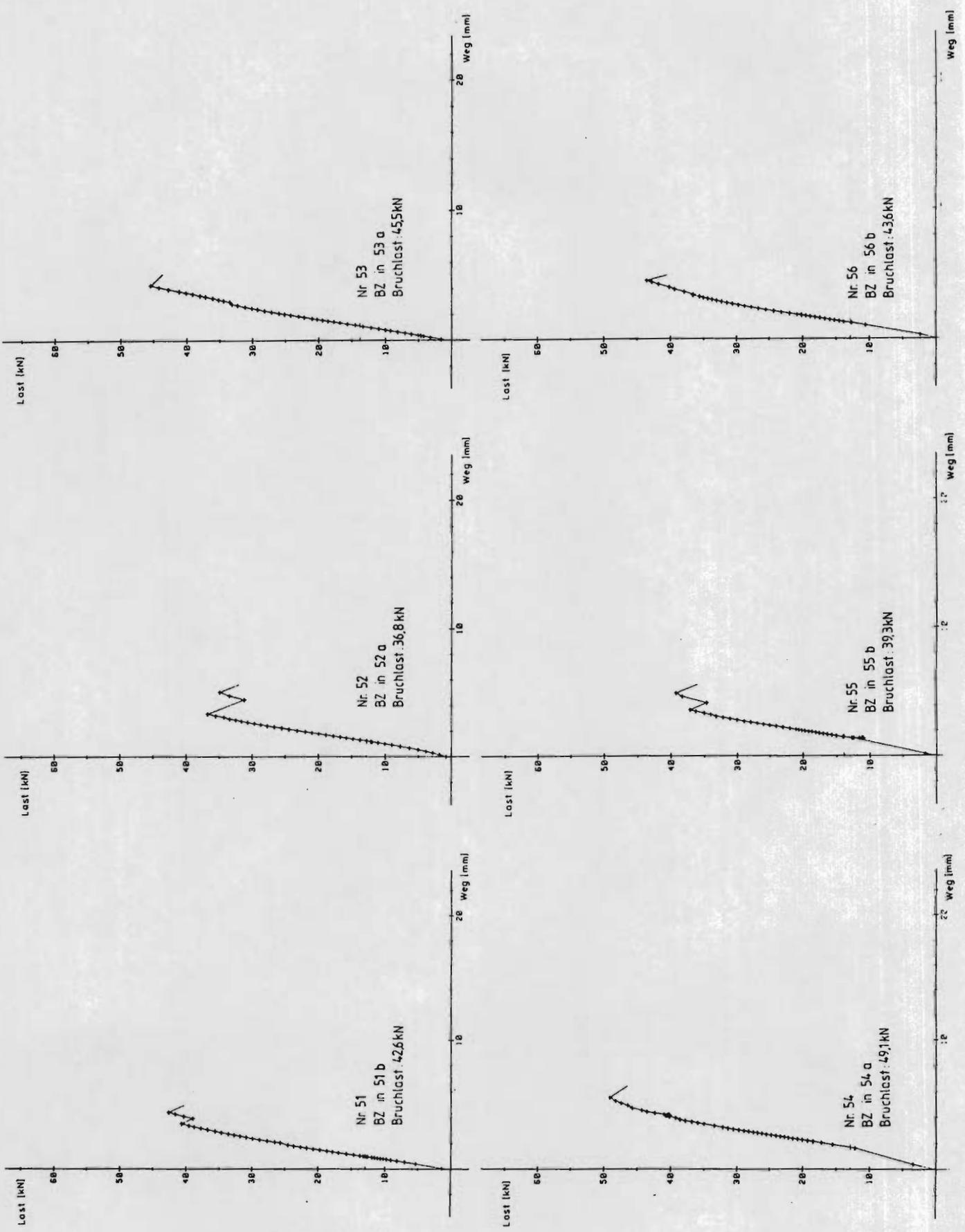
Anlage 2 Gerades Hakenblatt mit Verstärkung, Kraft-Verformungsdiagramme, Fortsetzung, Serie 4



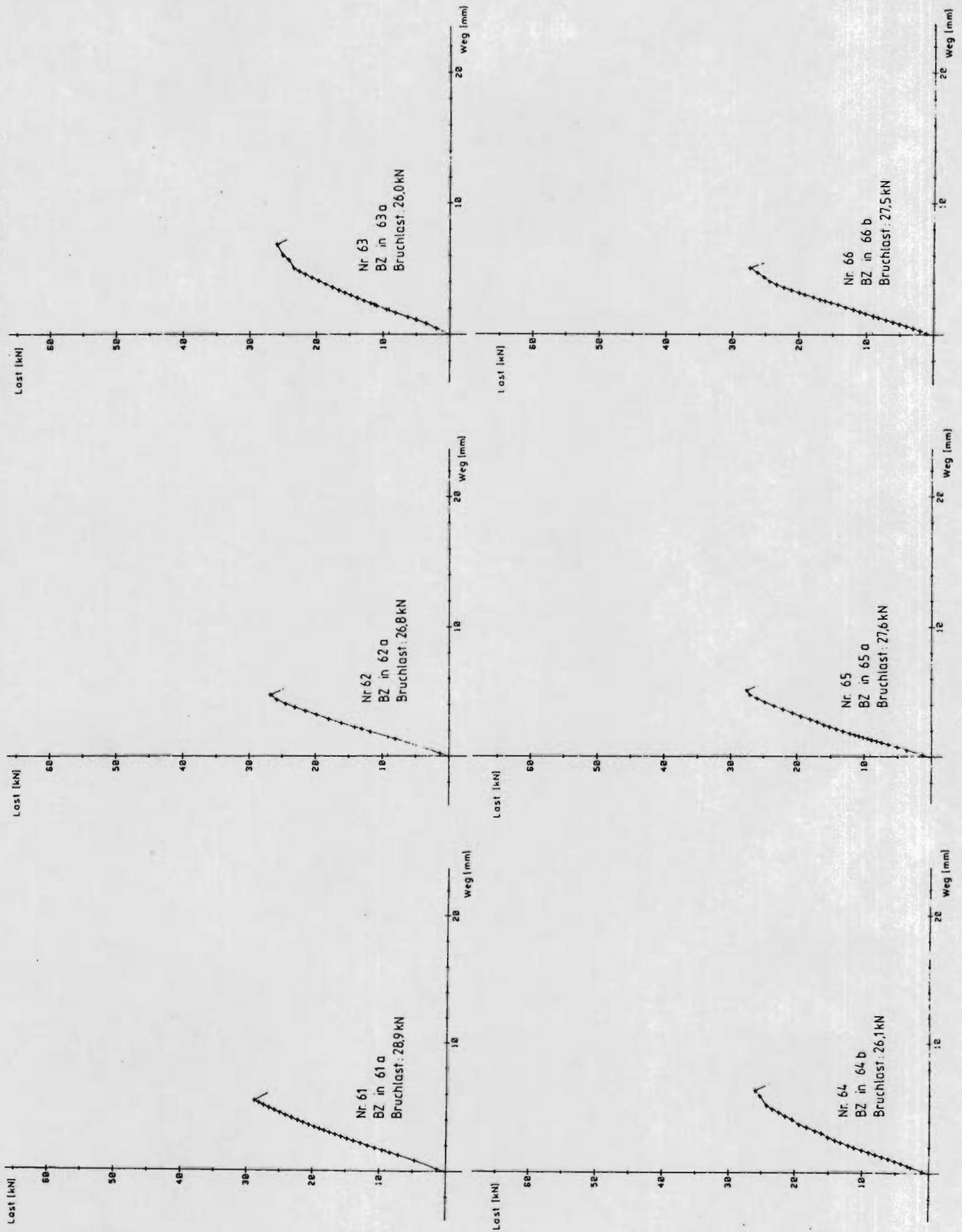
Anlage 2 Gerades Hakenblatt mit Verstärkung, Kraft-Verformungsdiagramme, Fortsetzung, Serie 5



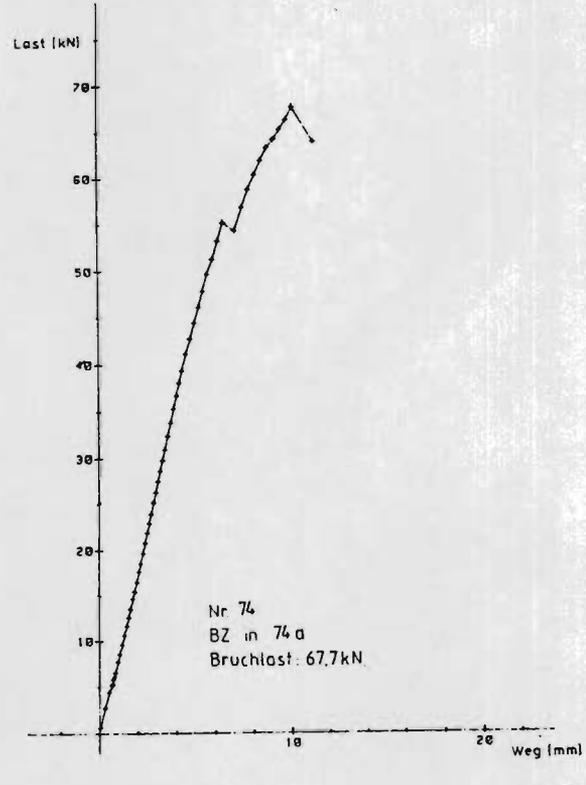
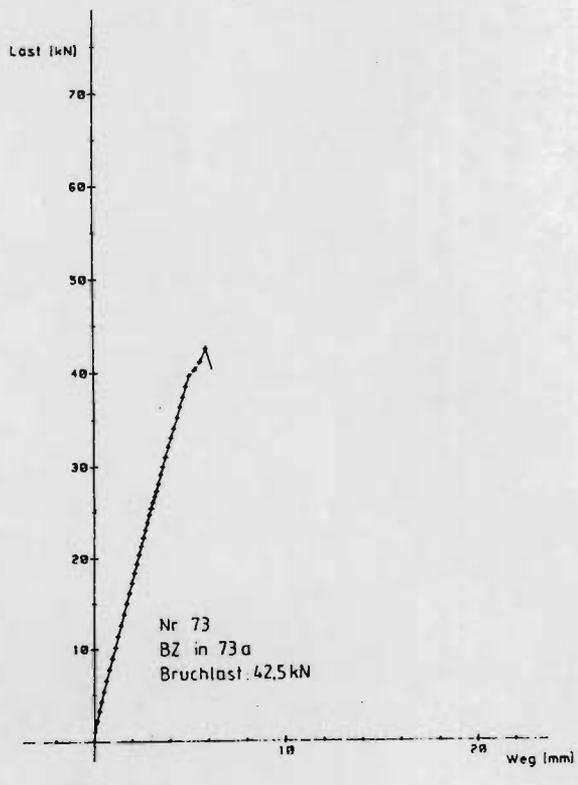
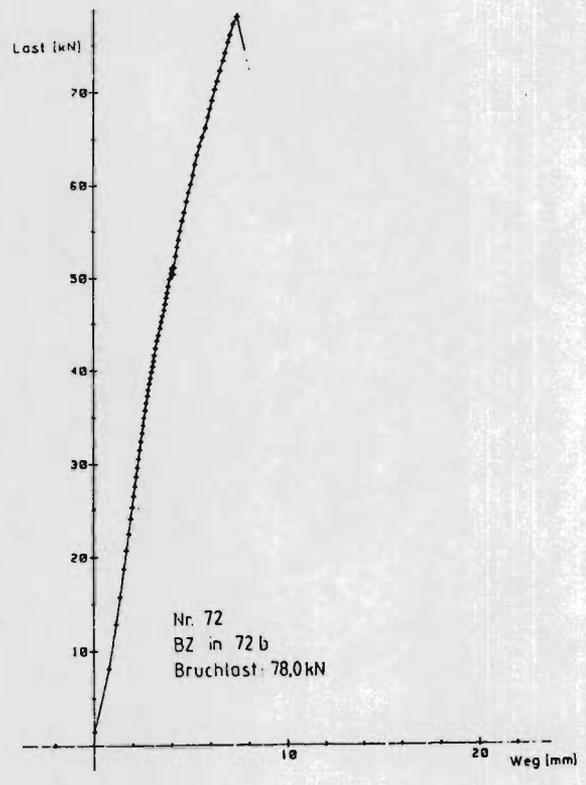
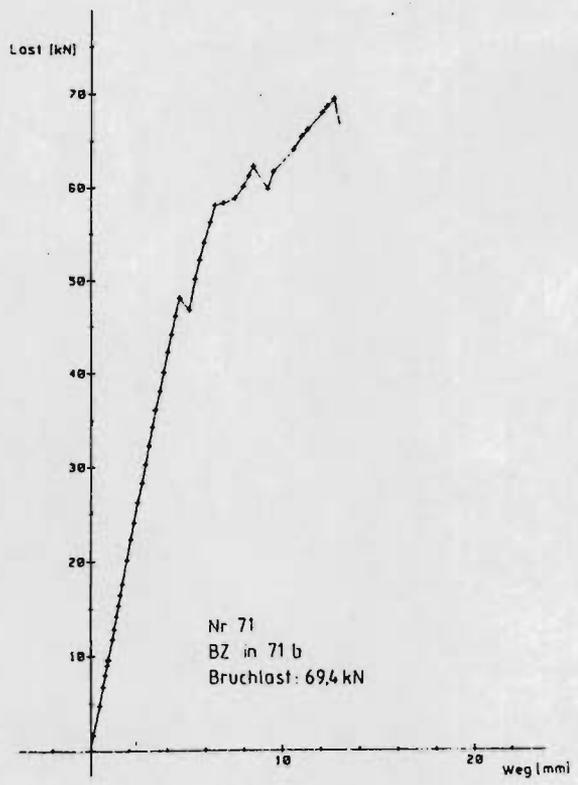
Anlage 2 Gerades Hakenblatt mit Verstärkung, Kraft-Verformungsdiagramme, Fortsetzung, Serie 6



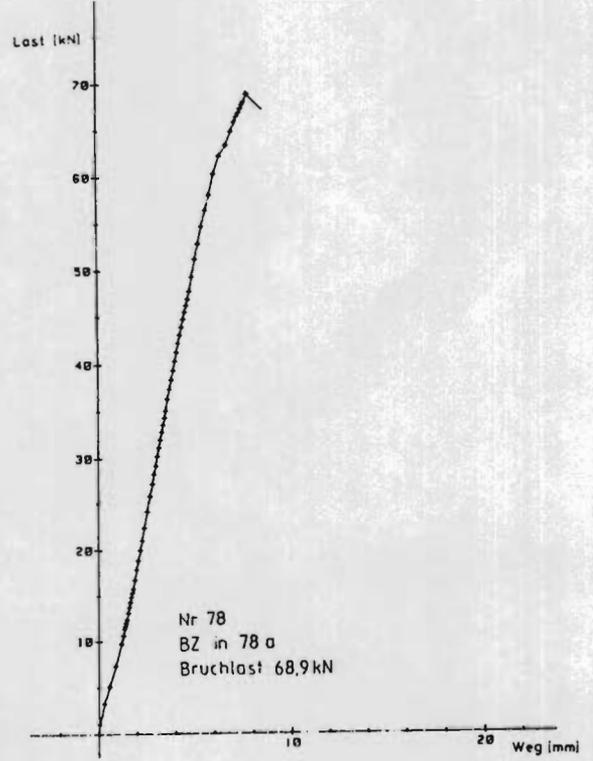
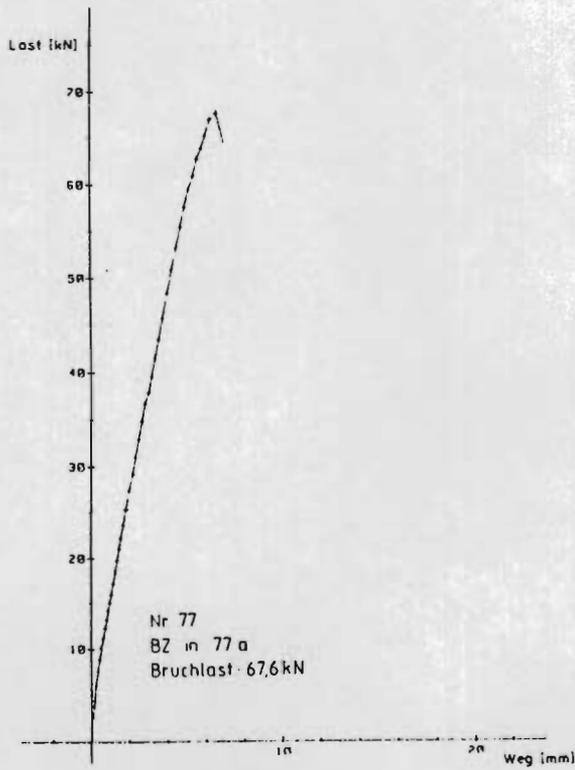
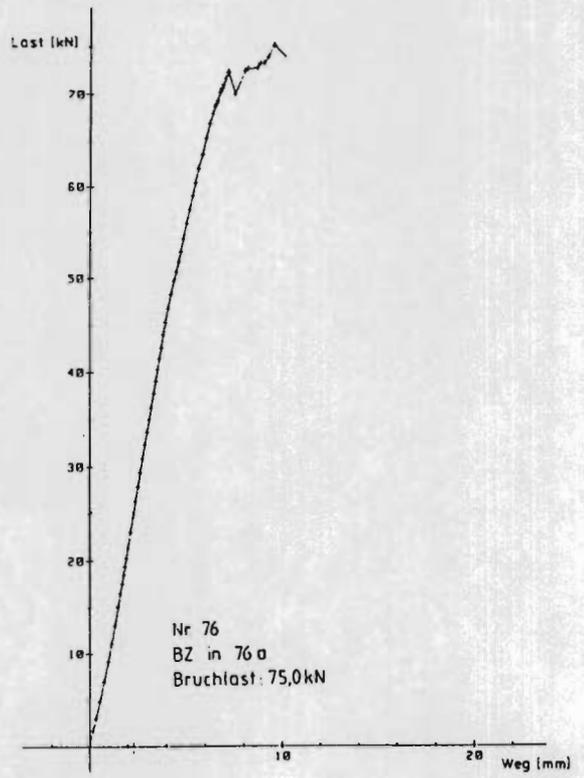
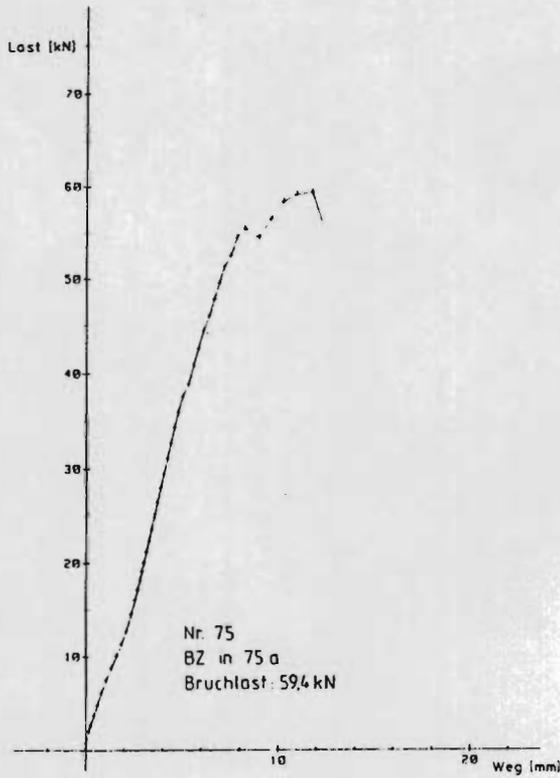
Anlage 2 Gerades Hakenblatt mit Verstärkung. Kraft-Verformungsdiagramme, Fortsetzung, Serie 7



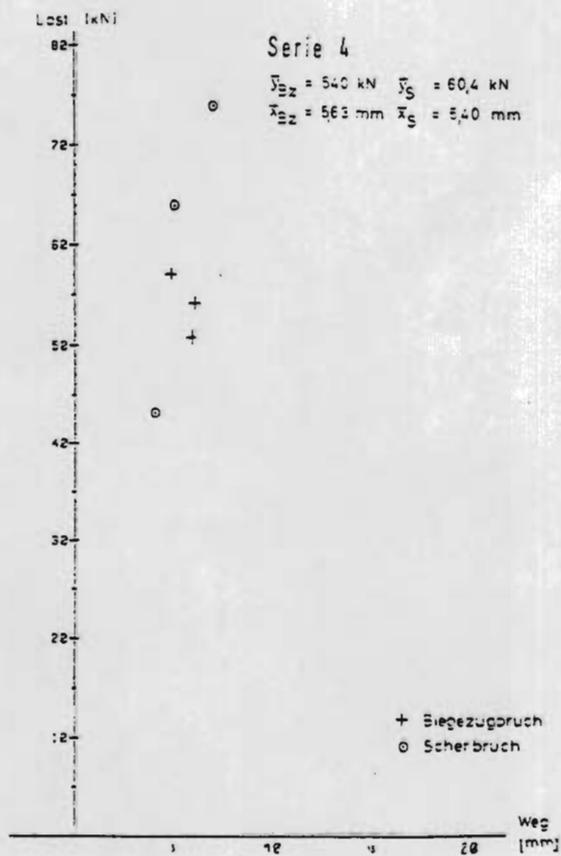
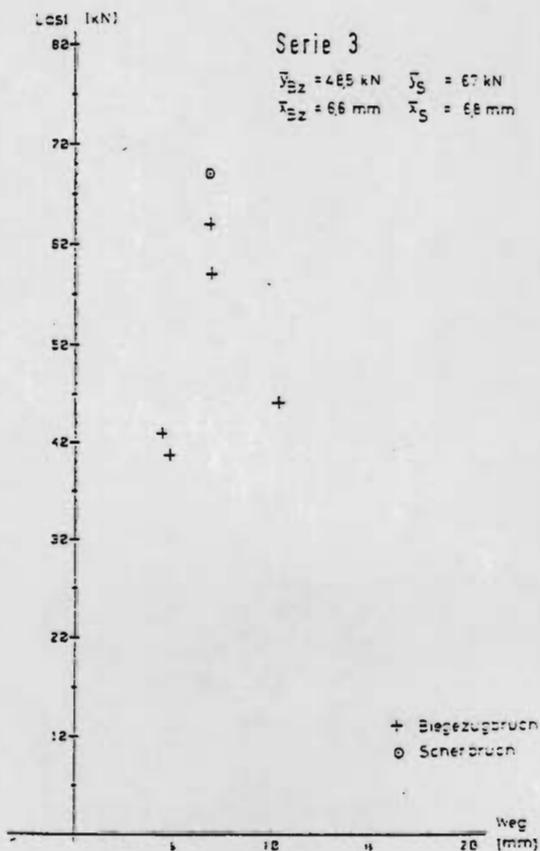
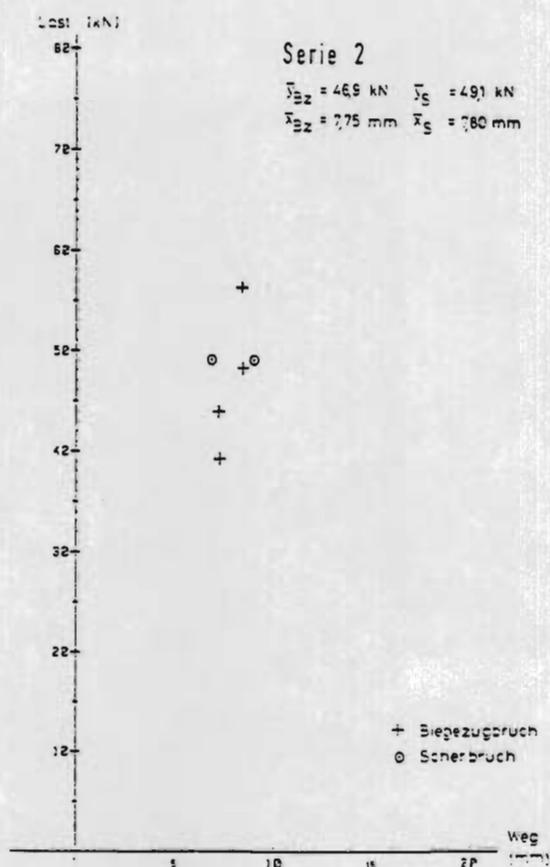
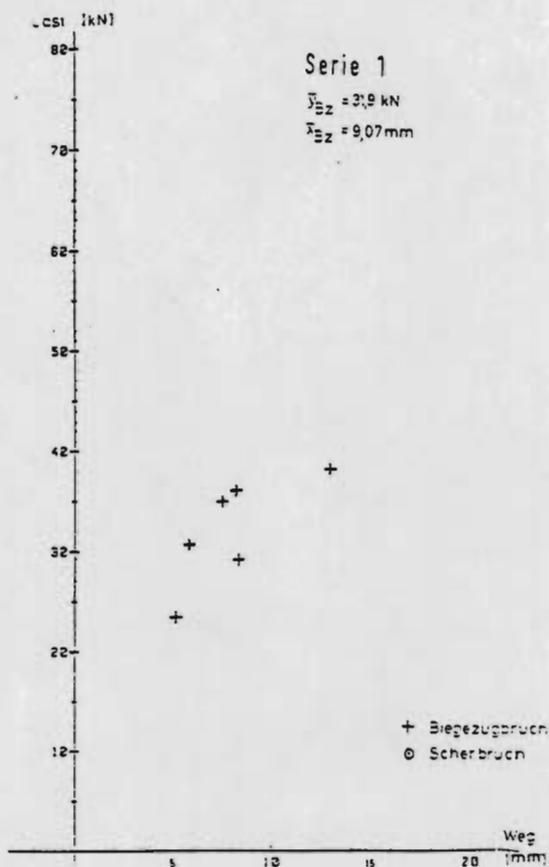
Anlage 2 Gerades Hakenblatt mit Verstärkung, Kraft-Verformungsdiagramme, Fortsetzung, Serie 8



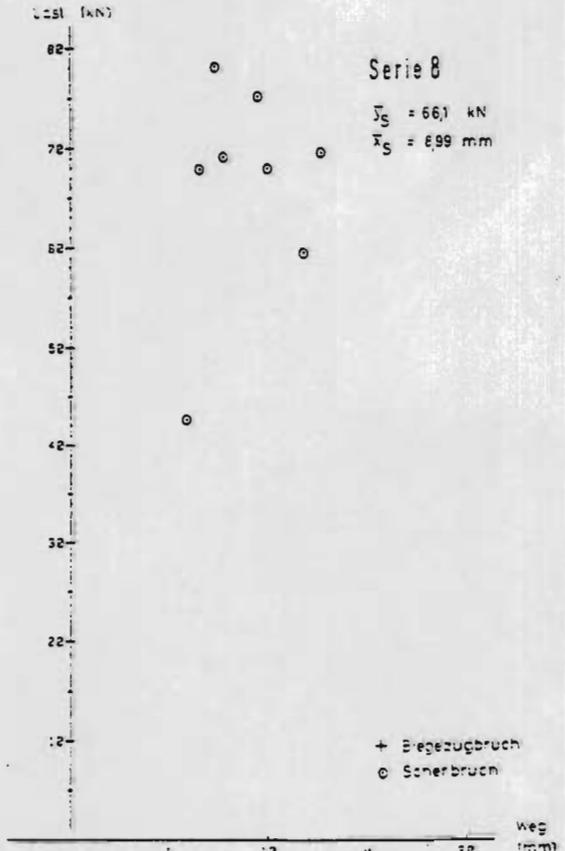
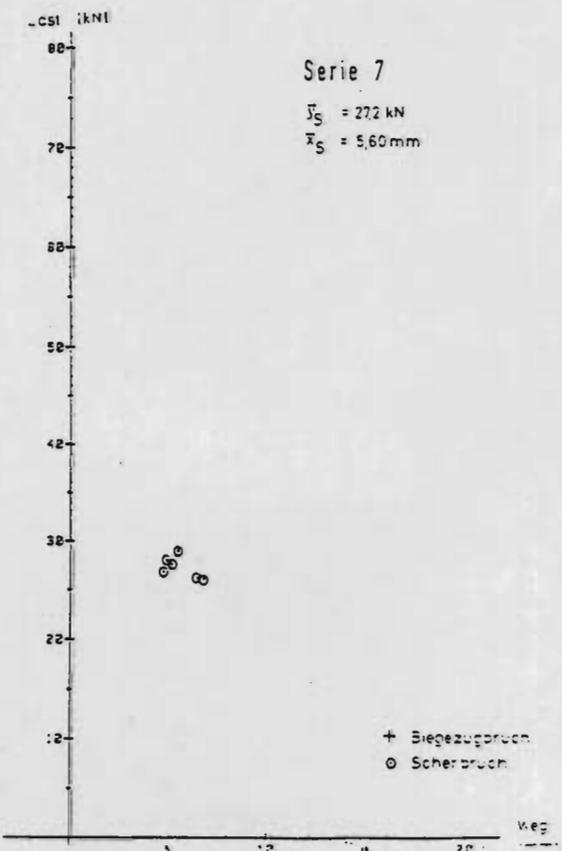
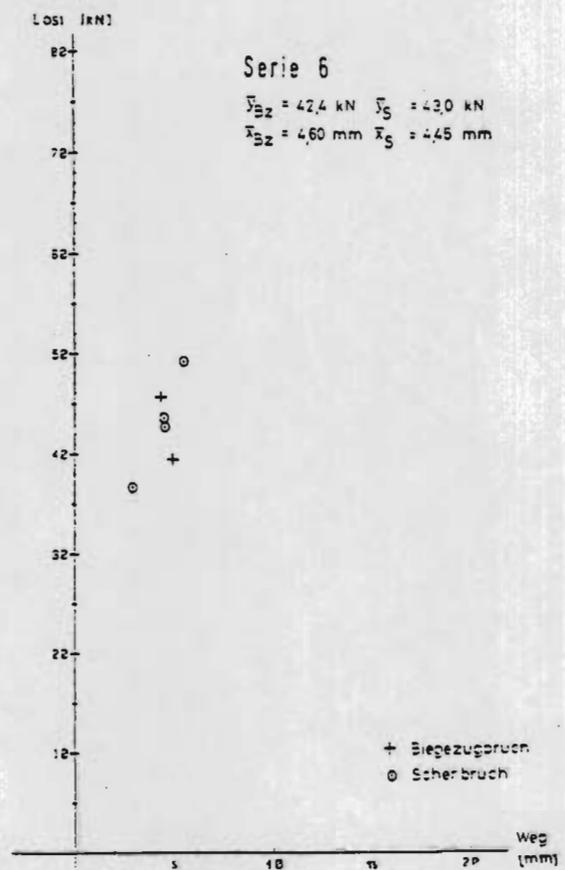
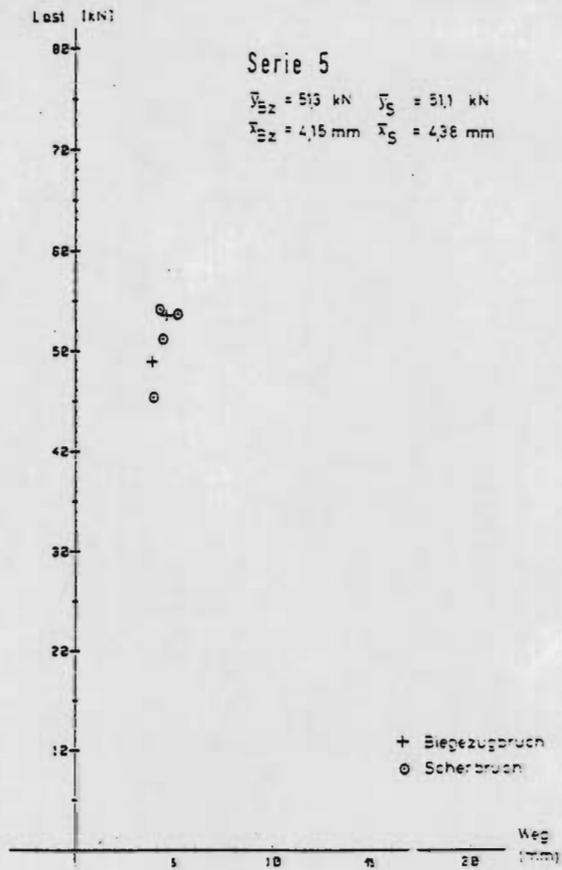
Anlage 2 Gerades Hakenblatt mit Verstärkung, Kraft-Verformungsdiagramme,
Fortsetzung, Serie 8



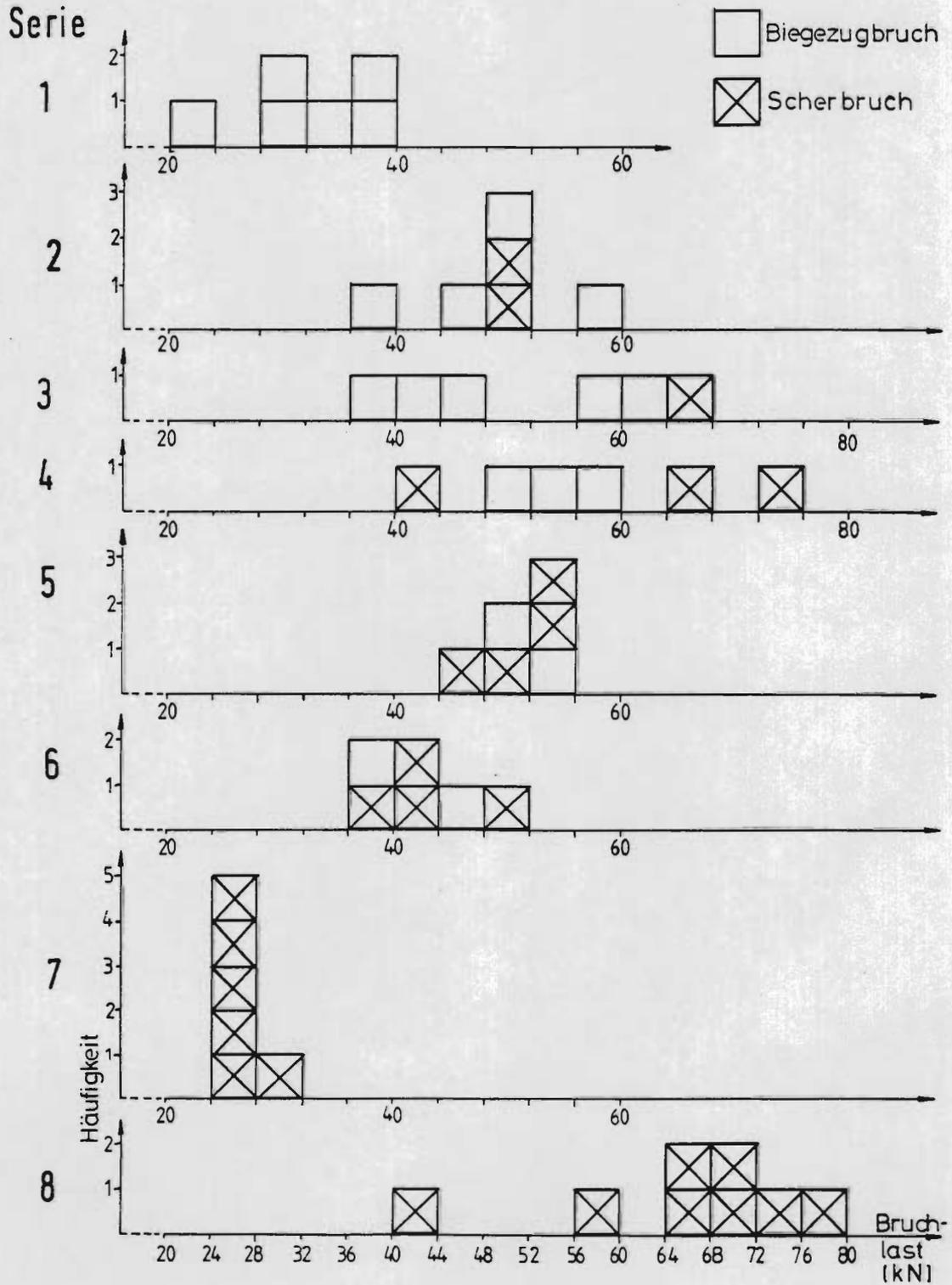
Anlage 3 Gerades Hakenblatt mit Verstärkung, Bruchlasten und Dehnungen

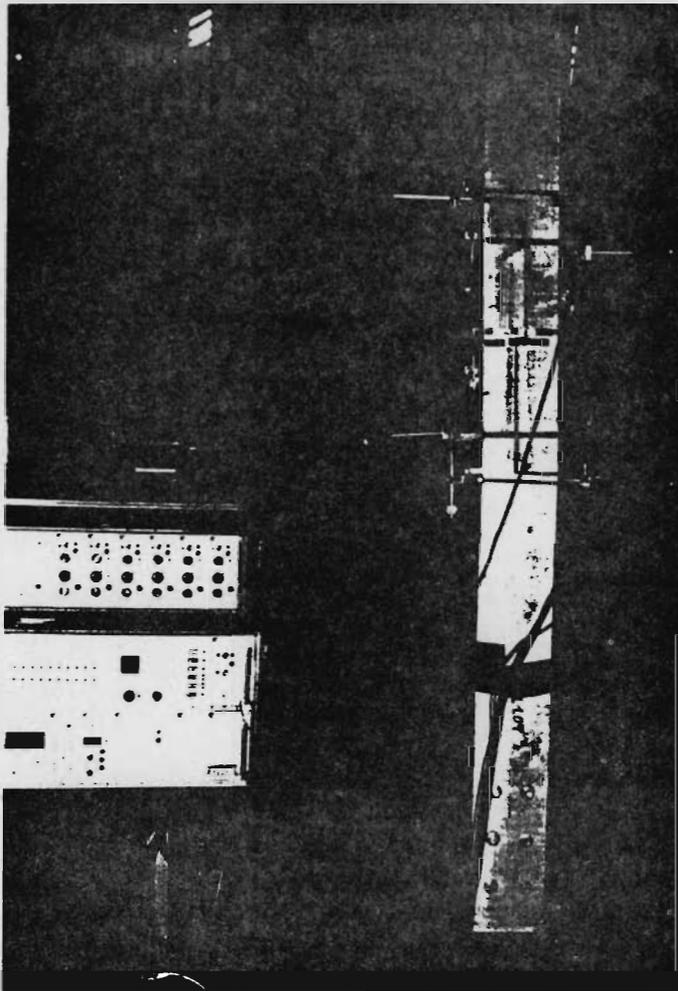


Anlage 3 Gerades Hakenblatt mit Verstärkung, Bruchlasten und Dehnungen, Fortsetzung



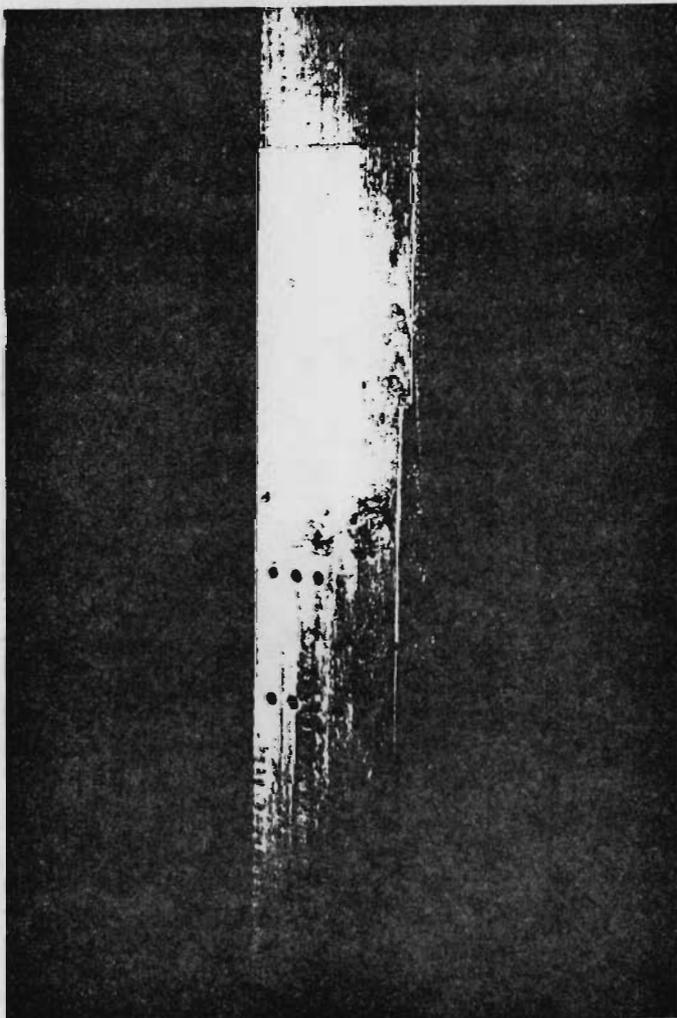
Anlage 4 Gerades Hakenblatt mit Verstärkung, Häufigkeitsverteilung der Bruchlasten



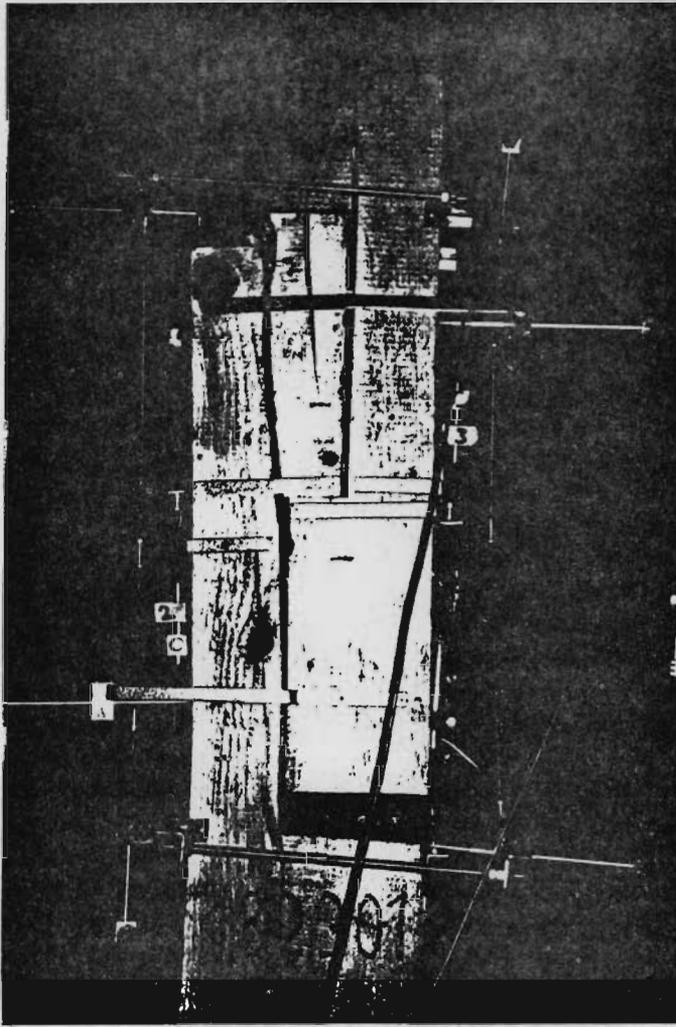


*Anlage 5: Gerades Hakenblatt
mit Verstärkung: Bilder zur
Durchführung der Versuche*

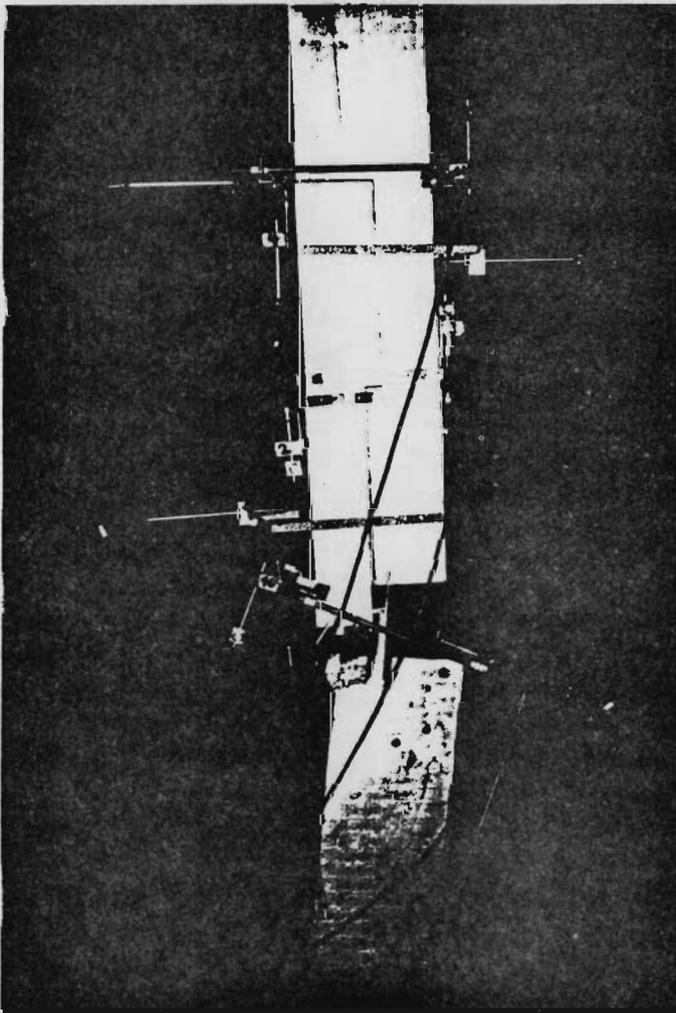
Anlage 5.1: Prüfeinrichtung



*Anlage 5.2: Anordnung der für
die Querverbindung bestimmten
Schraubnägel*

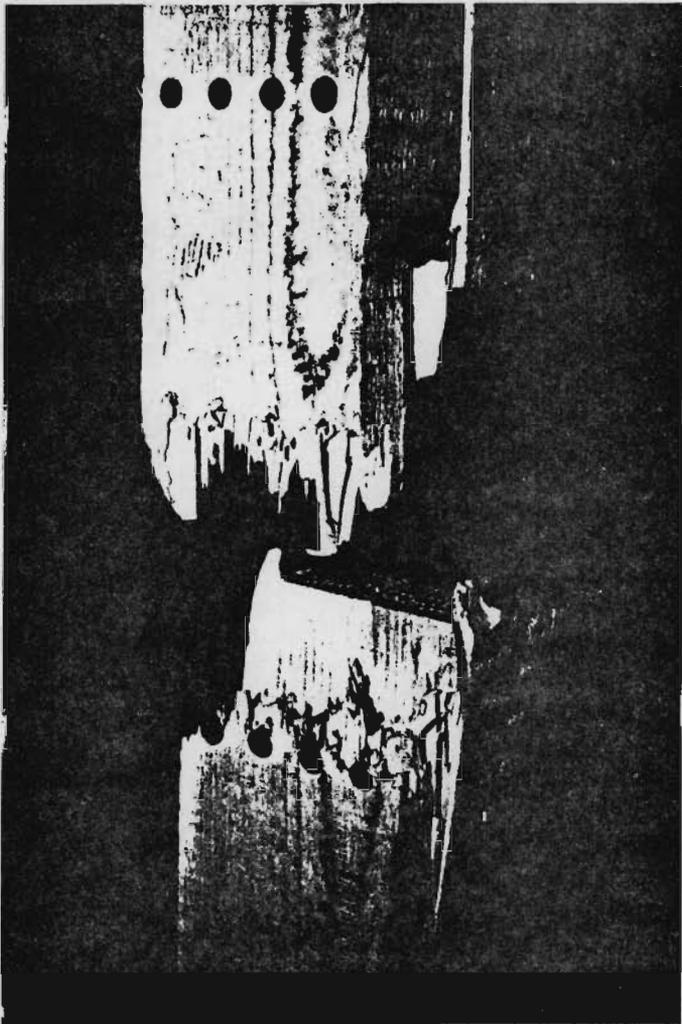


*Anlage 5: Gerades Hakenblatt
mit Verstärkung: Bilder zur
Durchführung der Versuche*



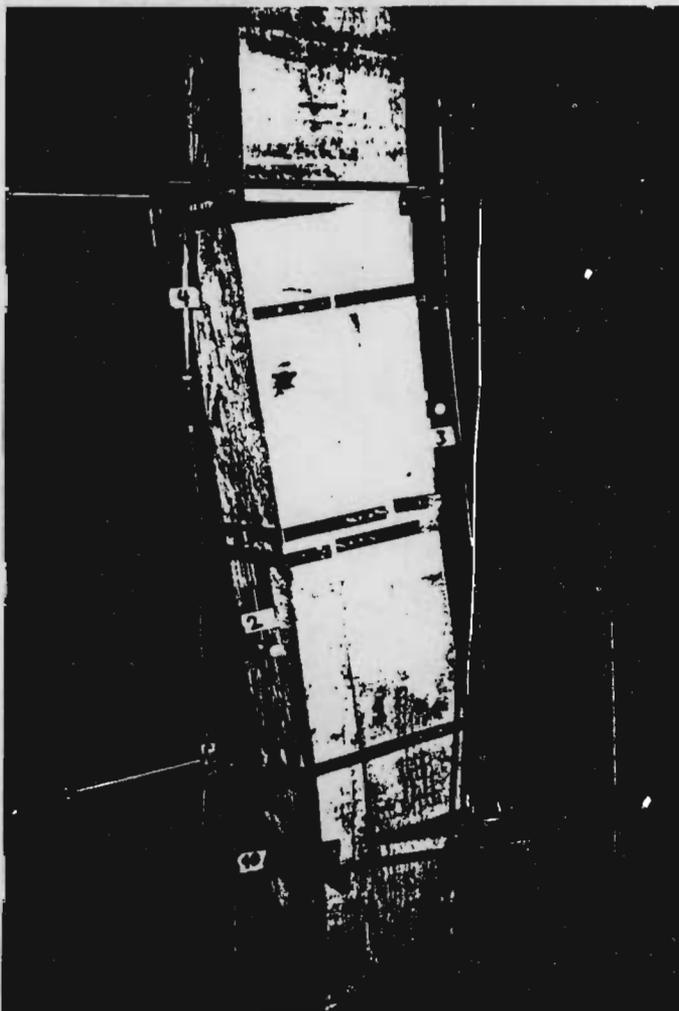
*Anlage 5.3: Bruch infolge Er-
reichen der Schubfestigkeit des
Hakens*

*Anlage 5.4: Bruch infolge Er-
reichen der Schubfestigkeit im
Hakenhals*

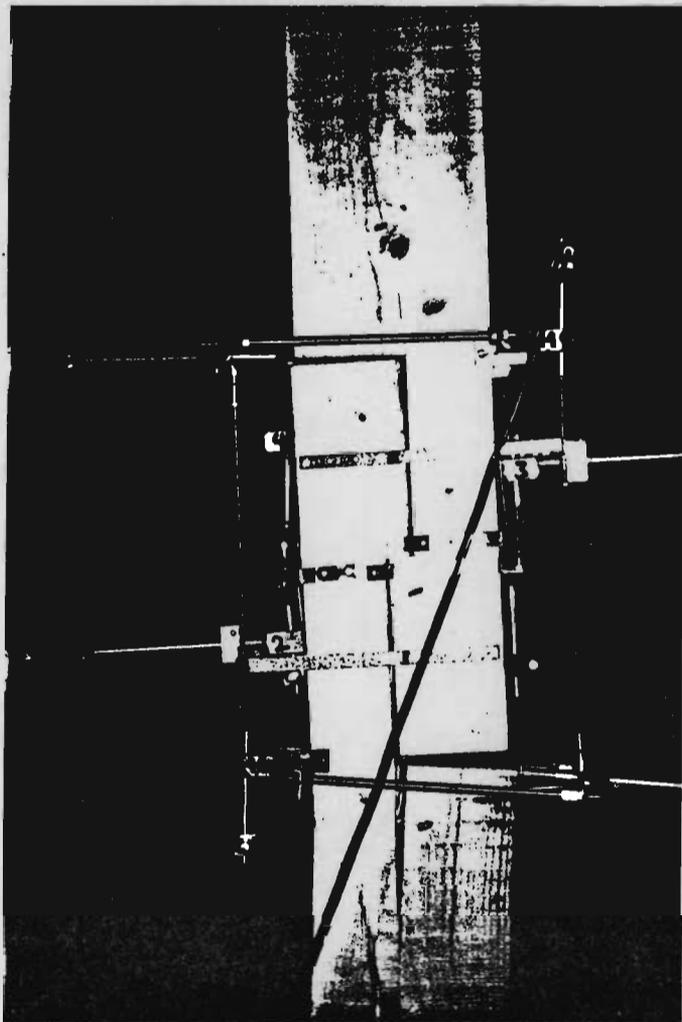


*Anlage 5: Gerades Hakenblatt
mit Verstärkung: Bilder zur
Durchführung der Versuche*

*Anlage 5.5: Bruchfuge eines
Biegezugbruches in der Verlänge-
rung des Hakenhalses*



Anlage 5.6: Verformungsfigur



*Anlage 5: Gerades Hakenblatt
mit Verstärkung: Bilder zur
Durchführung der Versuche*

*Anlage 5.7: Riß im ungeschwäch-
ten Querschnitt infolge Errei-
chen der Querkzugfestigkeit*

Anlage 6 Schräges Schwalbenschwanzblatt, Materialkennwerte
der Probekörper und Versuchsergebnisse

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Serie	Prüfkörper	Rohdichte	Feuchte Abbund	Feuchte Prüfung	beim Bruch	Prüflast Z bei 15mm Verformung	bei 1,5mm Verformung	Verformung bei Bruchlast bei zul*Z ¹⁾		Federkon- stante $C = \frac{zul*Z^{11}}{y}$	Schlupf ohne Futter
Nr.	Nr.	g/cm ³	%	%	kN	kN	kN	mm	mm	kN/mm	mm
1	61G	0,42	23	18,0	15,65	12,45	1,55	25,65	- ²⁾	- ²⁾	4
	61S	0,45	23	16,0							
	62G	0,42	20	16,0	12,22	10,11	0,95	34,88	- ²⁾	- ²⁾	9
	62S	0,45	22	17,0							
	63G	0,41	19	14,0	15,10	11,45	1,15	38,38	- ²⁾	- ²⁾	4
	63S	0,44	22	16,0							
	64G	0,41	20	14,0	12,91	9,30	0,90	30,07	- ²⁾	- ²⁾	4
	64S	0,41	23	16,0							
65G	0,42	21	14,0	14,85	12,38	1,20	23,22	- ²⁾	- ²⁾	5	
65S	0,39	22	14,5								
66G	0,42	24	16,5	13,15	7,90	0,86	29,50	- ²⁾	- ²⁾	7	
66S	0,46	23	16,0								
2	11R	0,41	19	12,0	15,75	11,08	0,80	27,20	2,16	0,58	7
	11S	0,43	19	14,5							
	12R	0,35	18	15,5	27,25	20,05	1,05	18,60	2,00	0,63	5
	12S	0,36	22	13,0							
	13R	0,38	20	13,0	31,90	24,75	3,67	19,70	0,60	2,10	3
	13S	0,37	20	12,5							
	14R	0,41	18	16,5	26,47	25,19	3,40	15,95	0,80	1,56	5
	14S	0,39	15	14,0							
15R	0,42	18	17,0	17,74	12,42	1,04	33,65	1,13	1,11	9	
15S	0,37	19	14,5								
16R	0,47	20	14,0	22,05	10,73	0,95	37,40	1,75	0,71	3	
16S	0,38	19	15,0								
3	1R	0,38	22	7,0	8,65	5,75	1,05	18,40	1,20	0,71	6
	1S	0,39	18	8,0							
	2R	0,45	19	9,0	10,93	8,60	0,91	26,10	1,10	0,77	3
	2S	0,39	19	15,0							
	3R	0,39	20	12,0	11,20	-	1,87	11,00	0,60	1,42	7
	3S	0,37	20	15,0							
	4R	0,40	17	15,0	10,91	7,60	0,60	21,20	2,30	0,37	13
	4S	0,47	19	16,0							
	5R	0,52	19	17,5	12,68	8,85	0,69	28,38	2,10	0,41	11
	5S	0,39	24	13,5							
	6R	0,38	18	15,5	15,38	11,36	1,22	26,29	1,20	0,71	6
	6S	0,36	20	13,5							
7R	0,38	18	15,0	12,20	6,21	0,41	36,89	2,90	0,29	13	
7S	0,44	16	14,0								

¹⁾ zul*Z nach Abschnitt 3.5.1

²⁾ In Serie 1 wurde keine zulässige Belastung angegeben, da eine Kerbtiefe von $\frac{h_s}{2} = 7 \text{ cm}$ nach Abschnitt 3.5.1 nicht empfohlen werden kann.

Anlage 6 Schräges Schwalbenschwanzblatt, Materialkennwerte
der Probekörper und Versuchsergebnisse, Fortsetzung

1	2	3	4		5	6	7	8	9	10	11	12
Serie	Prüfkörper	Rohdichte	Feuchte		beim Bruch	Prüflast Z bei 15mm		Verformung		Federkon- stante $C = \frac{zul \cdot Z^{II}}{V}$	Schlupf ohne Futter	
Nr.	Nr.	g/cm ³	Abbund	Prüfung		bei 1,5mm Verformung	bei 1,5mm Verformung	bei Bruchlast	bei zul*Z ¹⁾			
			%	%	kN	kN	kN	mm	mm	kN/mm	mm	
4	21R	0,37	20	16,0	5,85	3,10	0,12	34,20	2,30	0,24	16	
	21S	0,48	21	15,0								
	22R	0,39	17	16,0	16,90	12,99	1,10	29,45	0,90	0,61	10	
	22S	0,39	20	14,0								
	23R	0,35	20	16,5	7,80	4,94	0,45	28,40	1,40	0,39	10	
	23S	0,37	17	15,0								
	24R	0,37	25	13,5	5,81	3,71	0,32	32,60	1,90	0,29	13	
	24S	0,47	20	17,0								
25R	0,40	21	13,0	14,70	8,24	0,41	26,25	1,70	0,32	15		
25S	0,48	17	16,5									
26R	0,38	24	14,0	10,35	8,85	0,71	18,13	1,28	0,43	11		
26S	0,38	19	14,5									
5	31R	0,42	20	18,0	5,29	3,01	0,49	36,16	1,40	0,25	23	
	31S	0,44	18	15,5								
	32R	0,38	19	16,5	4,65	3,26	0,36	34,00	2,00	0,18	12	
	32S	0,45	21	14,0								
	33R	0,37	21	13,0	11,00	3,22	0,44	59,60	2,10	0,17	9	
	33S	0,40	37	11,0								
	34R	0,40	18	16,5	8,80	3,90	0,32	55,63	1,50	0,23	9	
	34S	0,40	19	14,0								
35R	0,35	20	12,5	9,71	4,91	0,38	40,30	1,00	0,35	14		
35S	0,41	26	12,5									
36R	0,41	20	12,5	8,63	3,79	0,33	44,85	1,30	0,27	18		
36S	0,39	17	14,5									
6	51R	0,40	20	17,0	17,62	-	1,35	10,08	0,70	1,21	9	
	51S	0,40	20	14,0								
	52R	0,47	18	16,5	19,0	15,43	0,89	23,43	1,50	0,57	11	
	52S	0,38	21	13,0								
	53R	0,40	18	16,0	17,55	12,45	0,83	42,25	1,40	0,61	8	
	53S	0,39	19	15,5								
	54R	0,40	20	17,0	15,94	9,21	0,98	39,75	1,30	0,65	11	
	54S	0,38	17	15,5								
55R	0,44	20	17,5	15,27	9,47	0,68	28,32	1,70	0,50	7		
55S	0,38	21	13,5									
56R	0,46	20	16,5	15,96	9,83	0,66	30,04	1,90	0,45	10		
56S	0,45	19	14,5									

1) zul*Z nach Abschnitt 3.5.1

2) In Serie 1 wurde keine zulässige Belastung angegeben, da eine Kerbtiefe von $\frac{h_s}{2} = 7 \text{ cm}$ nach Abschnitt 3.5.1 nicht empfohlen werden kann.

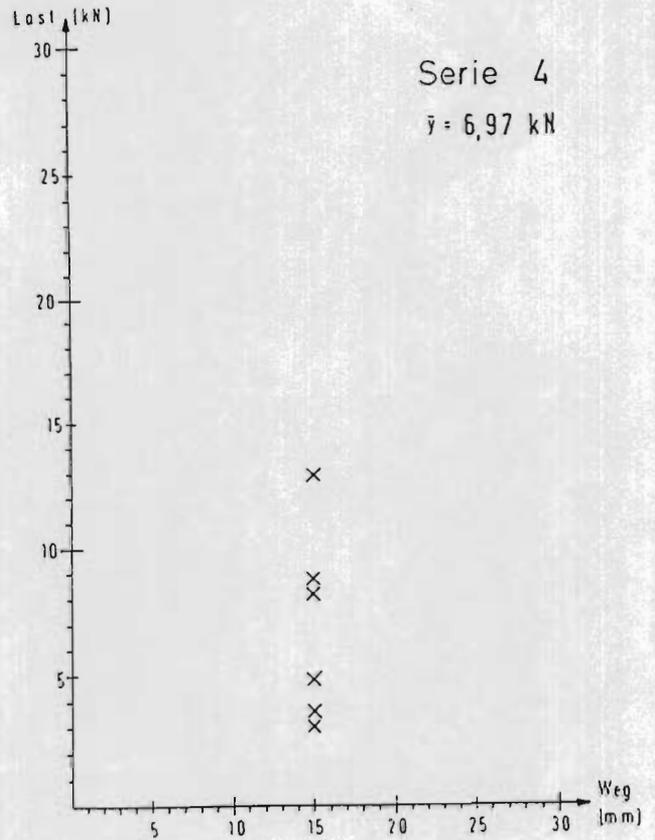
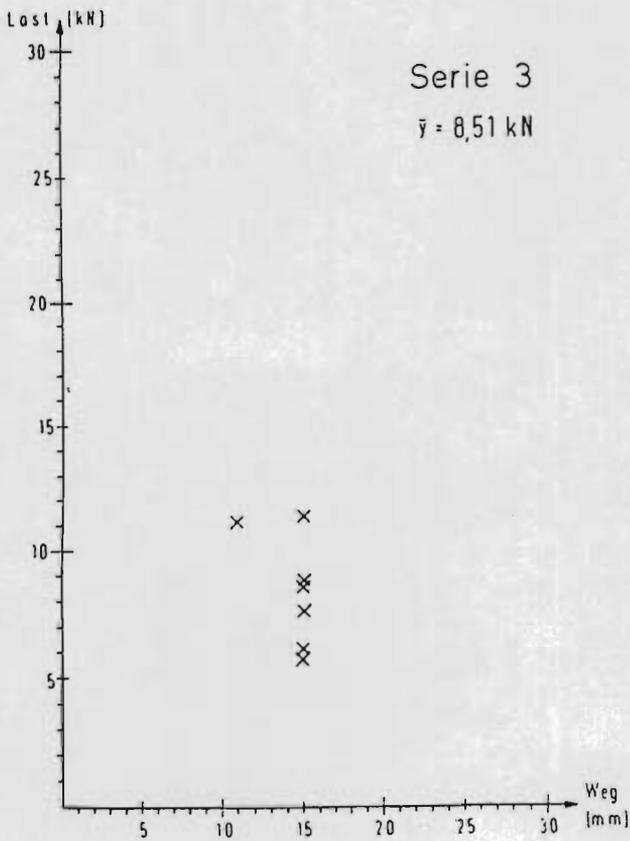
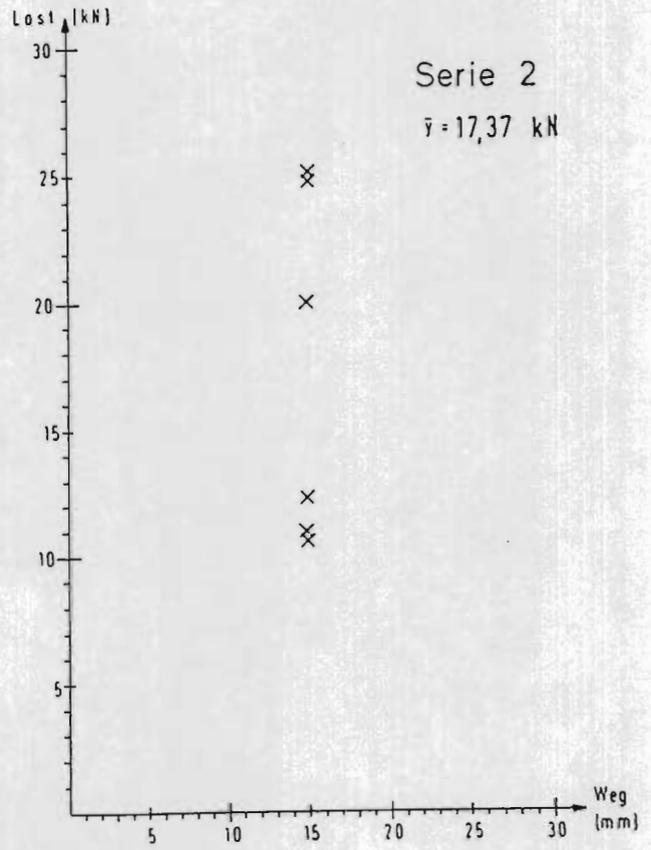
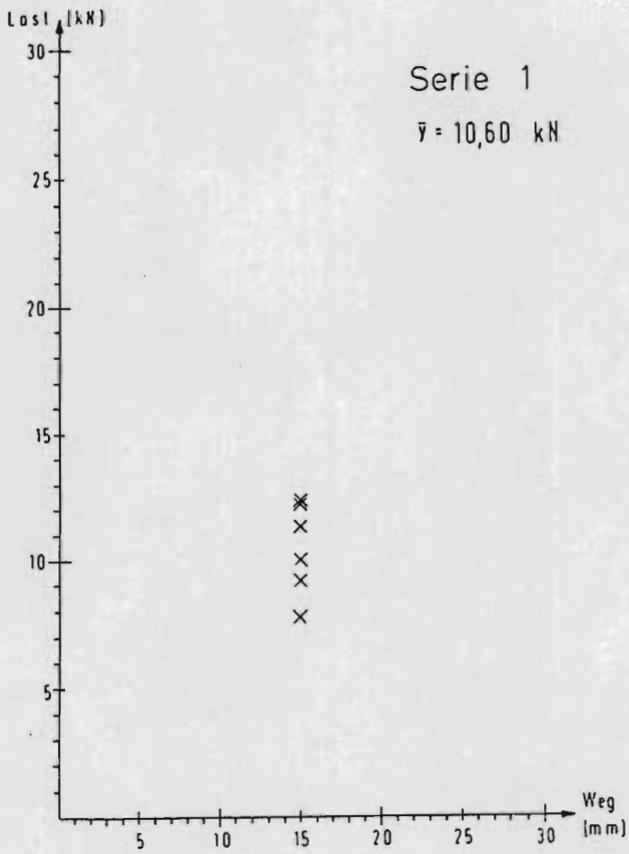
Anlage 6 Schräges Schwalbenschwanzblatt, Materialkennwerte
der Probekörper und Versuchsergebnisse, Fortsetzung

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Serie	Prüfkörper	Rohdichte	Feuchte Abbund	Prüfung	beim Bruch	Prüflast Z bei 15mm Verformung	bei 1,5mm Verformung	Verformung bei Bruchlast, bei zul*Z ²⁾		Federkon- stante $C = \frac{zul*Z^{1)}$	Schlupf ohne Futter
Nr.	Nr.	g/cm ³	%	%	kN	kN	kN	mm	mm	kN/mm	mm
7	41R	0,38	21	16,5	13,76	8,21	0,54	44,20	1,12	0,59	6
	41S	0,45	18	16,0							
	42R	0,49	21	17,5	17,06	6,53	0,75	40,00	2,20	0,30	8
	42S	0,45	19	12,0							
	43R	0,40	21	17,5	11,66	7,79	0,97	32,90	1,80	0,36	13
	43S	0,40	18	13,0							
	44R	0,44	21	18,5	11,34	8,83	0,53	21,27	1,25	0,52	0
	44S	0,40	15	15,0							
	45R	0,38	23	19,0	8,55	3,72	0,41	32,44	1,75	0,37	18
	45S	0,41	18	13,5							
	46R	0,42	24	16,0	8,25	6,08	0,77	24,40	1,00	0,65	0
	46S	0,37	16	15,5							

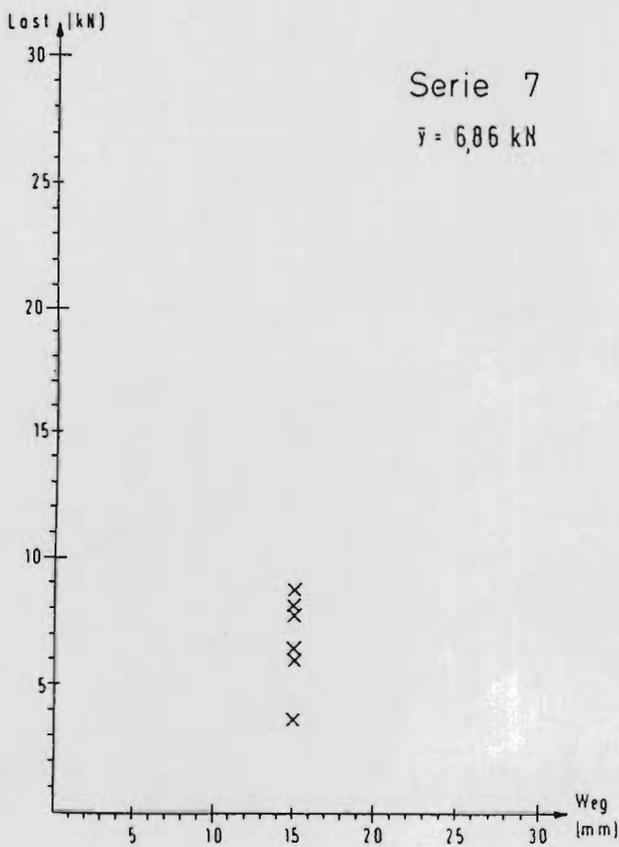
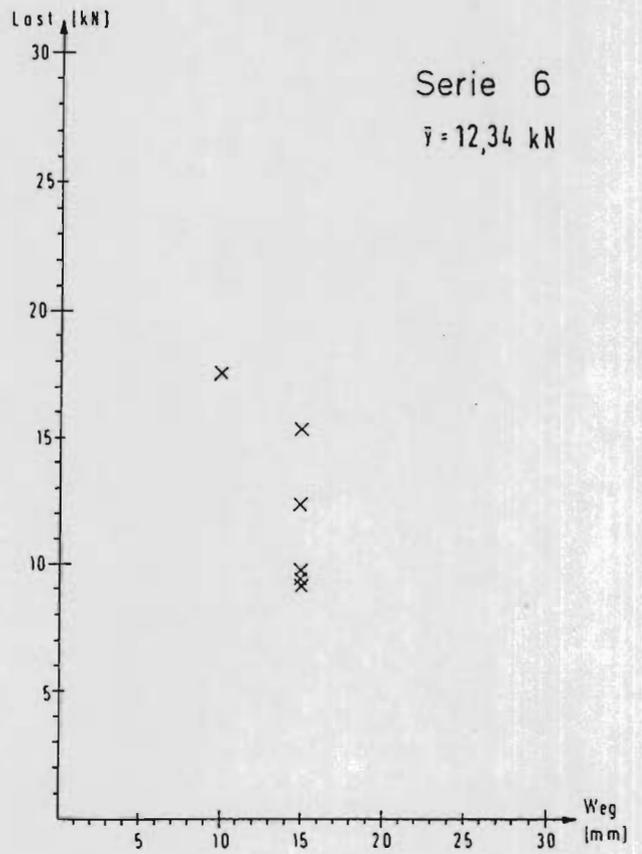
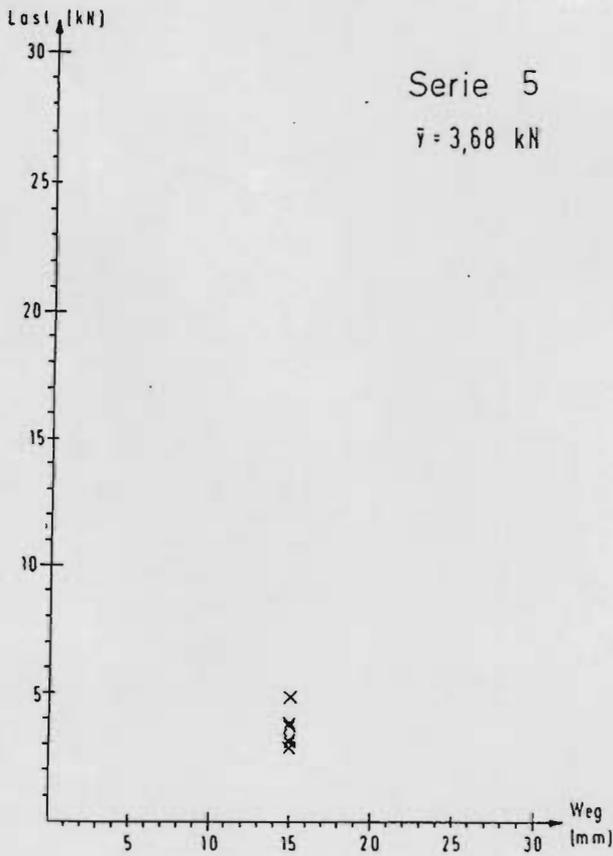
¹⁾ zul*Z nach Abschnitt 3.5.1

²⁾ In Serie 1 wurde keine zulässige Belastung angegeben, da eine Kerbtiefe von $\frac{h_s}{2} = 7 \text{ cm}$ nach Abschnitt 3.5.1 nicht empfohlen werden kann.

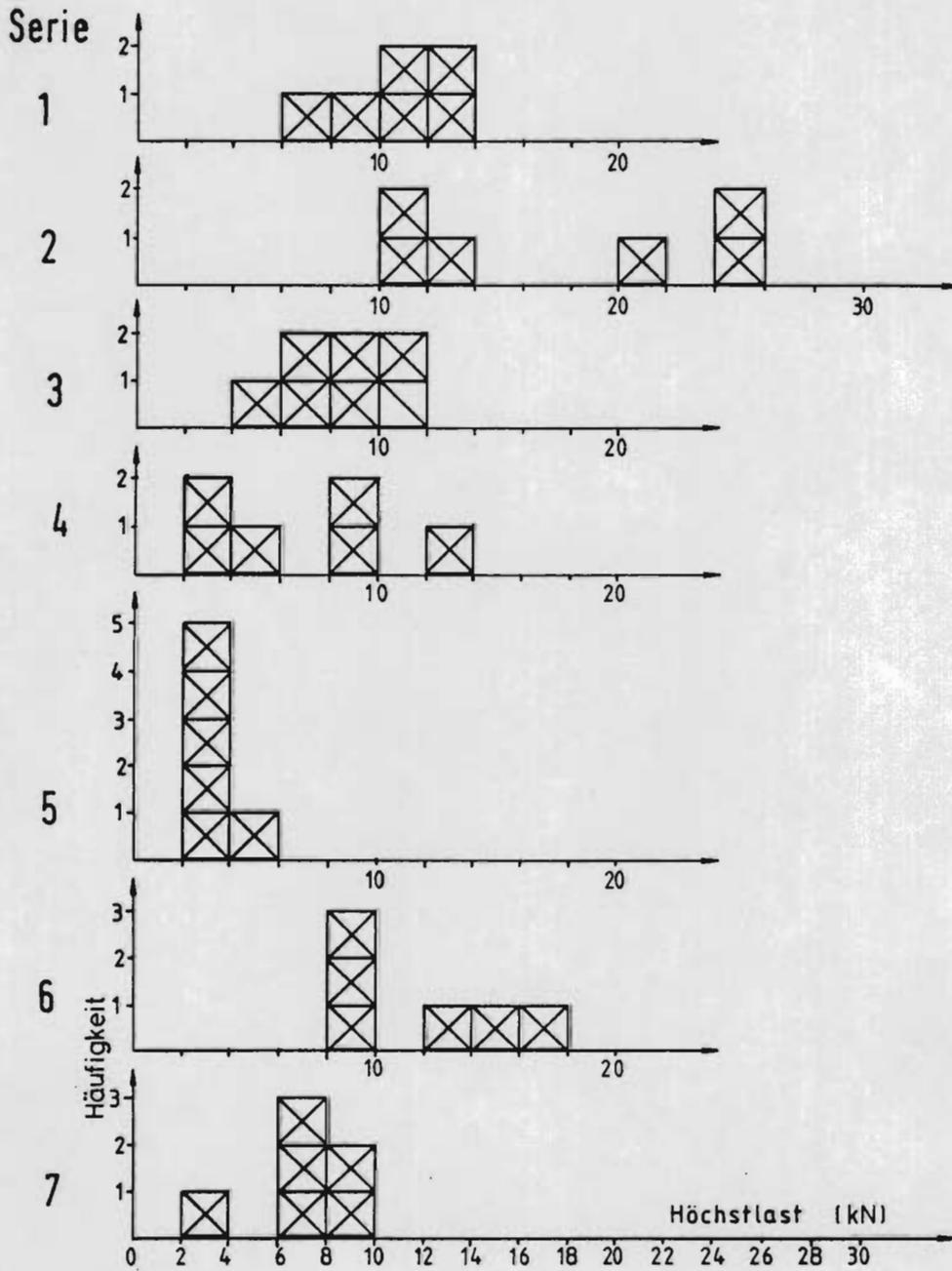
Anlage 7 Schräges Schwalbenschwanzblatt, Höchstlasten und Dehnungen



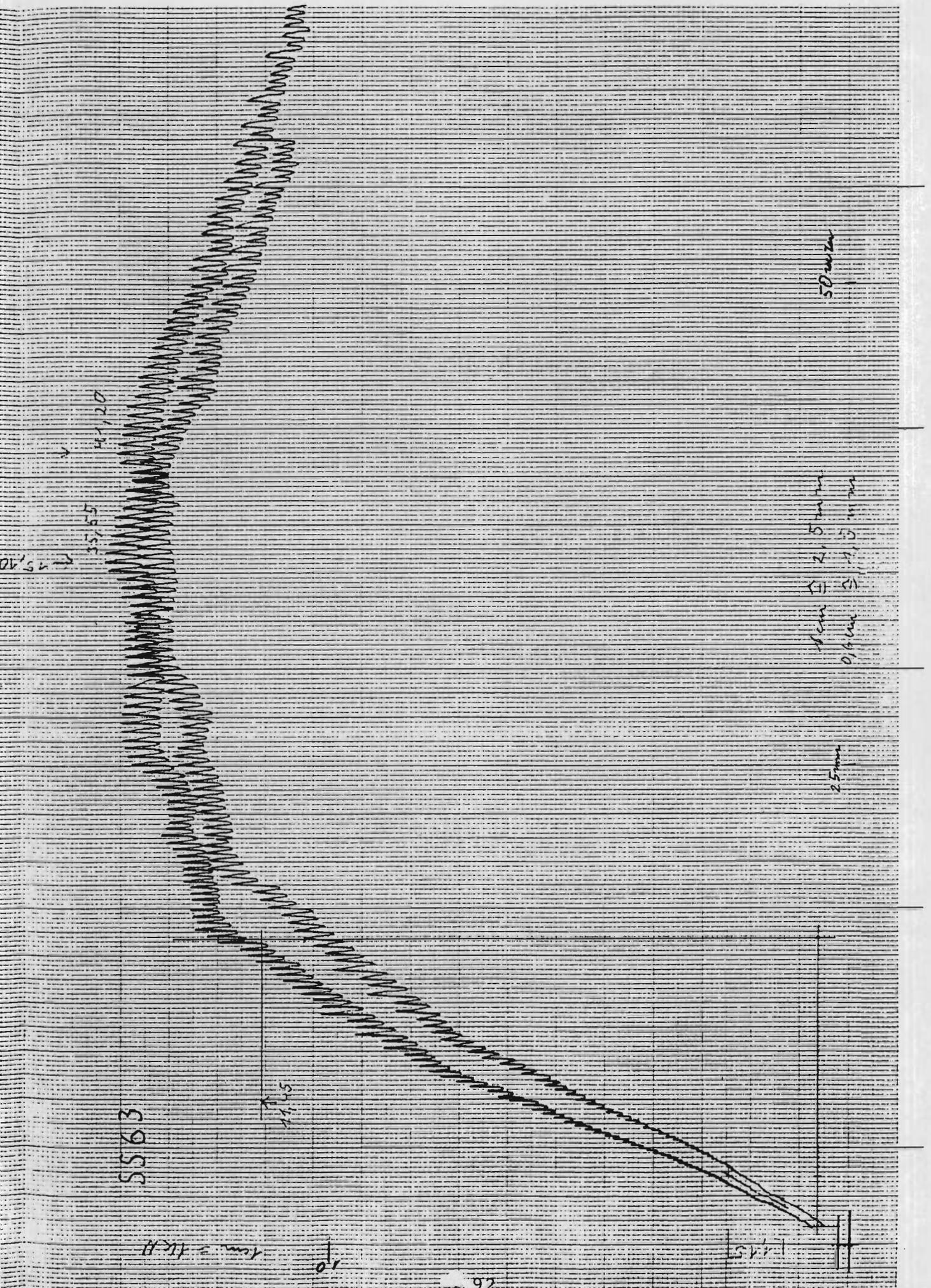
Anlage 7 Schräges Schwalbenschwanzblatt, Höchstlasten und Dehnungen,
Fortsetzung

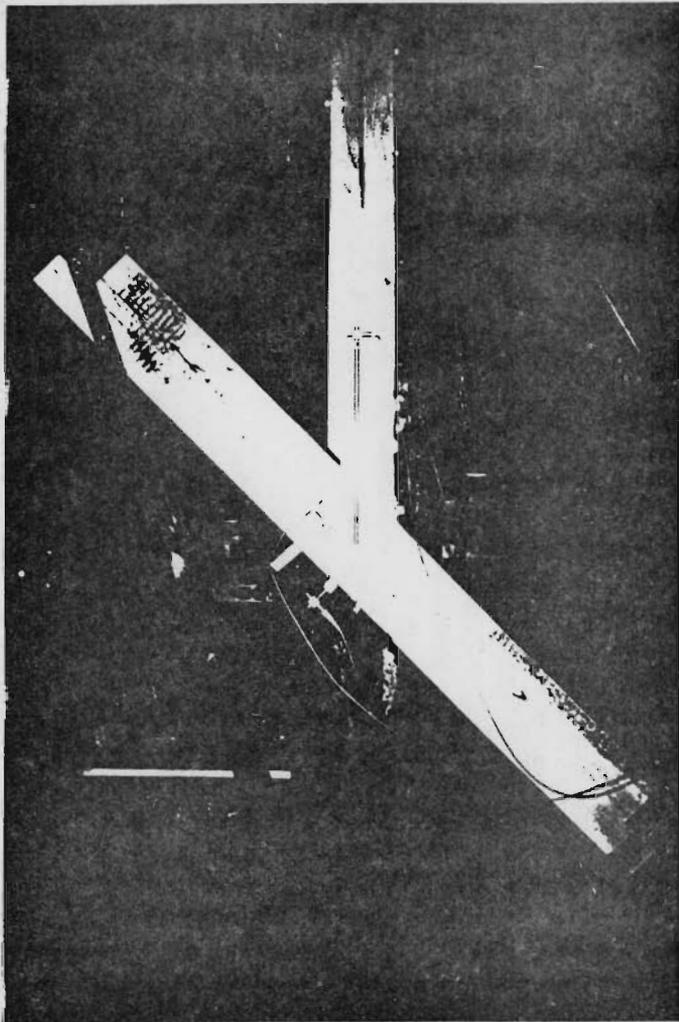


Anlage 8 Schräges Schwalbenschwanzblatt, Häufigkeitsverteilung der Höchstlasten



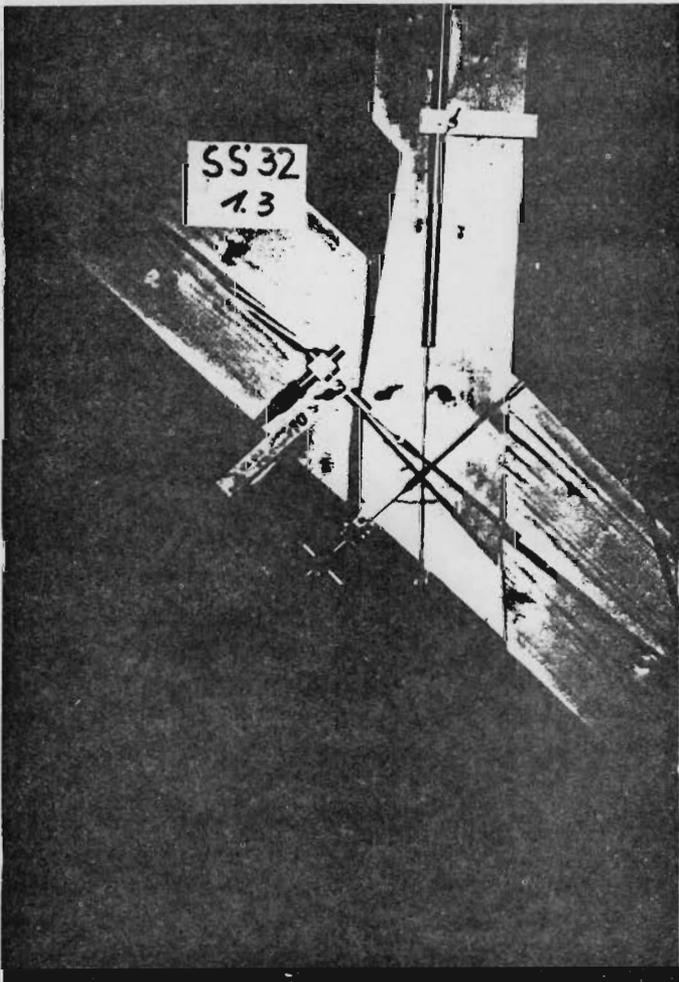
Anlage 9 Schräges Schwalbenschwanzblatt, Beispiel für die Versuchsaufzeichnung mit einem x-y Recorder 26000A3





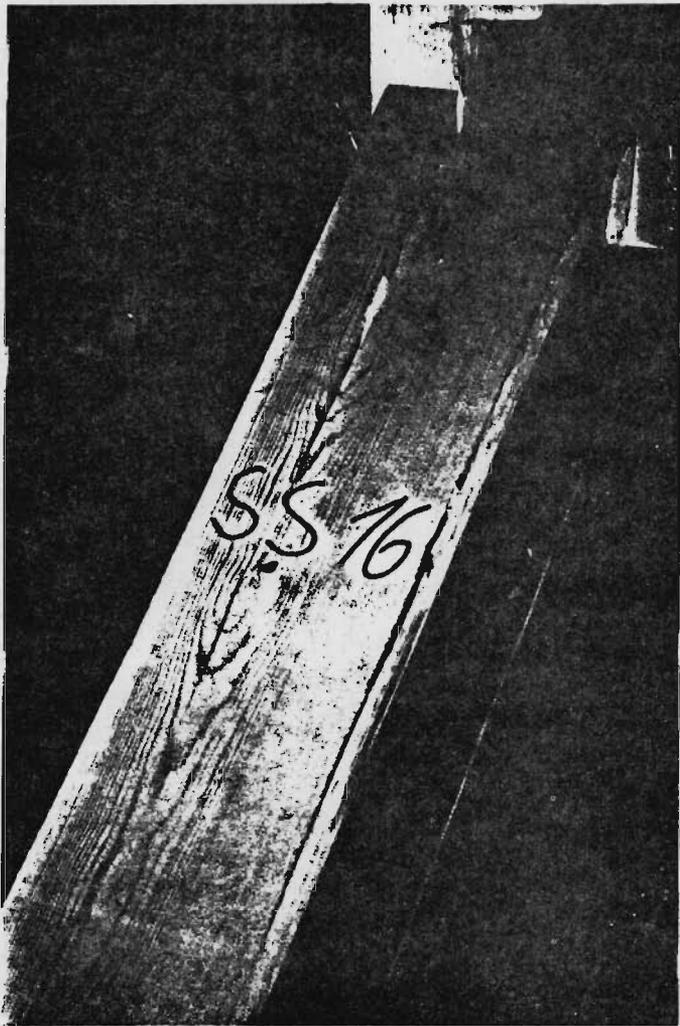
Anlage 10: Schräges Schwalbenschwanzblatt: Bilder zur Durchführung der Versuche

Anlage 10.1: Prüfeinrichtung



Anlage 10.2: Bruchbild. Ansicht

*Anlage 10: Schräges Schwalbenschwanz-
blatt: Bilder zur Durchführung der
Versuche*



*Anlage 10.3: Bruchbild, Drauf-
sicht*

Anlage 11 Rechtwinkliger Stirnversatz, Materialkennwerte
der Probekörper und Versuchsergebnisse

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Serie Nr.	Prüf- körper Nr.	Roh- dichte g/cm ³	Feuchte		Höchst- last max D kN	Last bei 1,5 mm Verformung		Verformung bei zul*D ¹⁾		Verformung bei Höchst- last mm	Federkonstante C = $\frac{zul*D^1}{V}$	
			Abbund %	Prüfung %		"mit Schlupf" kN	"ohne Schlupf" kN	"mit Schlupf" mm	"ohne Schlupf" mm		"mit Schlupf" kN/mm	"ohne Schlupf" kN/mm
1	1S	0,43	27	13,5	75,45	10,81	43,86	0,59	0,38	15,00	13,38	20,78
	1G	0,43	24	14,5								
	2S	0,40	25	13,5	66,15	17,40	33,20	0,76	0,38	15,00	10,39	20,78
	2G	0,44	24	13,0								
	3S	0,40	27	13,5	61,00	24,05	40,29	0,50	0,31	15,00	15,79	25,47
	3G	0,40	24	12,0								
	4S	0,42	25	14,0	62,25	9,76	28,65	1,23	0,51	15,00	6,42	15,48
4G	0,40	25	12,0									
5S	0,45	29	14,5	89,23	9,26	22,15	1,35	0,58	15,00	5,85	13,61	
5G	0,41	29	12,0									
6S	0,45	28	13,00	78,57	13,68	49,03	1,15	0,24	15,00	6,87	32,90	
6G	0,41	25	12,0									
2	11S	0,41	42	13,5	67,28	5,77	- 2)	2,40	- 2)	8,06	6,79	- 2)
	11G	0,38	27	13,0								
	12S	0,39	33	14,0	98,13	29,99	- 2)	0,97	- 2)	13,60	16,80	- 2)
	12G	0,43	26	15,0								
	13S	0,37	30	13,0	67,79	6,67	26,68	3,06	0,95	12,98	5,33	17,15
	13G	0,37	28	13,5								
	14S	0,40	29	13,0	74,63	16,43	29,37	1,80	0,85	5,89	9,05	19,17
14G	0,39	29	14,5									
15S	0,38	29	13,0	74,88	14,73	39,58	1,60	0,84	5,82	10,18	19,40	
15G	0,42	28	14,0									
16S	0,39	28	14,0	86,11	14,42	33,0	1,67	0,84	15,00	9,76	19,40	
16G	0,40	27	13,5									
3	21S	0,41	33	13,5	111,13	12,99	19,05	2,76	1,89	9,52	9,25	13,51
	21G	0,37	35	12,0								
	22S	0,40	27	14,0	112,92	38,17	52,97	1,10	0,83	5,06	23,21	30,76
	22G	0,37	42	13,0								
	23S	0,41	27	13,5	100,62	6,77	25,38	3,09	0,91	9,23	8,26	28,06
	23G	0,36	37	12,5								
	24S	0,45	30	15,0	126,24	30,06	59,86	1,29	0,76	6,89	19,79	33,60
	24G	0,45	26	14,0								
	25S	0,39	31	14,0	120,21	10,38	32,66	2,49	1,28	9,71	10,25	19,95
	25G	0,40	28	13,5								
26S	0,38	32	13,5	96,24	13,08	38,78	2,27	1,18	15,00	11,25	21,64	
26G	0,42	25	14,0									
27S	0,42	30	12,5	93,11	23,63	31,50	1,64	1,26	15,00	15,57	20,26	
27G	0,39	28	13,0									
28S	0,41	29	13,5	103,37	36,86	60,37	1,14	0,60	4,69	22,40	42,56	
28G	0,40	30	14,5									

1) zul*D nach Abschnitt 4.5.1

2) aus technischen Gründen war bei diesem Versuch eine Unterbrechung der Belastung nicht möglich.

Anlage 11 Rechtwinkliger Stirnversatz, Materialkennwerte
der Probekörper und Versuchsergebnisse, Fortsetzung

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Serie Nr.	Prüf- körper Nr.	Roh- dichte q/cm ³	Feuchte		Höchst- last max D kN	Last bei 1,5 mm Verformung		Verformung bei zul*D ¹⁾		Verformung bei Höchst- last mm	Federkonstante C = $\frac{zul \cdot D}{V}$	
			Abbund %	Prüfung %		"mit Schlupf" kN	"ohne Schlupf" kN	"mit Schlupf" mm	"ohne Schlupf" mm		"mit Schlupf" kN/mm	"ohne Schlupf" kN/mm
4	31S	0,41	45	12,0	68,08	7,89	37,33	2,32	0,75	5,66	7,02	21,72
	31G	0,38	30	14,0								
	32S	0,39	52	11,5	70,09	8,27	38,61	2,93	0,78	12,91	5,56	20,89
	32G	0,40	30	14,0								
	33S	0,38	35	12,5	74,85	19,07	32,34	1,34	0,90	3,97	12,16	18,10
	33G	0,39	29	13,5								
	34S	0,43	29	13,5	64,61	36,54	52,65	0,83	0,53	7,23	19,63	30,74
	34G	0,39	26	13,0								
35S	0,41	27	14,0	69,16	24,22	39,82	1,02	0,65	6,23	15,97	25,07	
35G	0,36	30	13,0									
36S	0,39	27	13,5	73,63	18,94	47,25	1,37	0,66	4,56	11,89	24,69	
36G	0,38	30	13,0									
5	41S	0,40	30	14,0	56,36	8,65	31,30	2,13	0,89	4,70	7,65	18,31
	41G	0,40	27	13,0								
	42S	0,44	27	13,5	69,57	24,28	41,22	1,03	0,59	8,09	15,82	27,62
	42G	0,39	33	13,0								
	43S	0,41	28	13,5	64,57	19,63	32,99	1,27	0,89	15,00	12,83	18,31
	43G	0,37	27	12,0								
	44S	0,41	27	14,5	84,43	16,98	63,81	1,48	0,39	6,30	11,01	41,78
	44G	0,39	33	14,0								
45S	0,42	26	13,0	71,68	10,21	40,03	2,01	0,63	5,65	8,11	25,86	
45G	0,38	28	13,0									
46S	0,37	26	13,0	66,83	2,76	14,43	4,01	1,58	9,94	4,06	10,31	
46G	0,43	32	13,5									
6	51S	0,41	34	14,0	79,87	29,98	47,38	0,88	0,56	9,01	18,51	29,10
	51G	0,38	35	12,0								
	52S	0,40	30	13,0	77,36	19,42	44,76	1,44	0,75	3,95	11,31	21,72
	52G	0,38	36	11,0								
	53S	0,46	26	14,0	83,21	21,38	44,80	1,22	0,51	4,60	13,56	31,95
53G	0,40	44	12,0									
7	61S	0,40	26	13,5	65,00	12,98	29,62	1,82	0,98	5,19	8,95	16,63
	61G	0,41	29	12,0								
	62S	0,44	26	13,5	76,30	15,70	34,78	1,54	0,74	4,51	10,58	22,02
	62G	0,38	42	12,5								
	63S	0,39	24	12,5	66,70	16,19	34,37	1,50	0,90	5,01	10,86	18,10
	63G	0,37	42	12,5								
	64S	0,40	58	13,5	69,45	12,83	57,98	1,67	0,39	4,06	9,76	41,06
64G	0,41	37	12,0									

¹⁾ zul*D nach Abschnitt 4.5.1

²⁾ aus technischen Gründen war bei diesem Versuch eine Unterbrechung der Belastung nicht möglich.

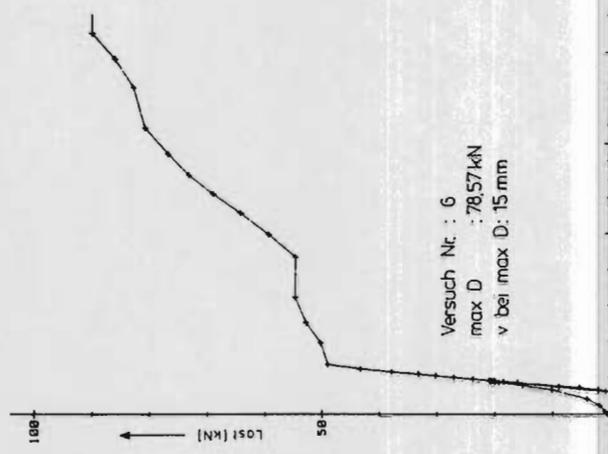
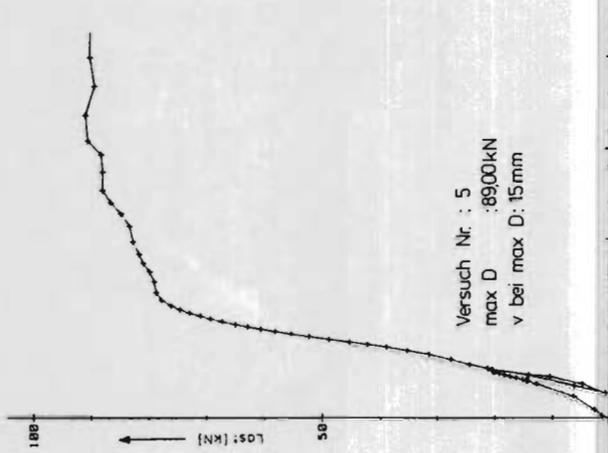
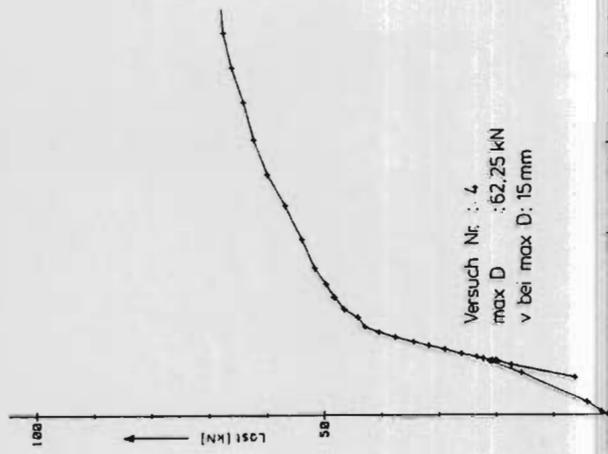
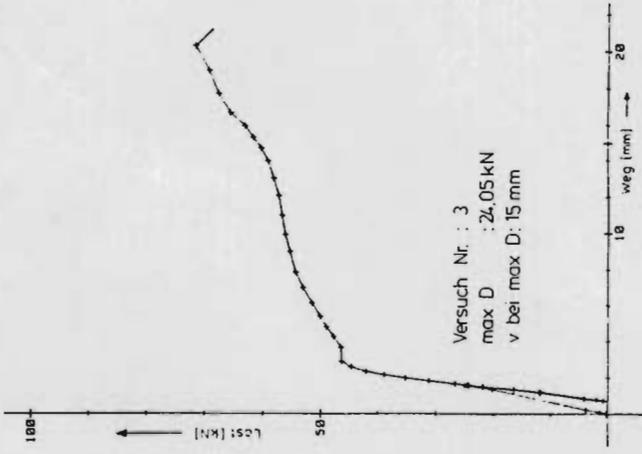
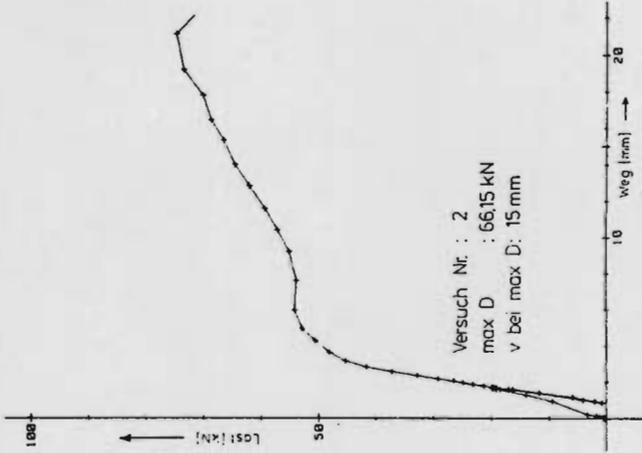
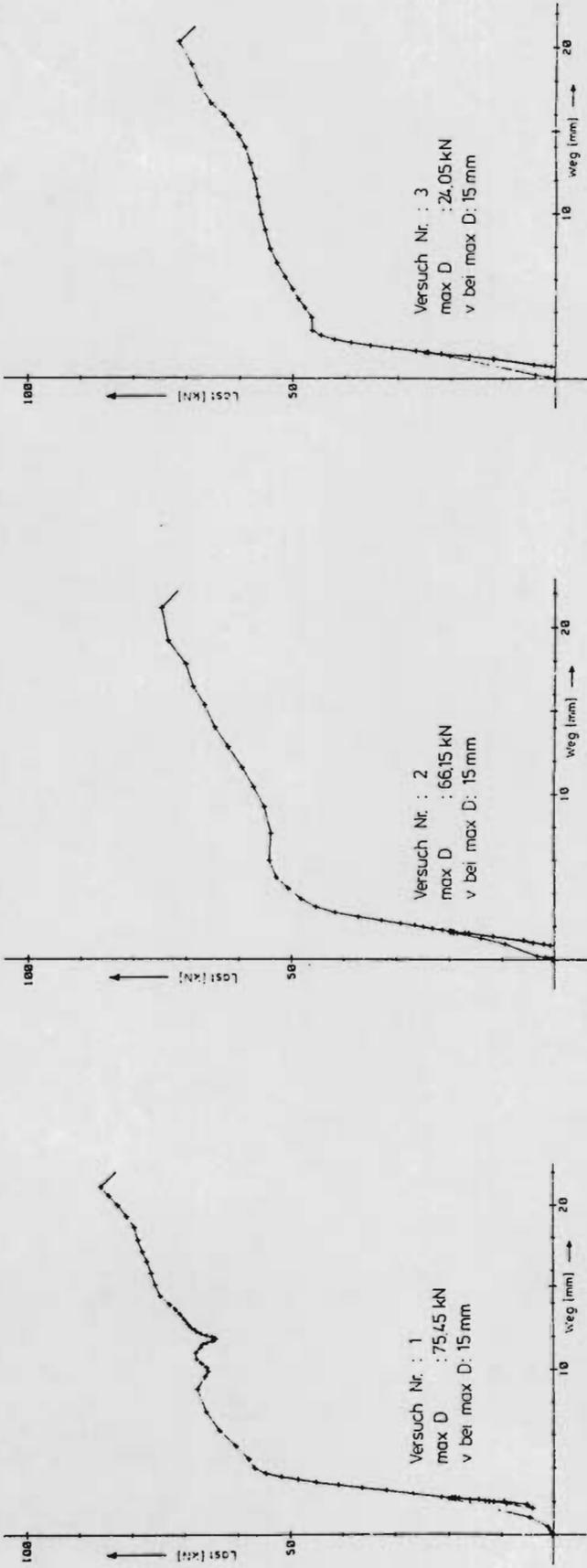
Anlage 11 Rechtwinkliger Stirnversatz, Materialkennwerte
der Probekörper und Versuchsergebnisse, Fortsetzung

1	2	3	4		5	6	7		8		9	10		11	12		13
Serie Nr.	Prüf- körper Nr.	Roh- dichte q/cm ³	Feuchte		Höchst- last max D kN	Last bei 1,5 mm Verformung		Verformung bei zul*D ¹⁾		Verformung bei Höchst- last mm	Federkonstante C = $\frac{zul*D^1}{v}$ kN/mm	C = $\frac{zul*D^1}{v}$					
			Abbund %	Prüfung %		"mit Schlupf" kN	"ohne Schlupf" kN	"mit Schlupf" mm	"ohne Schlupf" mm			"mit Schlupf" kN/mm	"ohne Schlupf" kN/mm				
8	71S	0,44	24	13,0	80,64	19,30	60,25	1,44	0,20	11,74	12,05	86,77					
	71G	0,45	25	14,5													
	72S	0,40	27	13,0	72,67	29,35	52,52	1,00	0,47	12,32	17,35	36,92					
	72G	0,38	24	13,5													
	73S	0,40	60	14,0	104,89	15,88	34,15	1,60	0,90	6,08	10,85	19,28					
	73G	0,38	29	13,0													
	74S	0,41	25	13,5	75,96	12,92	33,68	1,76	0,94	4,35	9,86	18,46					
	74G	0,40	26	13,5													
	75S	0,37	33	12,5	80,10	5,87	45,69	3,17	0,65	14,67	5,48	26,70					
	75G	0,38	27	12,0													
76S	0,38	25	13,0	85,04	29,73	44,76	1,00	0,62	3,83	17,35	27,99						
76G	0,43	36	13,5														
9	81S	0,38	26	12,5	107,21	29,95	54,80	0,95	0,47	15,00	16,50	33,56					
	81G	0,49	25	13,0													
	82S	0,41	25	12,0	90,39	5,67	12,20	2,79	1,68	6,44	5,62	9,33					
	82G	0,39	37	11,5													
	83S	0,37	34	13,5	89,31	5,37	17,60	2,44	1,21	9,28	6,43	12,96					
	83G	0,39	27	13,0													
	84S	0,36	27	13,0	92,52	15,45	38,52	1,51	0,72	9,10	10,38	21,78					
	84G	0,40	29	13,0													
	85S	0,41	27	13,5	94,68	16,03	33,72	1,48	0,93	7,67	10,59	16,86					
	85G	0,41	32	12,0													
86S	0,39	24	13,0	97,77	8,59	11,52	2,92	1,76	15,00	5,37	8,91						
86G	0,38	41	12,0														

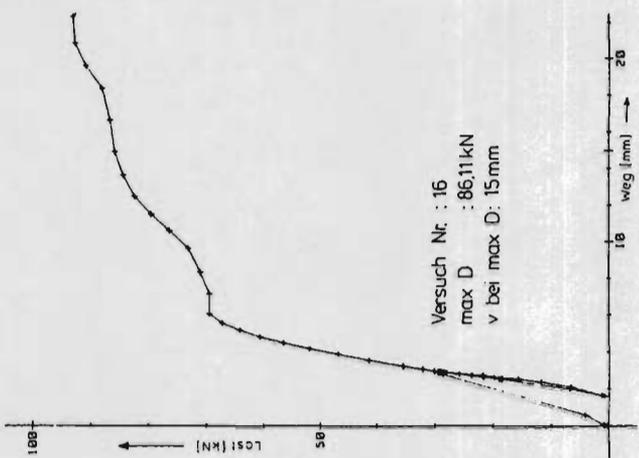
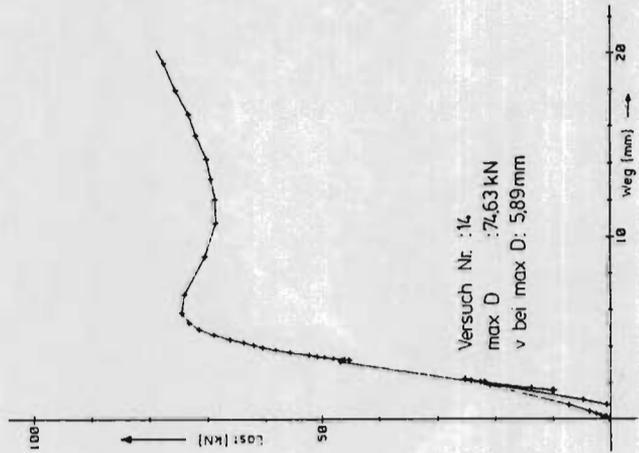
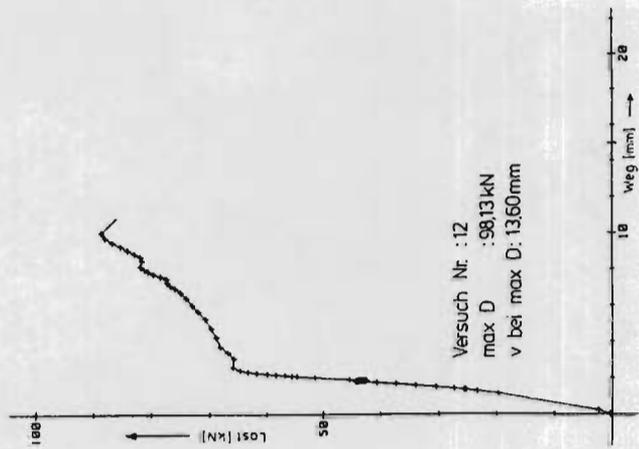
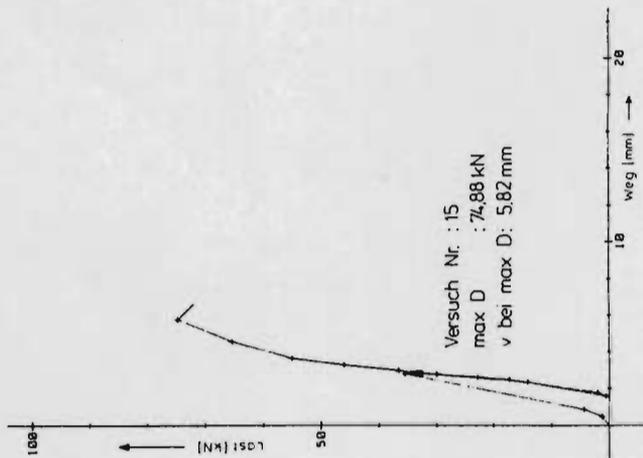
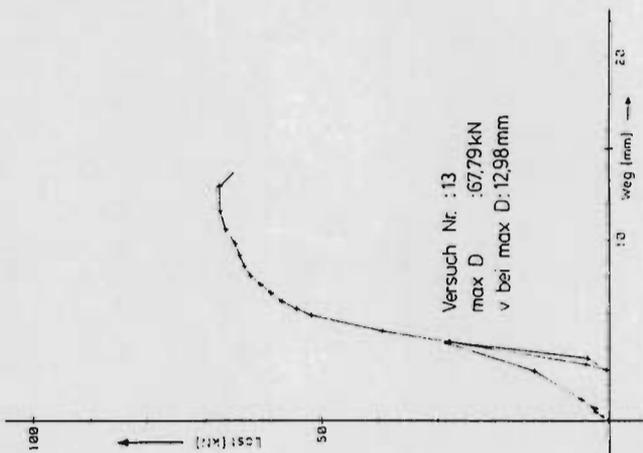
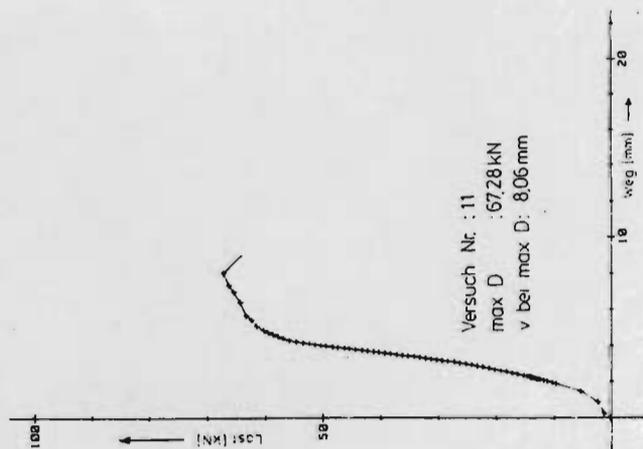
1) zul*D nach Abschnitt 4.5.1

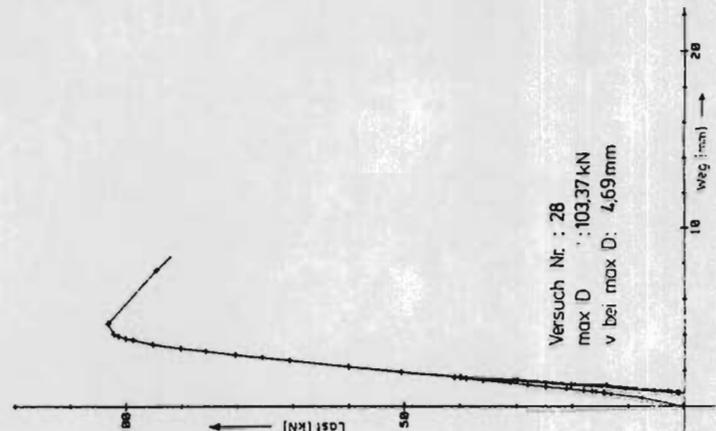
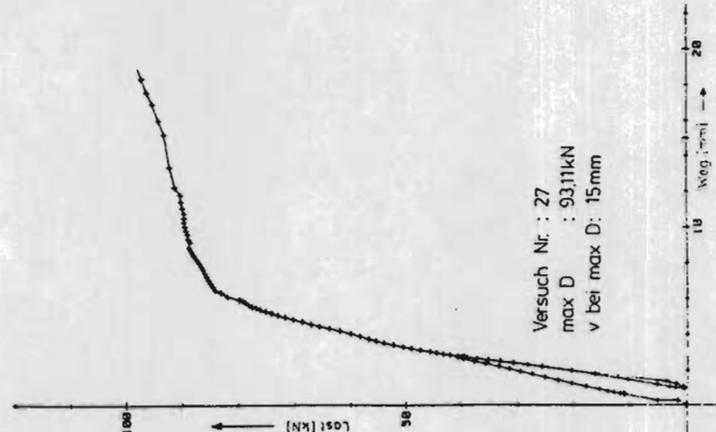
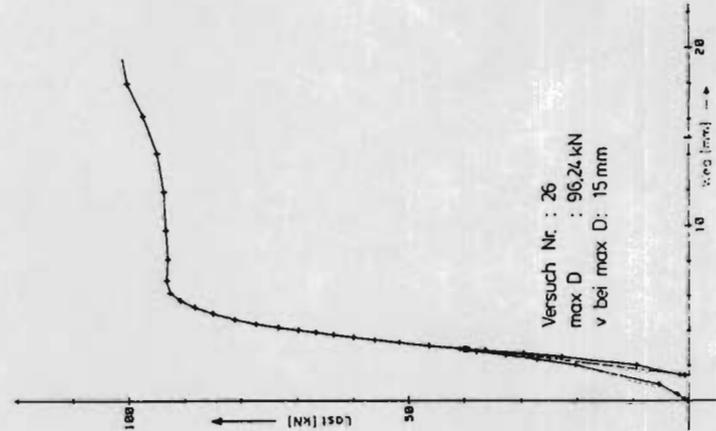
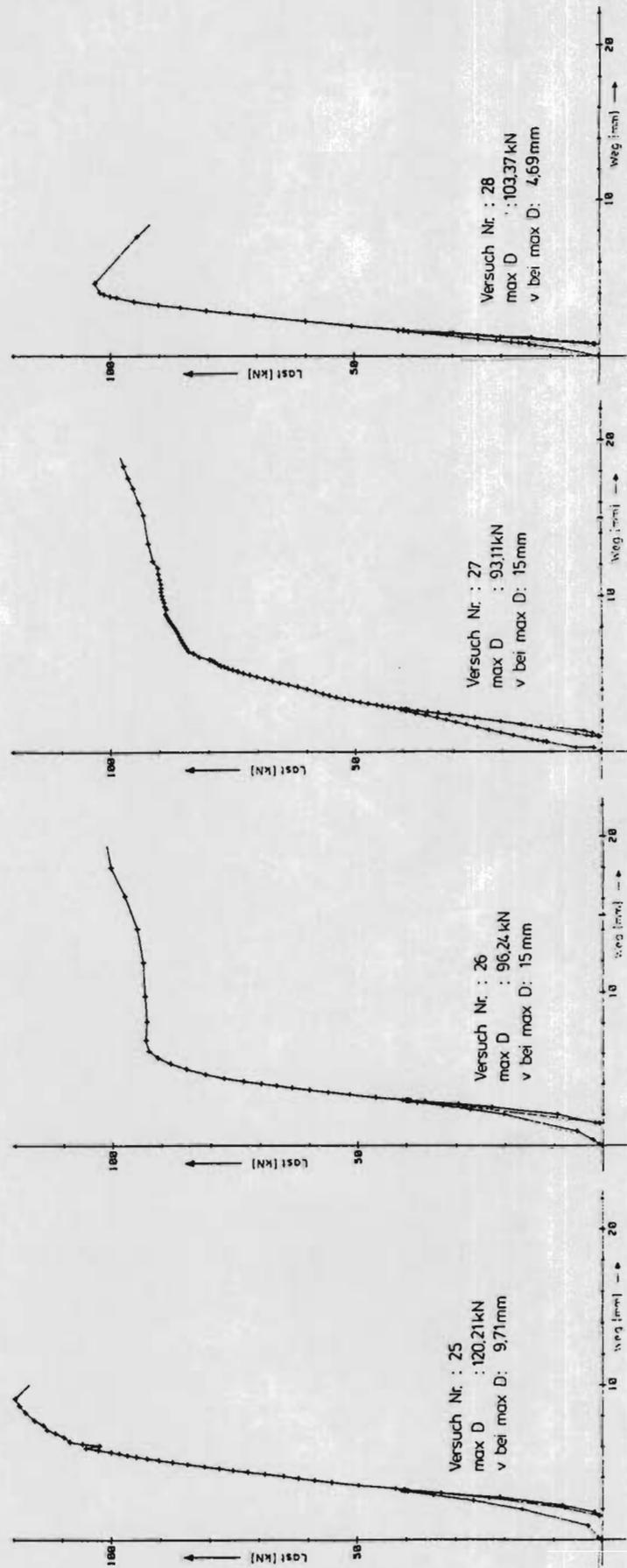
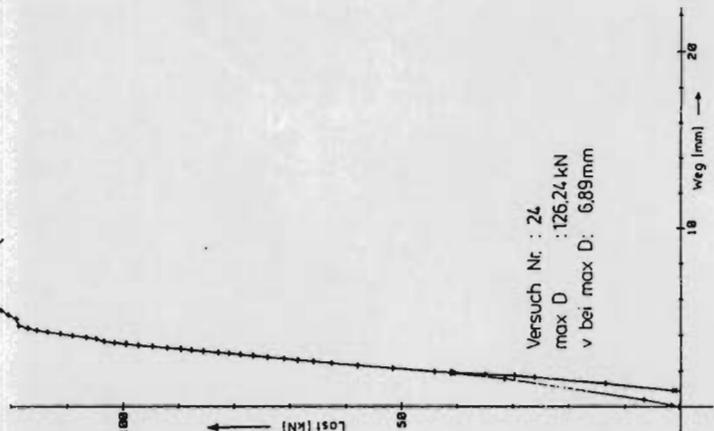
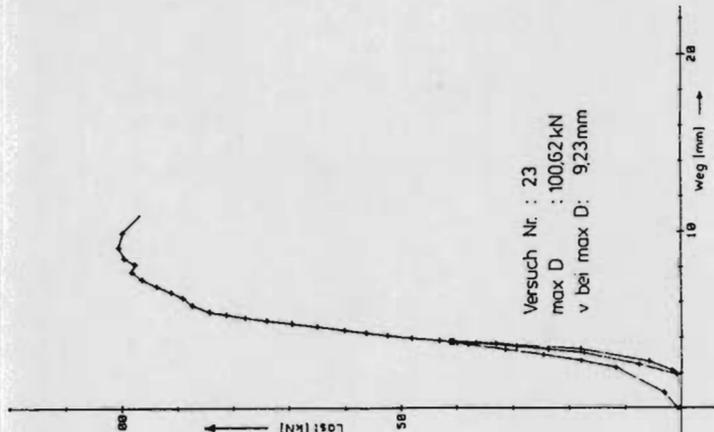
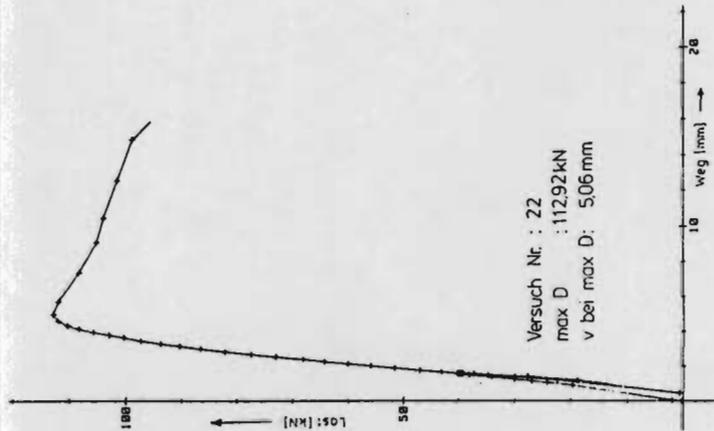
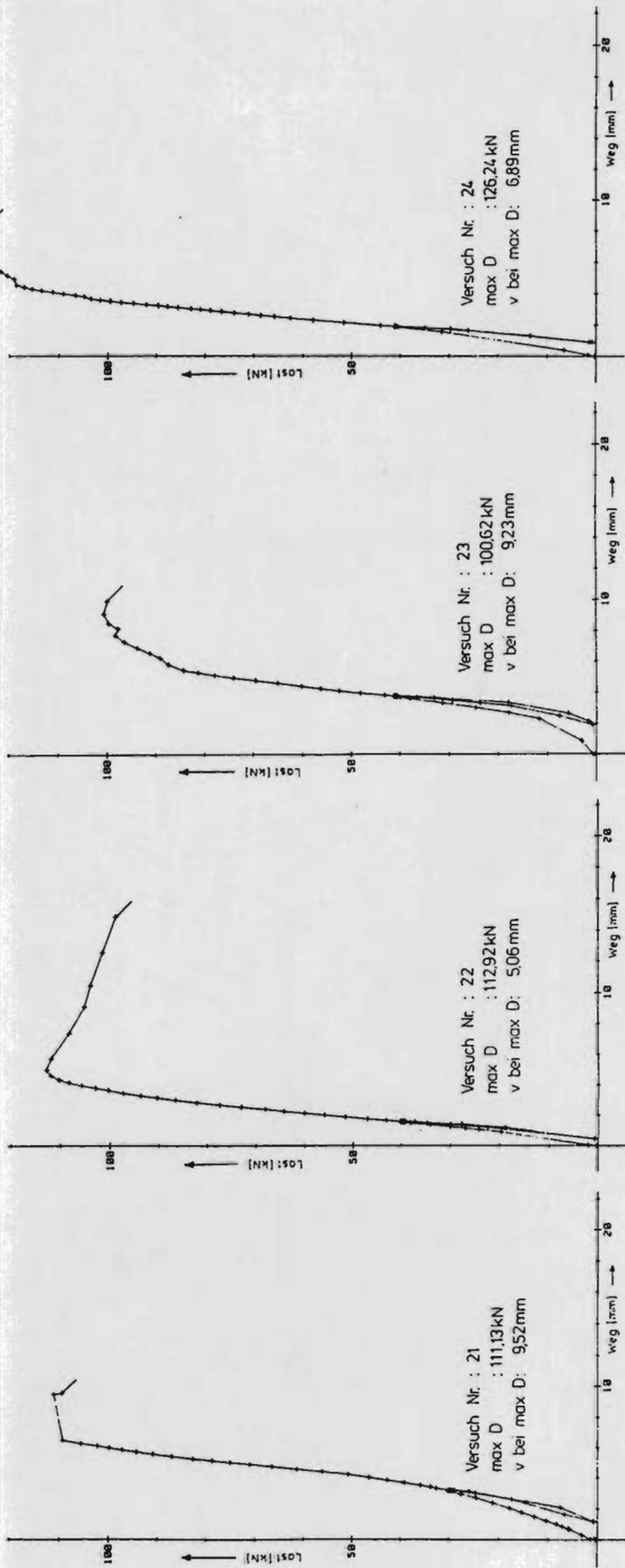
2) aus technischen Gründen war bei diesem Versuch eine Unterbrechung der Belastung nicht möglich.

Anlage 12 Rechtwinkliger Stirnversatz, Kraft-Verformungsdiagramme, Serie 1

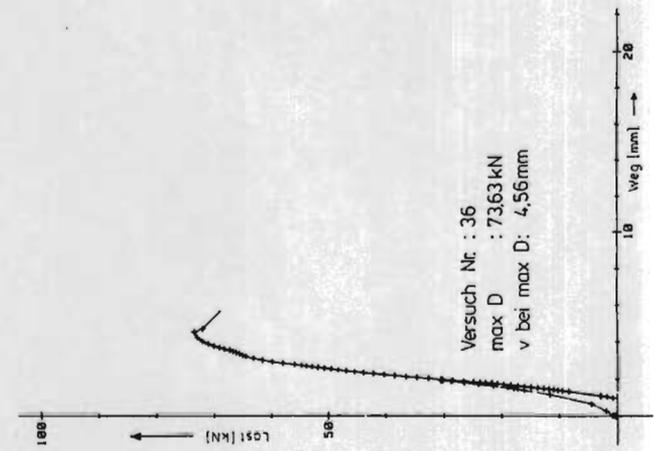
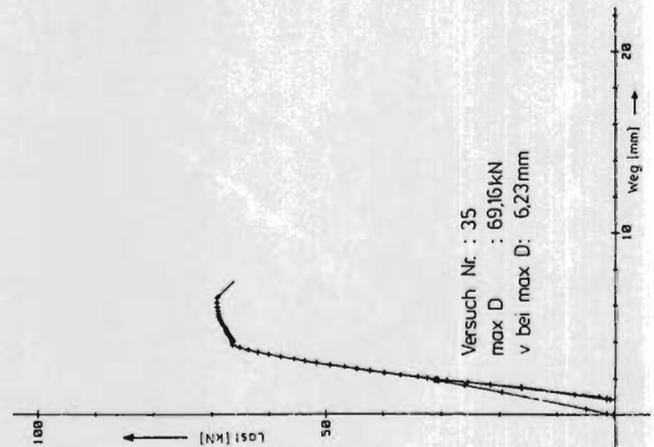
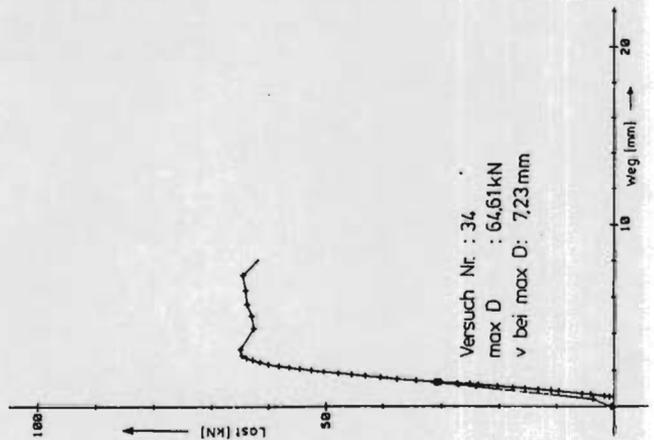
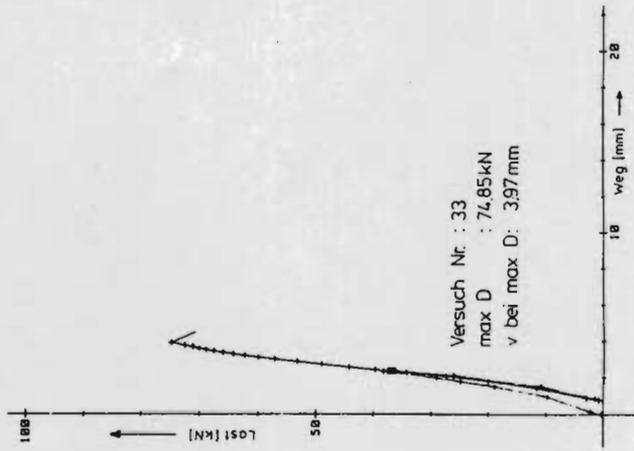
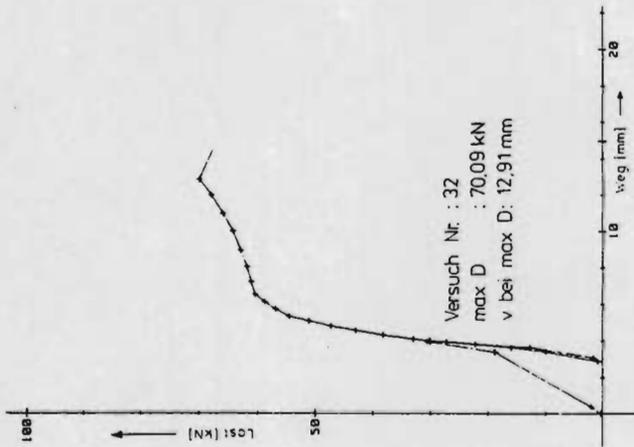
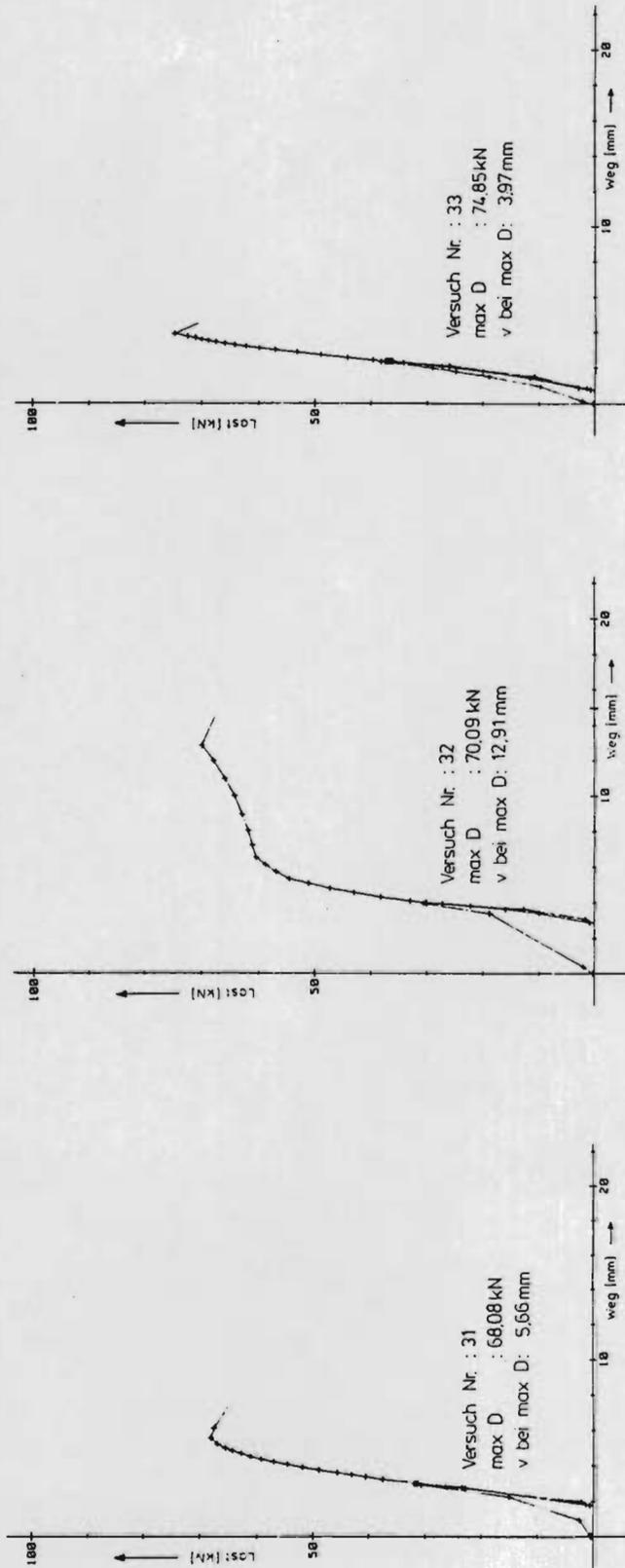


Anlage 12 Rechtwinkliger Stirnversatz, Kraft-Verformungsdiagramme, Fortsetzung, Serie 2

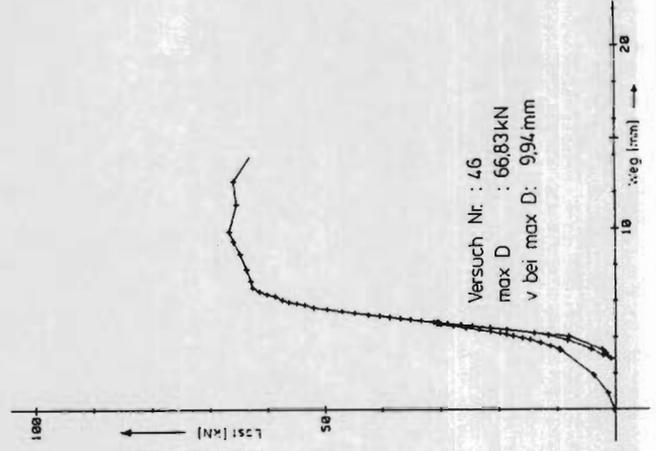
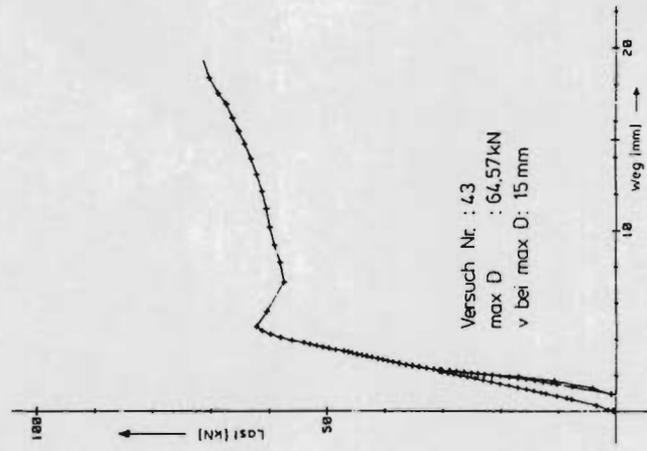
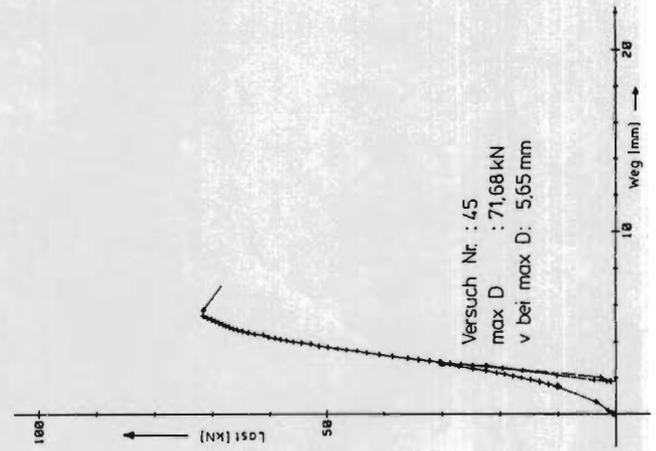
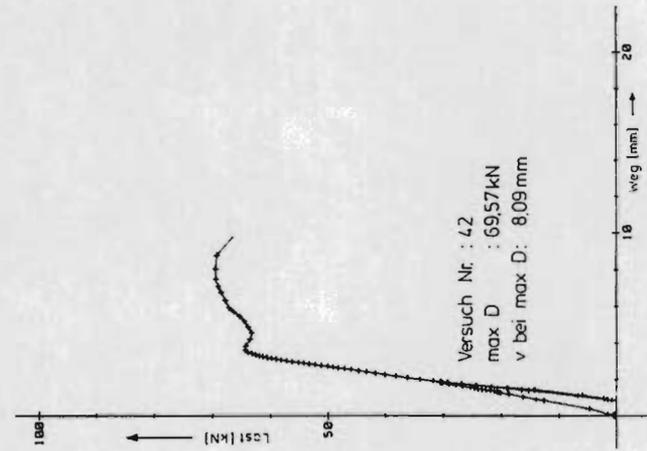
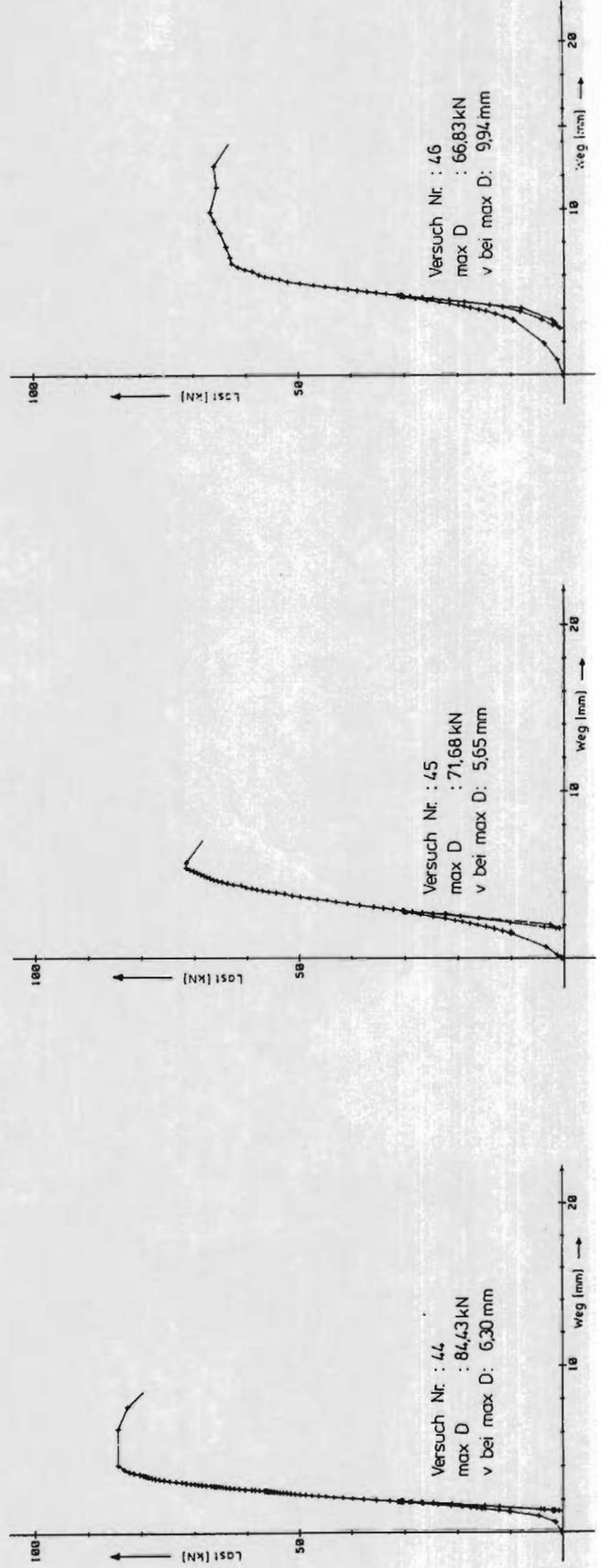
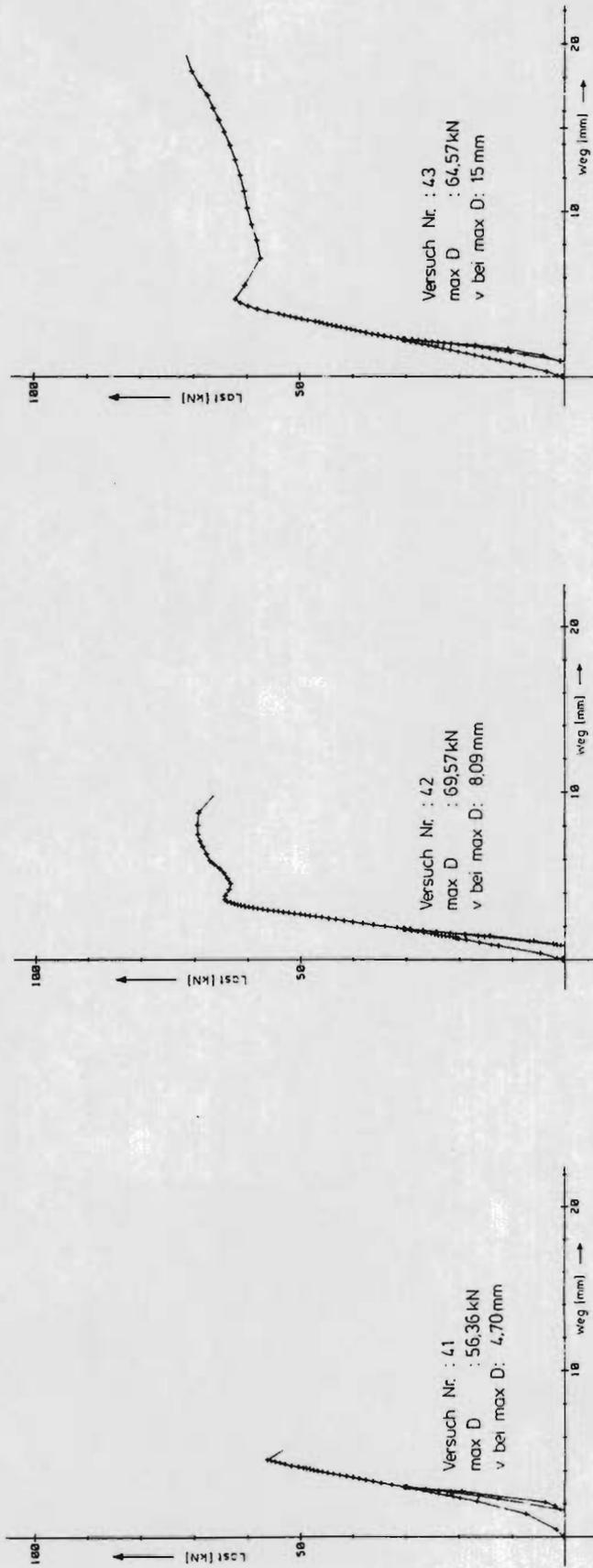




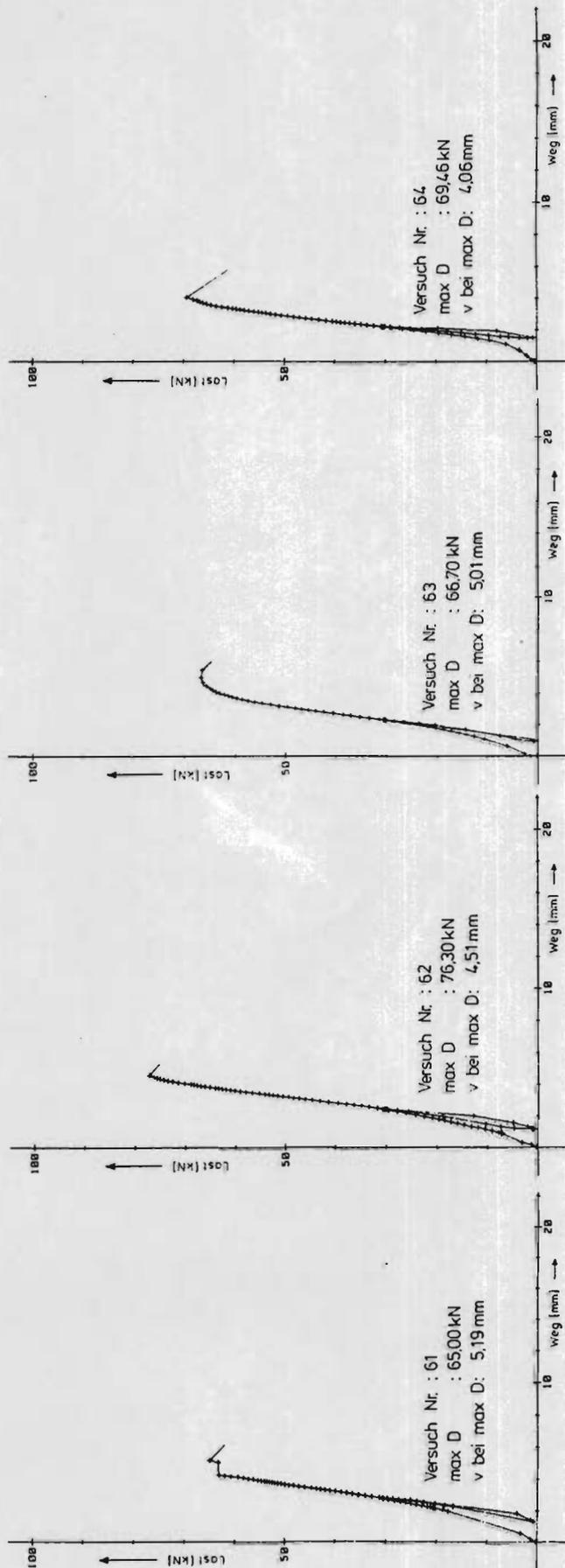
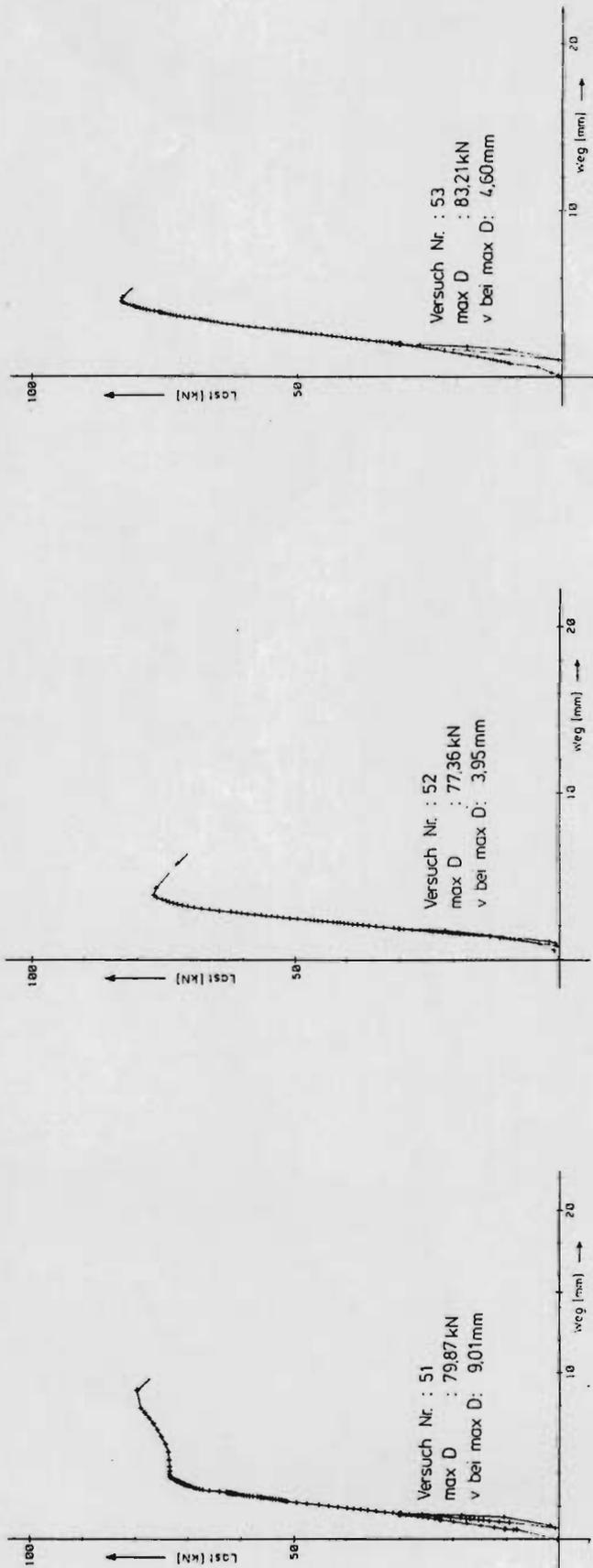
Anlage 12 Rechtwinkliger Stirnversatz, Kraft-Verformungsdiagramme, Fortsetzung, Serie 4



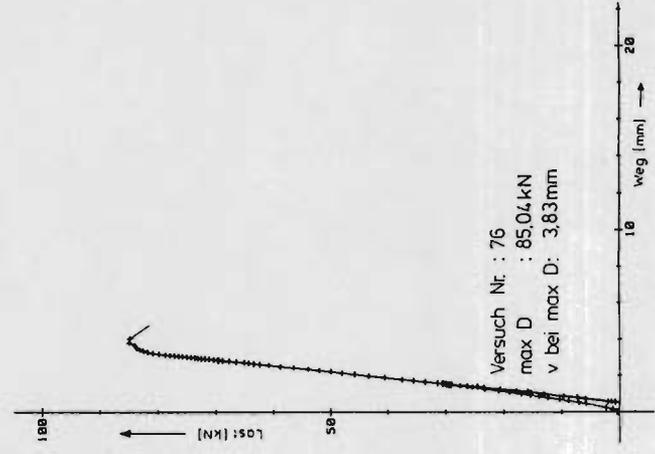
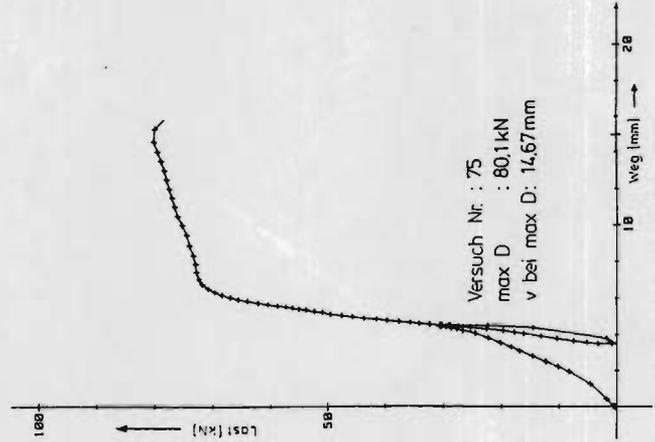
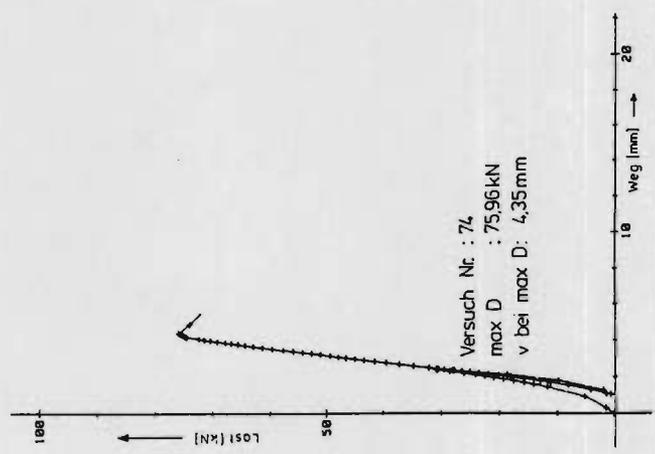
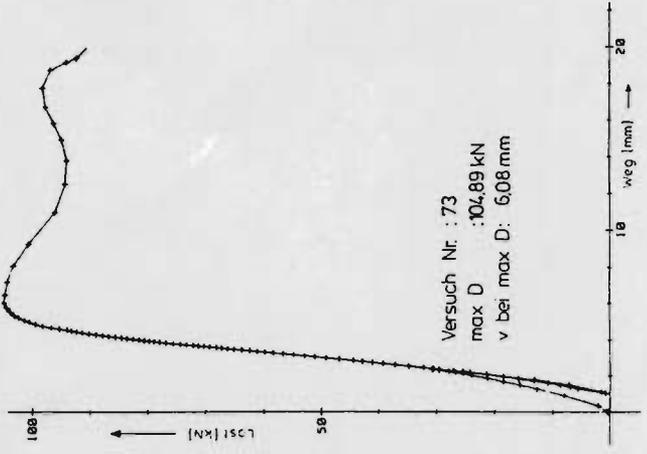
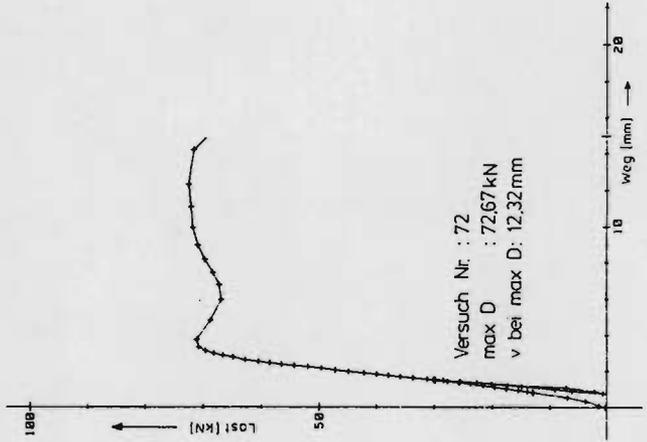
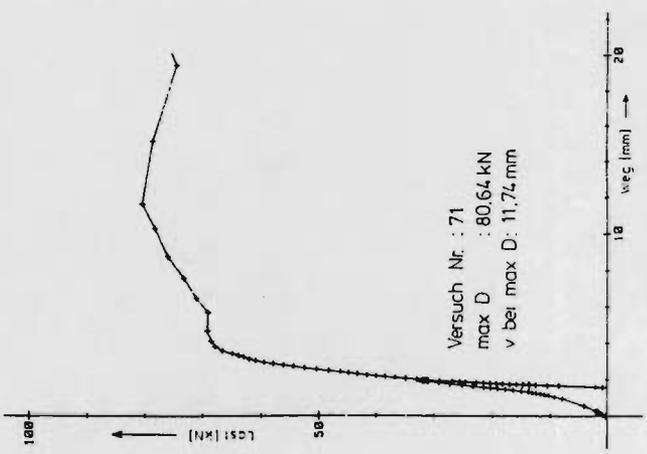
Anlage 12 Rechtwinkliger Stirnversatz, Kraft-Verformungsdiagramme, Fortsetzung, Serie 5



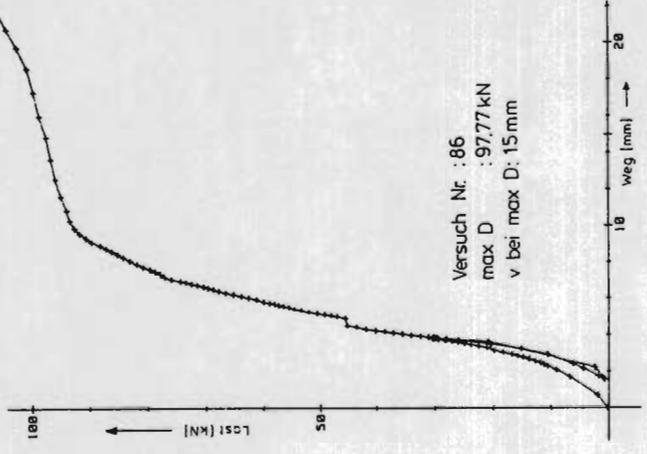
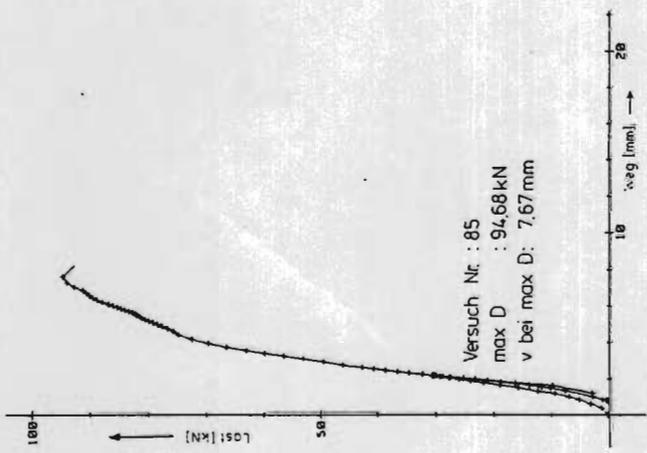
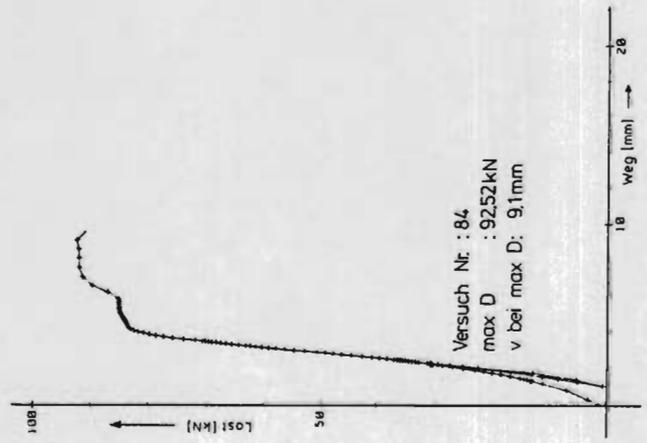
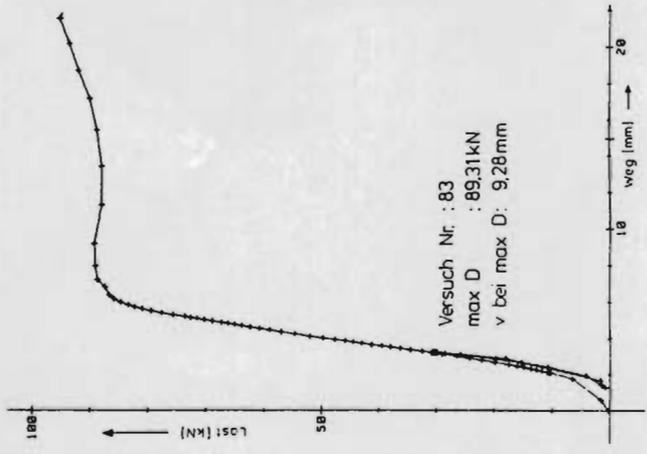
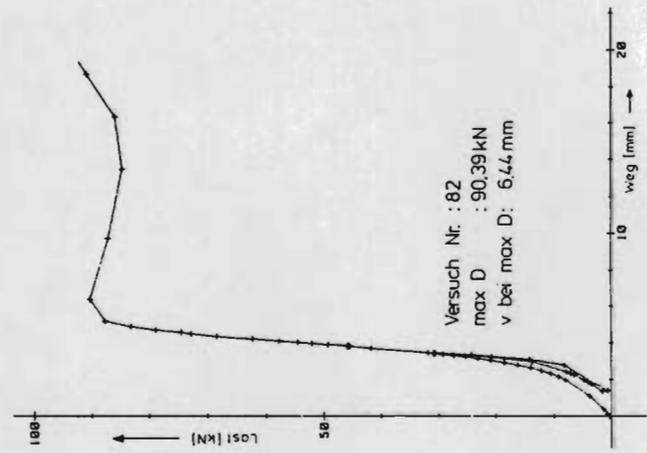
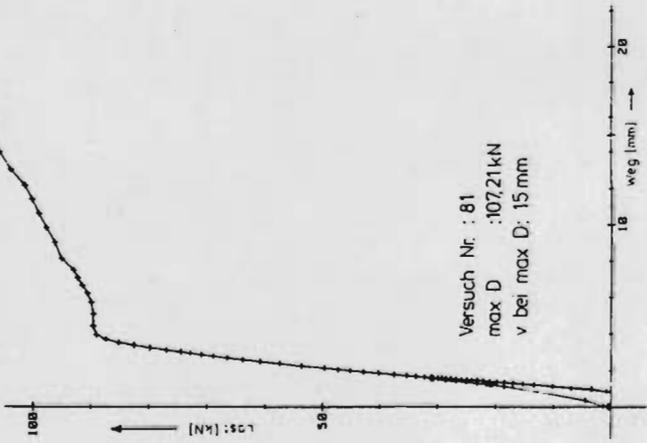
Anlage 12 Rechtwinkliger Stirnversatz, Kraft-Verformungsdiagramme, Fortsetzung, Serie 6 und 7



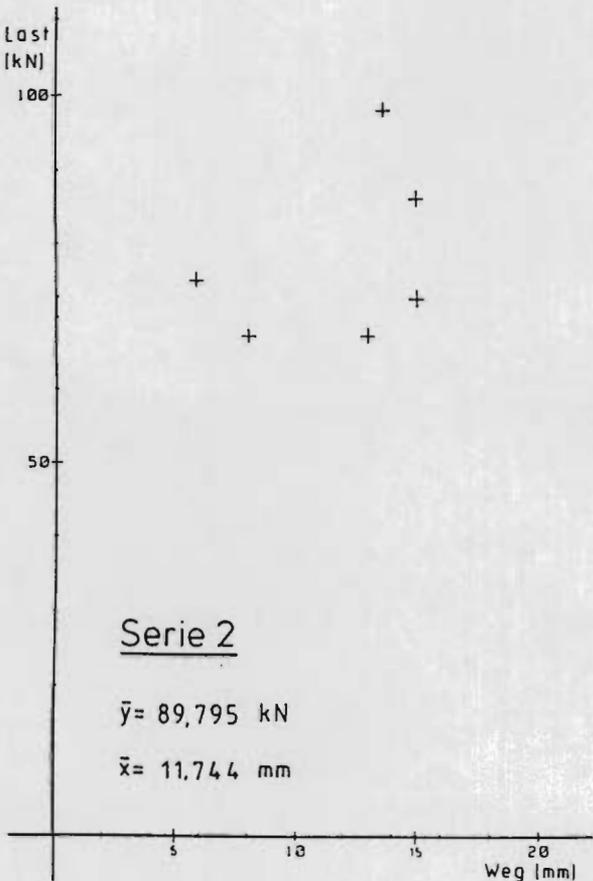
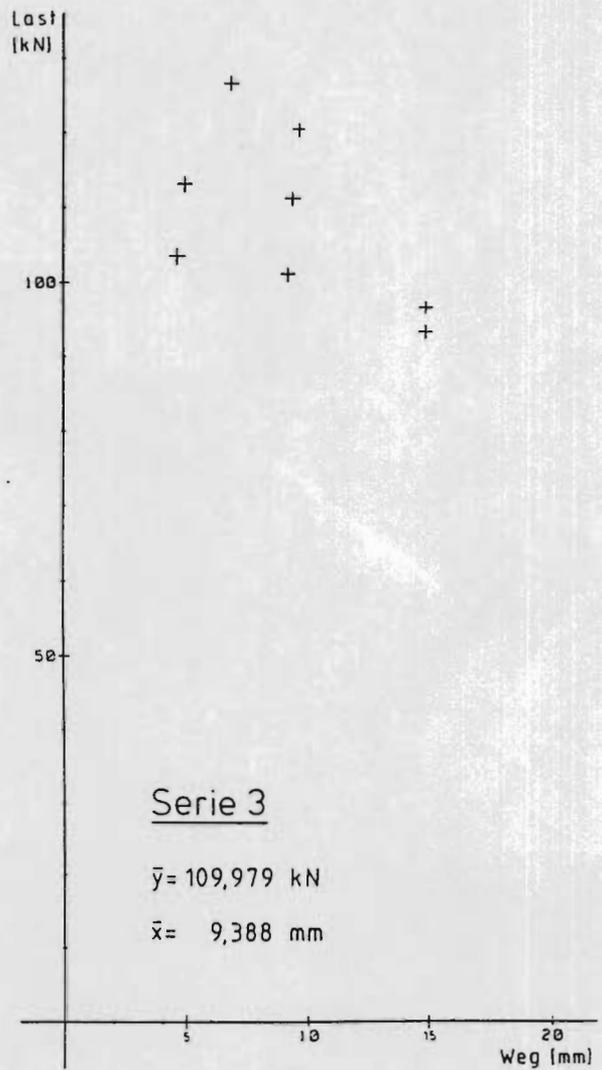
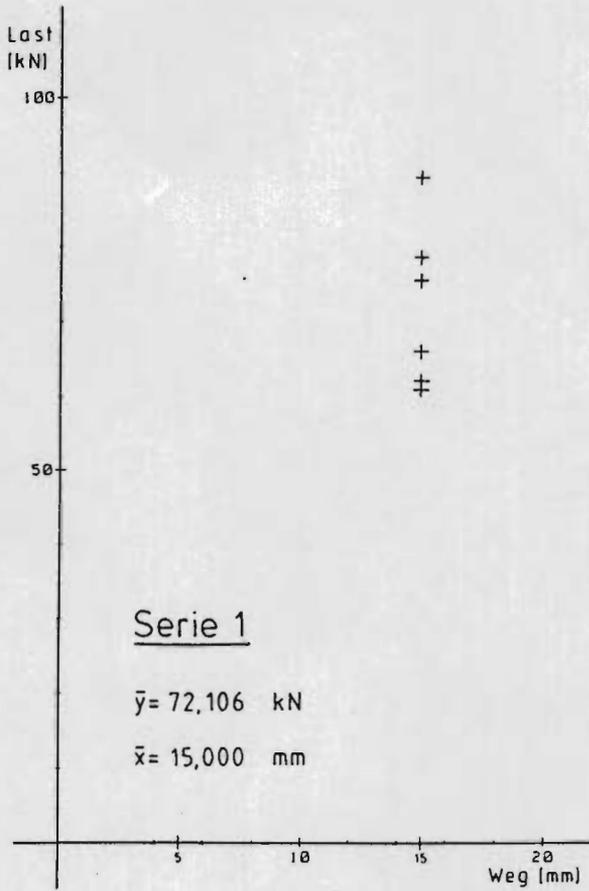
Anlage 12 Rechtwinkliger Stirnversatz, Kraft-Verformungsdiagramme, Fortsetzung, Serie 8



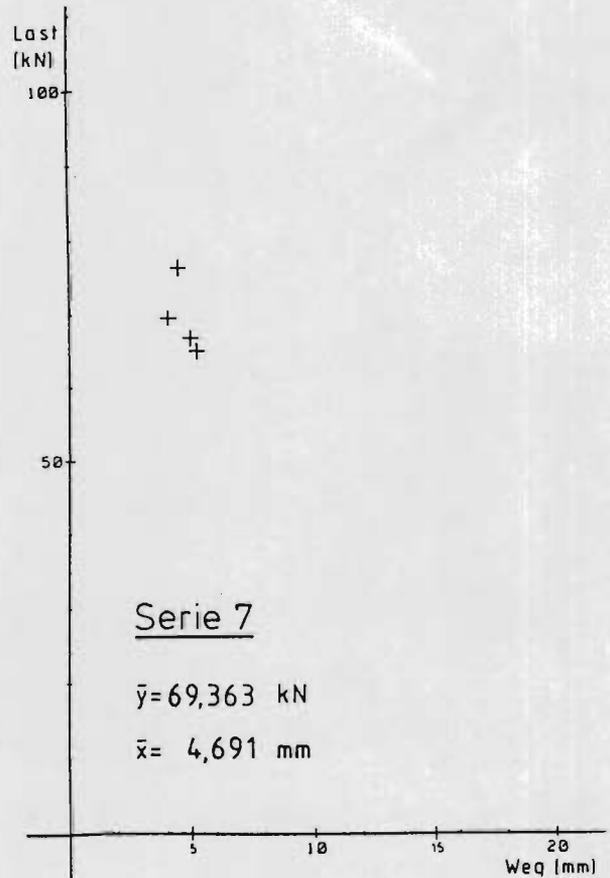
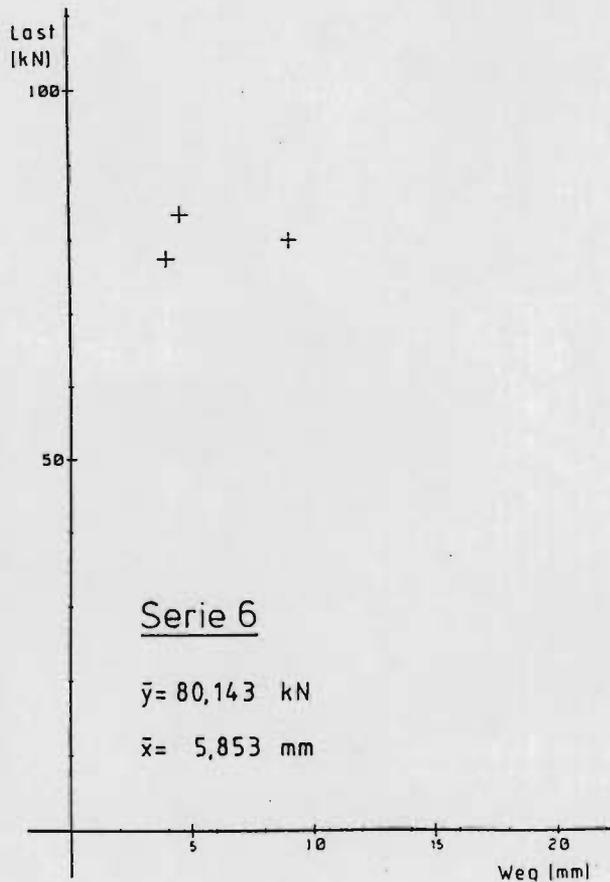
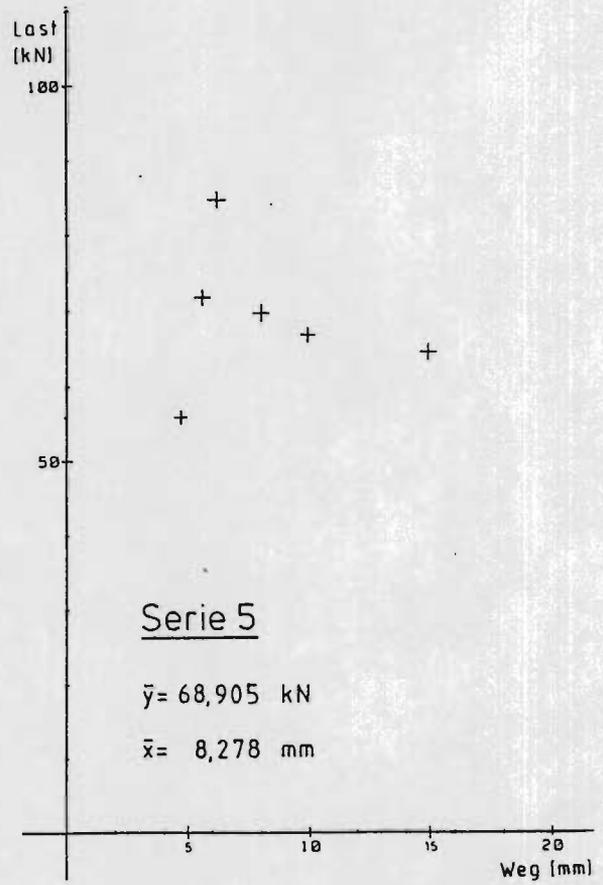
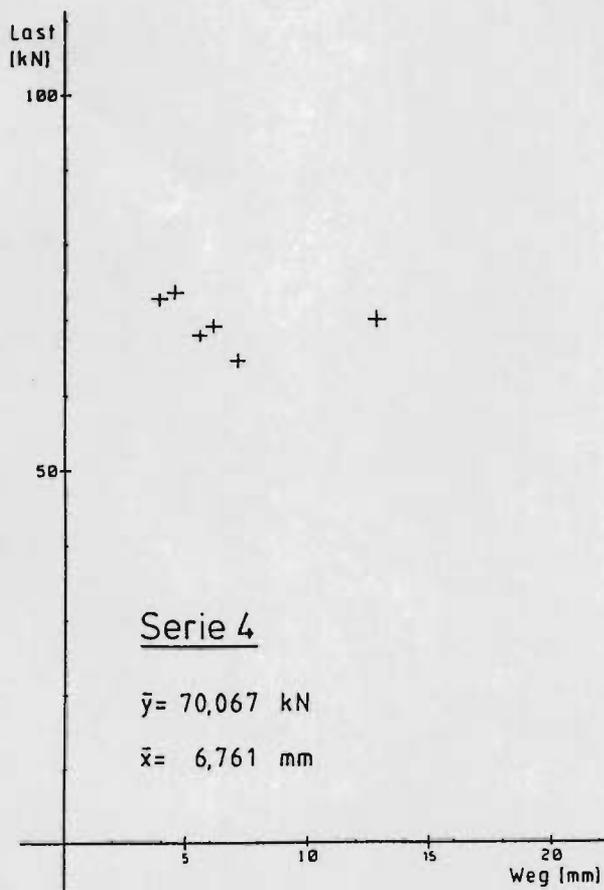
Anlage 12 Rechtwinkliger Stirnversatz, Kraft-Verformungsdiagramme, Fortsetzung, Serie 9



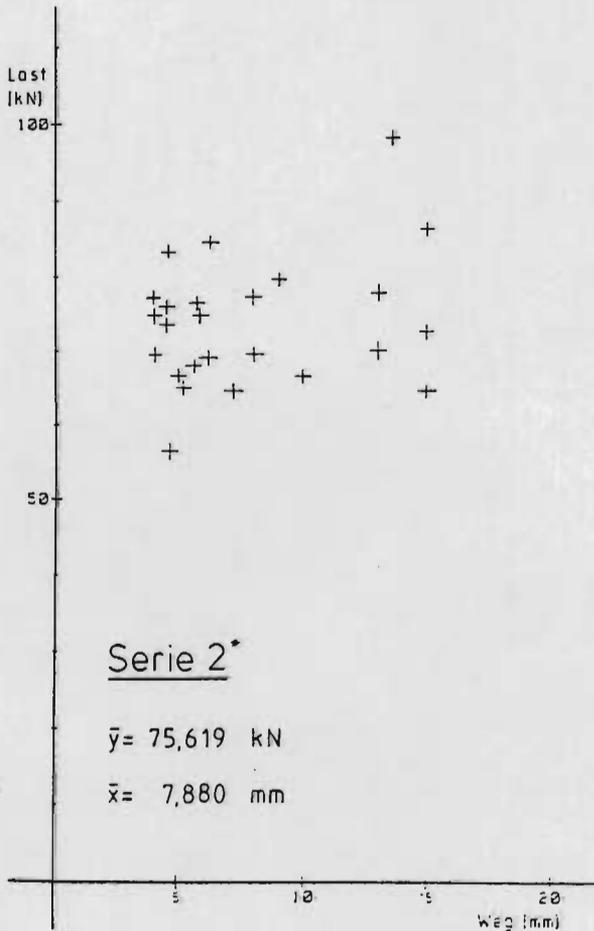
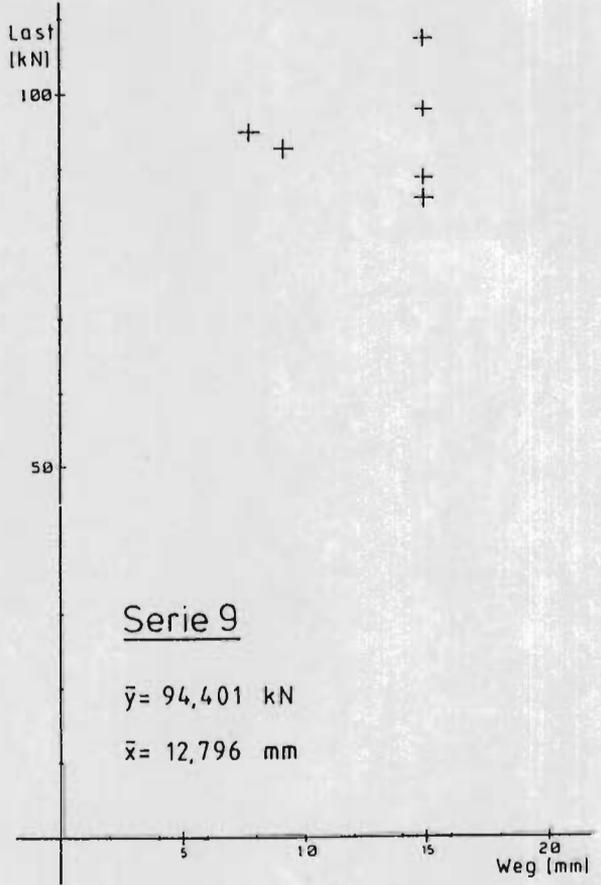
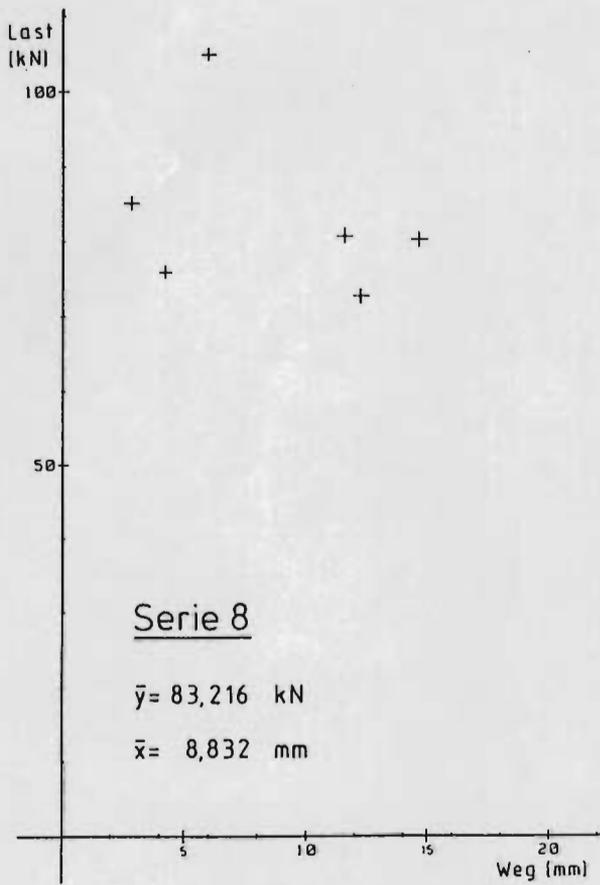
Anlage 13 Rechtwinkliger Stirnversatz, Bruchlasten und Dehnungen



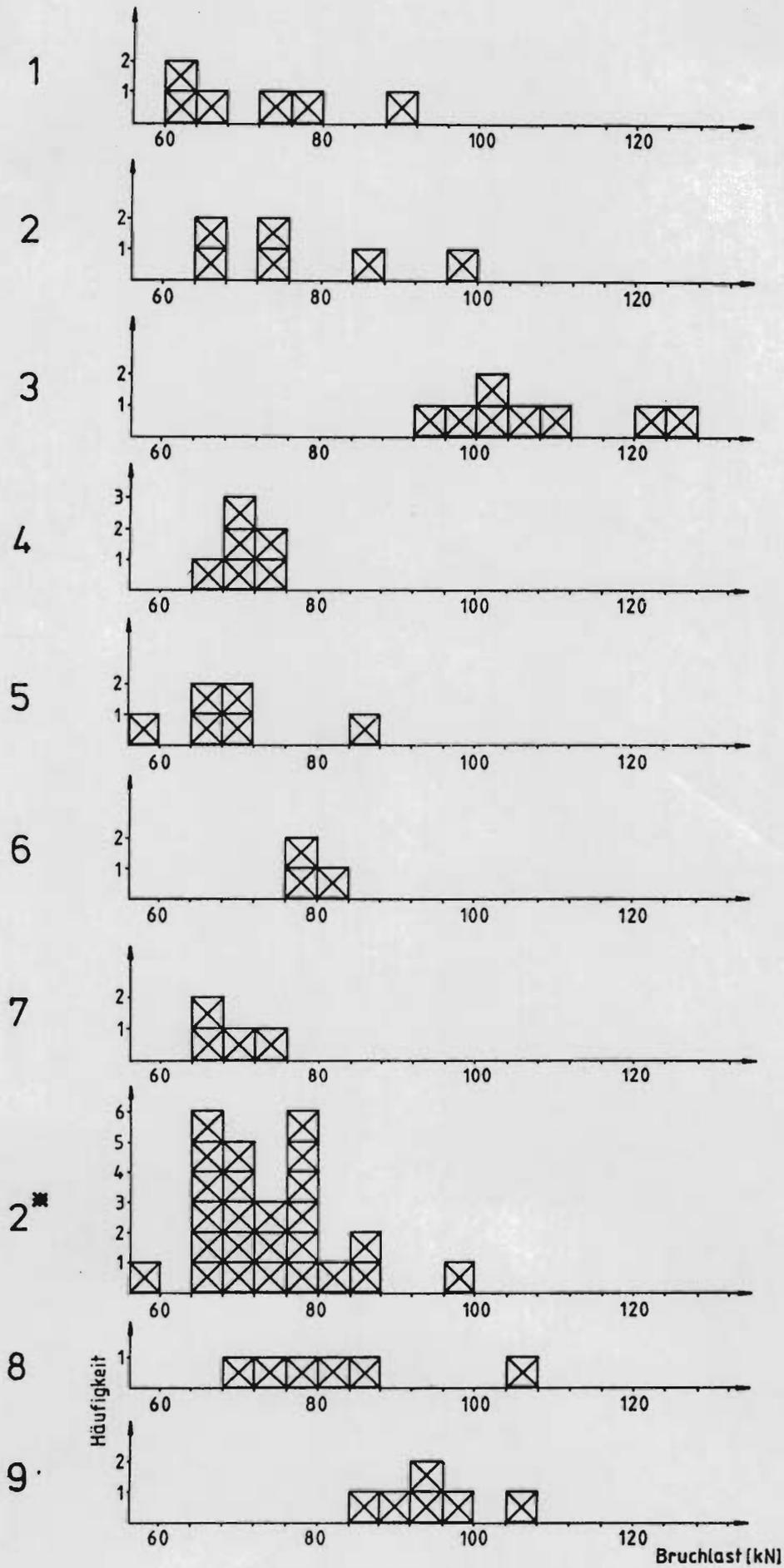
Anlage 13 Rechtwinkliger Stirnversatz, Bruchlasten und Dehnungen, Fortsetzung

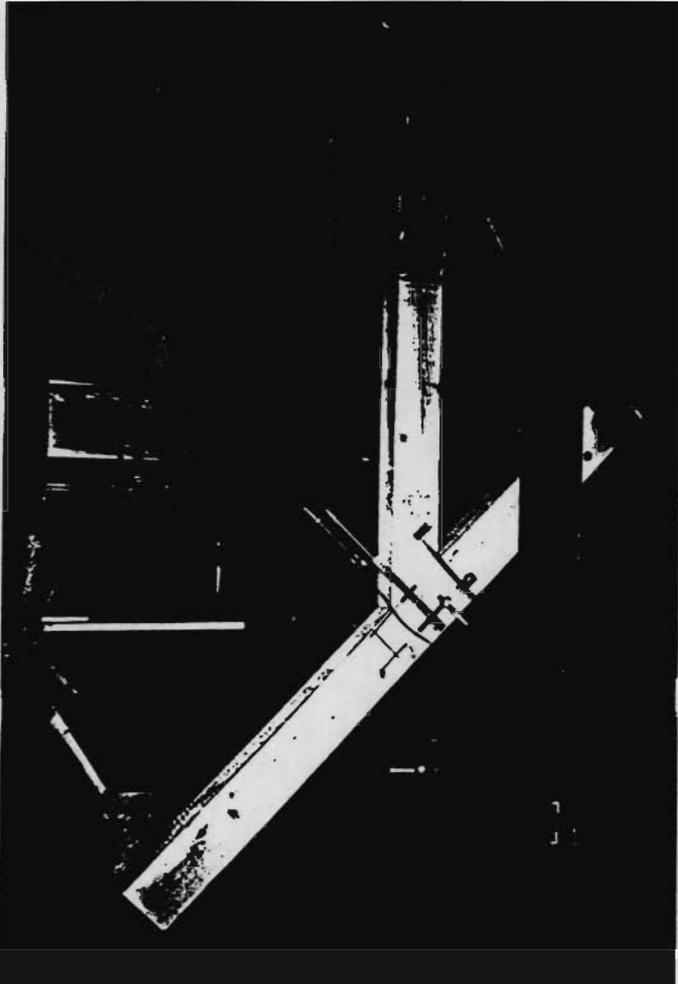


Anlage 13 Rechtwinkliger Stirnversatz, Bruchlasten und Dehnungen, Fortsetzung



Anlage 14 Rechtwinkliger Stirnversatz, Häufigkeitsverteilung der Bruchlasten





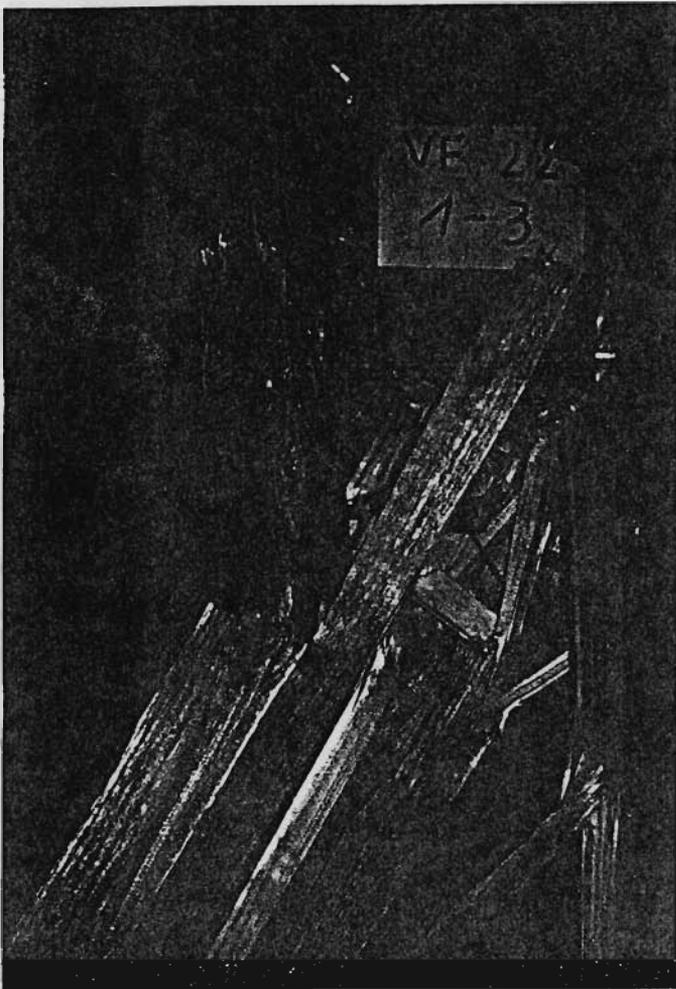
Anlage 15: Rechtwinkliger Stirnversatz: Bilder zur Durchführung der Versuche

Anlage 15.1: Prüfeinrichtung

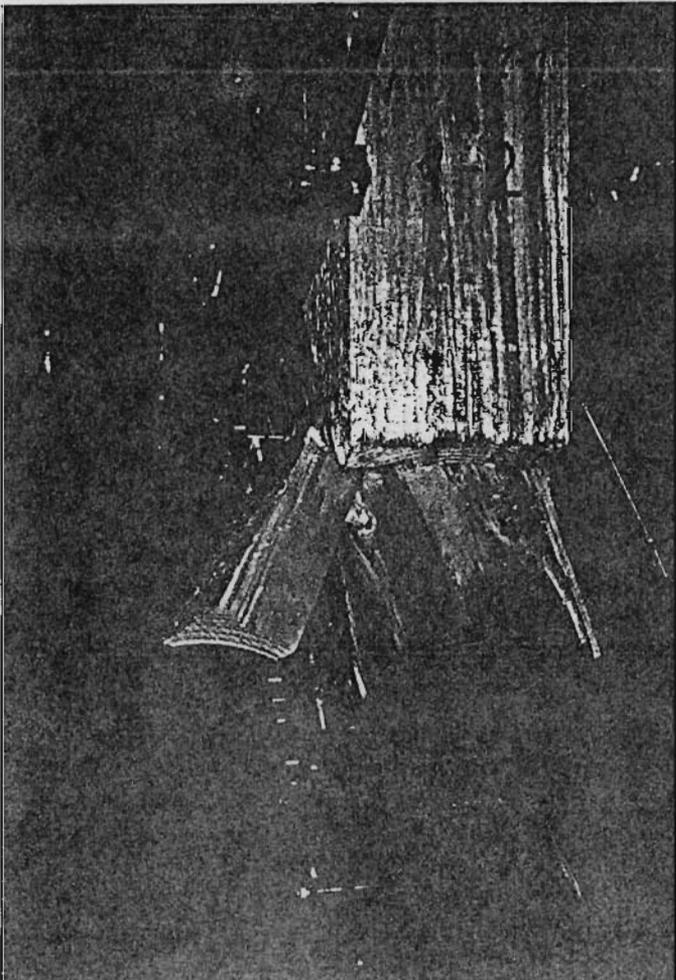


Anlage 15.2: Bruchbild bei Erreichen der Plastizitätsgrenze

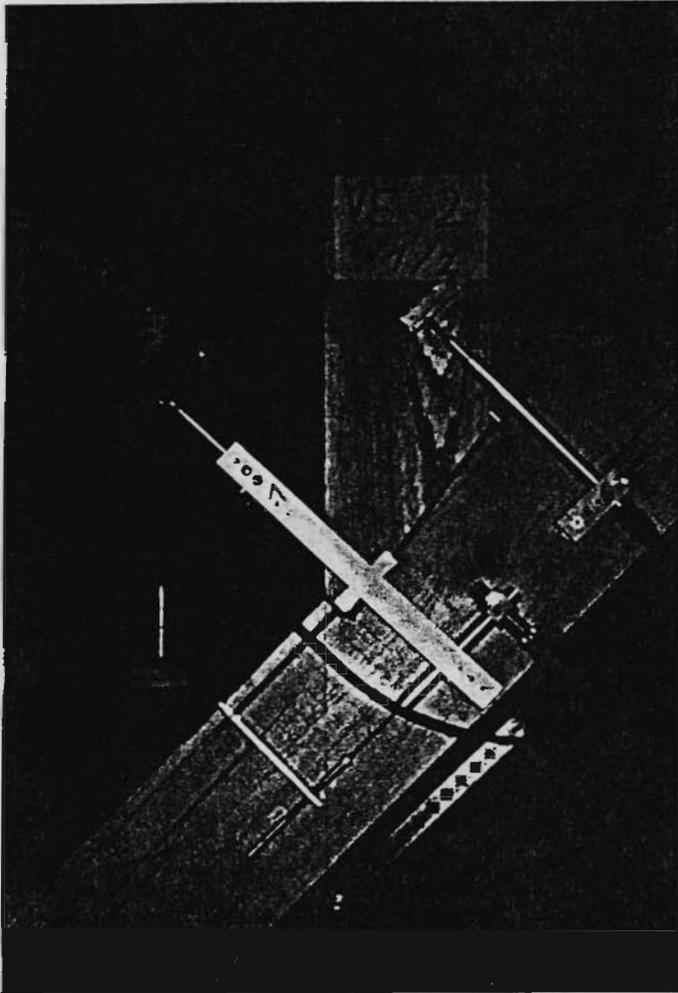
Anlage 15: Rechtwinkliger Stirn-
versatz: Bilder zur Durchführung
der Versuche



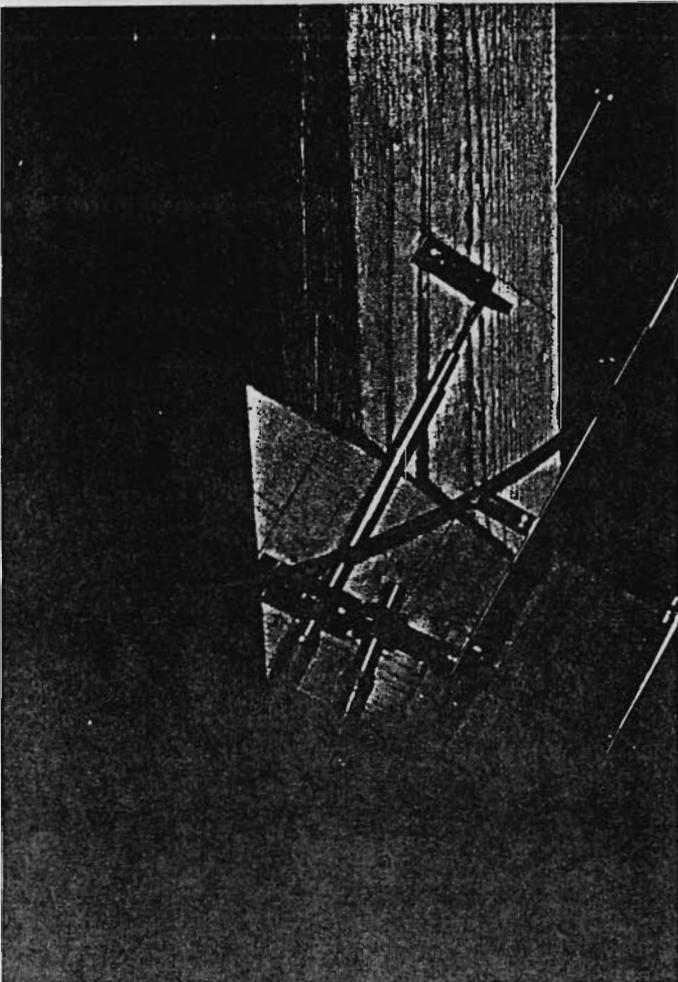
Anlage 15.3: Bruchbild bei Aus-
knicken der oberen Fasern des
Gurtstabes



Anlage 15.4: Bruchbild bei Er-
reichen der Schubfestigkeit bei
kurzen Vorholzlängen

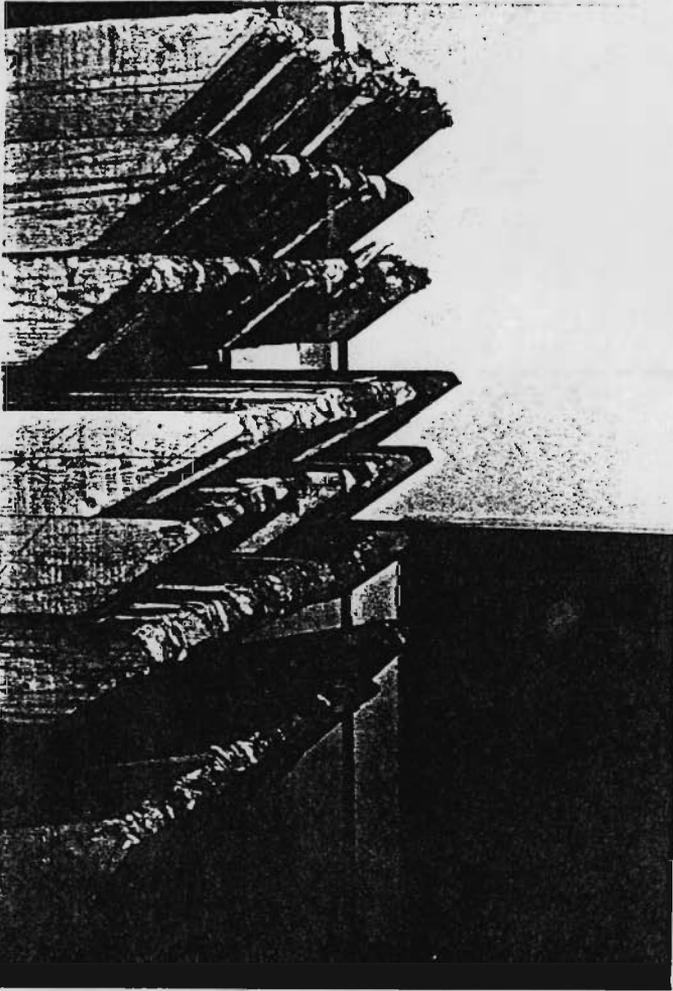


Anlage 15: Rechtwinkliger Stirnversatz: Bilder zur Durchführung der Versuche

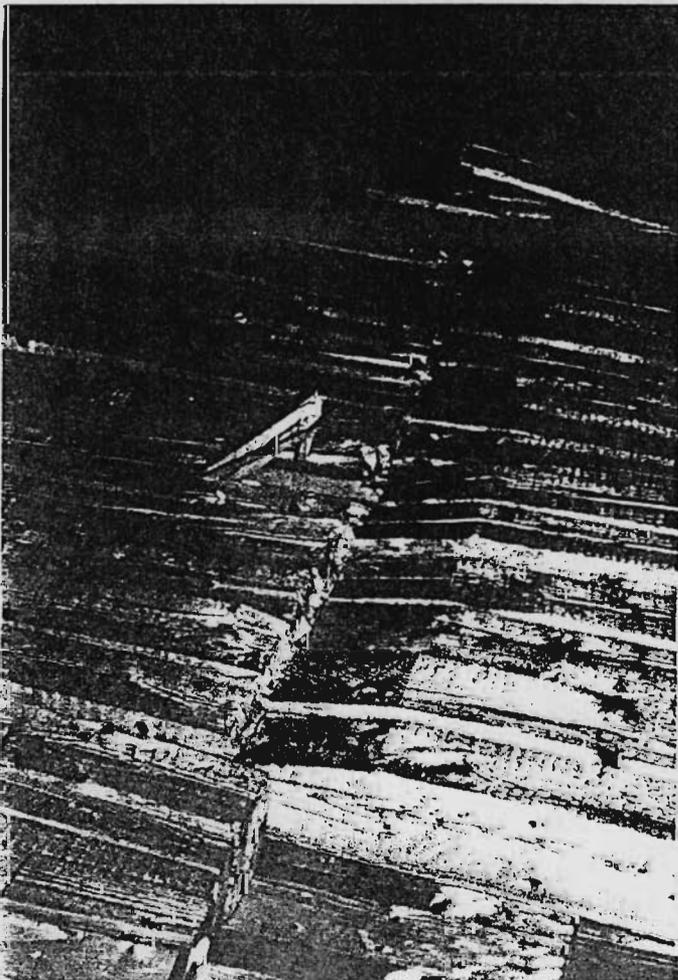


Anlage 15.5: Klaffung im hinteren Bereich der Kontaktfuge durch Schwindverformungen

Anlage 15.6: Klaffung im vorderen Bereich der Kontaktfuge durch Schwindrisse in der Strebe



*Anlage 15: Rechtwinkliger Stirn-
versatz: Bilder zur Durchführung
der Versuche*



*Anlage 15.7: Deformation der
Prüfkörper an der Versatzstirn*

*Anlage 15.8: Deformation der
Gurtstäbe*