

Hirnholzdübelverbindungen bei Brettschichtholz und Nadelvollholz

von

Jürgen Ehlbeck und Marina Schlager

Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine
Abteilung Ingenieurholzbau
Universität Fridericiana Karlsruhe
Univ.-Professor Dr.-Ing. Jürgen Ehlbeck
1992

VORWORT

In den letzten Jahren haben Hirnholzdübelanschlüsse in der Baupraxis eine immer größere Bedeutung erlangt. Besonders bei Trägerrosten, Querträgeranschlüssen und Anschlüssen von Trägern an Stützen haben sich wirtschaftlich interessante Anwendungen ergeben, die auch im Hinblick auf den Brandschutz Vorteile mit sich bringen. Nach DIN 1052, Teil 2 dürfen tragende Anschlüsse jedoch nur mit Einlaßdübeln des Dübeltyps A in Hirnholz von Brettschichtholz ausgeführt werden. Es erschien deshalb wünschenswert, auch für Hirnholzdübelverbindungen mit Einpreßdübeln der Dübeltypen C und D geeignete Ausführungs- und Bemessungsgrundlagen zu schaffen und zu klären, ob die Anwendung dieser Anschlußart auch in Nadelvollholz zugelassen werden darf.

Das Forschungsvorhaben entstand im Auftrag der Entwicklungsgemeinschaft Holzbau in der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung. Die finanziellen Mittel zur Durchführung des Vorhabens wurden vom Institut für Bautechnik, Berlin, bereitgestellt.

Planung und Durchführung der theoretischen und versuchstechnischen Arbeiten wurden von Frau Dipl.-Ing. M. Schlager geleitet. Im Labor waren für die Prüfeinrichtung, die Herstellung der Prüfkörper und die Messungen die Herren G. Rüd, G. Köhler und J. Lafferthon zuständig. Bei den Versuchsauswertungen und ihrer Darstellung haben die wissenschaftlichen Hilfskräfte Iris Wetzels, Frank Lederer, Rolf Malthaner und Thomas Ugowski mitgewirkt.

Allen Beteiligten sei für Ihre Mitarbeit gedankt.

Jürgen Ehlbeck

INHALT

1	Ziel des Forschungsvorhabens	1
2	Auswertung des Schrifttums	4
3	Versuche	7
3.1	Prüfkörper	7
3.2	Versuchsmaterial	9
3.2.1	Brettschichtholz	9
3.2.2	Nadelvollholz	10
3.2.3	Dübel besonderer Bauart	10
3.2.4	Klemmvorrichtungen	11
3.3	Versuchsprogramm	13
3.3.1	Zusammenstellung der durchgeführten Versuche	13
3.3.2	Einfluß des Abstandes zwischen Hirnholzfläche und Klemmvorrichtung (Versuchsreihe A)	13
3.3.3	Einfluß des Winkels zwischen Haupt- und Nebenträger in Brettschichtholz (Versuchsreihe B)	14
3.3.4	Einfluß der Holzfeuchte (Versuchsreihen C, D und K)	15
3.3.5	Einfluß der Dübelgröße in Brettschichtholz (Versuchsreihe E)	18
3.3.6	Einfluß der Anzahl der hintereinander liegenden Dübel besonderer Bauart (Versuchsreihe F)	19
3.3.7	Einfluß der Dübelgröße in Nadelvollholz (Versuchsreihe H)	20
3.3.8	Einfluß des Winkels zwischen Haupt- und Nebenträger in Nadelvollholz (Versuchsreihe I)	22
3.4	Versuchseinrichtung und -durchführung	23
4	Versuchsergebnisse	26
4.1	Höchstlasten	26
4.2	Last-Verschiebungsdiagramme	27
4.3	Verformungskennwerte	28
4.4	Ursachen für das Versagen der Verbindungen	28

4.5	Auswirkungen der untersuchten Parameter	30
4.5.1	Tragfähigkeit von Hirnholzdübelverbindungen in Brettschichtholz und in Nadelvollholz	30
4.5.2	Abstand zwischen Hirnholzfläche und Klemmvorrichtung	31
4.5.3	Unterschiedliche Klemmvorrichtungen	32
4.5.4	Winkel zwischen Haupt- und Nebenträger	33
4.5.5	Anzahl der hintereinander liegenden Dübel besonderer Bauart	34
4.5.6	Verschiebungen von Hirnholzdübelverbindungen in Nadelvollholz unter Gebrauchslast	35
5	Vorschlag für die Ausbildung und Berechnung von Hirnholzdübelverbindungen	38
5.1	Anforderungen an das Material	38
5.2	Anforderungen an die Herstellung	39
5.3	Vorschlag für die Berechnung	39
6	Zusammenfassung	42
7	Schrifttum	44

1 Ziel des Forschungsvorhabens

Dübel besonderer Bauart werden als Verbindungsmittel im Ingenieurholzbau seit vielen Jahrzehnten eingesetzt. Während sie ursprünglich als Verbindungsmittel bei Anschlüssen in Fachwerkträgern, bei gelaschten Stößen und zusammengesetzten Querschnitten genutzt wurden, verwendete man sie später hauptsächlich zur örtlichen Einleitung großer Lasten, die z. B. bei Querträger- und Verbandsanschlüssen auftreten. Gemeinsam ist diesen Anwendungsmöglichkeiten, daß die Dübel besonderer Bauart in die Seitenholzflächen der zu verbindenden Hölzer eingebaut werden. Die Verbindungen werden in der Regel durch nachziehbare Schraubenbolzen mit jeweils einer Unterlegscheibe unter dem Schraubenkopf und unter der Mutter zusammengehalten. Ihre Ausführung und Berechnung erfolgt nach DIN 1052, Teil 2, 4.3.

Die Entwicklung neuer Konstruktionsarten im Ingenieurholzbau ist verbunden mit der Entwicklung entsprechender Verbindungstechniken. Es hat sich gezeigt, daß Verbindungen mit Dübeln besonderer Bauart, die in die Hirnholzflächen der zu verbindenden Hölzer eingebaut werden, z. B. für Trägerrostkonstruktionen, für die Verbindung von Trägern mit Stützen und von Nebenträgern mit Hauptträgern wirtschaftlich interessante Lösungen bieten. Die Holzüberdeckung der Metallteile führt zu einer hohen Feuerwiderstandsdauer, und die von außen kaum sichtbare Verbindung bringt ästhetische Vorteile mit sich.

Bisher dürfen tragende Hirnholzdübelverbindungen nur mit Einlaßdübeln des Dübeltyps A (System Appel) in Hirnholz von Brettschichtholz ausgeführt werden. Die Verbindungen werden durch Schraubenbolzen mit Unterlegscheibe unter dem Schraubenkopf und einer Klemmvorrichtung am Schraubenende zusammengehalten, wobei als Klemmvorrichtung eine Mutter mit Unterlegscheibe oder ein Rundstahl mit Querbohrung bzw. ein entsprechendes Formstück verwendet werden darf. Die Ausführung und Berechnung dieser Hirnholzdübelverbindungen erfolgt nach DIN 1052, Teil 2, 4.3.2.

Um gleiche Voraussetzungen für alle handelsüblichen, in der DIN 1052, Teil 2, erfaßten Dübeltypen zu schaffen, wurden in diesem Forschungsvorhaben Hirnholzverbindungen mit Einpreßdübeln des Dübeltyps C (System Bulldog) und mit Einpreßdübeln des Dübeltyps D (System Geka) im Hinblick auf ihre Tragfähigkeiten und Verformungskennwerte untersucht. Der unkomplizierte Einbau von Einpreßdübeln im Vergleich zur Herstellung von Verbindungen mit Einlaßdübeln, für die zuerst passende Vertiefungen mit Spezialwerkzeugen in die Hölzer eingefräst werden müssen, forderte diese Untersuchungen auch aus baupraktischer Sicht.

Zusätzlich wurde in diesem Forschungsvorhaben geprüft, ob die Anwendung von Hirnholzdübelverbindungen auch auf Anschlüsse in Nadelvollholz ausgedehnt werden kann, so wie dies nach Baubestimmungen anderer Länder möglich ist. Es wurden die Tragfähigkeiten und Verformungskennwerte von Anschlüssen mit Einlaßdübeln des Dübeltyps A und mit Einpreßdübeln der Dübeltypen C und D in der Hirnholzfläche von Nadelvollholz bestimmt und die sich dabei ergebenden Anforderungen an die Hölzer und an die Herstellung dieser Verbindungen festgelegt.

Ziel des Forschungsvorhabens war es somit, die bestehenden Bestimmungen für tragende Anschlüsse mit Dübeln besonderer Bauart in Hirnholz dahingehend zu erweitern, daß einerseits sowohl Brettschichtholz und Nadelvollholz, andererseits neben den Einlaßdübeln des Dübeltyps A auch Einpreßdübel der Dübeltypen C und D zur Anwendung kommen können.

Dazu wurden im einzelnen folgende Untersuchungen durchgeführt:

- Literaturdurchsicht und Auswertung bereits vorliegender ausländischer Ergebnisse mit Nadelvollholz,
- Durchführung und Auswertung von Versuchen zur Ermittlung der Tragfähigkeit und des Verformungsverhaltens von Hirnholzverbindungen mit Einpreßdübeln der Dübeltypen C und D in Brettschichtholz,

- Durchführung und Auswertung von Versuchen zur Ermittlung der Tragfähigkeit und des Verformungsverhaltens von Hirnholzverbindungen mit Einlaßdübeln des Dübeltyps A und Einpreßdübeln der Dübeltypen C und D in Nadelvollholz und
- Ausarbeitung eines Vorschlages für die Ausbildung und Berechnung von Hirnholzdübelverbindungen.

2 Auswertung des Schrifttums

Die ersten bekannten Untersuchungen mit Dübelverbindungen in Hirnholz wurden von Longworth (1967) durchgeführt. Er prüfte Verbindungen mit einseitigen Einlaßdübeln ("shear plates"), Durchmesser $2\frac{5}{8}$ " (67 mm) und 4" (102 mm), in verleimter Douglas fir. Variiert wurden die Faserneigung bezüglich der Anschlußfläche, in der das Verbindungsmittel eingebaut war, und die Krafrichtung in der Anschlußfläche. Die Ergebnisse dieser Arbeit können aufgrund unterschiedlicher Dübeltypen und Holzarten nicht auf deutsche Verhältnisse übertragen werden.

In die 2. Auflage des amerikanischen "Timber Construction Manual" (1974) wurden Bestimmungen für die Berechnung und Ausführung von Hirnholzdübelverbindungen aufgenommen. Die Regelungen umfassen sowohl Brettschichtholz- als auch Nadelvollholzanschlüsse mit den in den USA gebräuchlichen zweiseitigen Ringkeildübeln ("split rings") und einseitigen Einlaßdübeln ("shear plates"). Die Berücksichtigung verschiedener Holzarten für Nadelvollholz und Brettschichtholz erfolgt bei der Berechnung der zulässigen Belastungen durch unterschiedlich hohe Grundwerte für verschiedene Holzgruppen A bis D. Die Eingruppierung der Hölzer in die Holzgruppen ist hauptsächlich von ihrer Rohdichte abhängig. Die Grundwerte der zulässigen Belastungen gelten für Dübelverbindungen, die in trockenes Holz eingebaut werden. Holz gilt in diesem Fall als trocken, wenn es einen Feuchtegehalt von 19 % oder weniger in einer Tiefe von $\frac{3}{4}$ " (19 mm) unter der Holzoberfläche hat. Andere Holzfeuchten bei der Herstellung der Verbindungen und im späteren Gebrauchszustand werden durch Abminderung des Grundwertes erfaßt, wobei unterschiedliche Holzfeuchte-Grenzwerte bei Nadelvollholz und Brettschichtholz zu unterschiedlichen Abminderungsfaktoren führen. Das amerikanische Berechnungsverfahren kann wegen Unterschieden bei den Dübeltypen, bei den Holzarten und beim Verfahren der Gütesortierung ebenfalls nicht direkt auf deutsche Verhältnisse übertragen werden.

Erste deutsche Untersuchungen von Hirnholzdübelverbindungen wurden von

Möhler, Ehlbeck (1971) durchgeführt. Sie prüften Anschlüsse von rechtwinklig zueinander verlaufenden Brettschichtholzträgern, bei denen jeweils drei Ringkeildübel System Appel (Einlaßdübel des Dübeltyps A nach DIN 1052, Teil 2, 4.3.2), Durchmesser 65 mm, hintereinander in das Hirnholz des anzuschließenden Bauteiles eingebaut waren. Die Versuche wurden z. T. mit kleineren und dünneren als nach DIN 1052 vorgeschriebenen Unterlegscheiben, die jeweils unter dem Kopf eines Schraubenbolzens M12 und zusammen mit der Mutter am Ende eines Schraubenbolzens angeordnet waren, durchgeführt. Es hat sich gezeigt, daß das Formänderungsverhalten der Anschlüsse mit normgerechten Unterlegscheiben erheblich besser war, und daß die geprüften Verbindungen zur Übertragung von Anschlußkräften herangezogen werden können. Allgemeingültige Angaben zur Bemessung konnten aufgrund der wenigen Versuche noch nicht gemacht werden.

Umfangreichere Untersuchungen von Hirnholzverbindungen mit Ringkeildübeln System Appel (Einlaßdübel des Dübeltyps A nach DIN 1052, Teil 2, 4.3.2) in Brettschichtholz wurden von Möhler, Hemmer (1979) durchgeführt. Anhand von Versuchsergebnissen wurden Einflüsse der Trägerbreite des anzuschließenden Bauteiles, des Dübelabstandes vom querzugbeanspruchten Trägerrand, der unterschiedlichen Klemmvorrichtungen, der Anordnung von mehreren hintereinander liegenden Dübeln besonderer Bauart, ihrem Abstand untereinander, der Anordnung von zwei nebeneinander liegenden Dübeln besonderer Bauart und des Winkels zwischen Haupt- und Nebenträger auf die Tragfähigkeit der Verbindungen bestimmt. Es wurde ein Verfahren für die Berechnung und Ausführung dieser Verbindungen entwickelt. Die Bestimmungen für einen Anschluß bei definierten Randbedingungen (Regelanschluß) wurden in die DIN 1052, Teil 2, 4.3.2 aufgenommen.

Allgemeingültige Ergebnisse, die sich aus den Untersuchungen von Möhler, Hemmer für Hirnholzdübelverbindungen ergeben hatten, wurden in diesem Forschungsvorhaben berücksichtigt. Dazu gehörten Festlegungen über Mindestholzabmessungen, Dübelabstände und Klemmvorrichtungen. Das Versuchsprogramm wurde auf die Versuche mit Einlaßdübeln des

Dübeltyps A in der Hirnholzfläche von Brettschichtholz abgestimmt, so daß vergleichbare Ergebnisse erzielt werden konnten.

$e_{d\perp} = d_d + t_d$	Dübelabstand rechtwinklig zur Faserrichtung,
d_d	Dübelaußendurchmesser,
t_d	Halbe Dübelhöhe bei Einlaßdübeln bzw. Zahnhöhe bei Einpreßdübeln.

Die Nebenträgerlänge wurde abhängig von der Anzahl der in der Hirnholzfläche hintereinander liegenden Dübel besonderer Bauart gewählt:

- Länge des Nebenträgers l : $l = 1,40 \text{ m}$ bei $n = 1$
 $l = 2,20 \text{ m}$ bei $n > 1$

Für schräge Anschlüsse unter einem Winkel φ ergab sich somit die erforderliche Gesamtlänge der Hölzer zu:

$$l_{\text{ges}} = l + 2 \cdot l_1 = l + 2 \cdot \left(\frac{b}{2 \cdot \tan \varphi} \right) = l + \frac{b}{\tan \varphi}$$

Die Abmessungen der Hauptträger wurden wie folgt festgelegt:

- Breite der Hauptträger b_{HT} : $b_{\text{HT}} = 100 \text{ mm}$
- Höhe der Hauptträger h_{HT} : $h_{\text{HT}} = h + 20 \text{ mm}$
- Länge der Hauptträger l_{HT} : $l_{\text{HT}} = 0,40 \text{ m} / 0,60 \text{ m} / 0,70 \text{ m}$,
je nach Prüfkörpergröße und Winkel φ .

Alle Dübel besonderer Bauart sind so in die Hölzer eingebaut worden, daß sie jeweils in der Mitte der Trägerbreite b des Nebenträgers und in der Mitte der Seitenlänge l_{HT} des Hauptträgers angeordnet waren. Die Einlaßdübel wurden dabei in vorher ausgefräste, passende Ringnuten eingelegt. Der Einbau der Einpreßdübel erfolgte in zwei Schritten: Zuerst wurden sie mittels einer hydraulischen Presse in die Seitenfläche der Hauptträger eingepreßt, danach durch Anziehen der Schraubenbolzen in die Hirnholzfläche der Nebenträger eingetrieben, bis die Zähne vollständig ins Holz eingedrungen waren. Bei Anschlüssen mit Einpreßdübeln des Dübeltyps D wurde vor dem Einbau die Stärke der Dübelplatte jeweils zur Hälfte aus beiden Hölzern ausgefräst.

Als Schraubenbolzen dienten die nach DIN 1052, Teil 2, Tab. 4, 6 bzw. 7 zum jeweiligen Dübeltyp und Dübeldurchmesser gehörenden Sechskantschrauben mit jeweils einer Unterlegscheibe unter dem Schraubenkopf und einer Klemmvorrichtung am Schraubenende. Die Abmessungen der Unterlegscheiben entsprachen den Bestimmungen der DIN 1052, Teil 2, Tab. 3.

Die Hirnholzflächen der Nebenträger waren frei von Ästen und, in der Regel auch bei Vollholzprüfkörpern, frei von Schwindrissen. Bei einigen, später noch genauer beschriebenen Versuchskörpern wurden die Dübel besonderer Bauart in Hirnholzflächen mit Schwindrissen eingebaut, um deren Auswirkungen zu untersuchen.

3.2 Versuchsmaterial

3.2.1 Brettschichtholz

Das für die Prüfkörper verwendete Brettschichtholz aus Nadelholz Fichte/Tanne wurde nach Lieferung im Prüflabor bei Normalklima 20/65 DIN 50014 gelagert. Dort wurden auch die Prüfkörper hergestellt und die Versuche durchgeführt, so daß das Brettschichtholz keinen Klimaänderungen ausgesetzt war. Bei der stichprobenweisen Überprüfung ergaben sich nach DIN 52183 mittlere Holzfeuchten über den Querschnitt zwischen $u = 10$ und 11% .

Zur Bestimmung der Rohdichten wurde aus jedem Nebenträger eines Prüfkörpers mindestens eine Holzscheibe entnommen. Bei hohen Prüfkörperquerschnitten wurden die Holzscheiben geteilt. Es ergaben sich folgende Werte für die mittlere Rohdichte im Normalklima (57 Einzelwerte):

Mittelwert	453	kg/m ³ ,
Standardabweichung	37,6	kg/m ³ ,
Variationskoeffizient	8,3	%.

3.2.2 Nadelvollholz

Die Prüfkörper für die Vollholzversuche wurden aus den Nadelhölzern Fichte/Tanne hergestellt. Alle Hölzer hatten bei Lieferung eine Holzfeuchte über 25 %. Sie trockneten gemäß dem Trocknungsvorgang, der im Versuchsprogramm für die jeweilige Versuchsreihe beschrieben wird, auf die geforderten Holzfeuchten herunter.

Zur Bestimmung der Rohdichten wurde aus jedem Nebenträger eines Prüfkörpers eine Holzscheibe entnommen. Die Einzelwerte sind zusammen mit den Holzfeuchten u_1 bei Herstellung der Prüfkörper und u_2 beim Versuch in den Tabellen 10 bis 12 (Anlagen 29 bis 35) angegeben. Sie wurden mit der aus DIN 52182 entnommenen Beziehung nach Kollmann auf die Darrohdichten $\rho_{0,NT}$ umgerechnet.

3.2.3 Dübel besonderer Bauart

Die Versuche wurden mit Dübeln besonderer Bauart durchgeführt, deren Werkstoffeigenschaften und Abmessungen für Einlaßdübel des Dübeltyps A in DIN 1052, Teil 2, 4.3.2 und für Einpreßdübel der Dübeltypen C und D in DIN 1052, Teil 2, 4.3.3 geregelt sind.

Beim Bestellen der Dübel besonderer Bauart wurde festgestellt, daß der in DIN 1052, Teil 2, 4.3.3 enthaltene Dübeltyp D mit Außendurchmesser $d_a=85$ mm (22 Zähne) in Deutschland nicht hergestellt wird. Statt dessen wird ein Dübel mit Außendurchmesser $d_a=80$ mm (18 Zähne) produziert, wie er in der früheren DIN 1052, Blatt 2, Ausgabe Oktober 1969 aufgenommen war. Da in der jetzt gültigen DIN 1052, Teil 2, weder die zulässigen Belastungen noch die Mindestholzabmessungen gegenüber dem Dübel mit $d_a=80$ mm der früheren DIN 1052, Blatt 2, geändert wurden, sind die entsprechenden Versuche in diesen Forschungsvorhaben mit dem Dübeltyp D mit $d_a=80$ mm durchgeführt worden.

3.2.4 Klemmvorrichtungen

Alle Hirnholzdübelverbindungen wurden durch Schraubenbolzen zusammengehalten, wobei die Spannkraft aus den Schraubenbolzen jeweils über eine Unterlegscheibe unter dem Schraubenkopf und eine Klemmvorrichtung am Schraubenende auf die Hölzer übertragen wurde. Entsprechend den Regelungen der DIN 1052 für Hirnholzverbindungen mit Einlaßdübeln des Dübeltyps A in Brettschichtholz wurden drei unterschiedliche Klemmvorrichtungen geprüft:

- Mutter mit Unterlegscheibe,
- Rundstahl mit Querbohrung und Innengewinde,
- Formstück.

Bei der Verwendung von Mutter mit Unterlegscheibe erfordert das Ausstemmen eines Querschlitzes im anzuschließenden Träger einen besonderen Arbeitsaufwand. Der Träger wird im Anschlußbereich außerdem stark geschwächt. Diese Nachteile relativieren sich bei schrägen Anschlüssen und kleiner werdendem Winkel φ . Deshalb wurden nur Hirnholzanschlüsse unter einem Winkel $\varphi \leq 60^\circ$ mit dieser Klemmvorrichtung geprüft. Die Abmessungen der Unterlegscheiben entsprachen den Bestimmungen der DIN 1052, Teil 2, Tab. 3.

Die Klemmvorrichtung, die aus einem Rundstahl besteht, wurde im Eigenbau gefertigt: Ein blanker Rundstahl, St 37, wurde auf halber Länge rechtwinklig zu seiner Achse mit einer Bohrung mit Innengewinde für den entsprechenden Schraubenbolzen versehen. Vor dem Zusammenbau der Hirnholzverbindung ist nur eine Bohrung im anzuschließenden Träger erforderlich. Bei der Montage wird der Schraubenbolzen in den Rundstahl eingedreht, wobei das Anziehen vom Schraubenkopf aus ohne Gegenhalten möglich ist. Die Abmessungen der geprüften Klemmvorrichtungen dieser Art können aus der nachfolgenden Tabelle entnommen werden:

Schraubenbolzen	Rundstahl	
	Durchmesser [mm]	Länge [mm]
M12	24	55
M24	48	110

Im Handel wird ein spezielles Formstück als Klemmvorrichtung angeboten. Seine Handhabung entspricht derjenigen des Rundstahles. Die vom Hersteller angegebenen Maße für die in den Versuchen verwendeten Formstücke sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengefaßt:

Schraubenbolzen	Formstück	
	Bohr- durchmesser [mm]	Länge [mm]
M12	24	54
M16	32	72
M20	40	92

Alle Klemmvorrichtungen, die in den Versuchen dieses Forschungsvorhabens eingesetzt wurden, sind im Bild 2 (Anlage 2) zusammen mit den Schraubenbolzen und Unterlegscheiben dargestellt.

3.3 **Versuchsprogramm**

3.3.1 Zusammenstellung der durchgeführten Versuche

Das Versuchsprogramm wurde so aufgestellt, daß durch Variation der verschiedenen Einflußgrößen deren Auswirkungen auf das Trag- und Verformungsverhalten der untersuchten Hirnholzdübelverbindungen geklärt werden konnten. Eine detaillierte Zusammenstellung aller durchgeführten Versuche enthält die Tabelle 1 (Anlage 3 und 4).

Die Bezeichnung der Versuche erfolgte einheitlich nach folgendem Schema:

AB-C-D

Darin bedeuten:

- A Versuchsreihe
- B Dübeltyp 1: Dübeltyp C
 2: Dübeltyp D
 3: Dübeltyp A
- C Kurzbezeichnung zur variierten Einflußgröße in einer Versuchsreihe
- D laufende Versuchsnummer

3.3.2 Einfluß des Abstandes zwischen Hirnholzfläche und Klemmvorrichtung (Versuchsreihe A)

Neben der Optimierung der verschiedenen Meßeinrichtungen wurde in der Versuchsreihe A an Prüfkörpern aus Brettschichtholz untersucht, wie sich die Änderung des Abstandes zwischen Hirnholzfläche und Klemmvorrichtung auf die Tragfähigkeit der Hirnholzdübelverbindungen auswirkt. Zur Ermittlung eines Mindestabstandes für die nachfolgenden Versuchsreihen wurden mit den Dübeltypen C und D Versuche durchgeführt, bei denen der lichte Abstand l_f zwischen Hirnholzfläche und Klemmvorrichtung wie folgt

variiert wurde:

$$l_f = 5 \cdot d_b / 7,5 \cdot d_b / 10 \cdot d_b$$

mit d_b Durchmesser des zum Dübel gehörenden Schraubenbolzens.

Die Versuchsparameter sind in Tabelle 1 (Anlage 3 und 4) zusammengefaßt.

Die Abmessungen der Prüfkörper mit Einpreßdübeln des Dübeltyps C Ø95 mm sind im Bild 2 (Anlage 5) dargestellt. Aus Bild 3 (Anlage 5) sind die Abmessungen der Prüfkörper mit Einpreßdübeln des Dübeltyps D Ø80 mm ersichtlich.

3.3.3 Einfluß des Winkels zwischen Haupt- und Nebenträger in Brettschichtholz (Versuchsreihe B)

In der Versuchsreihe B wurden Hirnholzdübelverbindungen mit den Dübeltypen C und D in Brettschichtholz geprüft. Dabei wurde der Winkel φ zwischen Haupt- und Nebenträger wie folgt variiert:

$$\varphi = 45^\circ / 60^\circ / 75^\circ$$

Um die Gleichwertigkeit der Klemmvorrichtungen zu untersuchen, wurden in einigen Versuchen sowohl Formstücke als auch Muttern mit Unterlegscheiben verwendet.

Die Versuchsparameter sind in Tabelle 1 (Anlage 3 und 4) zusammengestellt.

Die Ausführung der Nebenträger der Prüfkörper mit Einpreßdübeln des Dübeltyps C Ø95 mm erfolgte mit der Mindestholzbreite nach DIN 1052, Teil 2, Tab. 6. Dadurch mußte bei kleiner werdendem Winkel φ aus

geometrischen Gründen der Abstand l_f zwischen Hirnholzfläche und Klemmvorrichtung, gemessen in Faserrichtung des Nebenträgers, verkleinert werden. Die Abstände l_f in den Versuchen wurden so festgelegt, daß die Klemmvorrichtung vollständig mit Holz unterlegt ist. Sie sind in Tabelle 2 (Anlage 6) zusammengestellt. Die übrigen Abmessungen sind aus den Bildern 4 bzw. 5 ersichtlich, wobei Bild 4 (Anlage 6) einen Prüfkörper zeigt, bei dem als Klemmvorrichtungen Muttern mit Unterlegscheiben verwendet wurden, während in Bild 5 (Anlage 7) ein Prüfkörper mit eingebauten Formstücken dargestellt ist.

Als unteren Grenzwert für den Abstand l_f wurde $l_f = 5 \cdot d_b$ festgelegt. Um diesen Mindestwert einhalten zu können, mußten die Nebenträger der Prüfkörper mit Einpreßdübeln des Dübeltyps D $\varnothing 80$ mm breiter als die Mindestholzbreite nach DIN 1052, Teil 2, Tab. 7 ausgeführt werden. Die vorhandenen Breiten der Nebenträger sind in Tabelle 3 (Anlage 8) zusammengestellt. Aus den Bildern 6 bzw. 7 sind die übrigen Abmessungen der Prüfkörper ersichtlich. Dabei zeigt Bild 6 (Anlage 8) einen Prüfkörper, bei dem als Klemmvorrichtungen Muttern mit Unterlegscheiben eingebaut wurden, und Bild 7 (Anlage 9) einen Prüfkörper, bei dem als Klemmvorrichtungen Formstücke verwendet wurden.

3.3.4 Einfluß der Holzfeuchte (Versuchsreihen C, D und K)

In den Versuchsreihen C, D und K wurden Hirnholzdübelverbindungen in Nadelvollholz geprüft. Es wurden Versuche mit Einpreßdübeln der Dübeltypen C und D und mit Einlaßdübeln des Dübeltyps A durchgeführt.

In der Versuchsreihe C sollten die Holzfeuchten der Prüfkörper sowohl bei Herstellung als auch beim Versuch $u_1 \approx u_2 \approx 18\%$ betragen. Dies entspricht nach DIN 1052, Teil 1, 4.2.1 etwa der Gleichgewichtsfeuchte bei Konstruktionen, die allseitig der Witterung ausgesetzt sind.

Die Hölzer der Versuchsreihe D sollten bei Herstellung der Prüfkörper

ebenfalls eine Holzfeuchte $u_1 \approx 18\%$ haben. Um einen möglichen Trocknungsvorgang des Holzes in der Konstruktion nach dem Zusammenbau des Anschlusses zu simulieren, sollten die Prüfkörper nach dem Zusammenbau heruntertrocknen bis die Holzfeuchte $u_2 \approx 12\%$ beim Versuch beträgt. Dies entspricht nach DIN 1052, Teil 1, 4.2.1 etwa der Gleichgewichtsfeuchte von Hölzern in allseitig geschlossenen Bauwerken ohne Heizung.

In der Versuchsreihe K sollten die Holzfeuchten der Prüfkörper sowohl bei Herstellung als auch beim Versuch $u_1 \approx u_2 \approx 12\%$ betragen.

Das Trocknen der Hölzer auf die geforderten Holzfeuchten verlief wie nachfolgend aufgeführt:

Versuchsbezeichnung	Trocknungsvorgang von Lieferung der Hölzer bis Herstellung der Prüfkörper	Trocknungsvorgang von Herstellung der Prüfkörper bis zum Versuch
C1-KI1-(1÷4) C2-KI1-(1÷4) C3-KI1-(1÷4)	3 Monate im Freien, überdacht	3 bis 4 Monate im Freien, überdacht
D1-KI2-(1÷4) D2-KI2-(1÷4) D3-KI2-(1÷4)	3 Monate im Freien, überdacht	3 bis 4 Monate im Freien, überdacht und weitere 2 bis 3 Monate im Normalklima 20/65
D1-KI2-(5÷8) D2-KI2-(5÷8) D3-KI2-(5÷8)	4 Monate im Freien, überdacht und weitere 1 bis 2 Monate im Klimaraum bei 25°C und 75% r.F.	Normalklima 20/65
K1-KI3-(1÷4) K2-KI3-(1÷4) K3-KI3-(1÷4)	4 Monate im Freien, überdacht und weitere 1 bis 2 Monate im Normalklima 20/65	Normalklima 20/65

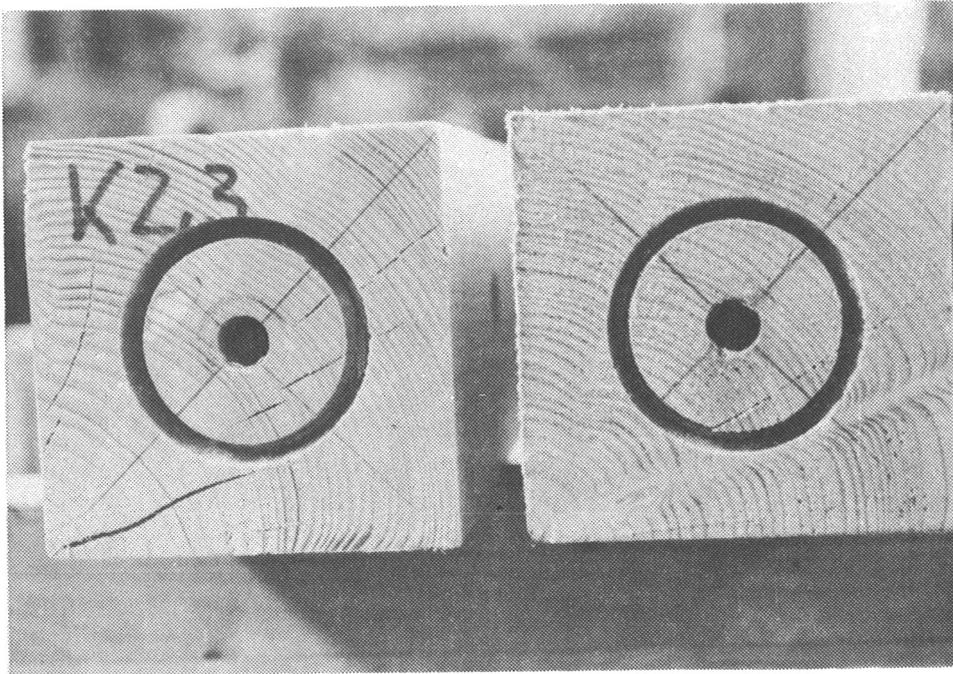
Die zur Kontrolle während des Trocknungsvorganges durchgeführten Holzfeuchtemessungen erfolgten mit einem elektrischen Widerstandsmeßgerät. Die gemessenen Werte wurden sowohl anhand von Darrversuchen mit Holzscheiben aus den Hauptträgern zum Zeitpunkt der Herstellung der Prüfkörper als auch anhand von Darrversuchen mit Holzscheiben aus den Nebenträgern unmittelbar nach den Versuchen bestätigt. In Tabelle 10 (Anlagen 29 bis 31) sind die gemessenen Holzfeuchten zusammengestellt.

Durch die Abnahme der Holzfeuchten nach Herstellung der Prüfkörper bis zum Versuch trat in der Versuchsreihe D, bedingt durch das Schwinden der Hölzer, ein Nachlassen der Vorspannung in den Schraubenbolzen ein. Dies beeinflusste zumindest die Steifigkeit der Anschlüsse. Zur Untersuchung dieser Einflußgröße wurden die Versuche mit Einpreßdübeln der Dübeltypen C und D an Prüfkörpern mit je einem nachgespannten und einem nicht nachgespannten Schraubenbolzen durchgeführt. Die Versuche mit Einlaßdübeln des Dübeltyps A wurden an Prüfkörpern durchgeführt, bei denen beide Hirnholzverbindungen entweder nachgespannt oder nicht nachgespannt waren (vgl. hierzu Tabelle 1, Anlage 3).

Zusätzlich wurden zur Bestimmung des Einflusses möglicher Schwindrisse bei folgenden Versuchen die Dübel besonderer Bauart in Hirnholzflächen eingebaut, die seit Einschnitt im Sägewerk Trägerenden waren und durch oben beschriebenen Trocknungsvorgang Schwindrisse bekamen:

- D2-K12-5 und D2-K12-8
- D3-K12-5 und D3-K12-8
- K2-K13-1 und K2-K13-4
- K3-K13-1 und K3-K13-4

(Hirnholzflächen vor dem Zusammenbau der Verbindungen auf nachfolgender Abbildung)



Aus Tabelle 1 (Anlage 3 und 4) können die übrigen Versuchsparameter entnommen werden.

Die Abmessungen der Prüfkörper mit Einpreßdübeln des Dübeltyps C $\varnothing 95$ mm sind im Bild 8 (Anlage 10) dargestellt. Aus Bild 9 (Anlage 10) sind die Abmessungen der Prüfkörper mit Einpreßdübeln des Dübeltyps D $\varnothing 80$ mm ersichtlich und aus Bild 10 (Anlage 11) die Abmessungen der Prüfkörper mit Einlaßdübeln des Dübeltyps A $\varnothing 65$ mm.

3.3.5 Einfluß der Dübelgröße in Brettschichtholz (Versuchsreihe E)

In der Versuchsreihe E wurden Verbindungen mit unterschiedlich großen Einpreßdübeln der Dübeltypen C und D in Brettschichtholz untersucht. Mit dem Ziel, die Bandbreite der verschiedenen Dübelgrößen durch Versuche mit kleinen, mittleren und großen Dübeldurchmessern zu erfassen, wurden vom Dübeltyp C die Durchmesser $d_d=48$ mm und $d_d=140$ mm geprüft. Ergebnisse mit der mittlerern Dübelgröße, Durchmesser $d_d=95$ mm, lagen

aus anderen Versuchsreihen vor. Entsprechend wurden vom Dübeltyp D Versuche mit Dübeldurchmesser $d_d=50$ mm und $d_d=115$ mm durchgeführt. Für diesen Dübeltyp lagen aus anderen Versuchsreihen Ergebnisse mit dem mittleren Durchmesser $d_d=80$ mm vor.

Als Klemmvorrichtungen wurden Rundstähle mit Querbohrung und Innengewinde verwendet.

Die Versuchsparameter sind in Tabelle 1 (Anlage 3 und 4) zusammengefaßt.

Die Abmessungen der Prüfkörper mit Einpreßdübeln des Dübeltyps C sind für Durchmesser $d_d=48$ mm im Bild 11 (Anlage 12) und für Durchmesser $d_d=140$ mm im Bild 12 (Anlage 12) dargestellt. Die Abmessungen der Prüfkörper mit Einpreßdübeln des Dübeltyps D für Durchmesser $d_d=50$ mm sind aus Bild 13 (Anlage 13) und für Durchmesser $d_d=115$ mm aus Bild 14 (Anlage 13) ersichtlich.

3.3.6 Einfluß der Anzahl der hintereinander liegenden Dübel besonderer Bauart (Versuchsreihe F)

In der Versuchsreihe F wurde die Anzahl der in der Hirnholzfläche hintereinander liegenden Dübel besonderer Bauart variiert. Aufgrund der sich aus den erforderlichen Dübelabständen ergebenden großen Trägerhöhen wurden diese Untersuchungen nur mit Verbindungen in Brettschichtholz durchgeführt. Geprüft wurden jeweils Anschlüsse mit $n=3$ und $n=5$ hintereinander liegenden Einpreßdübeln der Dübeltypen C und D.

Die Versuchsparameter sind in Tabelle 1 (Anlage 3 und 4) zusammengestellt.

Die Abmessungen der Prüfkörper können aus Bild 15 (Anlage 14) für Verbindungen mit $n=3$ hintereinander liegenden Dübeln des Dübeltyps C $\varnothing 95$ mm, aus Bild 16 (Anlage 15) für Verbindungen mit $n=5$ hintereinander

liegenden Dübeln des Dübeltyps C $\varnothing 95$ mm, aus Bild 17 (Anlage 16) für Verbindungen mit $n=3$ hintereinander liegenden Dübeln des Dübeltyps D $\varnothing 80$ mm und aus Bild 18 (Anlage 17) für Verbindungen mit $n=5$ hintereinander liegenden Dübeln des Dübeltyps D $\varnothing 80$ mm entnommen werden.

3.3.7 Einfluß der Dübelgröße in Nadelvollholz (Versuchsreihe H)

Entsprechend den Untersuchungen der Versuchsreihe E in Brettschichtholz wurden in der Versuchsreihe H Verbindungen mit Dübeln unterschiedlicher Größe des gleichen Dübeltyps in Nadelvollholz geprüft. Neben Versuchen mit Einpreßdübeln der Dübeltypen C und D, deren Parameter denen der Versuchsreihe E entsprechen, wurden Anschlüsse mit Einlaßdübeln des Dübeltyps A untersucht. Da aus anderen Versuchsreihen Ergebnisse mit dem kleinen Dübel Durchmesser $d_d=65$ mm des Dübeltyps A vorlagen, wurden zusätzliche Versuche mit Durchmesser $d_d=95$ mm und $d_d=126$ mm durchgeführt.

Als Klemmvorrichtungen wurden Rundstähle mit Querbohrung und Innengewinde verwendet.

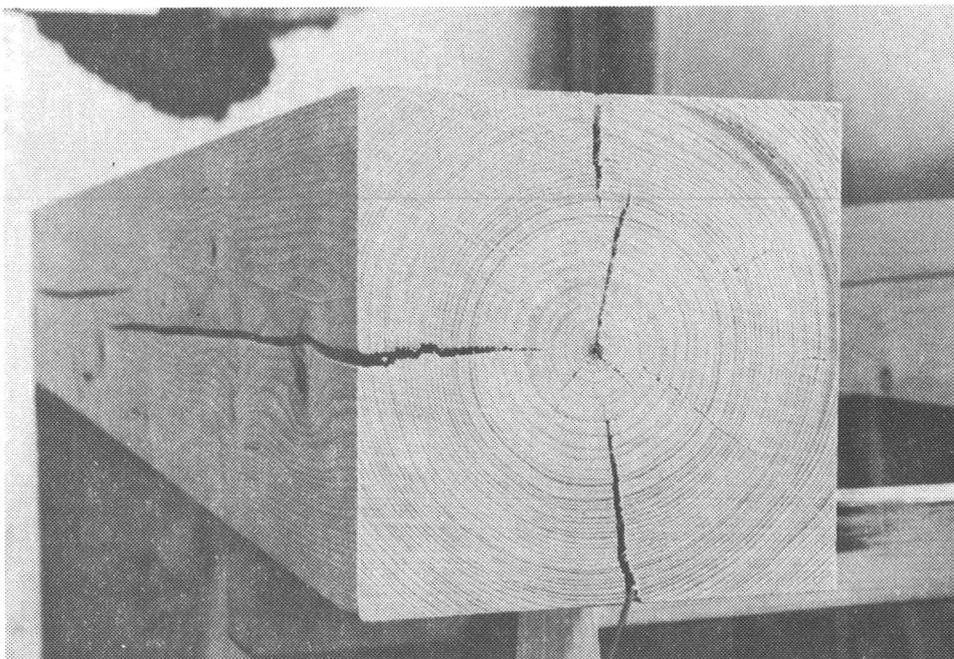
Die Versuchsparameter sind in Tabelle 1 (Anlage 3 und 4) zusammengestellt.

Die Prüfkörper sollten sowohl bei Herstellung als auch beim Versuch eine Holzfeuchte $u_1 \approx u_2 \approx 18$ % besitzen. Die gemessenen Holzfeuchten u_1 bei Herstellung der Prüfkörper, die sich in den Hölzern nach 4 Monaten Lagerung im Freien unter einem überdachten Lagerplatz und weiteren 2 Monaten in einem Klimaraum bei 25°C und 75% relativer Luftfeuchte einstellten, sind in Tabelle 11 (Anlage 32 und 33) aufgelistet. Nach Herstellung wurden die Prüfkörper bis zum Versuch im gleichen Klimaraum gelagert. Die unmittelbar nach dem Versuch ermittelten Holzfeuchten u_2 sind ebenfalls in Tabelle 11 (Anlage 32 und 33) zusammengestellt. Während des Trocknungsprozesses wurden die Holzfeuchten mit einem elektrischen

Widerstandsmeßgerät kontrolliert. Die gemessenen Werte sind sowohl anhand von Darrversuchen mit Holzscheiben aus den Hauptträgern zum Zeitpunkt der Herstellung der Prüfkörper als auch anhand von Darrversuchen mit Holzscheiben aus den Nebenträgern nach den Versuchen bestätigt worden.

Die Abmessungen der Prüfkörper mit Einpreßdübeln entsprechen denen der Versuchsreihe E. Sie sind aus Bild 11 (Anlage 12) für den Dübeltyp C mit Durchmesser $d_d=48$ mm, aus Bild 12 (Anlage 12) für den Dübeltyp C mit Durchmesser $d_d=140$ mm, aus Bild 13 (Anlage 13) für den Dübeltyp D mit Durchmesser $d_d=50$ mm und aus Bild 14 (Anlage 13) für den Dübeltyp D mit Durchmesser $d_d=115$ mm ersichtlich. Die Abmessungen der Prüfkörper mit Einlaßdübeln des Dübeltyps A sind für Durchmesser $d_d=95$ mm in Bild 19 (Anlage 18) und für Durchmesser $d_d=126$ mm in Bild 20 (Anlage 18) dargestellt.

Nebenträger mit großen Querschnittsabmessungen $b/h=20/20$ cm mußten aus Hölzern mit mittig liegender Markröhre hergestellt werden. Bedingt durch das Trocknen der Hölzer auf die erforderlichen Holzfeuchten u_1 bzw. u_2 , stellten sich bei ihnen über die Trägerlänge Schwindrisse ein. Zur Untersuchung der Auswirkungen dieser Schwindrisse wurden die Dübel besonderer Bauart in die gerissenen Hirnholzflächen der Nebenträger eingebaut. Die folgende Abbildung zeigt exemplarisch die zum Versuch H1-C140-3 gehörende Hirnholzfläche mit Schwindrissen.



3.3.8 Einfluß des Winkels zwischen Haupt- und Nebenträger in Nadelvollholz (Versuchsreihe I)

In der Versuchsreihe I wurden ergänzende Versuche zur Bestimmung des Einflusses des Winkels φ zwischen Haupt- und Nebenträger durchgeführt. Entsprechend der Versuchsreihe B mit schrägen Anschlüssen in Brettschichtholz wurden Hirnholzverbindungen mit Einpreßdübeln des Dübeltyps C und Einlaßdübeln des Dübeltyps A in Nadelvollholz geprüft. Dabei wurde der Winkel φ wie folgt variiert:

$$\varphi = 45^\circ / 60^\circ / 75^\circ$$

Zur Untersuchung der Gleichwertigkeit der Klemmvorrichtungen wurden in einigen Versuchen sowohl Formstücke als auch Muttern mit Unterlegscheiben verwendet.

Die Ausführung der Nebenträger aller Prüfkörper erfolgte mit der Mindestholzbreite nach DIN 1052, Teil 2, Tab. 4 bzw. 6. Die beim jeweiligen Winkel vorhandenen Abstände l_f zwischen Hirnholzfläche und Klemmvorrichtung, gemessen in Faserrichtung der Nebenträger, sind für die Versuche mit Einpreßdübeln des Dübeltyps C Ø95 mm in Tabelle 2 (Anlage 6) zusammengestellt. Die übrigen Abmessungen der Prüfkörper sind aus den Bildern 4 bzw. 5 ersichtlich. Bild 4 (Anlage 6) zeigt einen Prüfkörper, bei dem als Klemmvorrichtungen Muttern mit Unterlegscheiben verwendet wurden. In Bild 5 (Anlage 7) ist ein Prüfkörper mit eingebauten Formstücken dargestellt. Die Abmessungen der Prüfkörper mit Einlaßdübeln des Dübeltyps A Ø65 mm sind aus den Bildern 21 bzw. 22 ersichtlich. Dabei zeigt Bild 21 (Anlage 19) einen Prüfkörper, bei dem als Klemmvorrichtungen Muttern und Unterlegscheiben eingebaut wurden, und Bild 22 (Anlage 20) einen Prüfkörper, bei dem als Klemmvorrichtungen Formstücke verwendet wurden. In Tabelle 4 (Anlage 19) sind die beim jeweiligen Winkel vorhandenen Abstände l_f zusammengestellt.

Die Versuchsparameter sind aus Tabelle 1 (Anlage 3 und 4) ersichtlich.

Die Holzfeuchten der Prüfkörper sollten bei Herstellung und beim Versuch $u_1 \approx u_2 \approx 18\%$ betragen. Die gemessenen Holzfeuchten u_1 bei Herstellung der Prüfkörper, die sich in den Hölzern nach 4-monatiger Lagerung im Freien unter einem überdachten Lagerplatz und weiteren 2 bis 3 Monaten in einem Klimaraum bei 25°C und 75% relativer Luftfeuchte einstellten, sind in Tabelle 12 (Anlage 34 und 35) aufgelistet. Nach Herstellung wurden die Prüfkörper weiter bis zum Versuch im Klimaraum gelagert. Die unmittelbar nach dem Versuch ermittelten Holzfeuchten u_2 sind ebenfalls in Tabelle 12 (Anlage 34 und 35) zusammengestellt. Die Holzfeuchten wurden während des Trocknungsprozesses mit einem elektrischen Widerstandsmeßgerät aufgenommen. Die gemessenen Werte wurden sowohl anhand von Darrversuchen mit Holzscheiben aus den Hauptträgern zum Zeitpunkt der Herstellung der Prüfkörper als auch anhand von Darrversuchen mit Holzscheiben aus den Nebenträgern nach den Versuchen bestätigt.

3.4 Versuchseinrichtung und -durchführung

Die Versuchseinrichtung wurde zusammen mit den H-förmig gebauten Prüfkörpern so konstruiert, daß damit nacheinander zwei Versuche an einem Prüfkörper durchgeführt werden konnten.

In Bild 23 (Anlage 21) ist die Versuchseinrichtung für Prüfkörper mit einem Dübel besonderer Bauart in der Hirnholzfläche dargestellt. Die Belastung erfolgte gleichzeitig über zwei Kolben der Prüfmaschine. Sie wurde über einen Stahlträger in die Prüfkörper eingeleitet. Bei einer Nebenträgerlänge von $l=1,40$ m war dabei die Krafteinleitungsstelle 0,40 m von der zu prüfenden Hirnholzverbindung entfernt. Im Abstand 0,60 m von der Krafteinleitungsstelle bzw. 0,40 m vom unbelasteten Ende des Nebenträgers waren die Prüfkörper aufgelagert. Das zweite Auflager befand sich unter dem Hauptträger bei der zu prüfenden Hirnholzdübelverbindung. Es war als Gabellagerung ausgebildet, so daß sich der Hauptträger während des Versuches nicht seitlich verdrehen konnte. Bild 24 (Anlage 21) zeigt die Ausbildung dieses Auflagers. In Bild 25 (Anlage 22) ist die entsprechende

Versuchseinrichtung für die Prüfung von schrägen Hirnholzdübelverbindungen dargestellt.

Die Versuchseinrichtung für Prüfkörper mit $n=3$ bzw. $n=5$ in der Hirnholzfläche hintereinander liegenden Dübeln besonderer Bauart ist in Bild 26 (Anlage 22) abgebildet. Bei einer Nebenträgerlänge von $l=2,20$ m war die Krafteinleitungsstelle $0,70$ m von den zu prüfenden Verbindungen entfernt. Das Auflager befand sich im Abstand $0,80$ m von der Krafteinleitungsstelle bzw. $0,70$ m vom unbelasteten Ende des Nebenträgers. Das zweite Auflager unter dem Hauptträger war durch Gabellagerung gegen seitliches Verdrehen gehalten.

Während der Versuche wurden kontinuierlich die Kraft der Prüfmaschine und die Kraft am Auflager auf der unbelasteten Seite des Nebenträgers gemessen, so daß daraus die Belastung der Dübelverbindung bestimmt werden konnte. Außerdem wurden die Verschiebungen des Anschlusses aufgenommen.

Sämtliche Messungen wurden mit elektrischen Meßwertaufnehmern vorgenommen. Für die Messungen der Auflagerkräfte wurden eine Kraftmeßdose, für die Messungen der Verschiebungen induktive Wegaufnehmer verwendet. Die Meßsignalverstärkung und Meßdatenerfassung erfolgte mittels einer rechnergestützten Umschaltanlage (UPH 3200).

Zur Auswertung der Meßdaten und Darstellung der Versuchsergebnisse in grafischer Form wurde ein spezielles EDV-Programm verwendet.

Die Durchführung und Auswertung der Versuche erfolgte nach DIN EN 26891 ("Holzbauwerke - Verbindungen mit mechanischen Verbindungsmitteln - Allgemeine Grundsätze für die Ermittlung der Tragfähigkeit und des Verformungsverhaltens"; 1991).

Ausgehend von einer geschätzten Höchstlast F_{est} wurden die Prüfkörper mit einer konstanten Belastungsgeschwindigkeit bis $0,4 \cdot F_{est}$ belastet. Nach

30 s Wartezeit erfolgte eine Entlastung auf $0,1 \cdot F_{\text{est}}$. Nach erneuter Wartezeit von wiederum 30 s wurde bis zum Erreichen der Bruchlast belastet.

Die Belastungsgeschwindigkeit betrug $0,2 \cdot F_{\text{est}}$ je min $\pm 25\%$. Sie wurde so eingestellt, daß die gesamte Versuchsdauer etwa 10 bis 15 Minuten betrug. Das nach DIN EN 26891 vorgesehene Umschalten auf Wegsteuerung oberhalb einer Belastung von $0,7 \cdot F_{\text{est}}$ entfiel, da die Neueinstellung der dann vorhandenen Verformungsgeschwindigkeit bei den eingesetzten Prüfmaschinen nicht möglich war.

Die Erfassung der Meßdaten erfolgte kontinuierlich in Intervallen von 10 Sekunden mittels der rechnergestützten Meßdatenerfassungsanlage.

4 Versuchsergebnisse

4.1 Höchstlasten

In den nachfolgend aufgelisteten Tabellen sind die Einzelwerte der Höchstlasten der geprüften Hirnholzdübelverbindungen zusammen mit dem jeweiligen Mittelwert, der Standardabweichung und dem Variationskoeffizienten angegeben. Die Tabellen mit den Höchstlasten der Hirnholzdübelverbindungen in Nadelvollholz enthalten zusätzlich die gemessenen Holzfeuchten u_1 bei Herstellung der Prüfkörper, die gemessenen Holzfeuchten u_2 beim Versuch und die Darrohdichten der Nebenträger $\rho_{0,NT}$.

Höchstlasten der Hirnholzdübelverbindungen in Brettschichtholz:

Tabelle 5 (Anlage 23 und 24):	Versuchsreihe A, Variation des Abstandes zwischen Hirnholzfläche und Klemmvorrichtung
Tabelle 6 (Anlage 25):	Versuchsreihe B, Variation des Winkels zwischen Haupt- und Nebenträger bei Hirnholzverbindungen mit Einpreßdübeln des Dübeltyps C
Tabelle 7 (Anlage 26):	Versuchsreihe B, Variation des Winkels zwischen Haupt- und Nebenträger bei Hirnholzverbindungen mit Einpreßdübeln des Dübeltyps D
Tabelle 8 (Anlage 27):	Versuchsreihe E, Variation der Dübelgröße
Tabelle 9 (Anlage 28):	Versuchsreihe F, Variation der Anzahl der in der Hirnholzfläche hintereinander liegenden Dübel besonderer Bauart

Höchstlasten der Hirnholzdübelverbindungen in Nadelvollholz:

Tabelle 10 (Anlagen 29 bis 31): Versuchsreihen C, D und K, Variation der Holzfeuchten

Tabelle 11 (Anlage 32 und 33): Versuchsreihe H, Variation der Dübelgröße

Tabelle 12 (Anlage 34 und 35): Versuchsreihe I, Variation des Winkels zwischen Haupt- und Nebenträger

4.2 Last-Verschiebungsdiagramme

In den Bildern 27 bis 68 (Anlage 36 bis 76) sind die Last-Verschiebungsdiagramme dargestellt. Es wurden jeweils die Versuche mit sich entsprechenden Versuchsparametern in einem Bild zusammengefaßt. In den Diagrammen wurde die Last, die auf die Hirnholzdübelverbindung wirkt, gegenüber dem Mittelwert der gemessenen gegenseitigen vertikalen Verschiebungen zwischen Haupt- und Nebenträger aufgetragen. Die vertikalen Verschiebungen wurden jeweils auf beiden Seiten des Nebenträgers in Höhe der Schwerachse der Verbindung gemessen.

Für folgende Versuche der Versuchsreihe A werden keine Last-Verschiebungsdiagramme angegeben, da in der Versuchsreihe A die Meßeinrichtungen optimiert wurden und sich somit keine vergleichbaren Verformungsmessungen ergaben:

- A1-5d_b-(1÷4)
- A1-7,5d_b-(1÷4)
- A1-10d_b-(1÷4)
- A2-5d_b-(1÷4)
- A2-7,5d_b-(1÷4)
- A2-10d_b-(1÷4)

4.3 Verformungskennwerte

Folgende Verformungskennwerte wurden nach DIN EN 26891 ermittelt:

- Anfangsverschiebung	v_i
- Modifizierte Anfangsverschiebung	$v_{i,mod}$
- Bleibende Anfangsverschiebung	v_s
- Elastische Verschiebung	v_e
- Verschiebung bei $0,6 \cdot F_{max}$	$v_{0,6}$
- Modifizierte Verschiebung bei $0,6 \cdot F_{max}$	$v_{0,6, mod}$
- Verschiebung bei $0,8 \cdot F_{max}$	$v_{0,8}$
- Modifizierte Verschiebung bei $0,8 \cdot F_{max}$	$v_{0,8, mod}$
- Anfangs-Verschiebungsmodul	k_i
- Verschiebungsmodul	k_s

Diese Verformungskennwerte sind für die einzelnen Versuchsreihen in den Tabellen 13 bis 19 (Anlagen 77 bis 85) zusammengestellt. Zusätzlich wurden die Verschiebungen unter einem Drittel der jeweiligen Höchstlast bestimmt und ebenfalls in die Tabellen aufgenommen:

$$v_{F_{max}/3} = \frac{F_{max}}{3 \cdot k_i}$$

4.4 Ursachen für das Versagen der Verbindungen

Bei allen geprüften Hirnholzdübelverbindungen trat der Bruch durch Überschreiten der Querkzugfestigkeit des Holzes im Nebenträger auf, wobei der Riß stets von der Hirnholzfläche ausging. Die Bilder 69 bis 78 (Anlage 86 bis 90) zeigen Prüfkörper nach dem Versuch.

In Bild 69 (Anlage 86) ist ein auseinander gebauter Prüfkörper der Versuchsreihe A mit einem Einpreßdübel des Dübeltyps C dargestellt. Neben dem typischen Querkzugriß ist hier auch ein Überschreiten der

Lochleibungsfestigkeit des Holzes im Nebenträger unter den Dübelzähnen der unteren Dübelhälfte zu erkennen. Im Dübel selbst sind diese Zähne verbogen.

Bild 70 (Anlage 86) zeigt die Hirnholzfläche eines Nebenträgers der Versuchsreihe C nach dem Entfernen des Einpreßdübels Dübeltyp D. Die in diesem Versuch aufgetretenen großen Verformungen zeigen sich in den großen Eindrückungen der Dübelzähne und des Schraubenbolzens ins Holz. Sowohl der Dübel als auch der Schraubenbolzen wurden selbst nicht verformt.

Einen auseinander gebauten Prüfkörper der Versuchsreihe C mit einem Einlaßdübel des Dübeltyps A ist in Bild 71 (Anlage 86) dargestellt. Zusätzlich zum Querszug trat hier auf Grund der großen Querkraft im Bereich des Hirnholzes Schubversagen auf. Im Hauptträger sind Quersuganrisse erkennbar.

In Bild 72 (Anlage 87) ist eine Hirnholzverbindung mit einem Einlaßdübel des Dübeltyps A $\varnothing 126$ mm abgebildet, die in eine Hirnholzfläche mit Schwindrissen eingebaut worden war. Bei diesem Versuch wurde der Holzkern innerhalb des Dübelringes im Hauptträger abgeschert. Der relativ dünne Schraubenbolzen M12 wurde stark verformt und die Unterlegscheibe ins Holz eingedrückt. Bild 73 (Anlage 87) zeigt den auseinander gebauten Prüfkörper. Bei den anderen Versuchen dieser Versuchsreihe wurde der Holzkern nicht abgeschert.

Bei Anschlüssen mit mehreren in der Hirnholzfläche hintereinander liegenden Dübeln besonderer Bauart trat der Bruch ebenfalls durch Überschreiten der Querszugfestigkeit des Holzes im Nebenträger auf. Die Bilder 74 und 75 (Anlage 88) zeigen einen Anschluß mit 5 hintereinander liegenden Einpreßdübeln des Dübeltyps C und die dazugehörige Hirnholzfläche des Nebenträgers. In den Bildern 76 und 77 (Anlage 89) ist der Anschluß und die Hirnholzfläche eines Prüfkörpers mit 3 hintereinander liegenden Einpreßdübeln des Dübeltyps D dargestellt.

In den meisten Fällen verlief der Querkzugriß von der Hirnholzfläche zur Klemmvorrichtung und von dort, nach oben versetzt, weiter in Faserrichtung. In Bild 78 (Anlage 90) ist dieser Verlauf bei zwei schrägen Anschlüssen, beide unter einem Winkel $\varphi = 45^\circ$ zwischen Haupt- und Nebenträger, aber mit verschiedenen Klemmvorrichtungen, dargestellt.

4.5 Auswirkungen der untersuchten Parameter

4.5.1 Tragfähigkeit von Hirnholzdübelverbindungen in Brettschichtholz und in Nadelvollholz

Es wurden getrennt für jeden Dübeltyp und jede Dübelgröße die Höchstlasten derjenigen Versuche verglichen, bei denen folgende Versuchsparameter vorlagen:

- Lichter Abstand zwischen Hirnholzfläche und Klemmvorrichtung in Faserrichtung des Nebenträgers: $l_f = 10 \cdot d_b$
- Winkel zwischen Haupt- und Nebenträger: $\varphi = 90^\circ$
- Anzahl der hintereinander liegenden Dübel: $n = 1$

In Tabelle 20 (Anlage 91) sind die Mittelwerte der Höchstlasten der entsprechenden Versuche in Brettschichtholz (Versuchsreihe A) und in Nadelvollholz unterschiedlicher Holzfeuchte (Versuchsreihe C, D und K) zusammengestellt. Die Ergebnisse der Vollholzversuche mit Prüfkörpern, die nach der Herstellung bis zum Versuch im Normalklima getrocknet wurden, sind getrennt für nachgespannte und nicht nachgespannte Verbindungen aufgeführt. Zusätzlich zu den mittleren Höchstlasten werden in Klammern die entsprechenden Variationskoeffizienten angegeben.

Ein Vergleich der Werte der gleichen Dübelgröße eines Dübeltyps ergibt unter Berücksichtigung der Streuungen der Einzelwerte keinen signifikanten Unterschied zwischen der Tragfähigkeit von Hirnholzdübelverbindungen in Brettschichtholz und in Nadelvollholz. Außerdem zeigen sich im untersuch-

ten Feuchtebereich weder ein Einfluß der Holzfeuchte noch ein signifikanter Unterschied zwischen nachgespannten und nicht nachgespannten Dübelverbindungen.

Der für jede Dübelgröße eines Dübeltyps aus allen entsprechenden Höchstlasten der Verbindungen in Brettschichtholz und Nadelvollholz gebildete Mittelwert wird ebenfalls in Tabelle 20 (Anlage 91) angegeben.

4.5.2 Abstand zwischen Hirnholzfläche und Klemmvorrichtung

Die Ergebnisse der Versuchsreihe A zeigen einen deutlichen Abfall der Tragfähigkeit bei Verkleinerung des Regelabstandes $l_f = 10 \cdot d_b$ zwischen Hirnholzfläche und Klemmvorrichtung.

In Bild 79 (Anlage 92) sind die Höchstlasten der Hirnholzverbindungen mit Dübeltyp C in Abhängigkeit vom Abstand, bezogen auf den Durchmesser des zum Dübel gehörenden Schraubenbolzens, dargestellt. Bild 80 (Anlage 92) zeigt die entsprechende graphische Darstellung für Hirnholzverbindungen mit Dübeltyp D.

Wird die Traglast einer Hirnholzdübelverbindung mit $l_f/d_b < 10$ [$F_{\max}(l_f/d_b < 10)$] in Abhängigkeit von der Traglast bei $l_f/d_b = 10$ [$F_{\max}(l_f/d_b = 10)$] über die Gleichung

$$F_{\max}(l_f/d_b < 10) = k \cdot F_{\max}(l_f/d_b = 10)$$

ausgedrückt, dann ergibt sich der Abminderungsfaktor k aus den entsprechenden Gleichungen der Regressionsgeraden in den Bildern 79 und 80 nach geeigneten Umrechnungen zu:

$$k = 1,0 - 0,047 \cdot (10 - l_f/d_b) \quad \text{für } 5 \leq l_f/d_b \leq 10$$

beim Dübeltyp C,

$$k = 1,0 - 0,050 \cdot (10 - l_f/d_b) \quad \text{für } 5 \leq l_f/d_b \leq 10$$

beim Dübeltyp D

mit l_f lichter Abstand zwischen Hirnholzfläche und
Klemmvorrichtung in Faserrichtung des
Nebenträgers,
 d_b Durchmesser des zum Dübel gehörenden
Schraubenbolzens.

Ein Vergleich mit den Ergebnissen von Möhler, Hemmer (1979) für Einlaßdübel des Dübeltyps A in Brettschichtholz ergibt nach entsprechender Umformung:

$$k = 1,0 - 0,048 \cdot (10 - l_f/d_b) \quad \text{für } 5 \leq l_f/d_b \leq 10$$

Auf der sicheren Seite liegend kann somit für alle Dübeltypen bei $5 \leq l_f/d_b \leq 10$ folgender gemeinsamer Abminderungsfaktor gegenüber dem Regelanschluß mit $l_f/d_b = 10$ eingeführt werden:

$$k = 1,0 - 0,05 \cdot (10 - l_f/d_b) \quad \text{für } 5 \leq l_f/d_b \leq 10$$

4.5.3 Unterschiedliche Klemmvorrichtungen

Bei schrägen Anschlüssen unter einem Winkel $\varphi = 45^\circ$ und z. T. auch $\varphi = 60^\circ$ zwischen Haupt- und Nebenträger wurden als Klemmvorrichtungen sowohl Muttern mit Unterlegscheiben als auch Formstücke eingesetzt. Die sich entsprechenden Ergebnisse aus den Versuchen der Versuchsreihe B in Brettschichtholz und aus den Versuchen der Versuchsreihe I in Nadelvollholz sind in der Tabelle 21 (Anlage 93) gegenübergestellt.

Die Höchstlasten F_{\max} dieser Versuche beziehen sich auf unterschiedlich große Abstände zwischen Hirnholzfläche und Klemmvorrichtung oder auf

unterschiedliche Holzbreiten des Nebenträgers. Deshalb wurden alle Höchstlasten über den Faktor k auf den Regelabstand $l_f = 10 \cdot d_b$ und im Falle der Versuchsreihe B2-45-(1÷4) unter der Annahme einer Linearität auf die Mindestholzbreite umgerechnet:

$$F_{\text{cor}} = \frac{F_{\text{max}}}{k \cdot (b/\min b)}$$

$$k = 1,0 - 0,05 \cdot (10 - l_f/d_b) \quad \text{für } 5,0 \leq l_f/d_b \leq 10,0$$

Die korrigierten Werte F_{cor} sind ebenfalls in Tabelle 21 (Anlage 93) enthalten. Mit Ausnahme eines Versuches (B1-60-3), dessen niedrige Höchstlast nicht auf die Klemmvorrichtung zurückzuführen sein dürfte, ergibt ein Vergleich der Mittelwerte \bar{F}_{cor} keinen bedeutenden Unterschied hinsichtlich der Tragfähigkeit der Verbindungen.

Neben den Höchstlasten wurden auch die Verschiebungen $v_{F_{\text{max}}/3}$ unter einem Drittel der jeweiligen Höchstlast verglichen und in Tabelle 21 (Anlage 93) zusammen mit den Mittelwerten $\bar{v}_{F_{\text{max}}/3}$ angegeben.

Es zeigt sich, daß die Verschiebungen $v_{F_{\text{max}}/3}$ bei Verwendung von Muttern mit Unterlegscheiben kleiner sind als bei Verwendung von Formstücken. Da die Unterschiede im 1/10-Millimeter-Bereich liegen und somit klein sind, können die beiden Klemmvorrichtungen jedoch als praktisch gleichwertig angesehen werden.

Die in den Versuchsreihen E und H verwendeten Rundstähle mit Querbohrung und Innengewinde entsprechen hinsichtlich der für die Kraftübertragung beanspruchten Flächen den Formstücken. Bei sachgemäßer Herstellung können sie daher ebenfalls als gleichwertig eingesetzt werden.

4.5.4 Winkel zwischen Haupt- und Nebenträger

Der Einfluß des Winkels zwischen Haupt- und Nebenträger auf die

Tragfähigkeit wurde mit dem Dübeltyp C sowohl in Brettschichtholz als auch in Nadelvollholz, mit dem Dübeltyp D in Brettschichtholz und mit dem Dübeltyp A in Nadelvollholz untersucht. Hierzu wurden die entsprechenden Ergebnisse aus den Versuchsreihen A und B bei den Brettschichtholz-Anschlüssen und die Ergebnisse aus den Versuchsreihen C und I bei den Vollholz-Anschlüssen verglichen.

Da sich die Höchstlasten F_{\max} bei den Verbindungen mit den Dübeltypen C und A auf unterschiedliche Abstände zwischen Hirnholzfläche und Klemmvorrichtung beziehen, wurden sie mit dem Faktor k (vgl. Abschnitt 4.5.3) auf den Regelabstand $l_f = 10 \cdot d_b$ umgerechnet. Bei Verbindungen mit dem Dübeltyp D gehören die zu vergleichenden Höchstlasten F_{\max} bei gleichem Mindestabstand $l_f = 5 \cdot d_b$ zu unterschiedlichen Holzbreiten des anzuschließenden Trägers. Diese Höchstlasten wurden daher unter Annahme einer Linearität auf die Mindestholzbreite umgerechnet.

Die so korrigierten Werte F_{cor} sind in Abhängigkeit vom Winkel φ in den Bildern 81 bis 84 (Anlage 94 und 95) graphisch dargestellt. Aus ihnen geht hervor, daß der Winkel zwischen Haupt- und Nebenträger im untersuchten Bereich $45^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ$ keinen praktisch bedeutsamen Einfluß auf die Tragfähigkeit der Verbindungen hat.

4.5.5 Anzahl der hintereinander liegenden Dübel besonderer Bauart

Die Höchstlasten aus der Versuchsreihe F, in der Anschlüsse mit $n=3$ und $n=5$ in der Hirnholzfläche hintereinander liegenden Dübelverbindungen sowohl mit dem Dübeltyp C als auch mit dem Dübeltyp D geprüft wurden, enthält Tabelle 9 (Anlage 28). In ihr sind auch die Höchstlasten, die unter der Annahme einer gleichmäßigen Aufteilung auf einen Dübel entfallen, zusammen mit dem jeweiligen Mittelwert, der Standardabweichung und dem Variationskoeffizienten angegeben.

Die Werte wurden mit den entsprechenden Ergebnissen der Versuchs-

reihe A, bei der jeweils nur ein Dübel in der Hirnholzfläche angeordnet war, verglichen. In Bild 85 (Anlage 96) sind die Höchstlasten, die rechnerisch auf einen Dübel entfallen, in Abhängigkeit von der Anzahl der hintereinander liegenden Dübel für Hirnholzverbindungen mit dem Dübeltyp C dargestellt. Bild 86 (Anlage 96) zeigt die entsprechende graphische Darstellung für Hirnholzverbindungen mit dem Dübeltyp D.

Es zeigt sich, daß die Höchstlast, die in einer Verbindung mit $n=3$ bzw. $n=5$ hintereinander liegenden Einpreßdübeln auf einen Dübel entfällt, praktisch der Höchstlast einer Verbindung mit einem Dübel in der Hirnholzfläche entspricht.

4.5.6 Verschiebungen von Hirnholzdübelverbindungen in Nadelvollholz unter Gebrauchslast

Ausgewertet wurden die Verschiebungen, die sich unter einem Drittel der jeweiligen Höchstlast einstellen, d.h. einem Wert, der der oberen Grenze des Gebrauchslastbereiches zuzuordnen ist.

Mit dem Ziel, den Einfluß nachgespannter bzw. nicht nachgespannter Schraubenbolzen auf das Verformungsverhalten der Verbindungen zu bestimmen, wurden die Verschiebungen $v_{F_{\max}/3}$ folgender Hirnholzdübelverbindungen miteinander verglichen:

- Verbindungen in Nadelvollholz mit ungefähr gleicher Holzfeuchte bei Herstellung und beim Versuch $u_1 \approx u_2$,
- Verbindungen in Nadelvollholz mit Holzfeuchtedifferenz $u_2 < u_1$ und nachgespannten Schraubenbolzen,
- Verbindungen in Nadelvollholz mit Holzfeuchtedifferenz $u_2 < u_1$ und nicht nachgespannten Schraubenbolzen.

Im Hinblick auf die großen Streubereiche sind in Tabelle 22 (Anlage 97) die Kleinst-, Mittel- und Größtwerte für jeden untersuchten Dübeltyp zusammengestellt.

Es zeigt sich, daß die Mittelwerte der Verschiebungen aller nicht nachgespannten Verbindungen in Nadelvollholz mit Feuchtedifferenz etwa das Vier- bis Fünffache der mittleren Verschiebungen der entsprechenden nachgespannten Verbindungen betragen. Mit Mittelwerten von 1,34 bis 1,70 mm liegen sie dabei deutlich über dem Rechenwert, der in DIN 1052, Teil 2, Tab. 13 für alle Dübelverbindungen zu 1,0 mm bei zulässiger Belastung angegeben wird.

Die Verschiebungen der Einpreßdübel-Verbindungen in Nadelvollholz mit ungefähr gleich bleibender Holzfeuchte $u_1 \approx u_2$ und deshalb nicht nachgespannten Schraubenbolzen ergaben, bei kleinen Unterschieden im 1/10-Millimeter-Bereich, etwa die gleiche Größe wie die Verschiebungen der nachgespannten Einpreßdübel-Verbindungen, wenn man die bei beiden Dübeltypen vereinzelt auftretenden hohen Größtwerte als nicht repräsentativ betrachtet.

Die Verschiebungen von Verbindungen mit Einlaßdübeln des Dübeltyps A in Nadelvollholz mit ungefähr gleich bleibender Holzfeuchte $u_1 \approx u_2$ sind dagegen deutlich größer als die Verschiebungen der entsprechenden nachgespannten Verbindungen. Dies kann auf das Nachlassen der Vorspannung in den Schraubenbolzen zurückgeführt werden, das auch schon bei geringfügigem Trocknen der Hölzer einsetzt und dann gerade die Nachgiebigkeit der Verbindungen mit kleinen Bolzendurchmessern deutlich erhöht.

Die Auswirkungen möglicher Schwindrisse in der Hirnholzfläche wurden an den Ergebnissen der nachfolgend aufgeführten Versuche untersucht, bei denen die Dübel in gerissene Hirnholzflächen eingebaut worden waren:

- D2-K12-5 und D2-K12-8
- D3-K12-5 und D3-K12-8
- K2-K13-1 und K2-K13-4
- K3-K13-1 und K3-K13-4
- H1-C140-(1÷4)
- H3-A126-(1÷4)

Die Verschiebungen dieser Versuche sind aus den Tabellen 17 und 18 (Anlagen 82 bis 84) ersichtlich. Ein Vergleich der Werte mit den Ergebnissen der entsprechenden Versuche ohne Schwindrisse in den Hirnholzflächen bzw. mit den Werten der Tabelle 22 (Anlage 97) zeigt, auch im Hinblick auf den vorhandenen großen Streubereich der Verschiebungsgrößen bei allen Versuchen, keinen eindeutig erkennbaren Einfluß der Schwindrisse auf die Nachgiebigkeit der Verbindungen.

5 Vorschlag für die Ausbildung und Berechnung von Hirnholzdübelverbindungen

5.1 Anforderungen an das Material

Die Ergebnisse der durchgeführten Versuche ergaben, daß Hirnholzdübelverbindungen sowohl mit Einlaßdübeln des Dübeltyps A als auch mit Einpreßdübeln der Dübeltypen C oder D ausgeführt werden können. Die Werkstoffeigenschaften und die Abmessungen dieser Dübel besonderer Bauart müssen den Bestimmungen der DIN 1052, Teil 2, 4.3.2 und 4.3.3 entsprechen. Zum Zusammenhalten der Verbindungen sind die nach DIN 1052, Teil 2, Tab. 4, 6 bzw. 7 zu jedem Dübel gehörenden Schraubenbolzen zu verwenden. Die Spannkraft wird vom Schraubenbolzen über eine Unterlegscheibe unter dem Schraubenkopf und eine Klemmvorrichtung am Schraubenende ins Holz übertragen. Als Klemmvorrichtung kann bei Einhaltung der nachfolgend aufgeführten Abmessungen sowohl eine Mutter mit Unterlegscheibe als auch ein Rundstahl mit Querbohrung und Innengewinde oder ein entsprechendes Formstück verwendet werden:

- Mutter mit Unterlegscheibe: Unterlegscheibe nach DIN 1052, Teil 2, Tab. 3
- Rundstahl bzw. Formstück:

Schraubenbolzen	Rundstahl bzw. Formstück	
	Durchmesser ¹⁾ [mm]	Länge [mm]
M 12	24	55
M 16	32	70
M 20	40	90
M 24	48	110

¹⁾ Bohrdurchmesser beim Formstück

Die Verbindungen dürfen sowohl in die Hirnholzflächen von Brettschichtholz als auch in die Hirnholzflächen von Nadelvollholz eingebaut werden. Das Nadelvollholz muß bei Herstellung der Verbindungen trocken sein, mit einer Holzfeuchte $u \leq 20\%$.

5.2 Anforderungen an die Herstellung

Die Dübel sind mittig in der Trägerbreite so anzuordnen, daß bestimmte Mindestrandabstände und Mindestdübelabstände untereinander nicht unterschritten werden. In Tabelle 23 (Anlage 98) sind diese Mindestwerte aufgeführt. Sie entsprechen den Holzabmessungen und Dübelabständen der untersuchten Prüfkörper und ergaben sich sinngemäß aus den Bestimmungen der DIN 1052, Teil 2 für Verbindungen mit Dübeln besonderer Bauart, die in die Seitenflächen der zu verbindenden Hölzer eingebaut sind.

5.3 Vorschlag für die Berechnung

Zur Durchführung eines Tragfähigkeitsnachweises werden die in Tabelle 23 (Anlage 98) aufgeführten Rechenwerte für die Tragfähigkeiten vorgeschlagen. Sie wurden für Verbindungen mit Einpreßdübeln der Dübeltypen C und D aus dem Mittelwert der Höchstlasten derjenigen Verbindungen in Brettschichtholz und in Nadelvollholz ermittelt, die mit $l_f = 10 \cdot d_b$, $\varphi = 90^\circ$ und $n=1$ als Regelanschluß ausgeführt worden waren. Die Werte für Verbindungen mit Einlaßdübeln des Dübeltyps A ergaben sich aus dem Mittelwert der Höchstlasten der entsprechenden Regelanschlüsse in Nadelvollholz. Sie entsprechen den 3-fachen bis 3,1-fachen zulässigen Belastungen aus DIN 1052, Teil 2, Tab. 5 für Verbindungen mit 1 oder 2 Dübeln hintereinander in der Hirnholzfläche von Brettschichtholz.

Die Werte gelten für Verbindungen in Brettschichtholz und in Nadelvollholz mit einem lichten Abstand zwischen Hirnholzfläche und Klemmvorrichtung

in Faserrichtung des Nebenträgers $l_f \geq 10 \cdot d_b$ und mit einem Winkel zwischen Haupt- und Nebenträger $45^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ$. Sie entsprechen jeweils der Tragfähigkeit eines Dübels in Verbindungen, bei denen entweder bis zu 5 Einpreßdübel der Dübeltypen C oder D oder bis zu 2 Einlaßdübel des Dübeltyps A hintereinander in der Hirnholzfläche angeordnet sind.

Bei Verkleinerung des Abstandes zwischen Hirnholzfläche und Klemmvorrichtung ist der Bemessungswert um den Faktor k abzumindern:

$$k = 1,0 - 0,05 \cdot (10 - l_f/d_b) \quad \text{für } 5,0 \leq l_f/d_b < 10,0$$

Das bedeutet, daß im Falle $l_f = 5 \cdot d_b$ nur mit 75% der Tragfähigkeit des Falles $l_f = 10 \cdot d_b$ gerechnet werden kann. Dazwischen ist linear zu interpolieren. Klemmlängen geringer als $l_f = 5 \cdot d_b$ sind unzulässig.

Zur Bestimmung der Verschiebungswerte der Hirnholzdübelverbindungen im Gebrauchslastbereich wurden die in den Tabellen 13 bis 19 (Anlagen 77 bis 85) aufgeführten Einzelwerte der Verschiebungen unter einem Drittel der jeweiligen Höchstlast ausgewertet. In den Bildern 87 bis 89 (Anlagen 99 bis 101) sind diese Verschiebungen als Häufigkeitsverteilungen graphisch dargestellt. Die Verteilungen beinhalten sowohl die Werte der Verbindungen in Brettschichtholz als auch die Werte der Verbindungen in Nadelvollholz. Die Verschiebungen derjenigen Verbindungen in Nadelvollholz mit deutlicher Holzfeuchteänderung und nicht nachgespannten Schraubenbolzen sind besonders markiert.

Ein Vergleich zeigt, daß die Mehrzahl der Verschiebungen unter einem Drittel der jeweiligen Höchstlast bei Verbindungen mit Einpreßdübeln beider Dübeltypen unter 1,0 mm liegt. Bei Verbindungen mit Einlaßdübeln des Dübeltyps A ergaben sich im Mittel größere Verschiebungen als bei Verbindungen mit Einpreßdübeln. Dieses Verformungsverhalten könnte durch unterschiedlich hohe Rechenwerte für die Verschiebungen im Gebrauchslastbereich erfaßt werden. Es sei darauf hingewiesen, daß die in DIN 1052, Teil 2 enthaltenen zulässigen Belastungen von Einlaßdübeln des

Dübeltyps A in Hirnholz von Brettschichtholz unter der Vorgabe festgelegt wurden, daß sich zugehörige Verschiebungen von höchstens 1,5 mm einstellen können.

Die Häufigkeitsverteilungen zeigen auch, daß die Verschiebungen unter einem Drittel der jeweiligen Höchstlast bei allen nicht nachgespannten Verbindungen in Nadelvollholz mit Holzfeuchteänderung deutlich größer sind als in allen anderen Fällen. Zur Berücksichtigung dieses Verformungsverhaltens wird vorgeschlagen, daß Hirnholzdübelverbindungen in Nadelvollholz bei Holzfeuchteänderung nachgespannt werden müssen. Andernfalls sollte man den Rechenwert für die Verschiebungen entsprechend erhöhen oder den Bemessungswert der Tragfähigkeiten abmindern.

6 Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit wurde mit dem Ziel durchgeführt, geeignete Ausführungs- und Bemessungsgrundlagen für tragende Anschlüsse mit Dübeln besonderer Bauart in Hirnholz zu schaffen, damit einerseits sowohl Brettschichtholz als auch Nadelvollholz, andererseits neben Einlaßdübeln des Dübeltyps A auch Einpreßdübel der Dübeltypen C und D zur Anwendung kommen können.

Anhand der Ergebnisse aus 84 Versuchen in Brettschichtholz und 102 Versuchen in Nadelvollholz wurden die Tragfähigkeiten und die Verformungskennwerte der Hirnholzdübelverbindungen bestimmt. Neben der Variation des Dübeltyps und der Dübelgröße wurden in den systematisch durchgeführten Versuchen folgende Einflüsse auf das Trag- und Verformungsverhalten der Verbindungen untersucht:

- Abstand zwischen Hirnholzfläche und Klemmvorrichtung,
- Unterschiedliche Klemmvorrichtungen,
- Winkel zwischen Haupt- und Nebenträger,
- Anzahl der hintereinander liegenden Dübel besonderer Bauart in der Hirnholzfläche von Brettschichtholz,
- Holzfeuchte von Nadelvollholz bei Herstellung der Verbindung bzw. beim Versuch, Nachspannen des Schraubenbolzens bei Holzfeuchteänderung, Schwindrisse in der Hirnholzfläche.

Zur Durchführung eines Tragfähigkeitsnachweises wurden für jeden Dübeltyp und jede Dübelgröße neben Mindestholzabmessungen und Mindestdübelabständen Bemessungswerte mit gegebenenfalls erforderlichen Abminderungen vorgeschlagen. Die Werte gelten, wenn die aufgeführten Anforderungen an das eingesetzte Material (Dübel besonderer Bauart, Schraubenbolzen, Unterlegscheibe, Klemmvorrichtung, Holz) und an die Herstellung der Verbindungen erfüllt sind. Zur Bestimmung der Verschiebungswerte der Hirnholzdübelverbindungen im Gebrauchslastbereich wurden die Verschiebungen, die sich unter einem Drittel der jeweiligen Höchstlast einstellten, also unter einem Wert, der der oberen Grenze des

Gebrauchslastbereiches zuzuordnen ist, in Häufigkeitsverteilungen graphisch dargestellt und ausgewertet.

7 Schrifttum

American Institute of Timber Construction (1974): Timber Construction Manual, 2. Edition, John Wiley & Sons, Inc.

Longworth, J. (1967): Behavior of Shear Plate Connections in Sloping Grain Surfaces, In: Forest Products Journal (1967) Nr.7, Vol.17

Möhler, K.; Ehlbeck, J. (1971): Ringkeildübelverbindungen in Brettschicht-Hirnholzanschlüssen, In: Bauen mit Holz (1971) Nr.9

Möhler, K.; Hemmer, K. (1979): Hirnholzdübelverbindungen bei Brettschichtholz, Karlsruhe: Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, Abt. Ingenieurholzbau, Universität Karlsruhe (TH). - Forschungsbericht

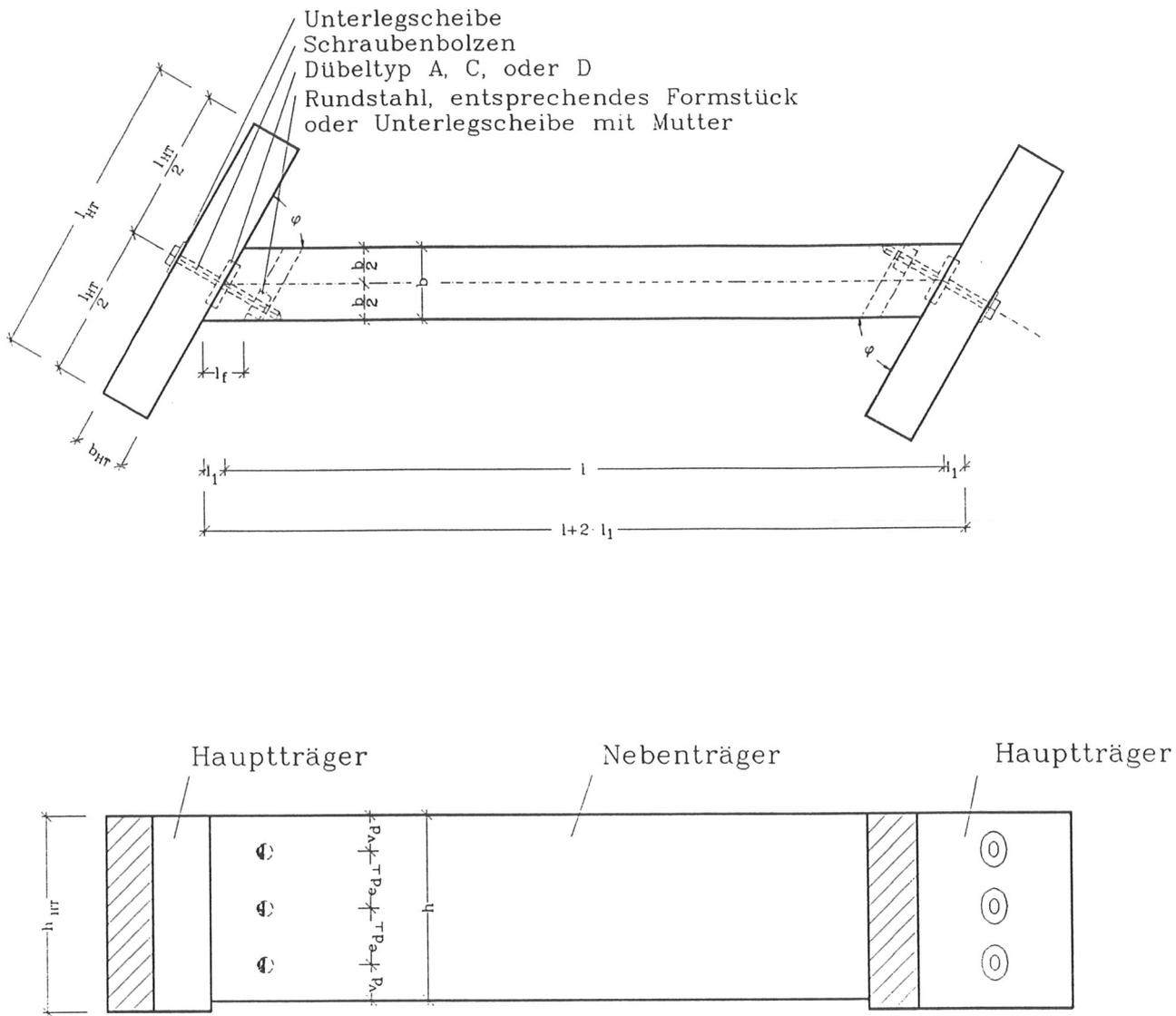


Bild 1: Allgemeine Darstellung der Prüfkörper

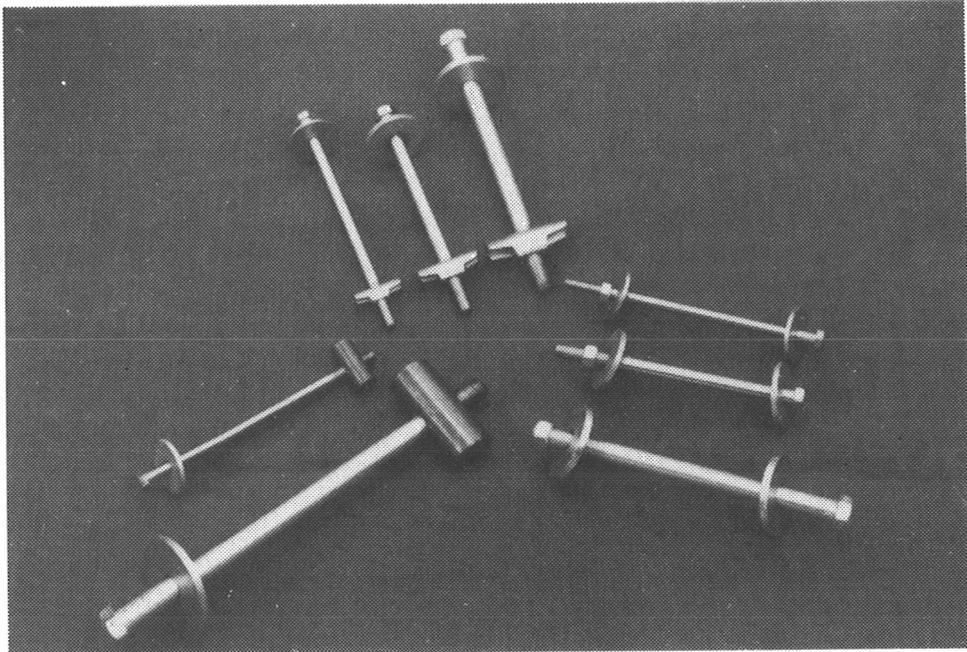


Bild 2: In den Versuchen verwendete Schraubenbolzen unterschiedlicher Größe mit zugehörigen Unterlegscheiben und verschiedenen Klemmvorrichtungen: Formstück (oben), Rundstahl mit Querbohrung und Innengewinde (links) und Mutter mit Unterlegscheibe (rechts)

Tabelle 1: Zusammenstellung der durchgeführten Versuche

Versuchs- bezeichnung	Holzart	Dübeltyp und Dübel- durchmesser	Schrauben- bolzen	Klemm- vor- richtung	$\frac{l_f}{d_b}$	φ [°]	$\frac{b}{\text{min } b}$	n	u_1/u_2 [%]	Nachgespannter Schrauben- bolzen ?	Anzahl der Versuche
A1-5d _b -(1÷4)	BSH	Typ C Ø95	M16	F	5	90	1	1	-	-	4
A1-7,5d _b -(1÷4)	BSH	Typ C Ø95	M16	F	7,5	90	1	1	-	-	4
A1-10d _b -(1÷6)	BSH	Typ C Ø95	M16	F	10	90	1	1	-	-	6
A2-5d _b -(1÷4)	BSH	Typ D Ø80	M20	F	5	90	1	1	-	-	4
A2-7,5d _b -(1÷4)	BSH	Typ D Ø80	M20	F	7,5	90	1	1	-	-	4
A2-10d _b -(1÷6)	BSH	Typ D Ø80	M20	F	10	90	1	1	-	-	6
B1-45-(1÷2)	BSH	Typ C Ø95	M16	M+U	5,6	45	1	1	-	-	2
B1-45-(3÷4)	BSH	Typ C Ø95	M16	F	5	45	1	1	-	-	2
B1-60-(1÷2)	BSH	Typ C Ø95	M16	M+U	5,6	60	1	1	-	-	2
B1-60-(3÷4)	BSH	Typ C Ø95	M16	F	5,6	60	1	1	-	-	2
B1-75-(1÷4)	BSH	Typ C Ø95	M16	F	7,5	75	1	1	-	-	4
B2-45-(1÷2)	BSH	Typ D Ø80	M20	M+U	5	45	1,23	1	-	-	2
B2-45-(3÷4)	BSH	Typ D Ø80	M20	F	5	45	1,38	1	-	-	2
B2-60-(1÷4)	BSH	Typ D Ø80	M20	F	5	60	1,38	1	-	-	4
B2-75-(1÷4)	BSH	Typ D Ø80	M20	F	5	75	1,15	1	-	-	4
C1-K11-(1÷4)	VH	Typ C Ø95	M16	F	10	90	1	1	18/18	nein	4
C2-K11-(1÷4)	VH	Typ D Ø80	M20	F	10	90	1	1	18/18	nein	4
C3-K11-(1÷4)	VH	Typ A Ø65	M12	F	10	90	1	1	18/18	nein	4
D1-K12-(1+3)	VH	Typ C Ø95	M16	F	10	90	1	1	18/12	ja	2
D1-K12-(2+4)	VH	Typ C Ø95	M16	F	10	90	1	1	18/12	nein	2
D1-K12-(5+7)	VH	Typ C Ø95	M16	F	10	90	1	1	18/12	ja	2
D1-K12-(6+8)	VH	Typ C Ø95	M16	F	10	90	1	1	18/12	nein	2
D2-K12-(1+3)	VH	Typ D Ø80	M20	F	10	90	1	1	18/12	ja	2
D2-K12-(2+4)	VH	Typ D Ø80	M20	F	10	90	1	1	18/12	nein	2
D2-K12-(5+7)	VH	Typ D Ø80	M20	F	10	90	1	1	18/12	ja	2
D2-K12-(6+8)	VH	Typ D Ø80	M20	F	10	90	1	1	18/12	nein	2
D3-K12-(1÷4)	VH	Typ A Ø65	M12	F	10	90	1	1	18/12	ja	4
D3-K12-(5÷8)	VH	Typ A Ø65	M12	F	10	90	1	1	18/12	nein	4
E1-C48-(1÷4)	BSH	Typ C Ø48	M12	R	10	90	1	1	-	-	4
E1-C140-(1÷4)	BSH	Typ C Ø140	M24	R	10	90	1	1	-	-	4
E2-D50-(1÷4)	BSH	Typ D Ø50	M12	R	10	90	1	1	-	-	4
E2-D115-(1÷4)	BSH	Typ D Ø115	M24	R	10	90	1	1	-	-	4
F1-3-(1÷4)	BSH	Typ C Ø95	M16	F	10	90	1	3	-	-	4
F1-5-(1÷4)	BSH	Typ C Ø95	M16	F	10	90	1	5	-	-	4
F2-3-(1÷4)	BSH	Typ D Ø80	M20	F	10	90	1	3	-	-	4
F2-5-(1÷4)	BSH	Typ D Ø80	M20	F	10	90	1	5	-	-	4

Tabelle 1: Fortsetzung
Zusammenstellung der durchgeführten Versuche

Versuchs- bezeichnung	Holzart	Dübeltyp und Dübel- durchmesser	Schrauben- bolzen	Klemm- vor- richtung	$\frac{l_f}{d_b}$	φ	$\frac{b}{\text{min } b}$	n	u_1/u_2 [%]	Nachgespannter Schrauben- bolzen ?	Anzahl der Versuche
						[°]					
H1-C48-(1÷4)	VH	Typ C Ø48	M12	R	10	90	1	1	18/18	nein	4
H1-C140-(1÷4)	VH	Typ C Ø140	M24	R	10	90	1	1	18/18	nein	4
H2-D50-(1÷4)	VH	Typ D Ø50	M12	R	10	90	1	1	18/18	nein	4
H2-D115-(1÷4)	VH	Typ D Ø115	M24	R	10	90	1	1	18/18	nein	4
H3-A95-(1÷4)	VH	Typ A Ø95	M12	R	10	90	1	1	18/18	nein	4
H3-A126-(1÷4)	VH	Typ A Ø126	M12	R	10	90	1	1	18/18	nein	4
I1-45-(1÷2)	VH	Typ C Ø95	M16	M+U	5	45	1	1	18/18	nein	2
I1-45-(3÷4)	VH	Typ C Ø95	M16	F	5	45	1	1	18/18	nein	2
I1-60-(1÷4)	VH	Typ C Ø95	M16	F	5	60	1	1	18/18	nein	4
I1-75-(1÷4)	VH	Typ C Ø95	M16	F	5	75	1	1	18/18	nein	4
I1-75-(5÷8)	VH	Typ C Ø95	M16	F	7,5	75	1	1	18/18	nein	4
I3-45-(1÷2)	VH	Typ A Ø65	M12	M+U	5	45	1	1	18/18	nein	2
I3-45-(3÷4)	VH	Typ A Ø65	M12	F	5	45	1	1	18/18	nein	2
I3-60-(1÷4)	VH	Typ A Ø65	M12	F	5	60	1	1	18/18	nein	4
I3-75-(1÷2)	VH	Typ A Ø65	M12	F	5	75	1	1	18/18	nein	2
I3-75-(3÷6)	VH	Typ A Ø65	M12	F	10	75	1	1	18/18	nein	4
K1-K13-(1÷4)	VH	Typ C Ø95	M16	F	10	90	1	1	12/12	nein	4
K2-K13-(1÷4)	VH	Typ D Ø80	M20	F	10	90	1	1	12/12	nein	4
K3-K13-(1÷4)	VH	Typ A Ø65	M12	F	10	90	1	1	12/12	nein	4
Holzart	BSH Brettschichtholz VH Nadelvollholz (Fi/Ta)										
Dübeltyp	Typ A Einlaßdübel des Dübeltyps A (System Appel) Typ C Einpreßdübel des Dübeltyps C (System Bulldog) Typ D Einpreßdübel des Dübeltyps D (System Geka)										
Dübeldurchmesser	Øxx Dübelaußendurchmesser in mm										
Schraubenbolzen	Zum Dübel gehörende Sechskantschraube nach DIN 1052, Teil 2, Tab. 4, 6 bzw. 7										
Klemmvorrichtung	F Formstück M+U Mutter mit Unterlegscheibe R Rundstahl										
l_f	Lichter Abstand der Hirnholzfläche von der Klemmvorrichtung in Faserrichtung des Nebenträgers										
d_b	Durchmesser des zum Dübel gehörenden Schraubenbolzens										
φ	Winkel zwischen Haupt- und Nebenträger										
b	Vorhandene Breite des Nebenträgers										
min b	Mindestbreite des Nebenträgers nach DIN 1052, Teil 2, Tab. 4, 6 bzw. 7										
n	Anzahl der in der Hirnholzfläche hintereinander liegenden Dübel										
nur bei Vollholzversuchen:											
u_1/u_2	Soll-Holzfeuchte bei Herstellung der Prüfkörper/Soll-Holzfeuchte beim Versuch										

Tabelle 2: Abstände l_f bei den Versuchen mit Einpreßdübeln des Dübeltyps C Ø95 mm in den Versuchsreihen B und I

Versuchsbezeichnung	φ [°]	l_f [cm]
B1-45-(1+2)	45	9,0
B1-45-(3+4)	45	8,0
B1-60-(1+4)	60	9,0
B1-75-(1+4)	75	12,0
I1-45-(1+4)	45	8,0
I1-60-(1+4)	60	8,0
I1-75-(1+4)	75	8,0
I1-75-(5+8)	75	12,0

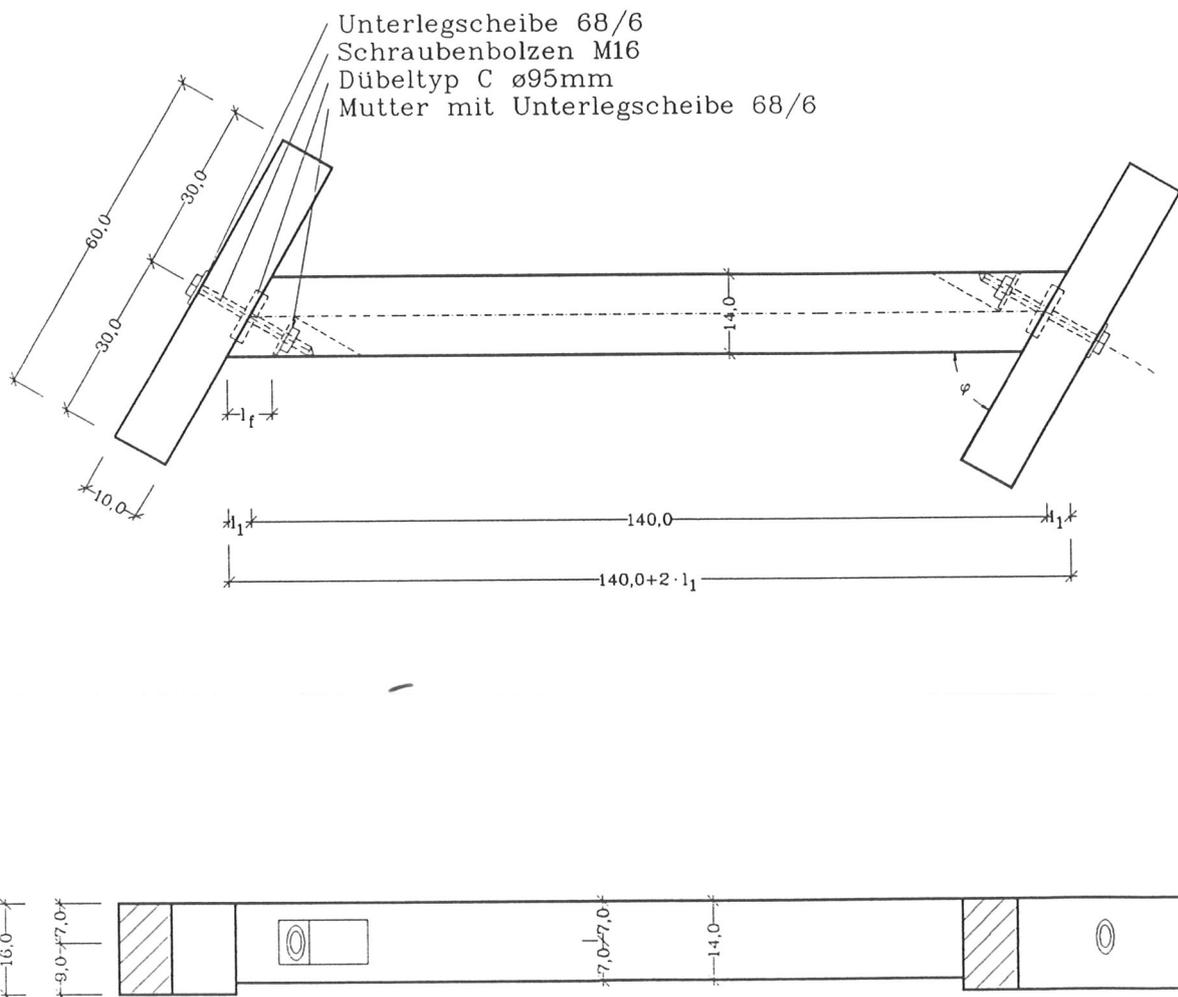


Bild 4: Prüfkörper der Versuchsreihen B und I mit Einpreßdübeln des Dübeltyps C Ø95 mm und als Klemmvorrichtungen eingebaute Muttern mit Unterlegscheiben, Abmessungen in cm

Anlage 7

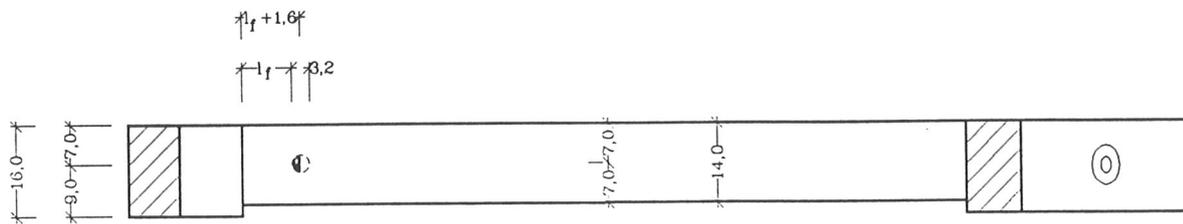
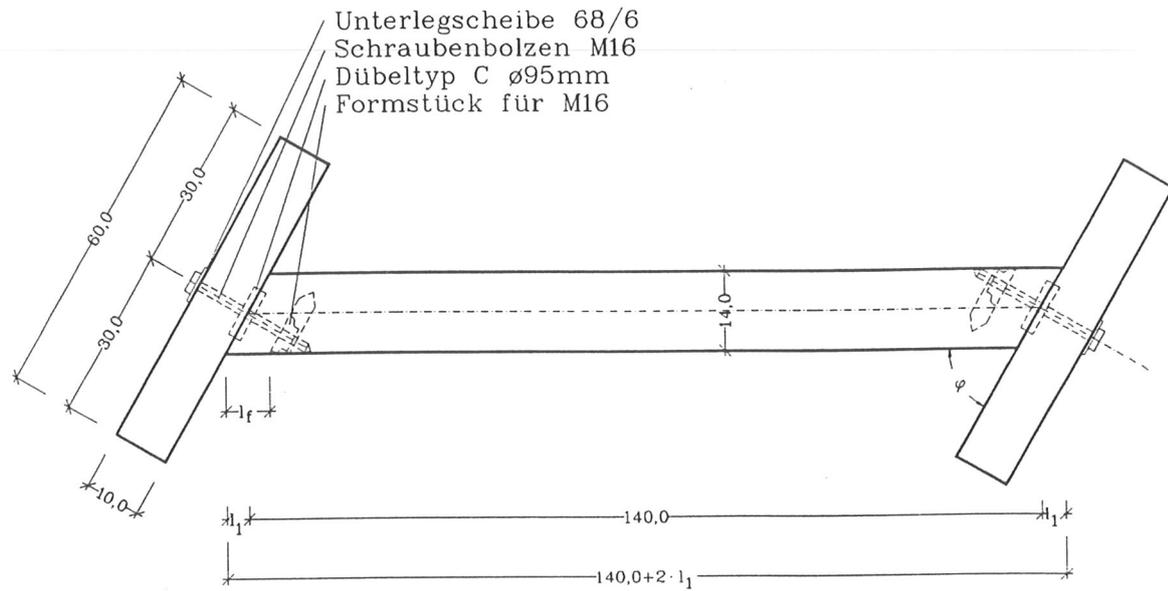


Bild 5: Prüfkörper der Versuchsreihen B und I mit Einpreßdübeln des Dübeltyps C $\varnothing 95\text{ mm}$ und als Klemmvorrichtungen eingebaute Formstücke, Abmessungen in cm

Tabelle 3: Nebenträgerbreiten b bei den Versuchen mit Einpreßdübeln des Dübeltyps D $\varnothing 80$ mm in der Versuchsreihe B

Versuchsbezeichnung	φ [°]	b [cm]
B2-45-(1÷2)	45	16,0
B2-45-(3÷4)	45	18,0
B2-60-(1÷4)	60	18,0
B2-75-(1÷4)	75	15,0

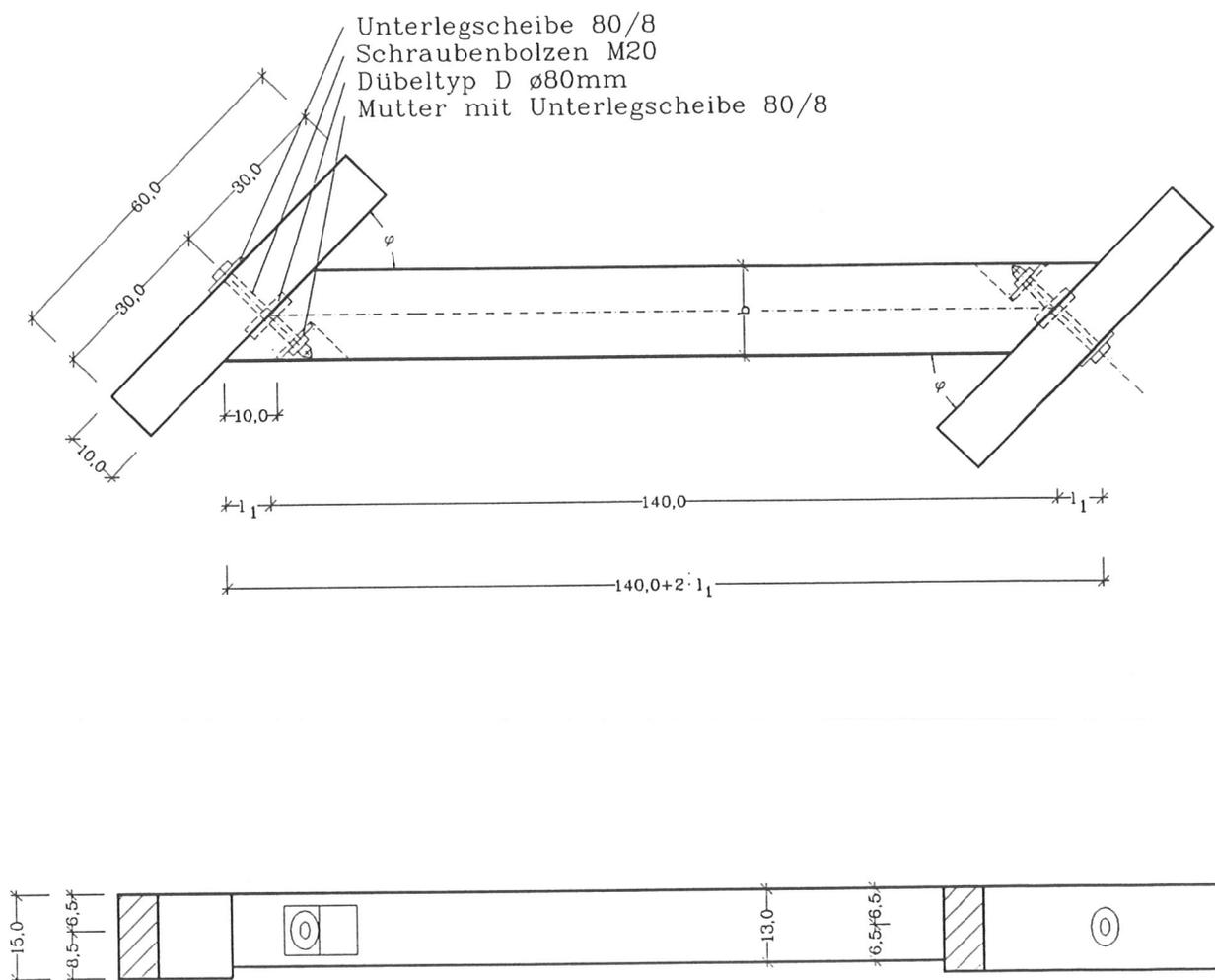


Bild 6: Prüfkörper der Versuchsreihe B mit Einpreßdübeln des Dübeltyps D $\varnothing 80$ mm und als Klemmvorrichtung eingebaute Muttern mit Unterlegscheiben, Abmessungen in cm

Anlage 9

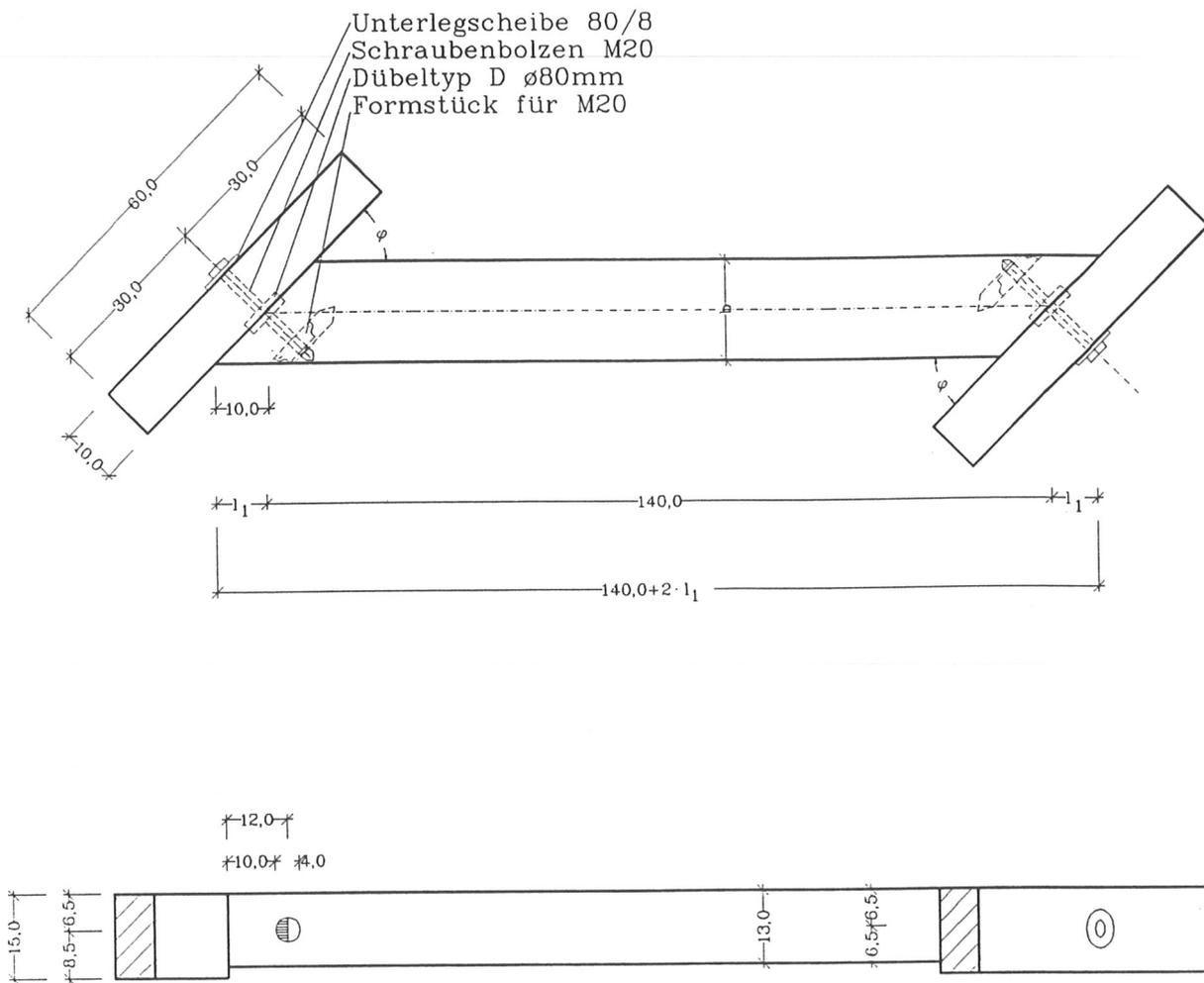


Bild 7: Prüfkörper der Versuchsreihe B mit Einpreßdübeln des Dübeltyps D $\varnothing 80$ mm und als Klemmvorrichtungen eingebaute Formstücke, Abmessungen in cm

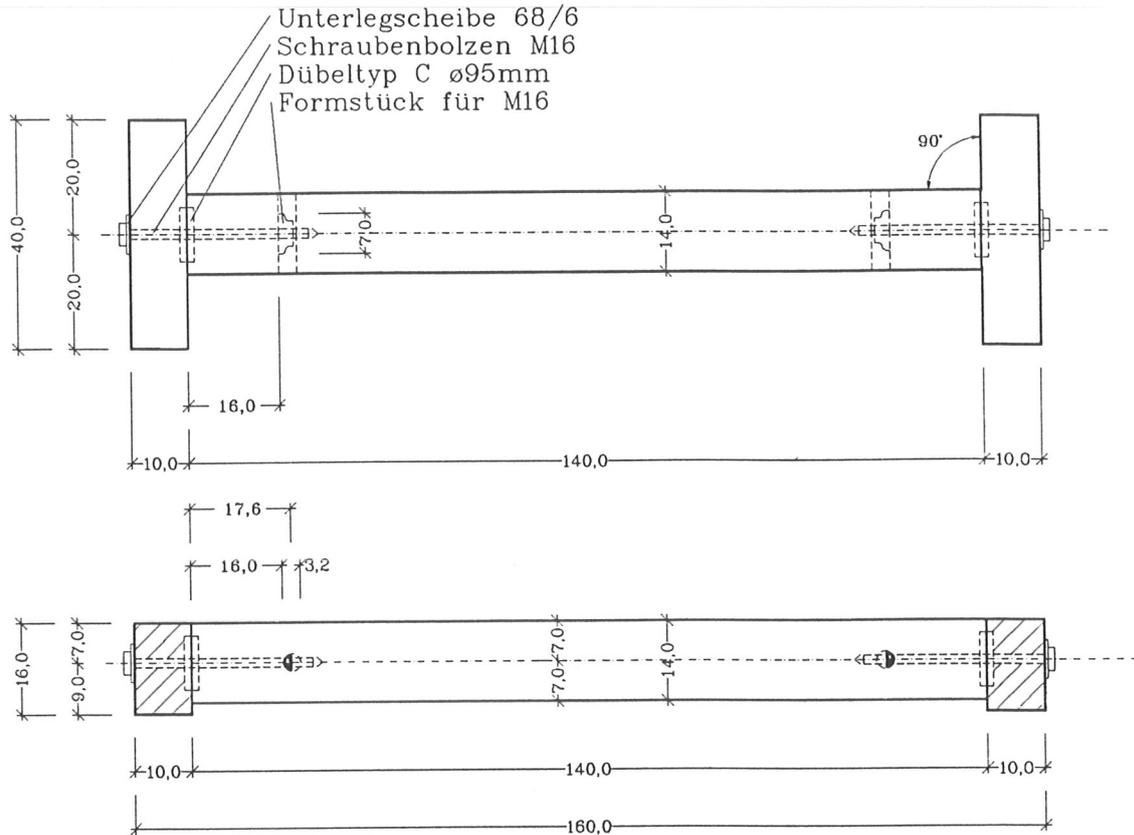


Bild 8: Prüfkörper der Versuchsreihen C, D und K mit Einpreßdübeln des Dübeltyps C $\varnothing 95\text{ mm}$, Abmessungen in cm

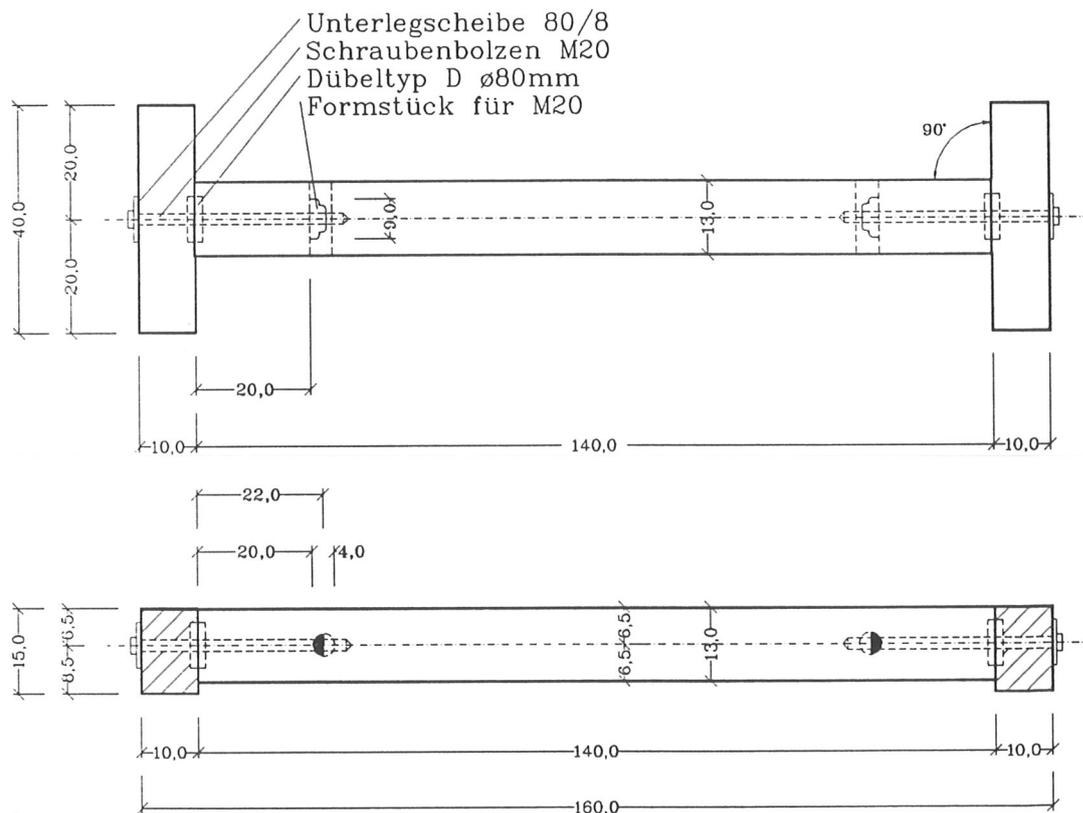


Bild 9: Prüfkörper der Versuchsreihen C, D und K mit Einpreßdübeln des Dübeltyps D $\varnothing 80\text{ mm}$, Abmessungen in cm

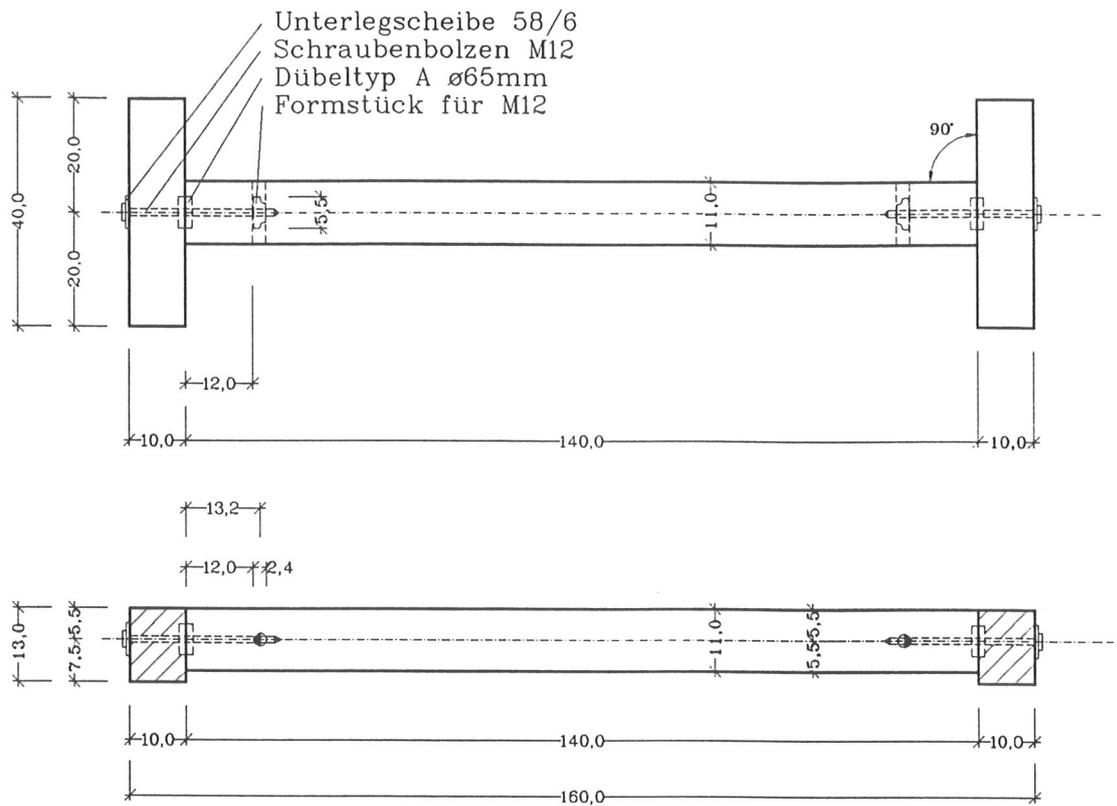


Bild 10: Prüfkörper der Versuchsreihen C, D und K mit Einlaßdübeln des Dübeltyps A $\varnothing 65\text{ mm}$, Abmessungen in cm

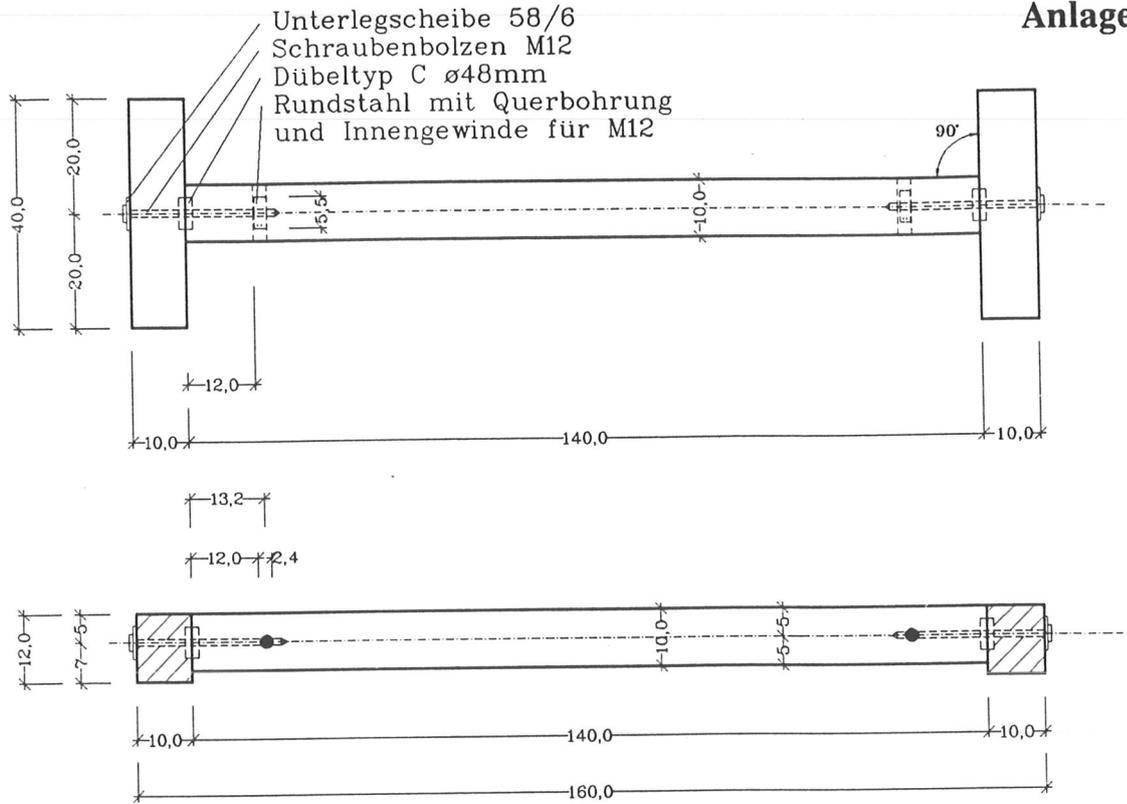


Bild 11: Prüfkörper der Versuchsreihen E und H mit Einpreßdübeln des Dübeltyps C $\varnothing 48$ mm, Abmessungen in cm

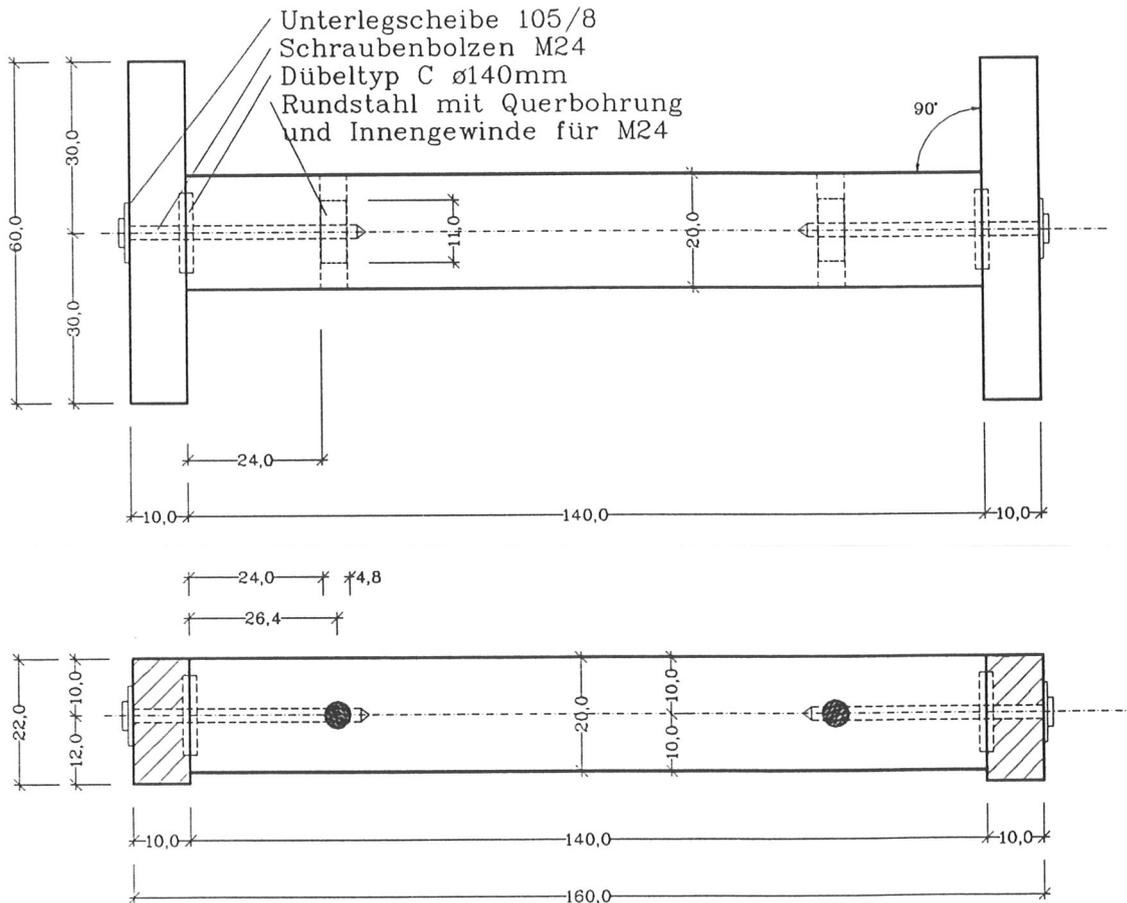


Bild 12: Prüfkörper der Versuchsreihen E und H mit Einpreßdübeln des Dübeltyps C $\varnothing 140$ mm, Abmessungen in cm

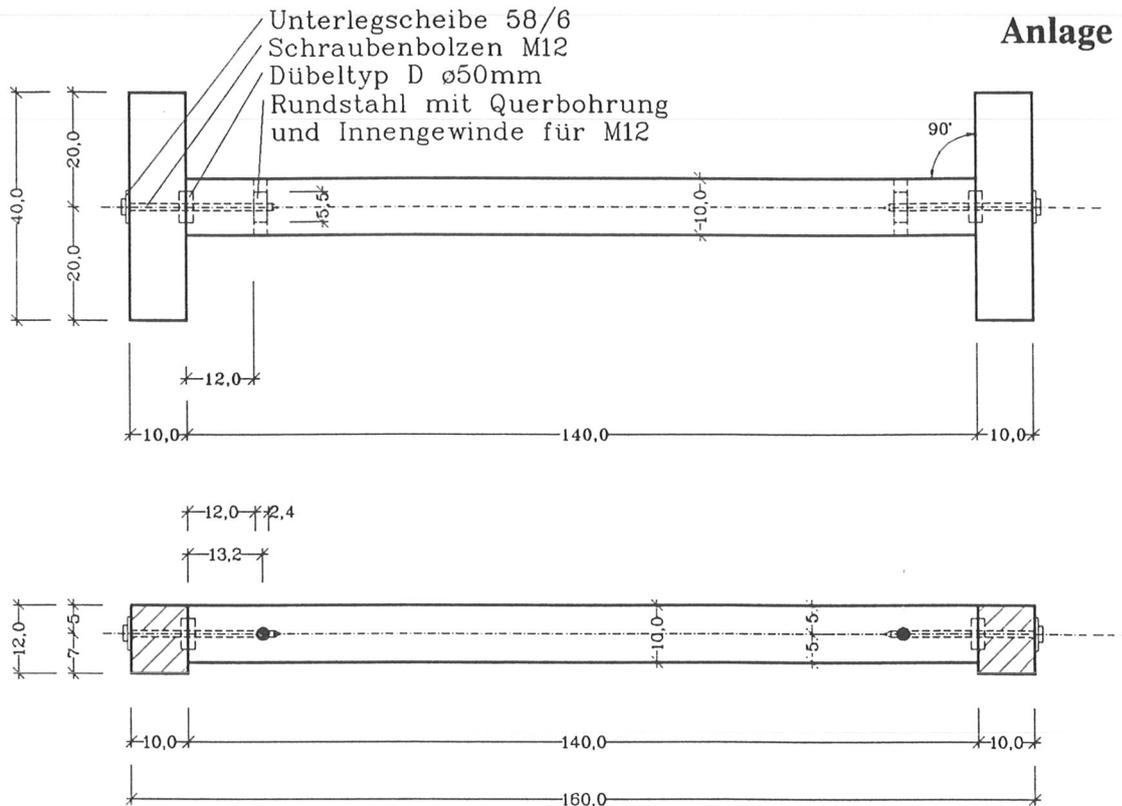


Bild 13: Prüfkörper der Versuchsreihen E und H mit Einpreßdübeln des Dübeltyps D Ø50 mm, Abmessungen in cm

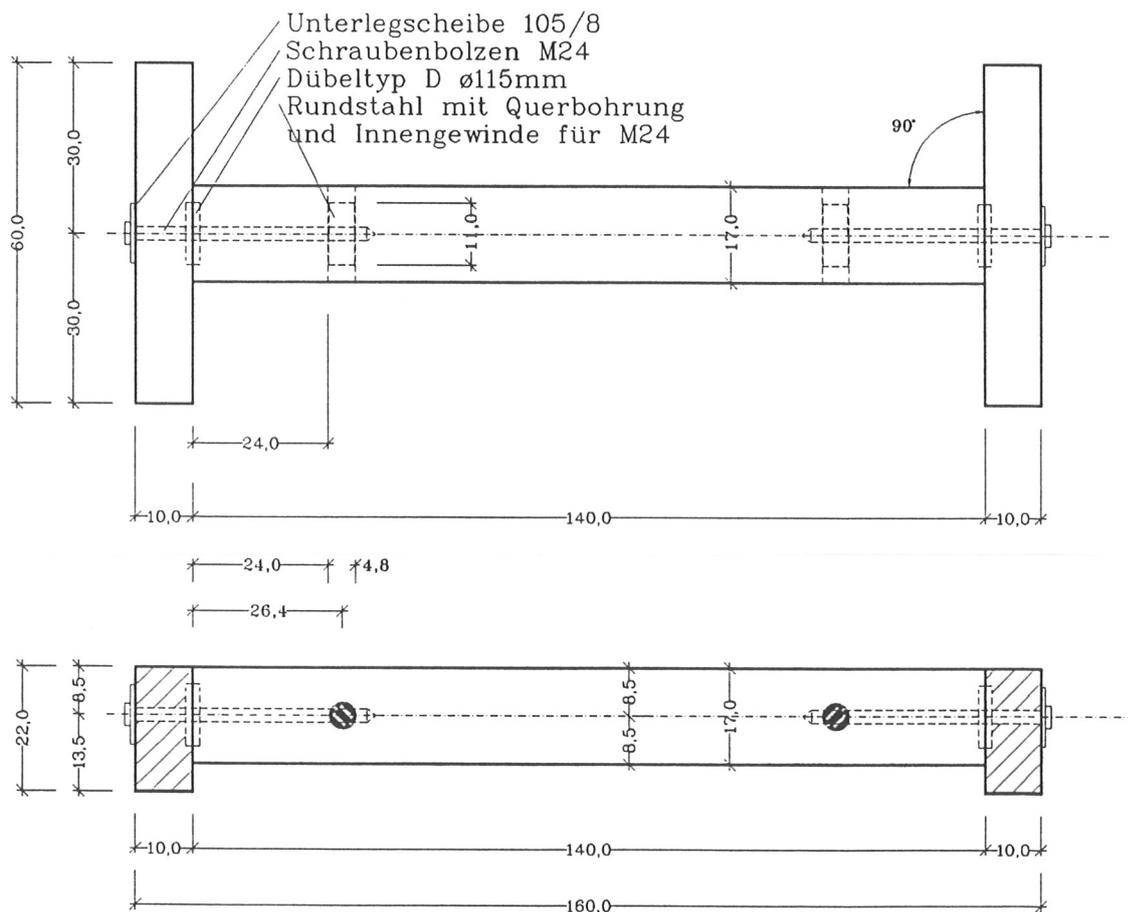


Bild 14: Prüfkörper der Versuchsreihen E und H mit Einpreßdübeln des Dübeltyps D Ø115 mm, Abmessungen in cm

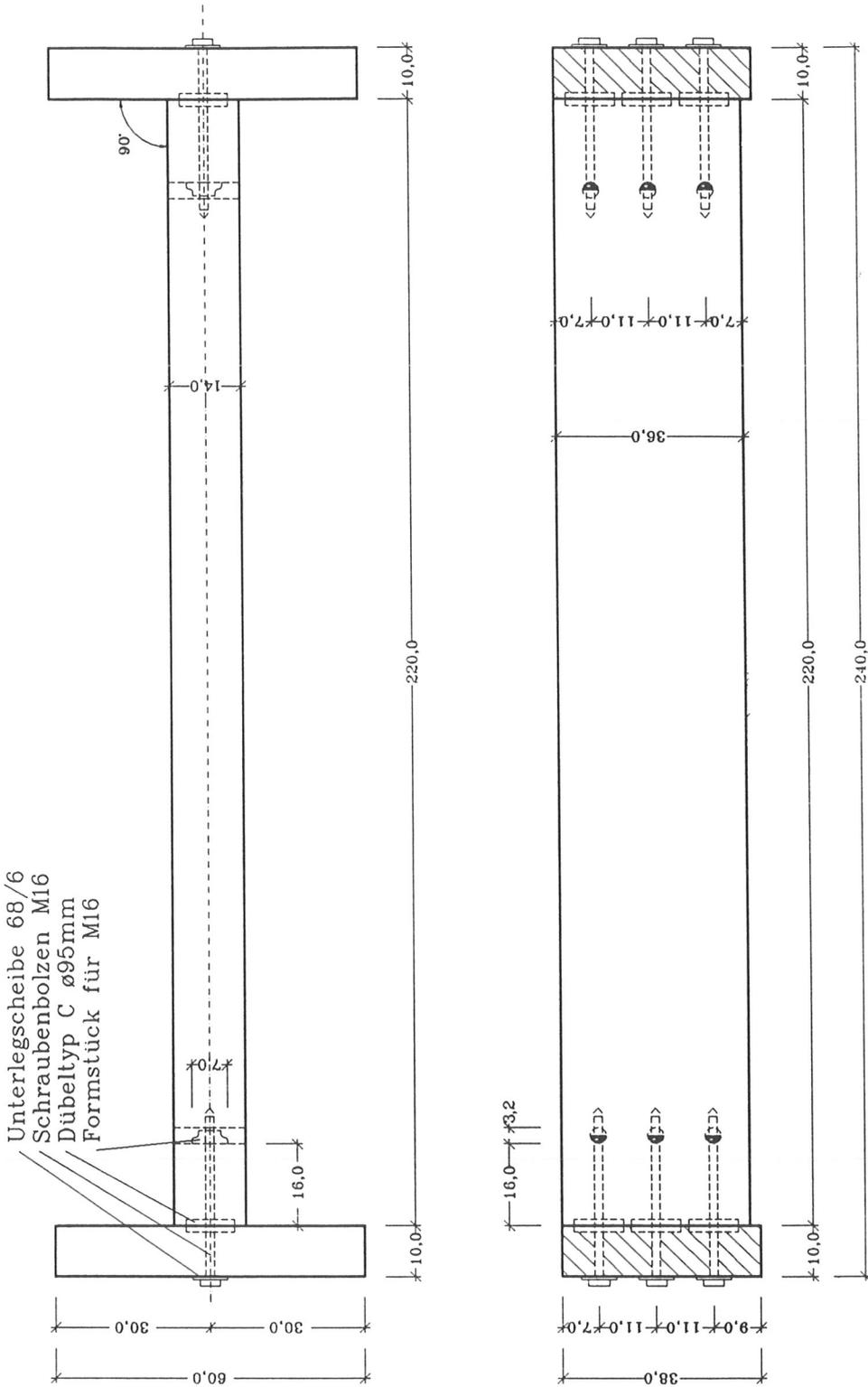


Bild 15: Prüfkörper der Versuchsreihe F mit $n=3$ in der Hirnholzfläche hintereinander liegenden Einpreßdübeln des Dübeltyps C Ø95 mm, Abmessungen in cm

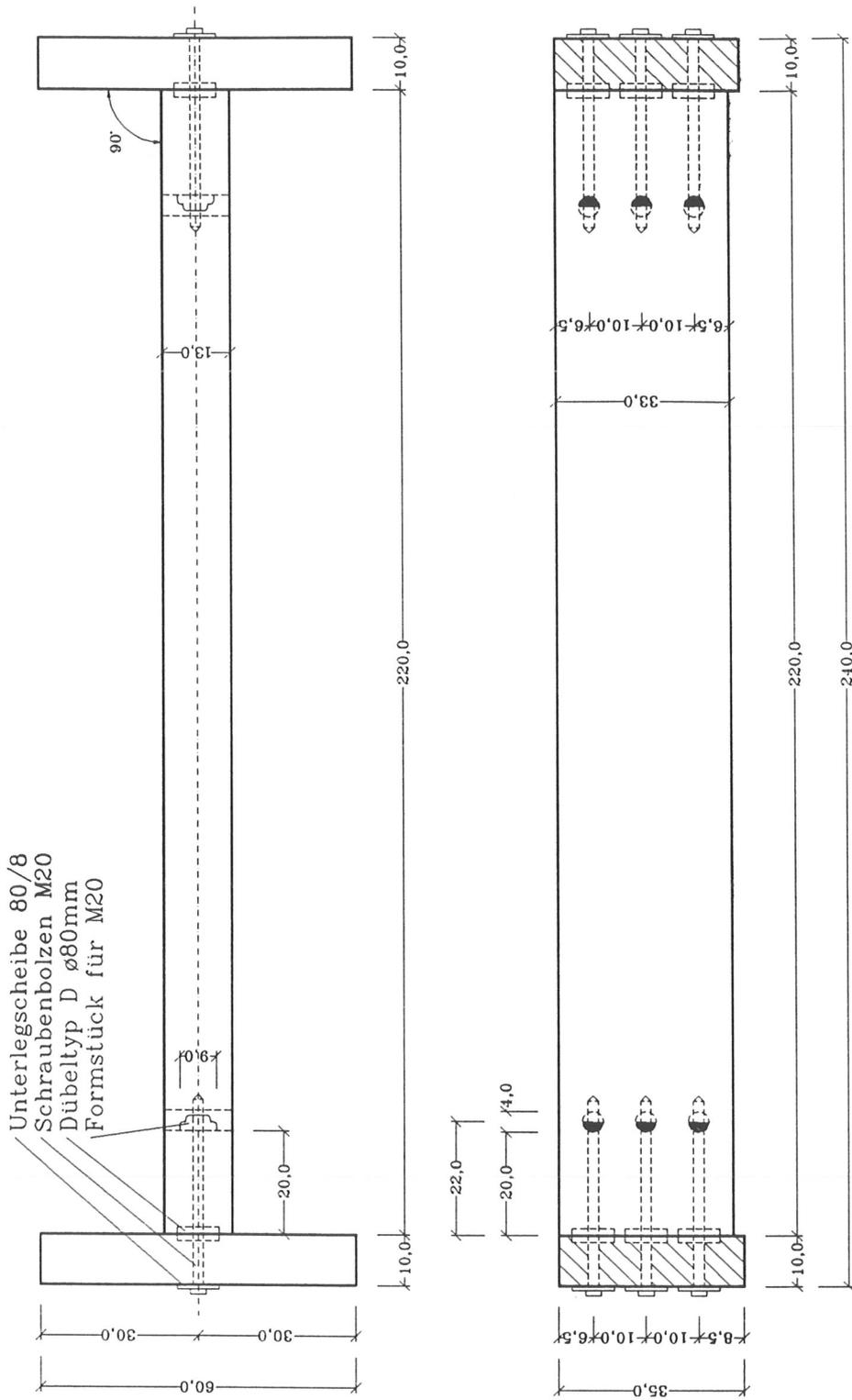


Bild 17: Prüfkörper der Versuchsreihe F mit $n=3$ in der Hirnholzfläche hintereinander liegenden Einpreßdübeln des Dübeltyps D Ø80 mm, Abmessungen in cm

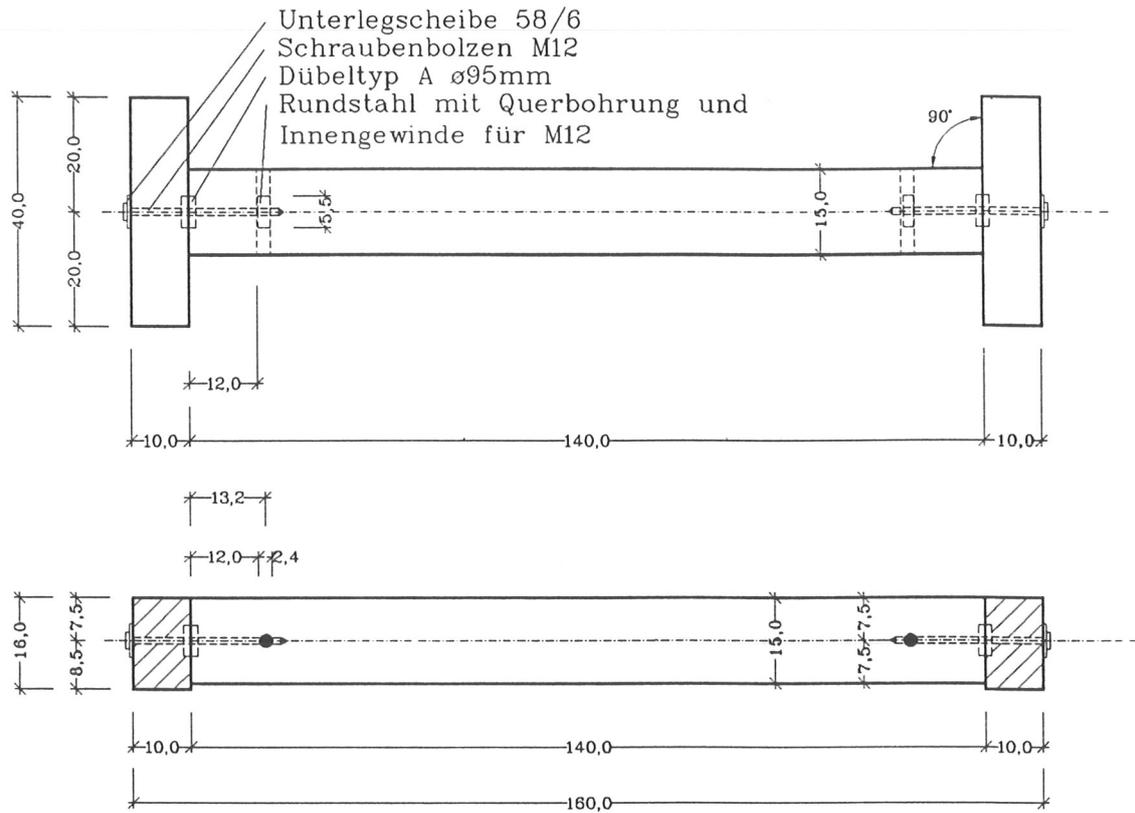


Bild 19: Prüfkörper der Versuchsreihe H mit Einlaßdübeln des Dübeltyps A $\varnothing 95\text{ mm}$, Abmessungen in cm

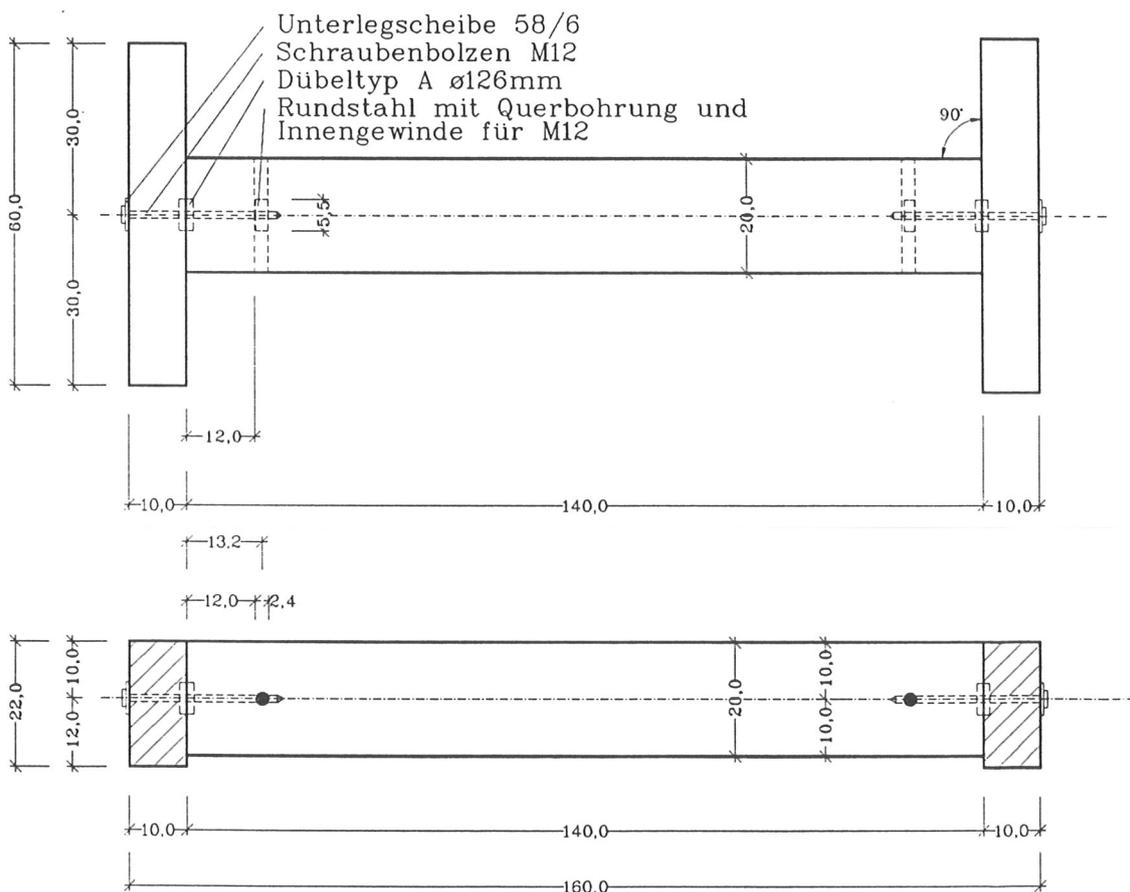


Bild 20: Prüfkörper der Versuchsreihe H mit Einlaßdübeln des Dübeltyps A $\varnothing 126\text{ mm}$, Abmessungen in cm

Tabelle 4: Abstände l_f bei den Versuchen mit Einlaßdübeln des Dübeltyps A $\varnothing 65$ mm in der Versuchsreihe I

Versuchsbezeichnung	φ [°]	l_f [cm]
I3-45-(1÷4)	45	6,6
I3-60-(1÷4)	60	6,0
I3-75-(1÷2)	75	6,0
I3-75-(3÷6)	75	12,0

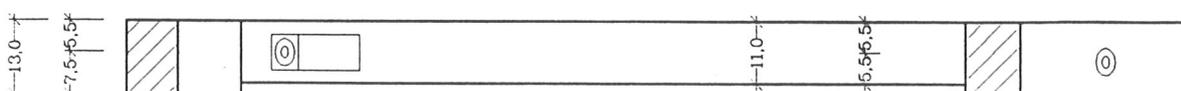
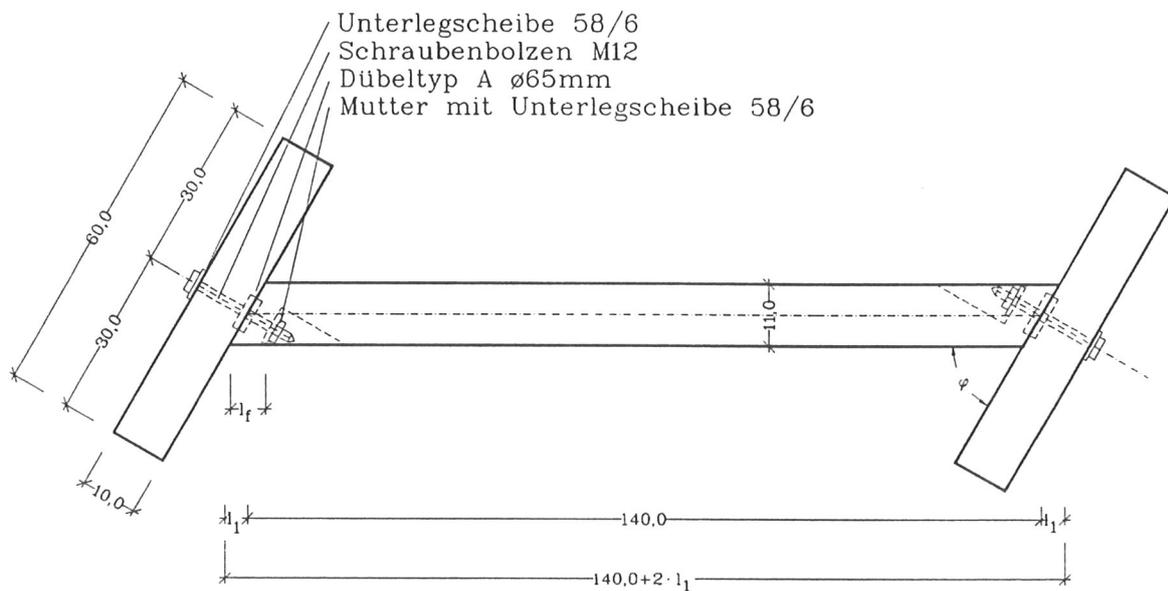


Bild 21: Prüfkörper der Versuchsreihe I mit Einlaßdübeln des Dübeltyps A $\varnothing 65$ mm und als Klemmvorrichtungen eingebaute Muttern mit Unterlegscheiben, Abmessungen in cm

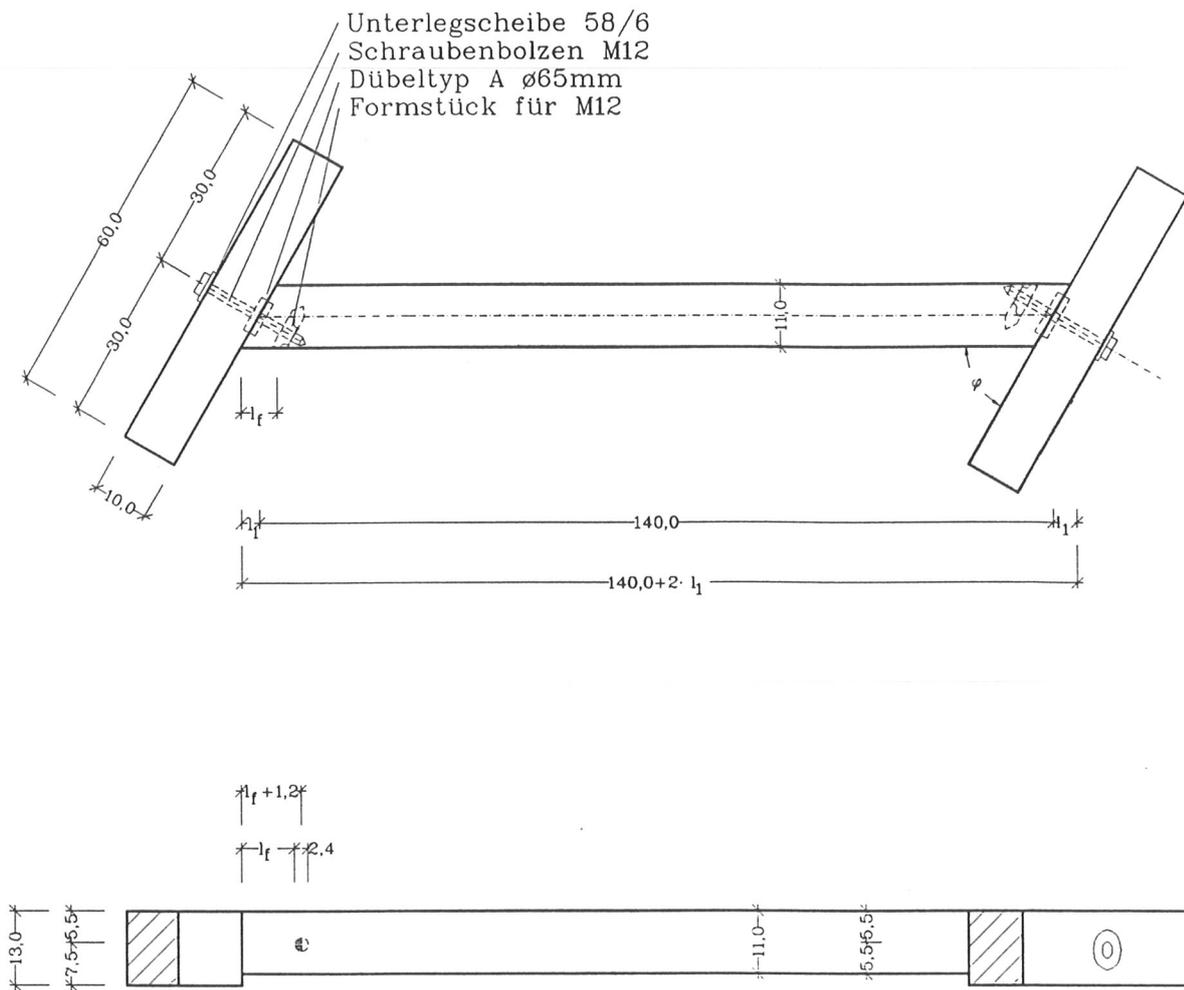


Bild 22: Prüfkörper der Versuchsreihe I mit Einlaßdübeln des Dübeltyps A $\varnothing 65$ mm und als Klemmvorrichtungen eingebaute Formstücke, Abmessungen in cm

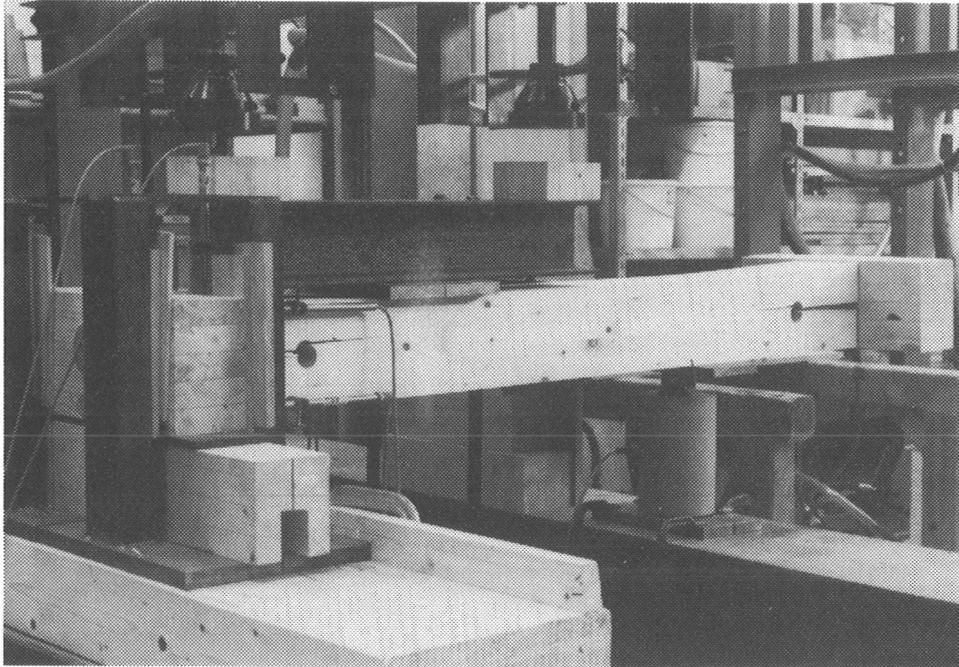


Bild 23: Versuchseinrichtung für Prüfkörper mit einem Dübel besonderer Bauart in der Hirnholzfläche

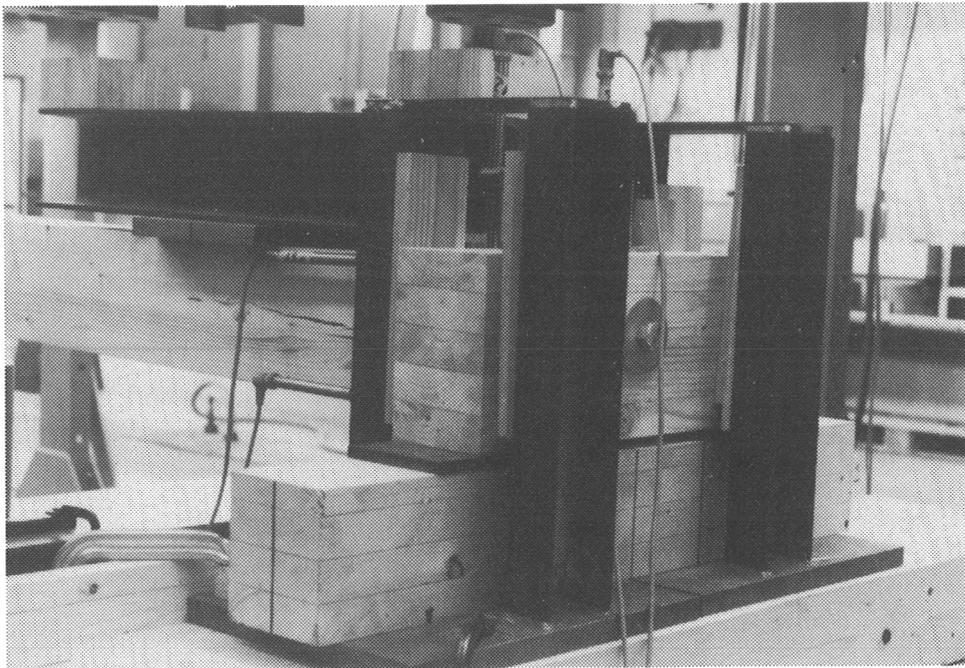


Bild 24: Gabellagerung des Hauptträgers

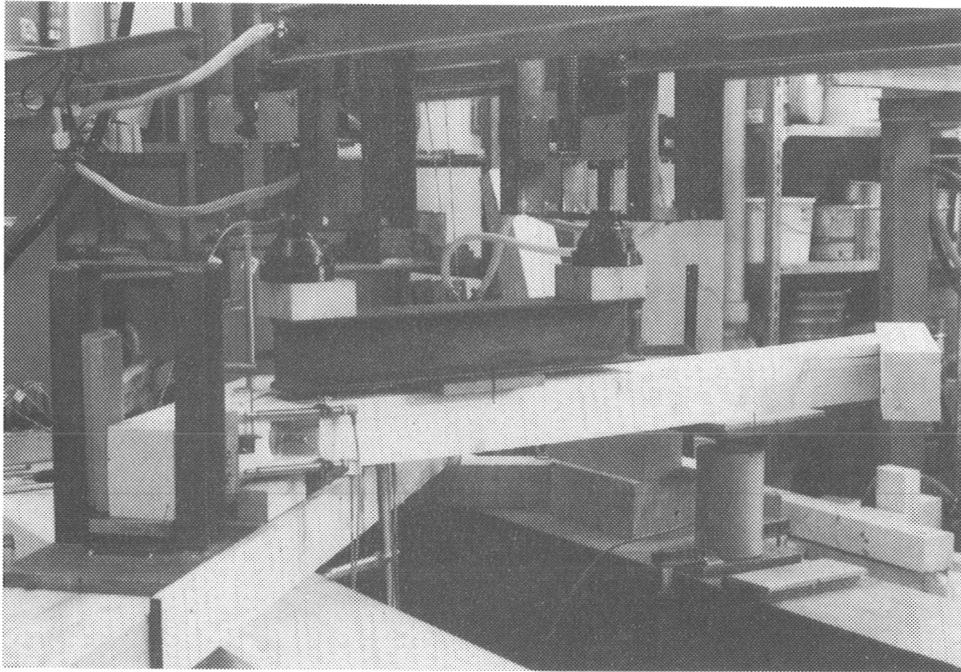


Bild 25: Versuchseinrichtung zur Prüfung von schrägen Hirnholzdübelverbindungen

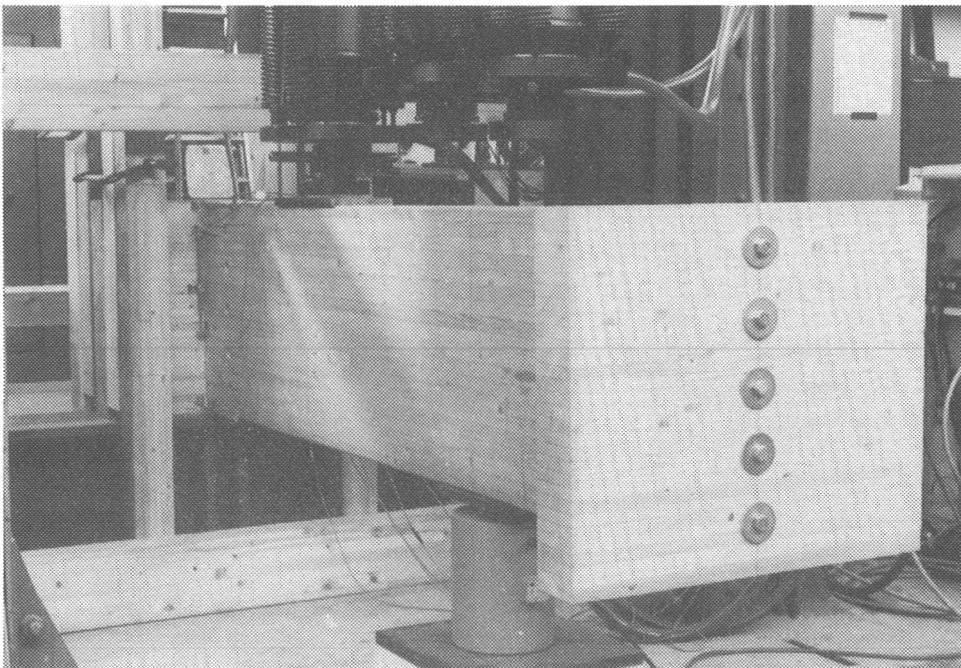


Bild 26: Versuchseinrichtung für Prüfkörper mit mehreren in der Hirnholzfläche hintereinander liegenden Dübeln besonderer Bauart

Tabelle 5: Zusammenstellung der Höchstlasten der Hirnholzdübelverbindungen in Brettschichtholz:

Versuchsreihe A, Variation des Abstandes l_f zwischen Hirnholzfläche und Klemmvorrichtung (d_b = Durchmesser des zum Dübel gehörenden Schraubenbolzens)

Versuch	Dübel bes. Bauart	Dübel-durchmesser [mm]	$\frac{l_f}{d_b}$	F_{max} [kN]
A1-5 d_b -1	Typ C	95	5	17,34
A1-5 d_b -2	Typ C	95	5	16,44
A1-5 d_b -3	Typ C	95	5	20,28
A1-5 d_b -4	Typ C	95	5	19,26
Mittelwert				18,33
Standardabweichung				1,75
Variationskoeffizient [%]				9,6
A1-7,5 d_b -1	Typ C	95	7,5	21,00
A1-7,5 d_b -2	Typ C	95	7,5	25,22
A1-7,5 d_b -3	Typ C	95	7,5	18,86
A1-7,5 d_b -4	Typ C	95	7,5	19,16
Mittelwert				21,06
Standardabweichung				2,93
Variationskoeffizient [%]				13,9
A1-10 d_b -1	Typ C	95	10	22,14
A1-10 d_b -2	Typ C	95	10	24,39
A1-10 d_b -3	Typ C	95	10	20,47
A1-10 d_b -4	Typ C	95	10	23,17
A1-10 d_b -5	Typ C	95	10	27,91
A1-10 d_b -6	Typ C	95	10	25,81
Mittelwert:				23,98
Standardabweichung				2,66
Variationskoeffizient [%]				11,1

Tabelle 5: Fortsetzung

Zusammenstellung der Höchstlasten der Hirnholzdübelverbindungen in Brettschichtholz:

Versuchsreihe A, Variation des Abstandes zwischen Hirnholzfläche und Klemmvorrichtung (d_b = Durchmesser des zum Dübel gehörenden Schraubenbolzens)

Versuch	Dübel bes. Bauart	Dübel-durchmesser [mm]	$\frac{l_f}{d_b}$	F_{\max} [kN]
A2-5 d_b -1	Typ D	80	5	15,89
A2-5 d_b -2	Typ D	80	5	17,88
A2-5 d_b -3	Typ D	80	5	16,25
A2-5 d_b -4	Typ D	80	5	15,37
Mittelwert				16,35
Standardabweichung				1,08
Variationskoeffizient [%]				6,6
A2-7,5 d_b -1	Typ D	80	7,5	18,52
A2-7,5 d_b -2	Typ D	80	7,5	23,20
A2-7,5 d_b -3	Typ D	80	7,5	20,25
A2-7,5 d_b -4	Typ D	80	7,5	18,61
Mittelwert				20,15
Standardabweichung				2,19
Variationskoeffizient [%]				10,9
A2-10 d_b -1	Typ D	80	10	22,27
A2-10 d_b -2	Typ D	80	10	23,05
A2-10 d_b -3	Typ D	80	10	22,69
A2-10 d_b -4	Typ D	80	10	20,00
A2-10 d_b -5	Typ D	80	10	22,42
A2-10 d_b -6	Typ D	80	10	21,73
Mittelwert				22,03
Standardabweichung				1,09
Variationskoeffizient [%]				4,9

Tabelle 6: Zusammenstellung der Höchstlasten der Hirnholzdübelverbindungen in Brettschichtholz:
Versuchsreihe B, Variation des Winkels φ zwischen Haupt- und Nebenträger bei Hirnholzverbindungen mit Einpreßdübeln des Dübeltyps C.

Versuch	Dübel bes. Bauart	Dübel-durchmesser [mm]	$\frac{l_f}{d_b}$ ³⁾	φ [°]	F_{max} [kN]
B1-45-1 ¹⁾	Typ C	95	5,6	45	21,33
B1-45-2 ¹⁾	Typ C	95	5,6	45	19,22
B1-45-3 ²⁾	Typ C	95	5	45	19,46
B1-45-4 ²⁾	Typ C	95	5	45	18,84
Mittelwert					19,71
Standardabweichung					1,11
Variationskoeffizient [%]					5,6
B1-60-1 ¹⁾	Typ C	95	5,6	60	22,83
B1-60-2 ¹⁾	Typ C	95	5,6	60	24,63
B1-60-3 ²⁾	Typ C	95	5,6	60	15,49
B1-60-4 ²⁾	Typ C	95	5,6	60	21,76
Mittelwert					21,18
Standardabweichung					3,97
Variationskoeffizient [%]					18,8
B1-75-1 ²⁾	Typ C	95	7,5	75	22,28
B1-75-2 ²⁾	Typ C	95	7,5	75	19,66
B1-75-3 ²⁾	Typ C	95	7,5	75	27,88
B1-75-4 ²⁾	Typ C	95	7,5	75	21,26
Mittelwert					22,77
Standardabweichung					3,57
Variationskoeffizient [%]					15,7
¹⁾ Klemmvorrichtung: Mutter mit Unterlegscheibe ²⁾ Klemmvorrichtung: Formstück ³⁾ Die Nebenträger wurden jeweils mit der Mindestholzbreite ausgeführt. Dies führte zu kleinen Abständen l_f zwischen Hirnholzfläche und Klemmvorrichtung in Faserrichtung des Nebenträgers; d_b = Durchmesser des zum Dübel gehörenden Schraubenbolzens.					

Tabelle 7: Zusammenstellung der Höchstlasten der Hirnholzdübelverbindungen in Brettschichtholz:
 Versuchsreihe B, Variation des Winkels φ zwischen Haupt- und Nebenträger bei Hirnholzverbindungen mit Einpreßdübeln des Dübeltyps D.

Versuch	Dübel bes. Bauart	Dübel-durchmesser [mm]	$\frac{b}{\min b}$ ³⁾	φ [°]	F_{\max} [kN]
B2-45-1 ¹⁾	Typ D	80	1,23	45	18,37
B2-45-2 ¹⁾	Typ D	80	1,23	45	20,08
B2-45-3 ²⁾	Typ D	80	1,38	45	22,85
B2-45-4 ²⁾	Typ D	80	1,38	45	19,63
Mittelwert					20,23
Standardabweichung					1,89
Variationskoeffizient [%]					9,3
B2-60-1	Typ D	80	1,38	60	24,54
B2-60-2	Typ D	80	1,38	60	20,78
B2-60-3	Typ D	80	1,38	60	25,22
B2-60-4	Typ D	80	1,38	60	21,78
Mittelwert					23,08
Standardabweichung					2,14
Variationskoeffizient [%]					9,3
B2-75-1	Typ D	80	1,15	75	18,21
B2-75-2	Typ D	80	1,15	75	20,37
B2-75-3	Typ D	80	1,15	75	21,04
B2-75-4	Typ D	80	1,15	75	16,45
Mittelwert					19,02
Standardabweichung					2,10
Variationskoeffizient [%]					11,0
¹⁾ Klemmvorrichtung: Mutter mit Unterlegscheibe ²⁾ Klemmvorrichtung: Formstück ³⁾ Die Nebenträger wurden jeweils mit einer Breite b größer als die Mindestholzbreite $\min b$ ausgeführt, damit der Mindestabstand $l_f = 5 \cdot d_b$ zwischen Hirnholzfläche und Klemmvorrichtung in Faserrichtung des Nebenträgers eingehalten war.					

Tabelle 8: Zusammenstellung der Höchstlasten der Hirnholzdübelverbindungen in Brettschichtholz:
Versuchsreihe E, Variation der Dübelgröße

Versuch	Dübel bes. Bauart	Dübel- durchmesser [mm]	F _{max} [kN]
E1-C48-1	Typ C	48	12,52
E1-C48-2	Typ C	48	12,62
E1-C48-3	Typ C	48	13,44
E1-C48-4	Typ C	48	13,84
Mittelwert			13,11
Standardabweichung			0,64
Variationskoeffizient [%]			4,9
E1-C140-1	Typ C	140	50,50
E1-C140-2	Typ C	140	53,64
E1-C140-3	Typ C	140	45,88
E1-C140-4	Typ C	140	45,12
Mittelwert			48,79
Standardabweichung			4,02
Variationskoeffizient [%]			8,2
E2-D50-1	Typ D	50	11,68
E2-D50-2	Typ D	50	12,40
E2-D50-3	Typ D	50	14,50
E2-D50-4	Typ D	50	13,61
Mittelwert			13,05
Standardabweichung			1,25
Variationskoeffizient [%]			9,6
E2-D115-1	Typ D	115	48,40
E2-D115-2	Typ D	115	43,28
E2-D115-3	Typ D	115	34,22
E2-D115-4	Typ D	115	27,21
Mittelwert			38,28
Standardabweichung			9,42
Variationskoeffizient [%]			24,6

Tabelle 9: Zusammenstellung der Höchstlasten der Hirnholzdübelverbindungen in Brettschichtholz:
Versuchsreihe F, Variation der Anzahl n der hintereinander liegenden Dübel besonderer Bauart

Versuch	Dübel bes. Bauart	Dübel-durchmesser [mm]	n	F _{max} [kN]	$\frac{F_{\max}}{n}$ [kN]
F1-3-1	Typ C	95	3	68,47	22,82
F1-3-2	Typ C	95	3	76,29	25,43
F1-3-3	Typ C	95	3	79,83	26,61
F1-3-4	Typ C	95	3	77,18	25,73
Mittelwert				75,44	25,15
Standardabweichung				4,89	1,63
Variationskoeffizient [%]				6,5	6,5
F1-5-1	Typ C	95	5	125,16	25,03
F1-5-2	Typ C	95	5	128,61	25,72
F1-5-3	Typ C	95	5	128,30	25,66
F1-5-4	Typ C	95	5	120,20	24,04
Mittelwert				125,57	25,11
Standardabweichung				3,90	0,78
Variationskoeffizient [%]				3,1	3,1
F2-3-1	Typ D	80	3	55,40	18,47
F2-3-2	Typ D	80	3	67,58	22,53
F2-3-3	Typ D	80	3	55,87	18,62
F2-3-4	Typ D	80	3	60,20	20,07
Mittelwert				59,76	19,92
Standardabweichung				5,64	1,88
Variationskoeffizient [%]				9,4	9,4
F2-5-1	Typ D	80	5	112,84	22,57
F2-5-2	Typ D	80	5	124,15	24,83
F2-5-3	Typ D	80	5	120,95	24,19
F2-5-4	Typ D	80	5	118,20	23,64
Mittelwert				119,04	23,81
Standardabweichung				4,79	0,96
Variationskoeffizient [%]				4,0	4,0

Tabelle 10: Zusammenstellung der Höchstlasten der Hirnholzdübelverbindungen in Nadelvollholz:
 Versuchsreihen C, D und K, Variation der Holzfeuchten u_1 bei Herstellung der Prüfkörper und u_2 beim Versuch

Versuch	Dübel bes. Bauart	Dübel- durchmesser [mm]	u_1 [%]		u_2 [%]		$\rho_{0, NT}$ [kg/m ³]	F_{max} [kN]
			Neben- träger	Haupt- träger	Neben- träger	Haupt- träger		
C1-K11-1	Typ C	95	19	20	18	19	425	30,50
C1-K11-2	Typ C	95	19	20	18	19	448	28,25
C1-K11-3	Typ C	95	19	19	19	19	448	22,13
C1-K11-4	Typ C	95	19	20	19	18	446	28,44
Mittelwert								27,33
Standardabweichung								3,61
Variationskoeffizient [%]								13,2
D1-K12-1 ¹⁾	Typ C	95	22	19	14	11	446	25,43
D1-K12-3 ¹⁾	Typ C	95	19	19	13	12	420	27,16
D1-K12-5 ¹⁾	Typ C	95	20	19	14	14	391	32,04
D1-K12-7 ¹⁾	Typ C	95	20	19	14	14	421	28,22
Mittelwert								28,21
Standardabweichung								2,80
Variationskoeffizient [%]								9,9
D1-K12-2	Typ C	95	22	19	14	12	456	27,77
D1-K12-4	Typ C	95	19	19	13	11	434	27,29
D1-K12-6	Typ C	95	20	19	14	14	421	31,06
D1-K12-8	Typ C	95	20	19	14	14	415	32,81
Mittelwert								29,73
Standardabweichung								2,65
Variationskoeffizient [%]								8,9
K1-K13-1	Typ C	95	14	14	13	13	411	22,38
K1-K13-2	Typ C	95	14	14	13	13	361	22,18
K1-K13-3	Typ C	95	14	14	13	13	361	19,45
K1-K13-4	Typ C	95	14	14	13	12	353	23,87
Mittelwert								21,97
Standardabweichung								1,84
Variationskoeffizient [%]								8,4
¹⁾ Schraubenbolzen wurde vor dem Versuch nachgespannt.								

Tabelle 10: Fortsetzung

Zusammenstellung der Höchstlasten der Hirnholzdübelverbindungen in Nadelvollholz:

Versuchsreihen C, D und K, Variation der Holzfeuchten u_1 bei Herstellung der Prüfkörper und u_2 beim Versuch

Versuch	Dübel bes. Bauart	Dübel-durchmesser [mm]	u_1 [%]		u_2 [%]		$\rho_{0, NT}$ [kg/m ³]	F_{max} [kN]
			Neben-träger	Haupt-träger	Neben-träger	Haupt-träger		
C2-K11-1	Typ D	80	19	21	17	19	466	30,46
C2-K11-2	Typ D	80	19	20	17	19	471	25,23
C2-K11-3	Typ D	80	20	20	19	19	471	26,71
C2-K11-4	Typ D	80	20	21	19	19	436	24,27
Mittelwert								26,67
Standardabweichung								3,00
Variationskoeffizient [%]								11,3
D2-K12-1 ¹⁾	Typ D	80	15	25	11	13	395	23,33
D2-K12-3 ¹⁾	Typ D	80	17	25	12	13	422	16,77
D2-K12-5 ^{1) 2)}	Typ D	80	19	19	13	13	355	24,54
D2-K12-7 ¹⁾	Typ D	80	19	19	13	13	360	23,23
Mittelwert								21,97
Standardabweichung								3,52
Variationskoeffizient [%]								16,0
D2-K12-2	Typ D	80	15	27	11	13	375	19,54
D2-K12-4	Typ D	80	17	29	12	13	396	18,65
D2-K12-6	Typ D	80	19	19	13	13	355	20,96
D2-K12-8 ²⁾	Typ D	80	19	19	13	14	360	18,73
Mittelwert								19,47
Standardabweichung								1,07
Variationskoeffizient [%]								5,5
K2-K13-1 ²⁾	Typ D	80	14	14	13	13	374	25,19
K2-K13-2	Typ D	80	14	14	13	13	374	20,69
K2-K13-3	Typ D	80	14	14	13	13	375	22,33
K2-K13-4 ²⁾	Typ D	80	14	14	13	12	375	20,90
Mittelwert								22,28
Standardabweichung								2,07
Variationskoeffizient [%]								9,3
¹⁾ Schraubenbolzen wurde vor dem Versuch nachgespannt. ²⁾ Schwindrisse in der Hirnholzfläche								

Tabelle 10: Fortsetzung

Zusammenstellung der Höchstlasten der Hirnholzdübelverbindungen in Nadelvollholz:

Versuchsreihen C, D und K, Variation der Holzfeuchten u_1 bei Herstellung der Prüfkörper und u_2 beim Versuch

Versuch	Dübel bes. Bauart	Dübel-durchmesser [mm]	u_1 [%]		u_2 [%]		$\rho_{0, NT}$ [kg/m ³]	F_{max} [kN]
			Neben-träger	Haupt-träger	Neben-träger	Haupt-träger		
C3-K11-1	Typ A	65	20	20	16	19	405	17,16
C3-K11-2	Typ A	65	20	22	16	19	416	22,32
C3-K11-3	Typ A	65	17	20	16	18	416	17,71
C3-K11-4	Typ A	65	17	20	16	19	419	24,73
Mittelwert Standardabweichung Variationskoeffizient [%]								20,48 3,66 17,9
D3-K12-1 ¹⁾	Typ A	65	17	20	12	12	439	14,09
D3-K12-2 ¹⁾	Typ A	65	17	20	12	12	442	21,56
D3-K12-3 ¹⁾	Typ A	65	16	19	12	12	486	19,63
D3-K12-4 ¹⁾	Typ A	65	16	20	12	12	471	21,47
Mittelwert Standardabweichung Variationskoeffizient [%]								19,19 3,51 18,3
D3-K12-5 ²⁾	Typ A	65	19	19	13	12	395	18,06
D3-K12-6	Typ A	65	19	19	13	13	395	16,98
D3-K12-7	Typ A	65	19	19	13	13	397	14,93
D3-K12-8 ²⁾	Typ A	65	19	19	13	13	397	13,38
Mittelwert Standardabweichung Variationskoeffizient [%]								15,84 2,09 13,2
K3-K13-1 ²⁾	Typ A	65	14	14	12	11	402	14,08
K3-K13-2	Typ A	65	14	14	12	12	402	19,00
K3-K13-3	Typ A	65	14	14	12	12	413	16,90
K3-K13-4 ²⁾	Typ A	65	14	14	12	12	413	15,30
Mittelwert Standardabweichung Variationskoeffizient [%]								16,32 2,13 13,0
¹⁾ Schraubenbolzen wurde vor dem Versuch nachgespannt. ²⁾ Schwindrisse in der Hirnholzfläche								

Tabelle 11: Zusammenstellung der Höchstlasten der Hirnholzdübelverbindungen in Nadelvollholz:
Versuchsreihe H, Variation der Dübelgröße

Versuch	Dübel bes. Bauart	Dübel- durchmesser [mm]	u_1 [%]		u_2 [%]		$\rho_{0, NT}$ [kg/m ³]	F_{max} [kN]
			Neben- träger	Haupt- träger	Neben- träger	Haupt- träger		
H1-C48-1	Typ C	48	17	18	16	17	407	13,26
H1-C48-2	Typ C	48	17	18	16	17	404	11,90
H1-C48-3	Typ C	48	17	18	17	17	404	11,83
H1-C48-4	Typ C	48	17	18	17	17	412	14,09
Mittelwert								12,77
Standardabweichung								1,10
Variationskoeffizient [%]								8,6
H1-C140-1 ¹⁾	Typ C	140	20	20	20	17	366	40,01
H1-C140-2 ¹⁾	Typ C	140	20	20	20	18	366	40,16
H1-C140-3 ¹⁾	Typ C	140	21	18	21	18	462	37,09
H1-C140-4 ¹⁾	Typ C	140	21	18	21	18	462	42,58
Mittelwert								39,96
Standardabweichung								2,25
Variationskoeffizient [%]								5,6
H2-D50-1	Typ D	50	18	18	18	17	389	11,74
H2-D50-2	Typ D	50	18	18	18	17	387	11,87
H2-D50-3	Typ D	50	18	18	18	17	387	13,57
H2-D50-4	Typ D	50	18	18	18	17	403	13,56
Mittelwert								12,69
Standardabweichung								1,02
Variationskoeffizient [%]								8,0
H2-D115-1	Typ D	115	19	20	19	18	346	43,94
H2-D115-2	Typ D	115	19	20	19	19	356	35,38
H2-D115-3	Typ D	115	19	20	19	18	356	37,99
H2-D115-4	Typ D	115	19	20	19	18	383	38,17
Mittelwert								38,87
Standardabweichung								3,61
Variationskoeffizient [%]								9,3
¹⁾ Schwindrisse in der Hirnholzfläche								

Tabelle 11: Fortsetzung

Zusammenstellung der Höchstlasten der Hirnholzdübelverbindungen
in Nadelvollholz:

Versuchsreihe H, Variation der Dübelgröße

Versuch	Dübel bes. Bauart	Dübel- durchmesser [mm]	u_1 [%]		u_2 [%]		$\rho_{0, NT}$ [kg/m ³]	F_{max} [kN]
			Neben- träger	Haupt- träger	Neben- träger	Haupt- träger		
H3-A95-1	Typ A	95	19	17	19	18	365	29,49
H3-A95-2	Typ A	95	19	21	19	19	362	24,61
H3-A95-3	Typ A	95	19	22	19	19	362	29,19
H3-A95-4	Typ A	95	19	18	19	18	374	21,24
Mittelwert								26,13
Standardabweichung								3,95
Variationskoeffizient [%]								15,1
H3-A126-1 ¹⁾	Typ A	126	20	19	20	18	387	30,35
H3-A126-2 ¹⁾	Typ A	126	20	18	20	18	387	33,40
H3-A126-3 ¹⁾	Typ A	126	21	18	21	18	458	39,98
H3-A126-4 ¹⁾	Typ A	126	21	19	21	18	458	37,96
Mittelwert								35,42
Standardabweichung								4,36
Variationskoeffizient [%]								12,3
¹⁾ Schwindrisse in der Hirnholzfläche								

Tabelle 12: Zusammenstellung der Höchstlasten der Hirnholzdübelverbindungen in Nadelvollholz;
Versuchsreihe I, Variation des Winkels φ zwischen Haupt- und Nebenträger

Versuch	Dübel bes. Bauart	Dübel-durchmesser [mm]	u_1 [%]		u_2 [%]		$\rho_{0, NT}$ [kg/m ³]	$\frac{l_f}{d_b}$ ³⁾	φ [°]	F_{max} [kN]
			Neben-träger	Haupt-träger	Neben-träger	Haupt-träger				
I1-45-1 ¹⁾	Typ C	95	20	19	19	18	388	5	45	21,61
I1-45-2 ¹⁾	Typ C	95	20	19	19	18	415	5	45	18,36
I1-45-3 ²⁾	Typ C	95	19	19	19	18	415	5	45	18,96
I1-45-4 ²⁾	Typ C	95	19	19	19	18	415	5	45	21,10
Mittelwert										20,01
Standardabweichung										1,59
Variationskoeffizient [%]										7,9
I1-60-1 ²⁾	Typ C	95	19	19	19	18	379	5	60	21,82
I1-60-2 ²⁾	Typ C	95	19	19	19	18	391	5	60	21,50
I1-60-3 ²⁾	Typ C	95	20	19	19	18	391	5	60	21,01
I1-60-4 ²⁾	Typ C	95	20	19	19	18	420	5	60	18,80
Mittelwert										20,78
Standardabweichung										1,36
Variationskoeffizient [%]										6,6
I1-75-1 ²⁾	Typ C	95	20	20	19	18	372	5	75	22,38
I1-75-2 ²⁾	Typ C	95	20	20	19	18	375	5	75	17,29
I1-75-3 ²⁾	Typ C	95	19	19	19	18	375	5	75	22,36
I1-75-4 ²⁾	Typ C	95	19	19	19	18	368	5	75	20,16
Mittelwert										20,55
Standardabweichung										2,41
Variationskoeffizient [%]										11,7
I1-75-5 ²⁾	Typ C	95	19	20	19	18	401	7,5	75	23,41
I1-75-6 ²⁾	Typ C	95	19	20	19	18	406	7,5	75	23,40
I1-75-7 ²⁾	Typ C	95	20	20	20	18	406	7,5	75	25,15
I1-75-8 ²⁾	Typ C	95	20	20	20	18	406	7,5	75	24,59
Mittelwert										24,14
Standardabweichung										0,88
Variationskoeffizient [%]										3,6
<p>1) Klemmvorrichtung: Mutter mit Unterlegscheibe</p> <p>2) Klemmvorrichtung: Formstück</p> <p>3) Die Nebenträger wurden jeweils mit der Mindestholzbreite ausgeführt. Dies führte zu kleinen Abständen l_f zwischen Hirnholzfläche und Klemmvorrichtung in Faserrichtung des Nebenträgers; d_b = Durchmesser des zum Dübel gehörenden Schraubenbolzens.</p>										

Tabelle 12: Fortsetzung

Zusammenstellung der Höchstlasten der Hirnholzdübelverbindungen in Nadelvollholz;
Versuchsreihe I, Variation des Winkels φ zwischen Haupt- und Nebenträger

Versuch	Dübel bes. Bauart	Dübel- durchmesser [mm]	u_1 [%]		u_2 [%]		$\rho_{0, NT}$ [kg/m ³]	$\frac{l_f}{d_b}$ ³⁾	φ [°]	F_{max} [kN]
			Neben- träger	Haupt- träger	Neben- träger	Haupt- träger				
I3-45-1 ¹⁾	Typ A	65	19	19	18	17	425	5	45	12,22
I3-45-2 ¹⁾	Typ A	65	19	19	18	17	411	5	45	15,89
I3-45-3 ²⁾	Typ A	65	19	19	18	17	411	5	45	14,72
I3-45-4 ²⁾	Typ A	65	19	19	18	18	412	5	45	13,43
Mittelwert										14,07
Standardabweichung										1,59
Variationskoeffizient [%]										11,3
I3-60-1 ²⁾	Typ A	65	18	19	18	18	405	5	60	18,34
I3-60-2 ²⁾	Typ A	65	18	19	18	17	400	5	60	15,54
I3-60-3 ²⁾	Typ A	65	19	18	18	18	400	5	60	15,50
I3-60-4 ²⁾	Typ A	65	19	18	18	18	405	5	60	16,58
Mittelwert										16,49
Standardabweichung										1,33
Variationskoeffizient [%]										8,1
I3-75-1 ²⁾	Typ A	65	18	19	18	17	428	5	75	15,50
I3-75-2 ²⁾	Typ A	65	18	19	18	17	471	5	75	13,42
Mittelwert										14,46
Standardabweichung										1,47
Variationskoeffizient [%]										10,2
I3-75-3 ²⁾	Typ A	65	19	18	19	17	471	10	75	19,02
I3-75-4 ²⁾	Typ A	65	19	18	19	17	429	10	75	16,55
I3-75-5 ²⁾	Typ A	65	18	19	18	18	420	10	75	20,28
I3-75-6 ²⁾	Typ A	65	18	19	18	18	387	10	75	18,05
Mittelwert										18,48
Standardabweichung										1,58
Variationskoeffizient [%]										8,5
¹⁾ Klemmvorrichtung: Mutter mit Unterlegscheibe ²⁾ Klemmvorrichtung: Formstück ³⁾ Die Nebenträger wurden jeweils mit der Mindestholzbreite ausgeführt. Dies führte zu kleinen Abständen l_f zwischen Hirnholzfläche und Klemmvorrichtung in Faserrichtung des Nebenträgers; d_b = Durchmesser des zum Dübel gehörenden Schraubenbolzens.										

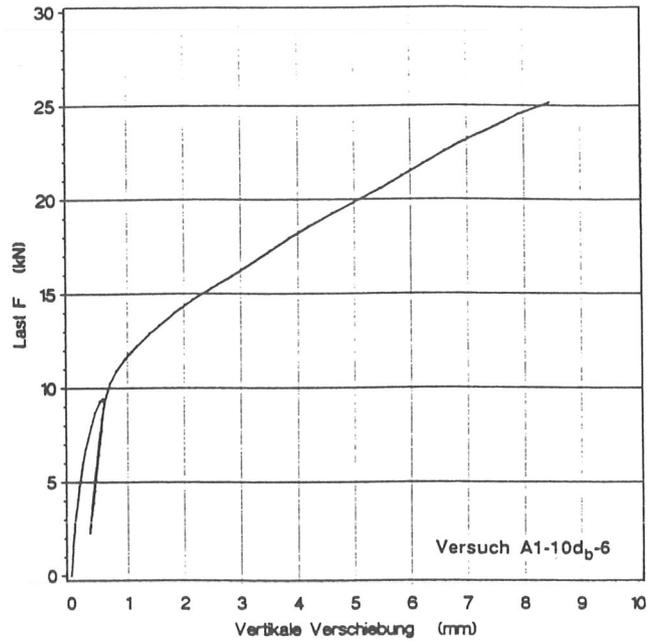
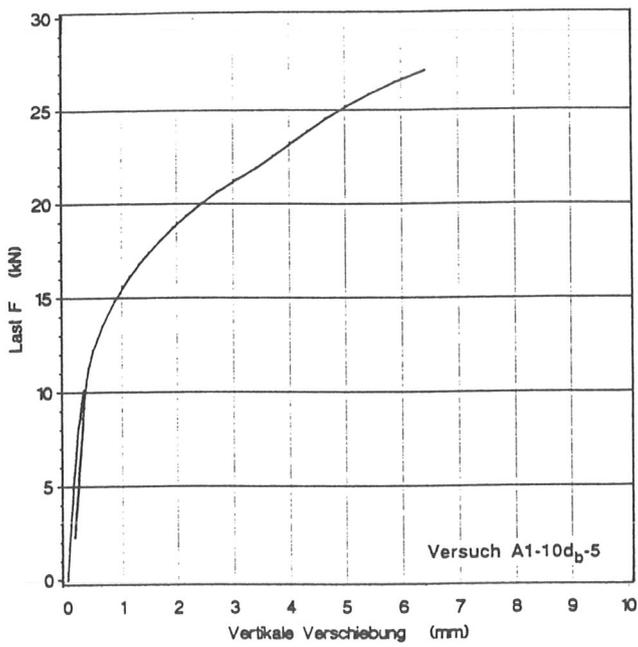


Bild 27: Last-Verschiebungsdiagramme der Versuche A1-10d_b-(5÷6)

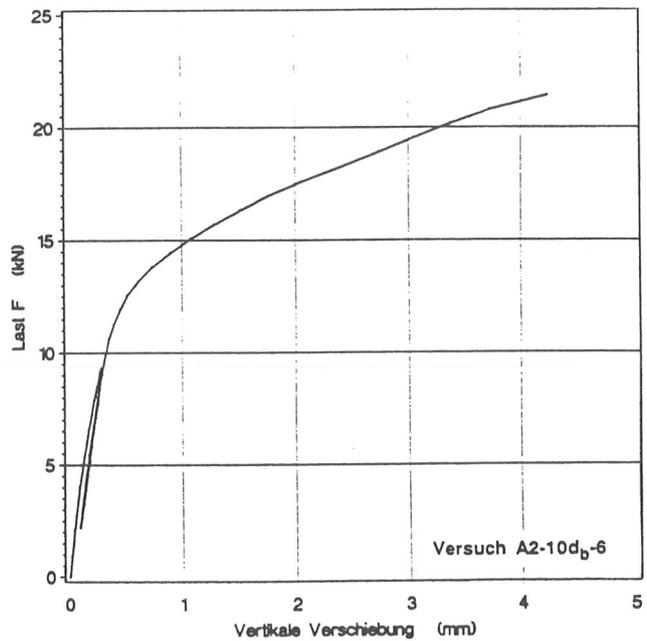
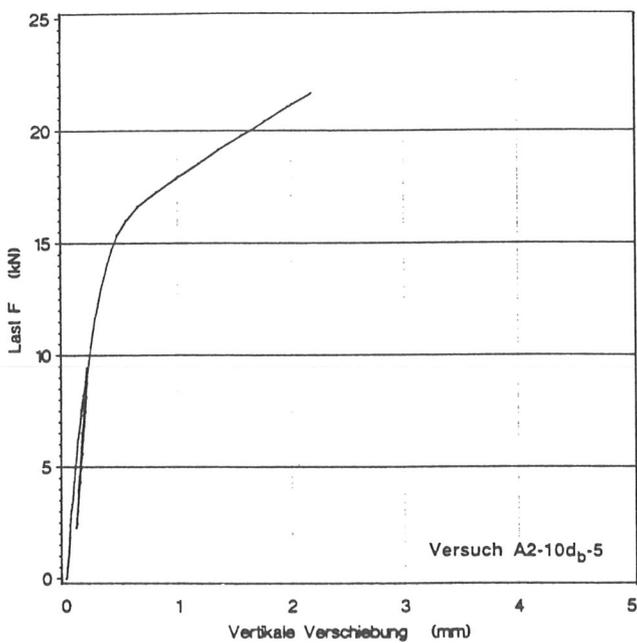


Bild 28: Last-Verschiebungsdiagramme der Versuche A2-10d_b-(5÷6)

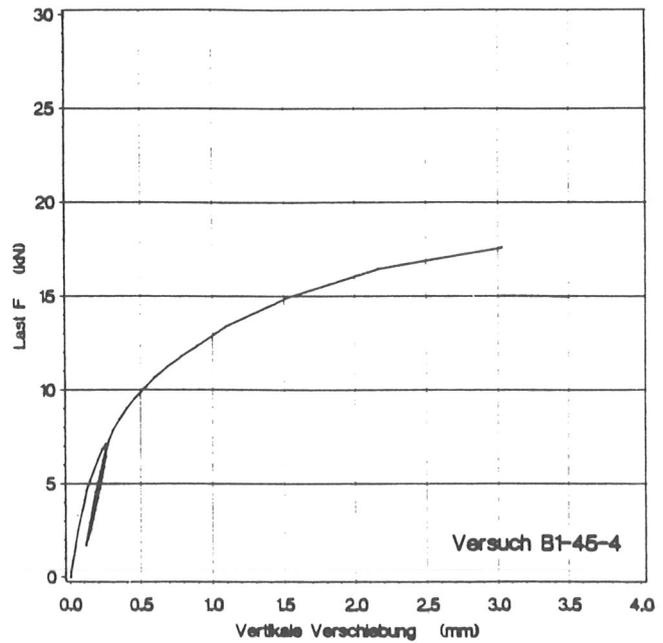
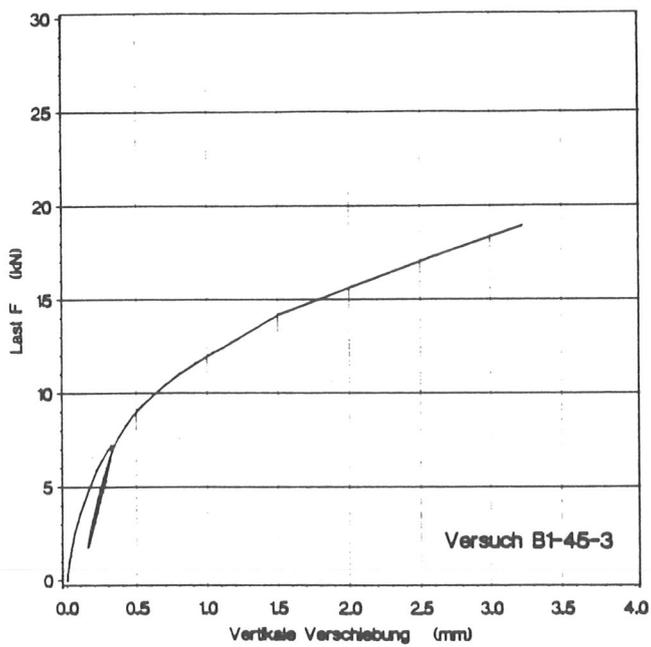
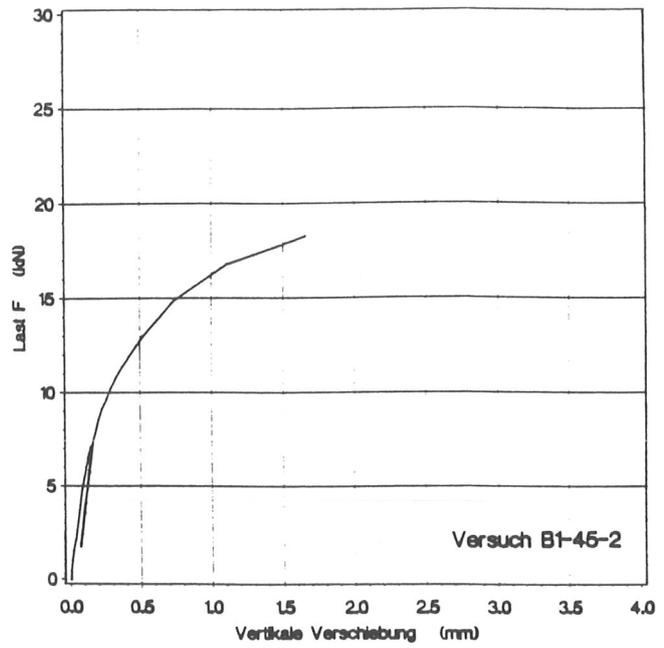
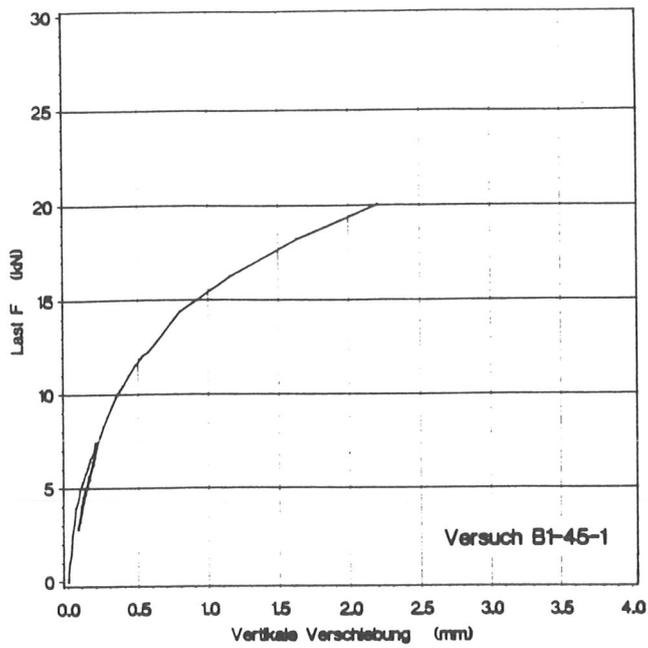


Bild 29: Last-Verschiebungsdiagramme der Versuche B1-45-(1÷4)

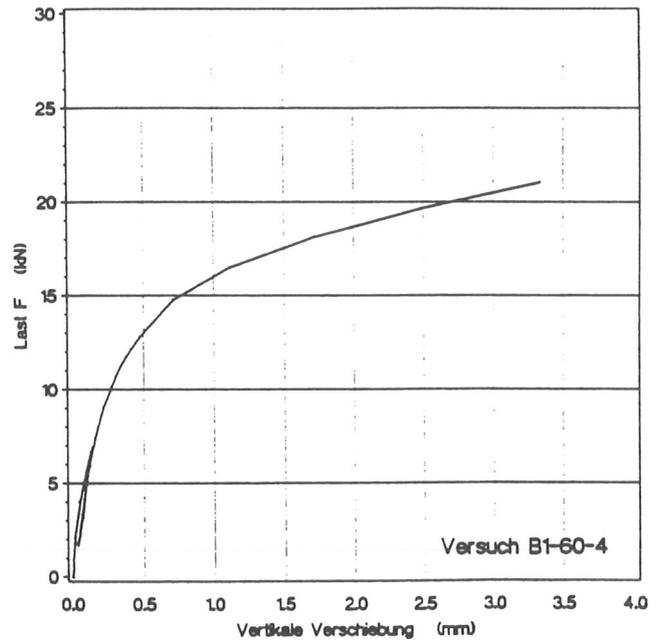
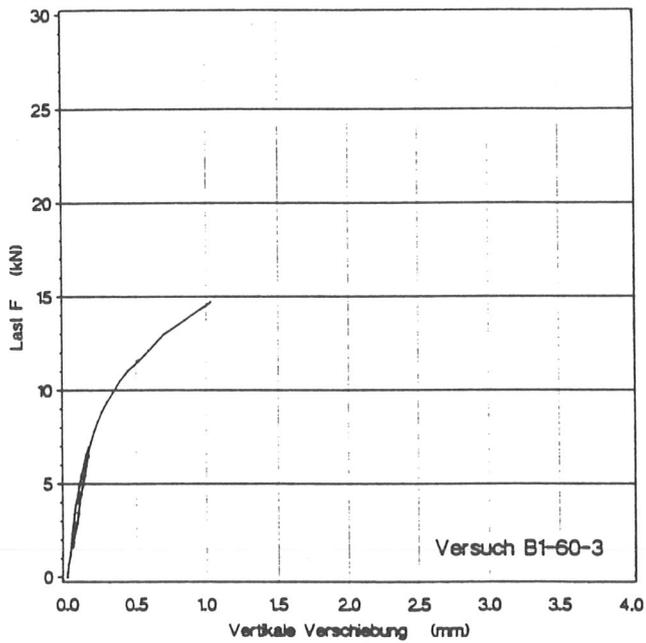
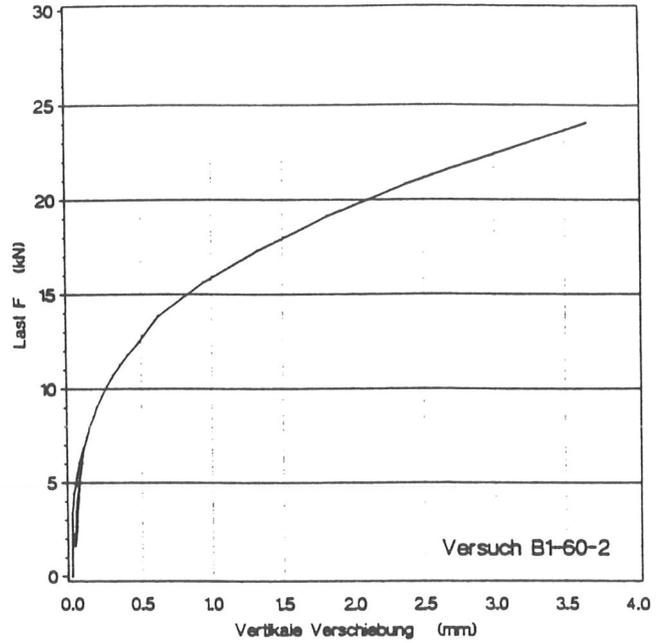
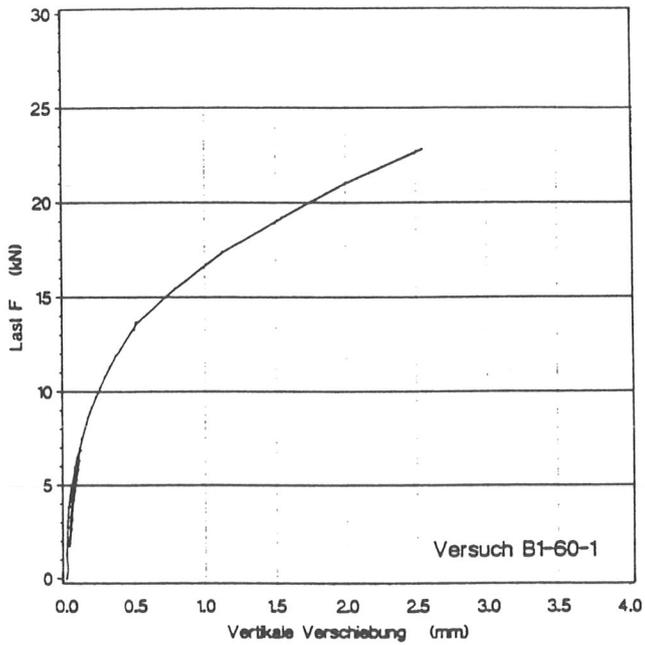


Bild 30: Last-Verschiebungsdiagramme der Versuche B1-60-(1÷4)

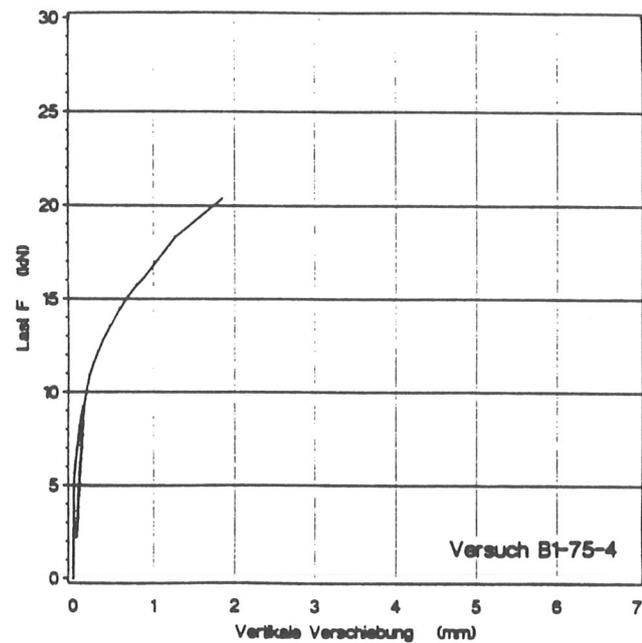
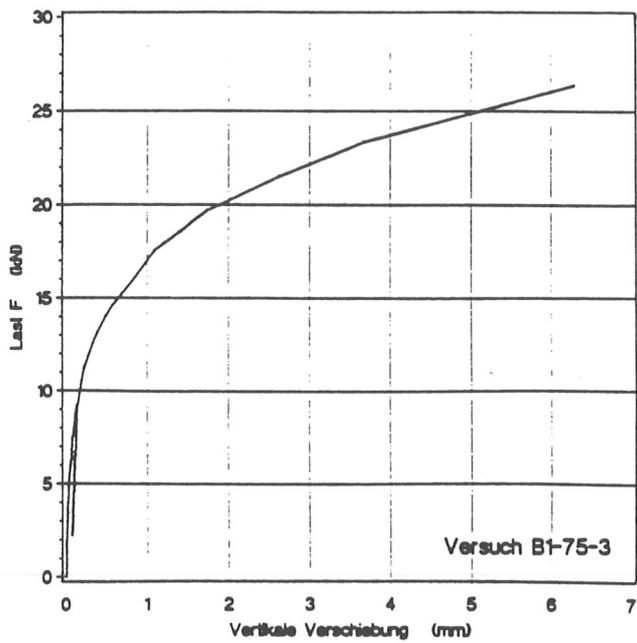
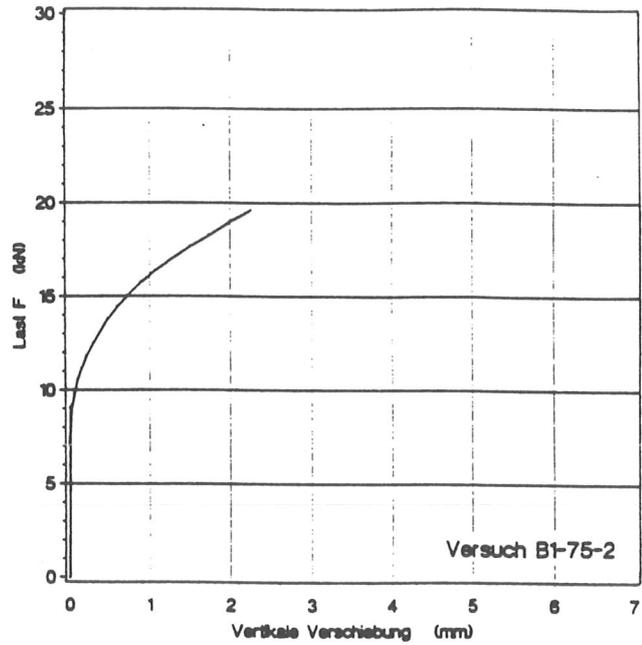
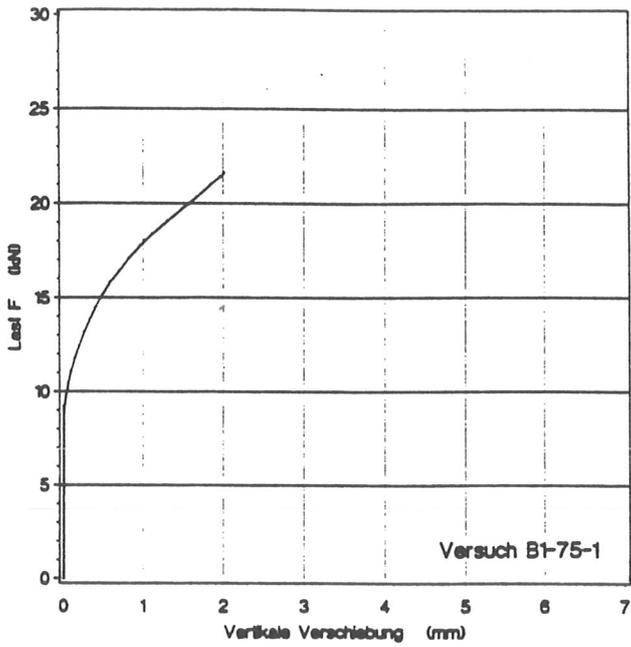


Bild 31: Last-Verschiebungsdiagramme der Versuche B1-75-(1+4)

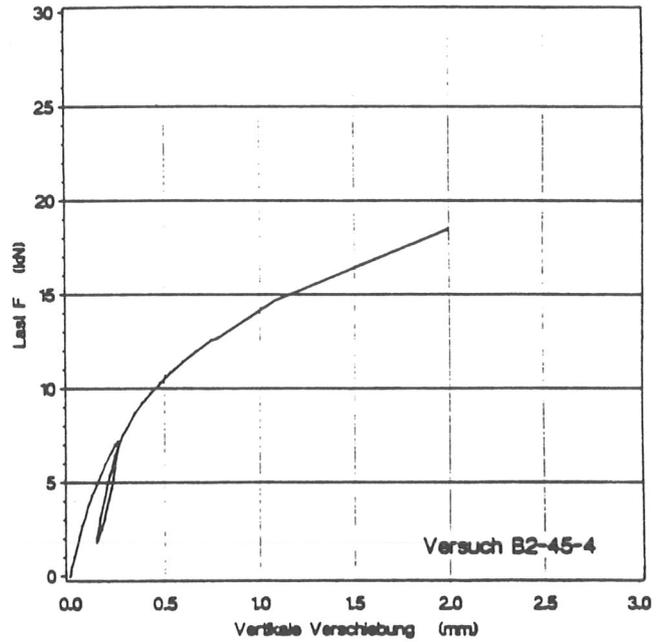
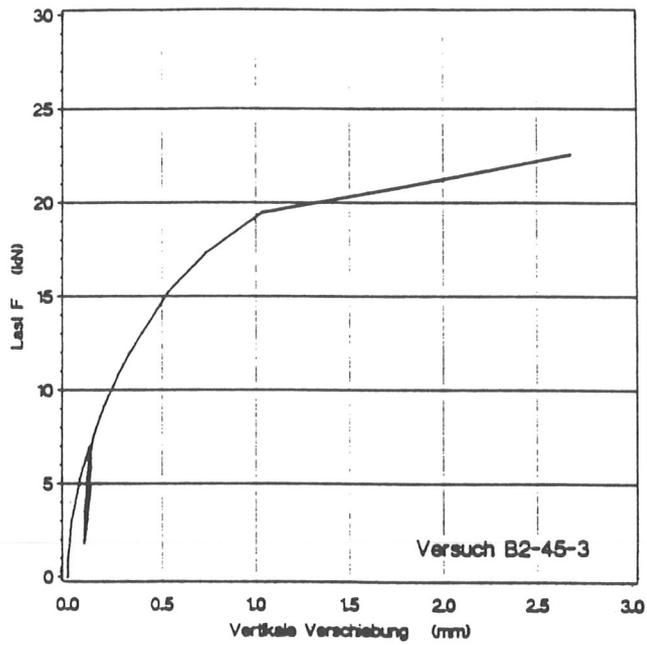
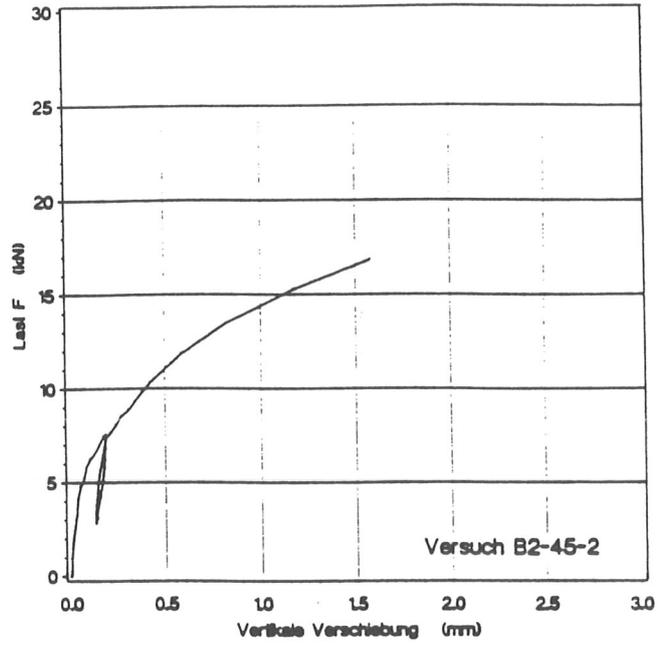
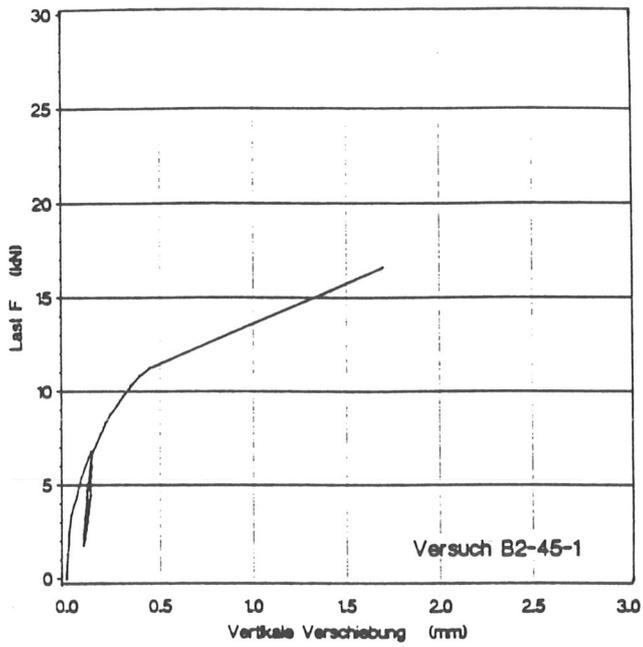


Bild 32: Last-Verschiebungsdiagramme der Versuche B2-45-(1+4)

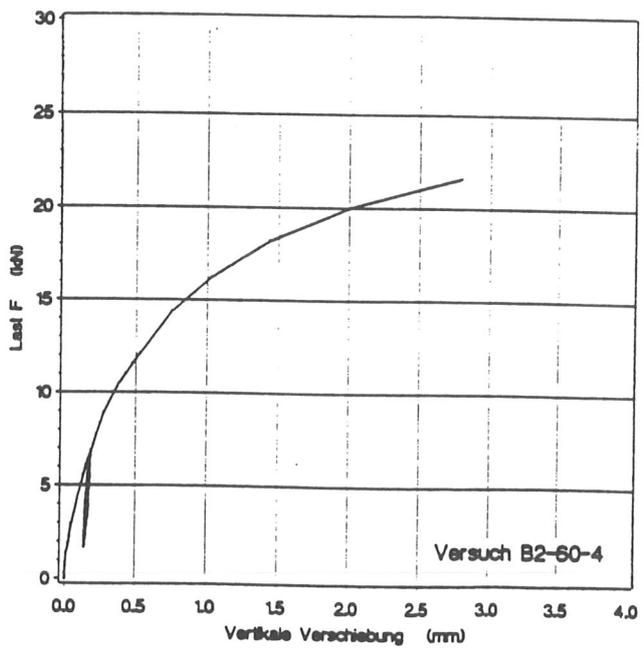
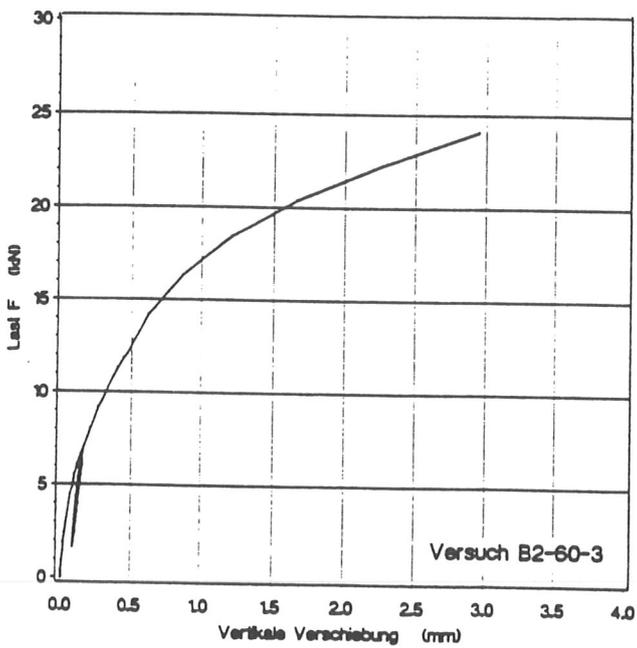
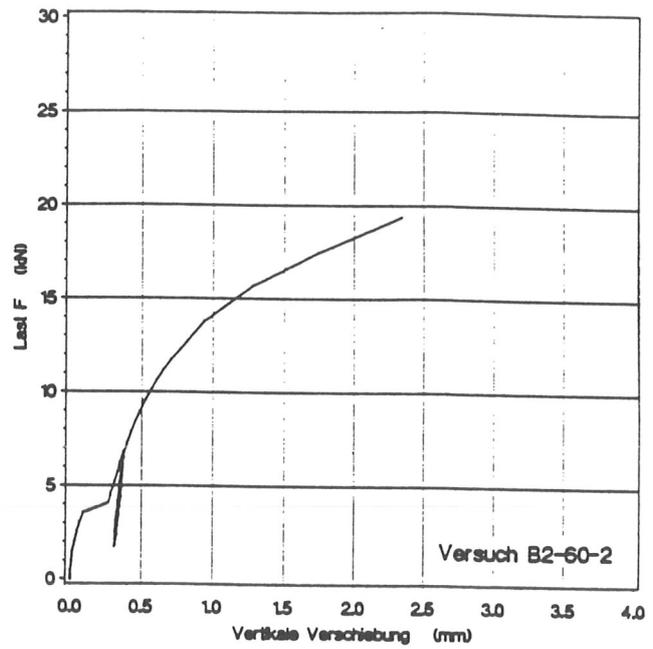
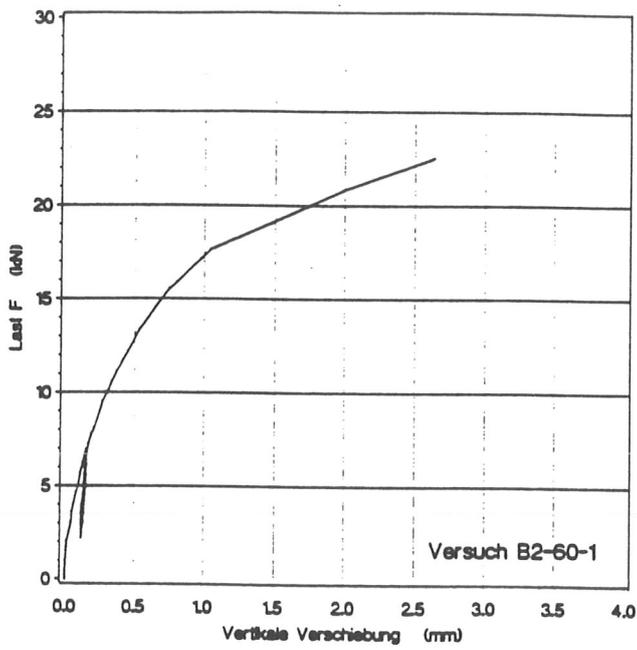


Bild 33: Last-Verschiebungsdiagramme der Versuche B2-60-(1+4)

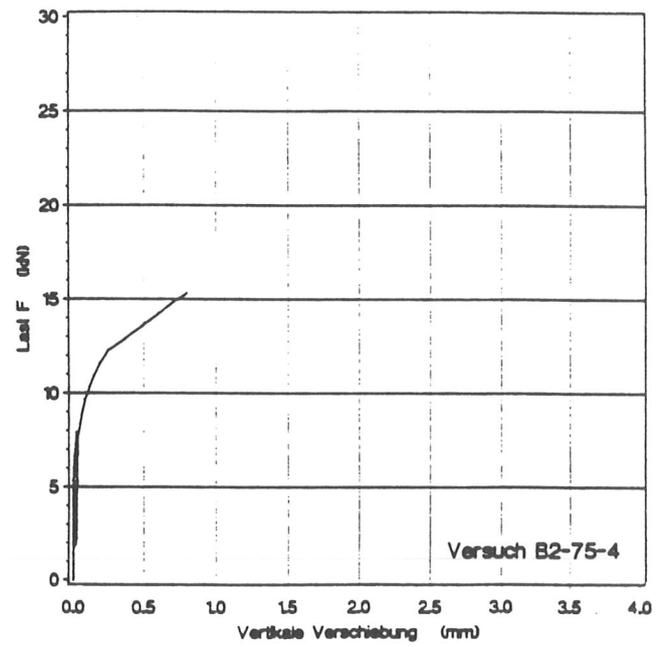
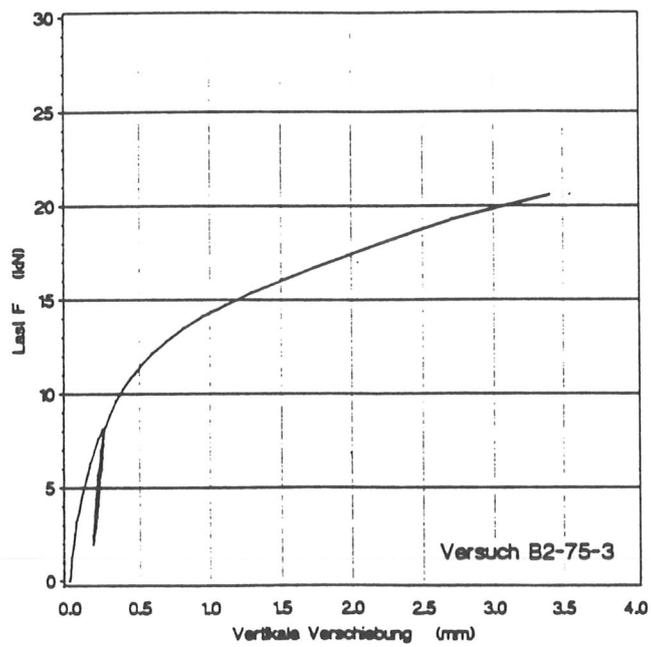
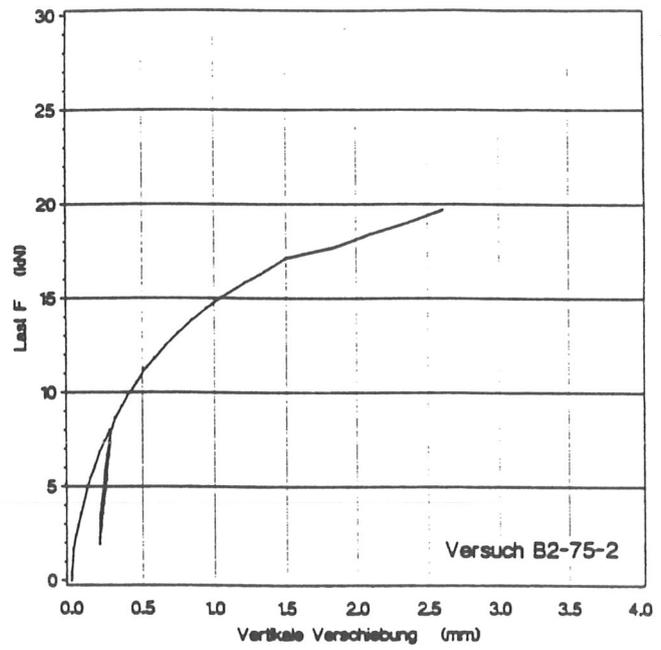
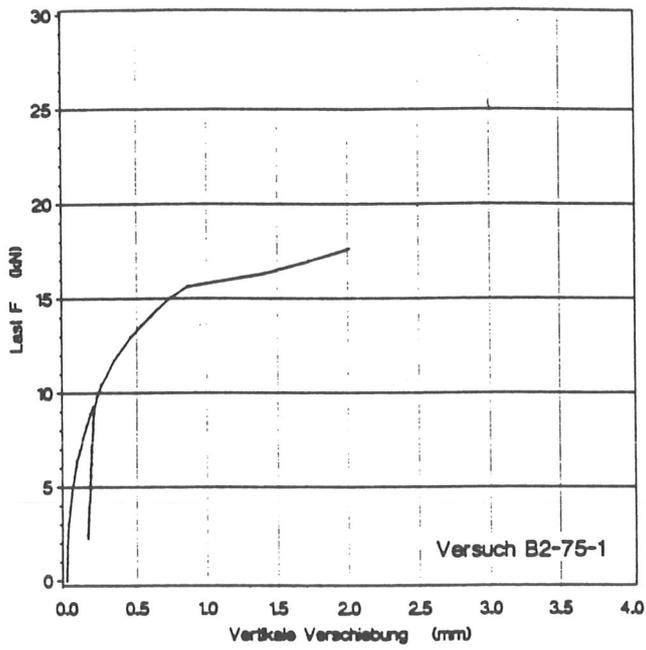


Bild 34: Last-Verschiebungsdiagramme der Versuche B2-75-(1+4)

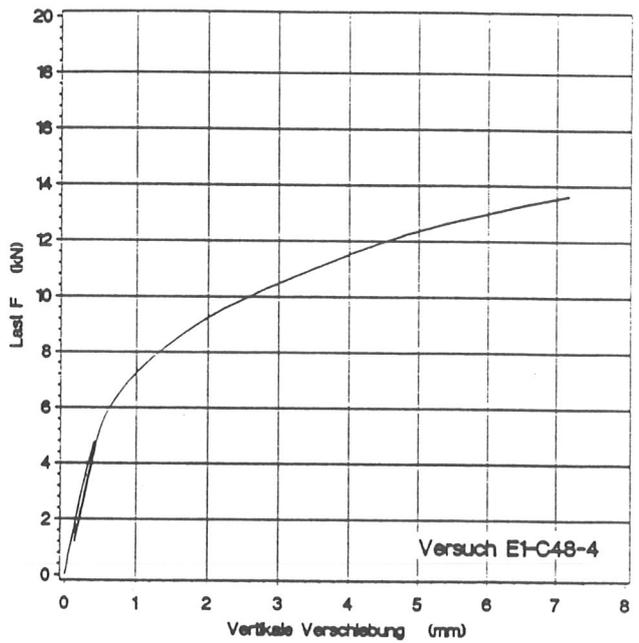
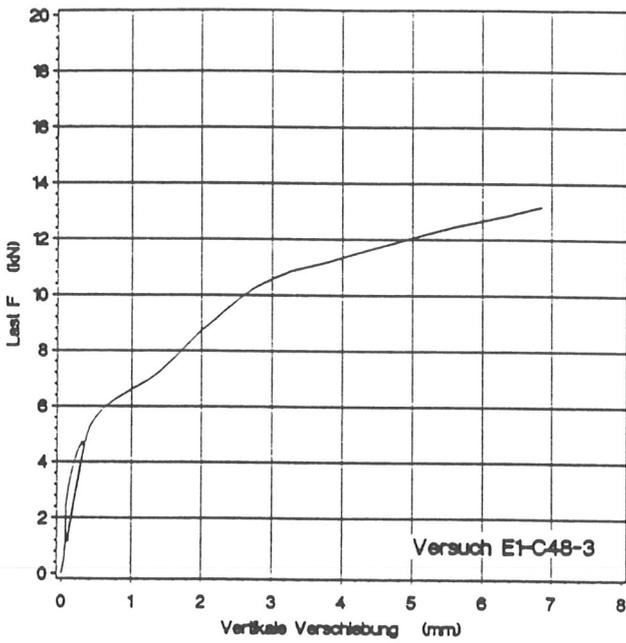
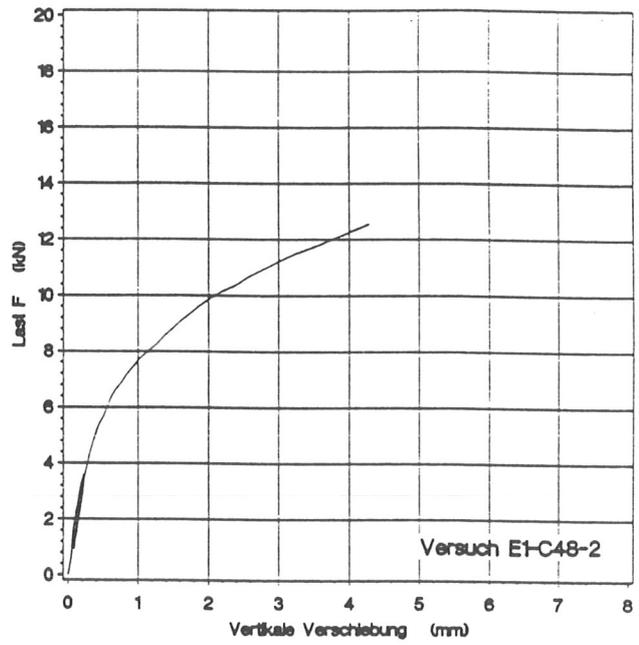
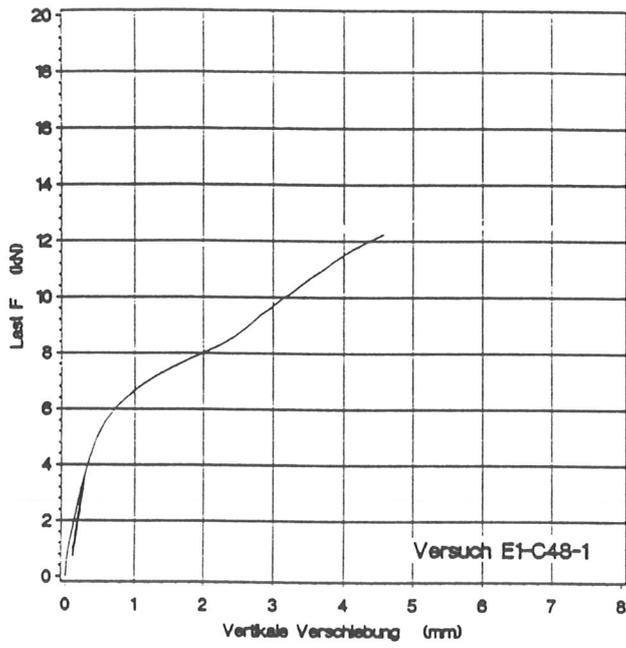


Bild 35: Last-Verschiebungsdiagramme der Versuche E1-C48-(1÷4)

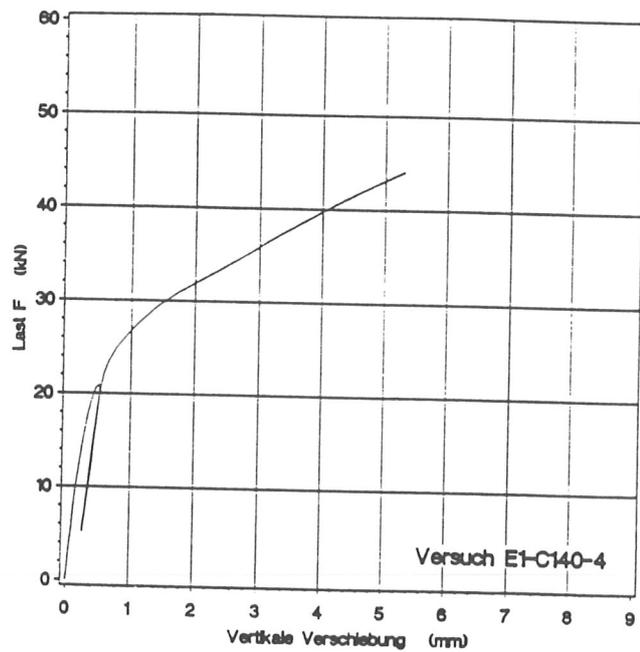
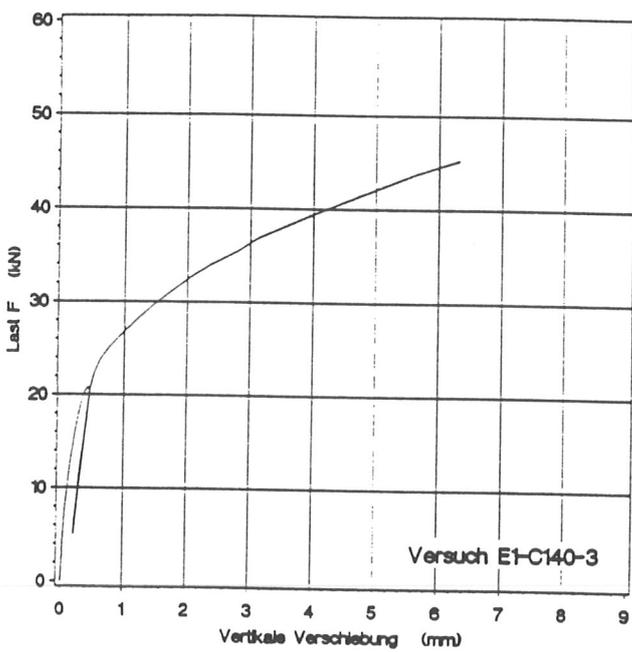
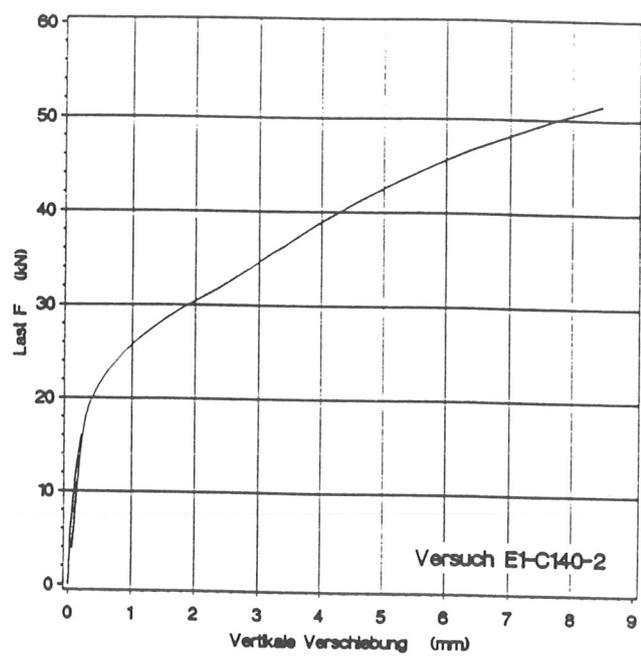
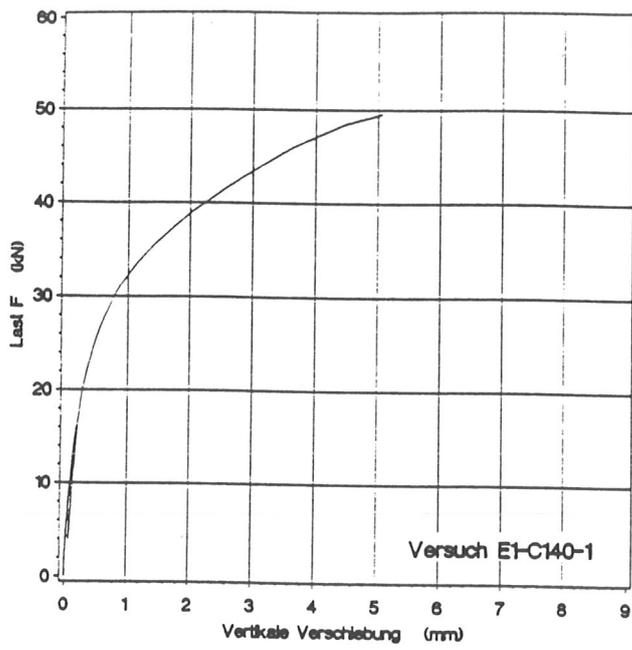


Bild 36: Last-Verschiebungsdiagramme der Versuche E1-C140-(1÷4)

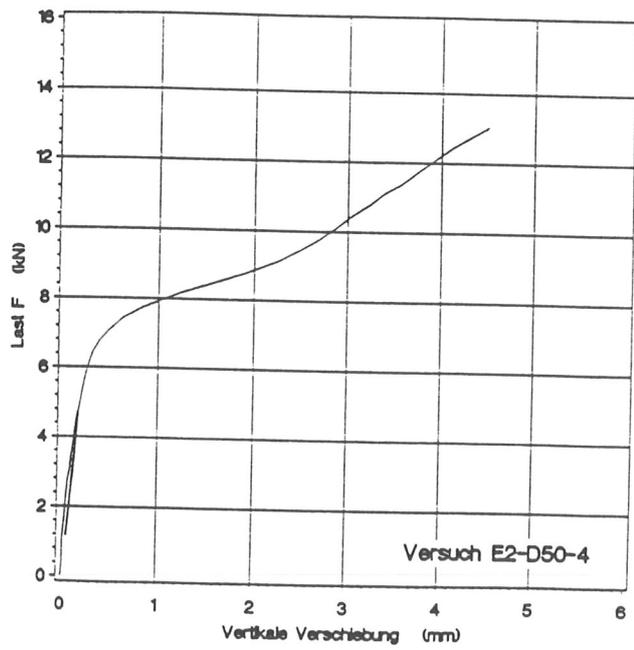
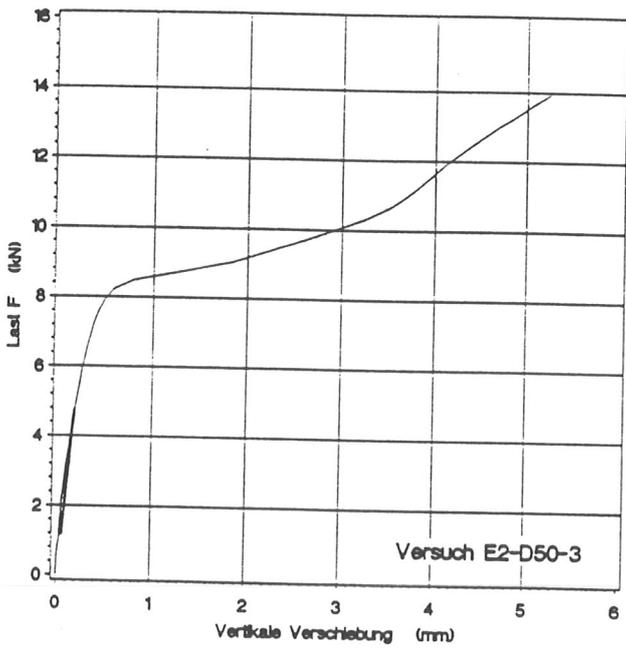
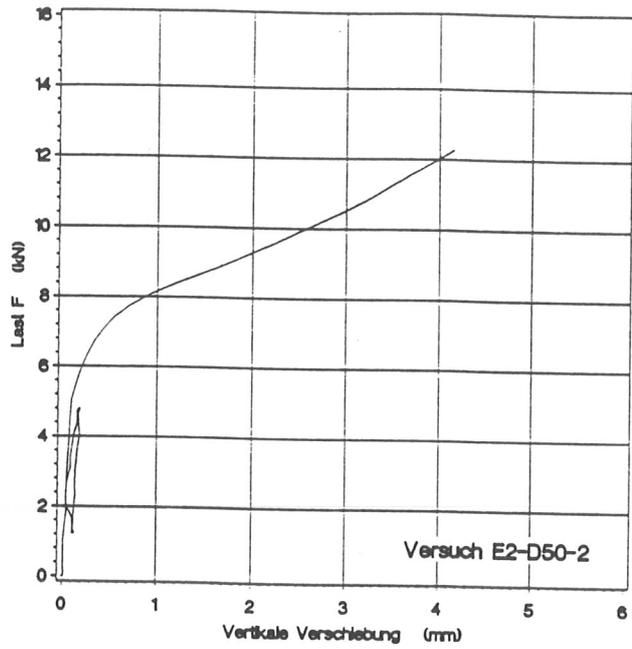
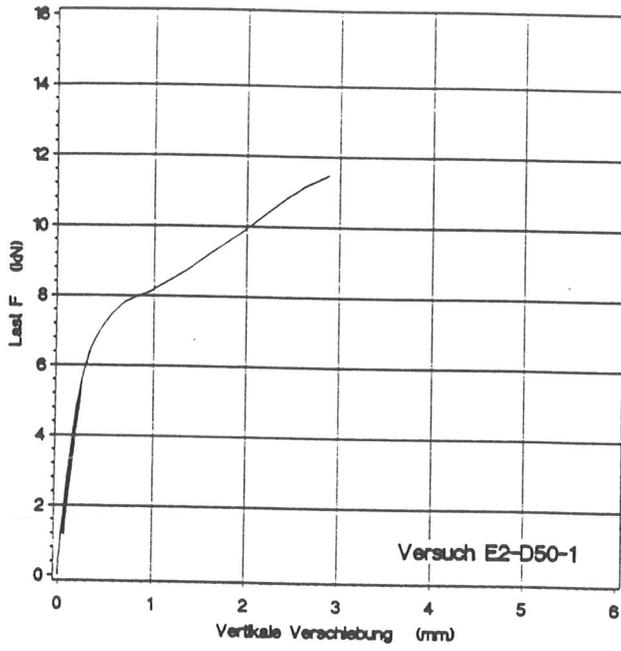


Bild 37: Last-Verschiebungsdiagramme der Versuche E2-D50-(1÷4)

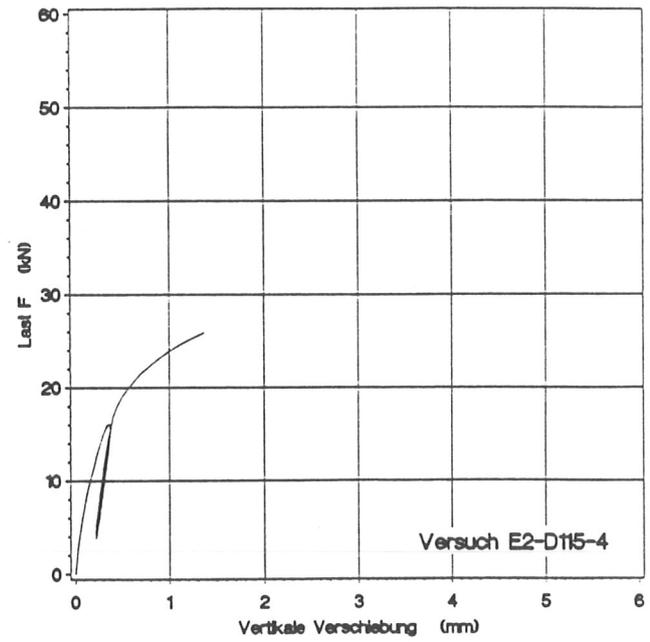
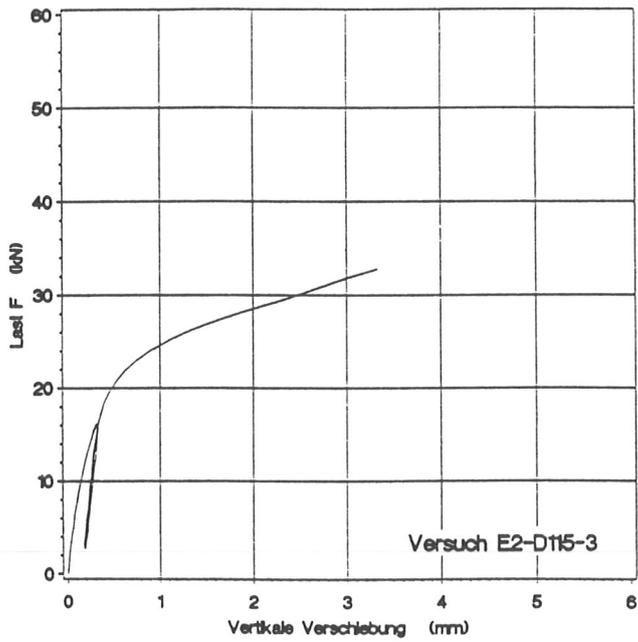
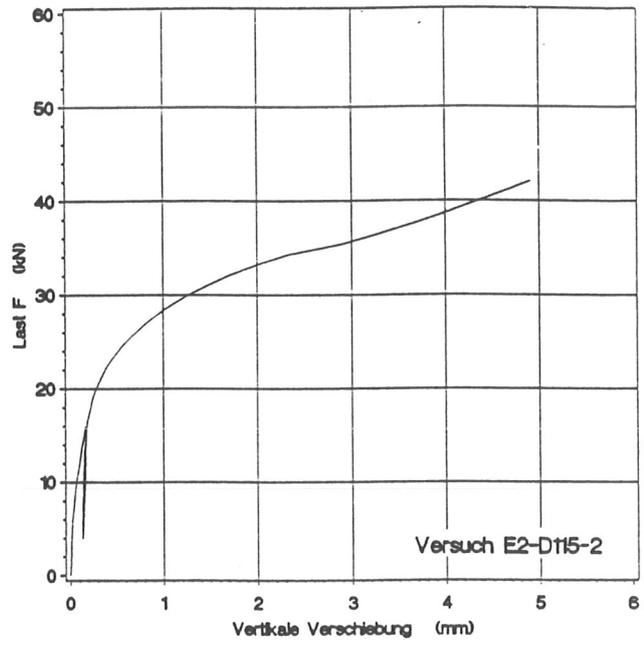
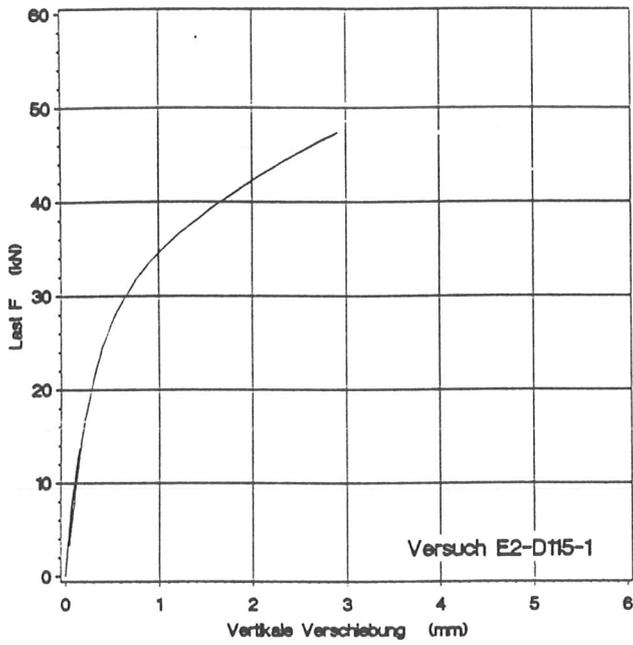


Bild 38: Last-Verschiebungsdiagramme der Versuche E2-D115-(1÷4)

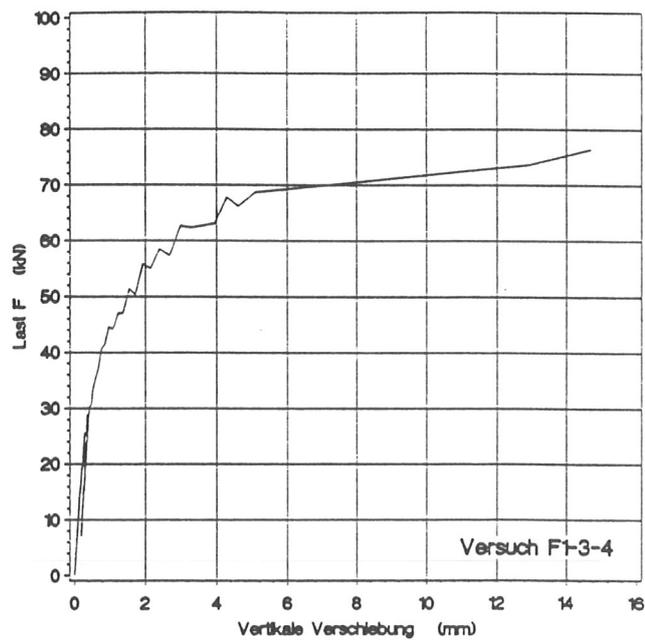
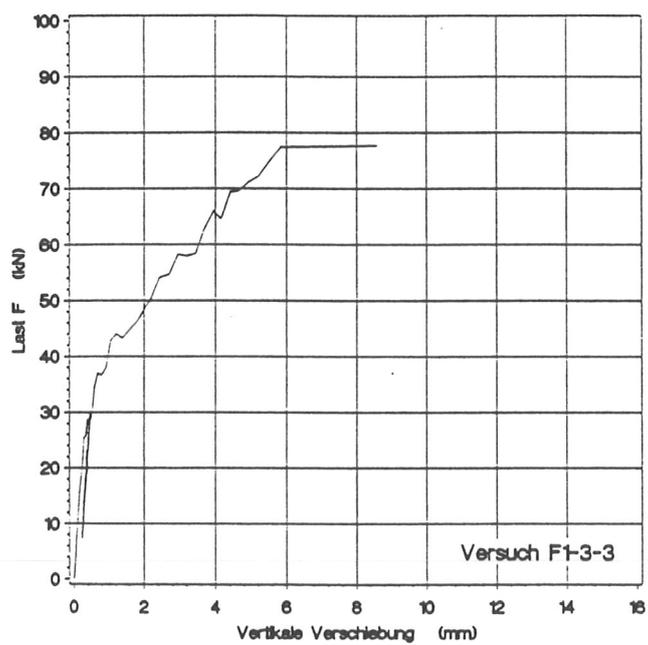
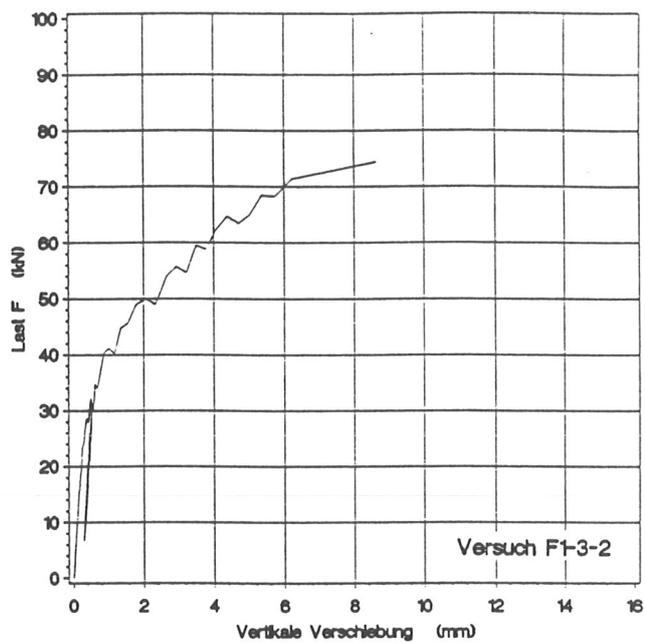
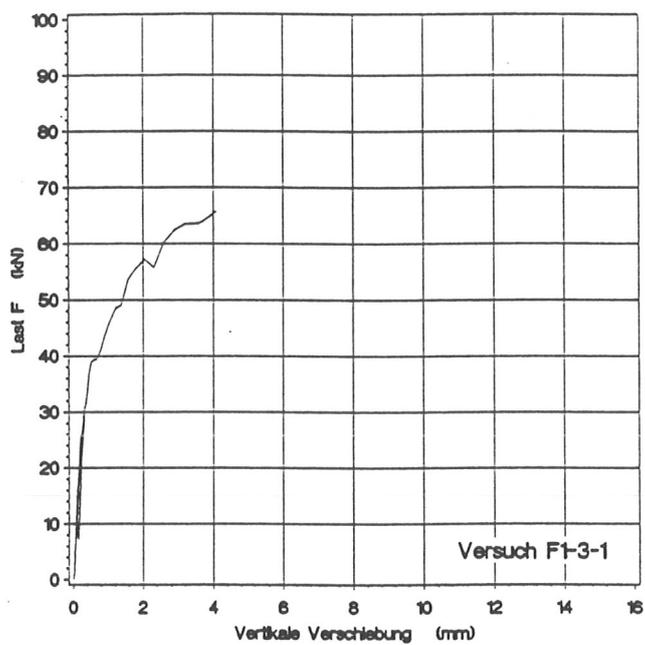


Bild 39: Last-Verschiebungsdiagramme der Versuche F1-3-(1÷4)

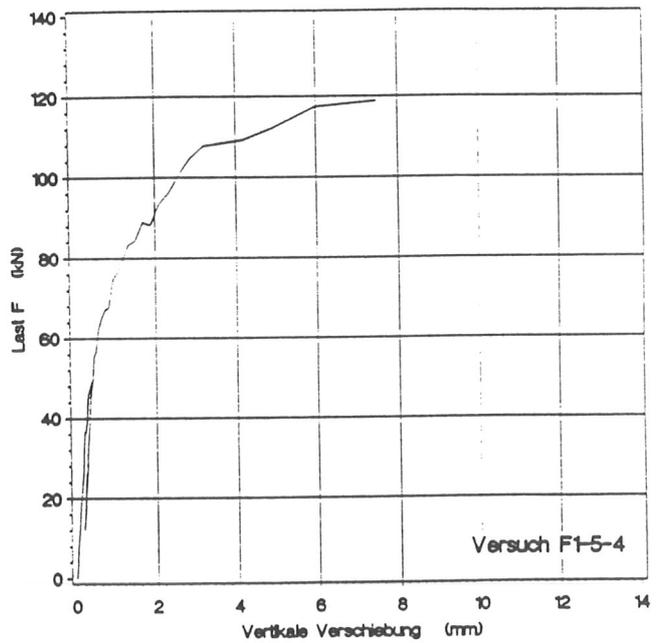
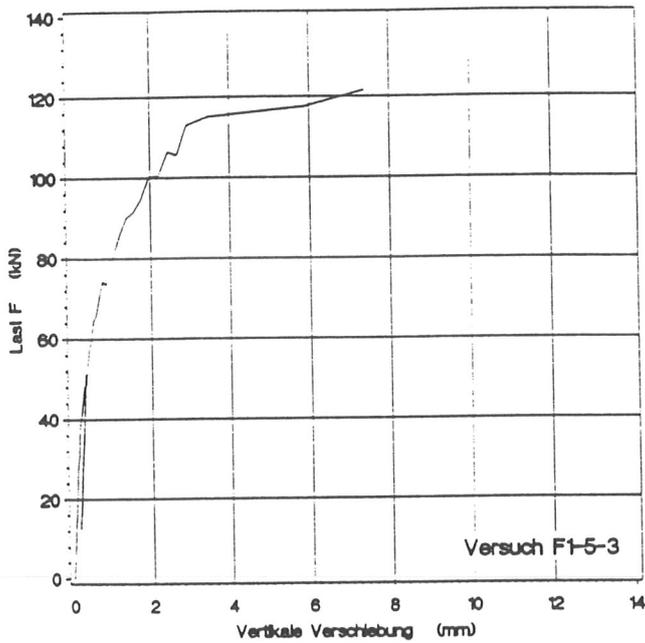
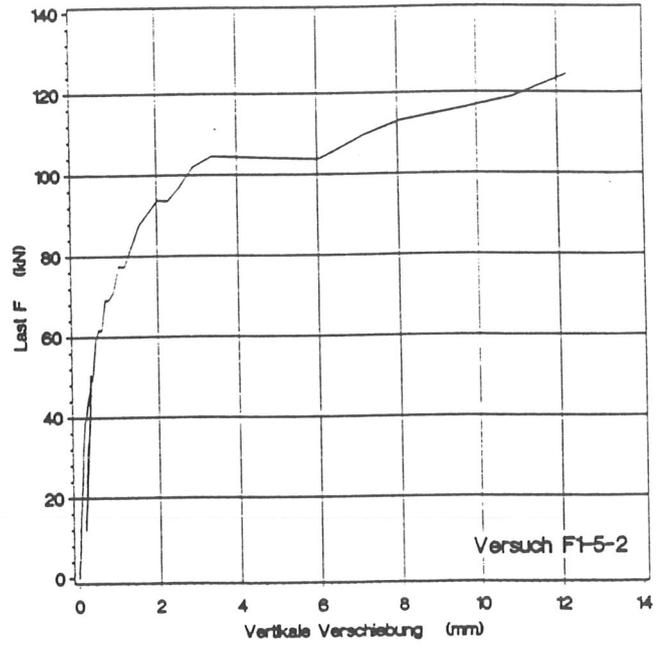
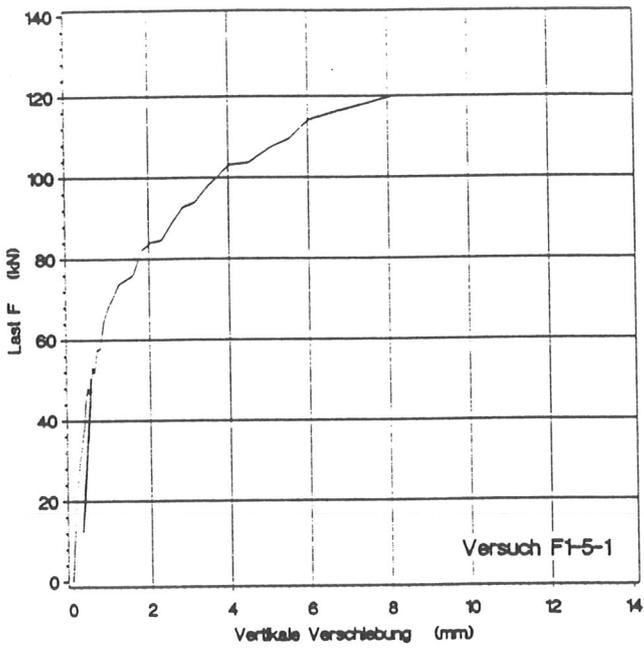


Bild 40: Last-Verschiebungsdiagramme der Versuche F1-5-(1÷4)

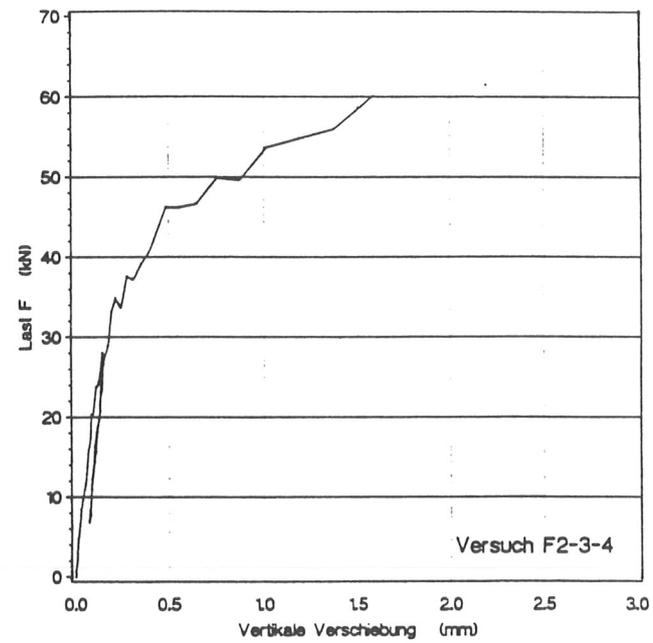
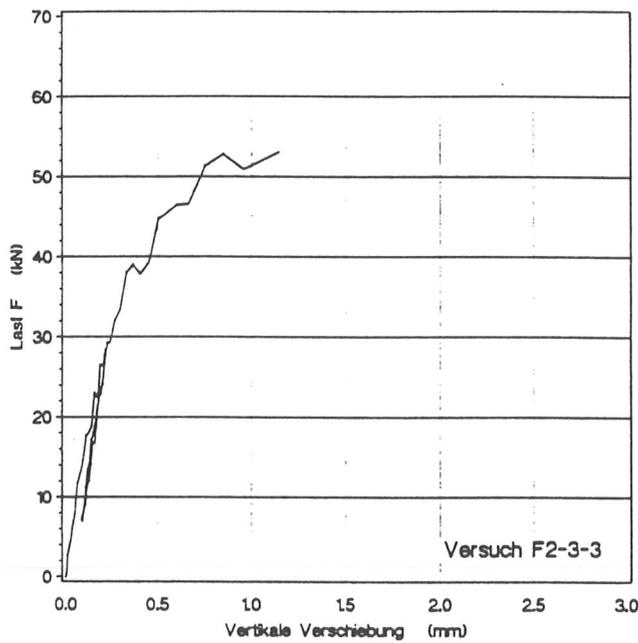
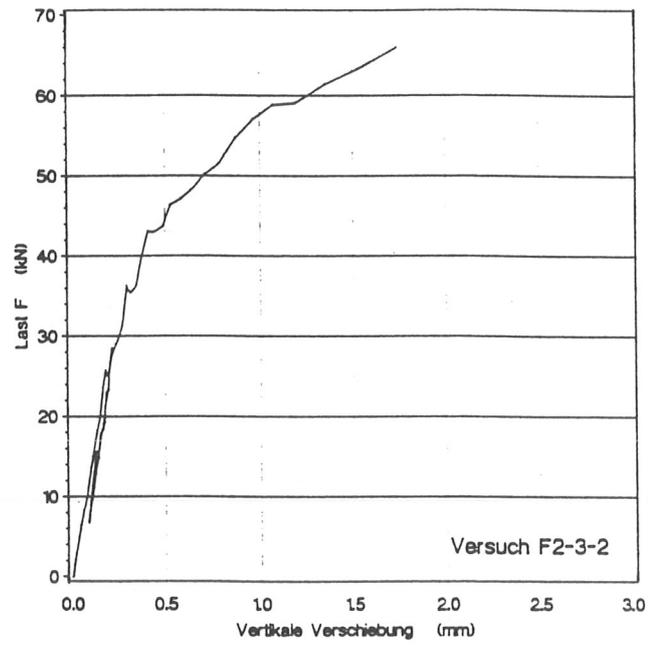
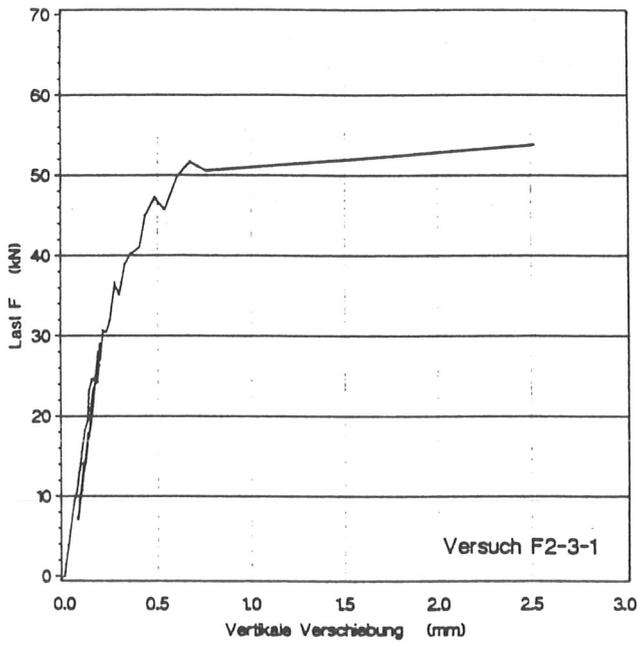


Bild 41: Last-Verschiebungsdiagramme der Versuche F2-3-(1÷4)

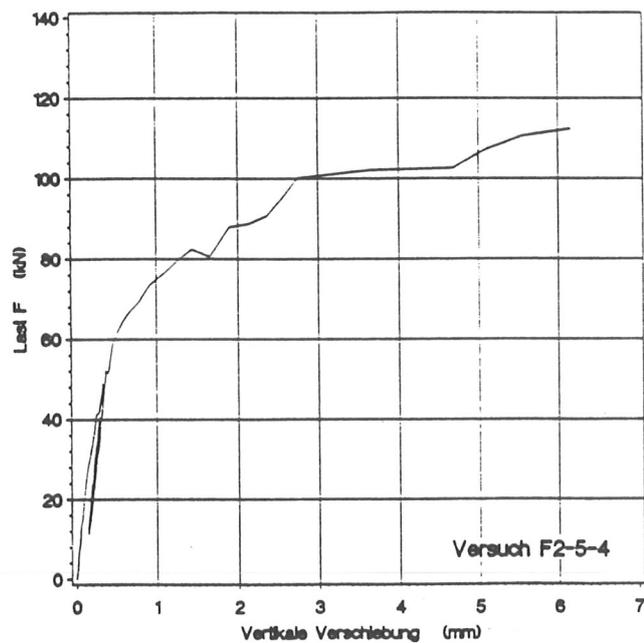
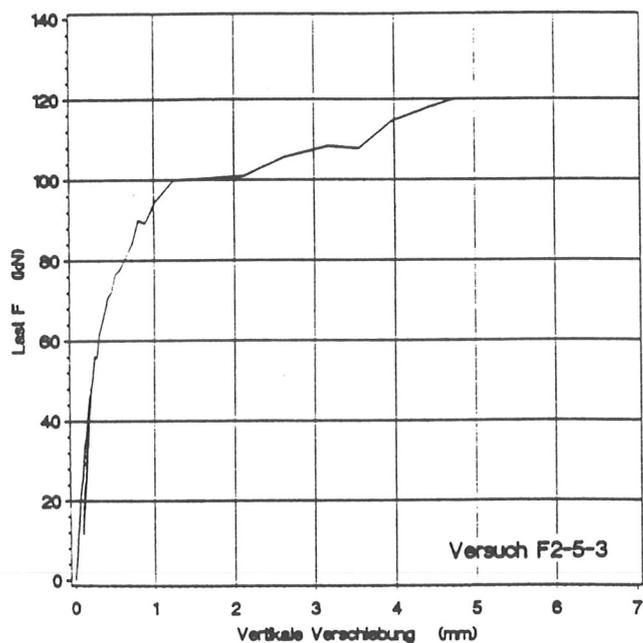
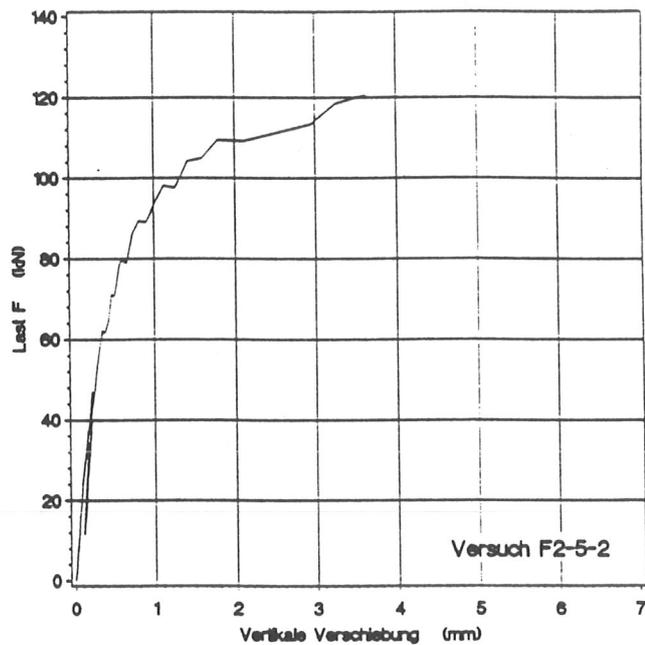
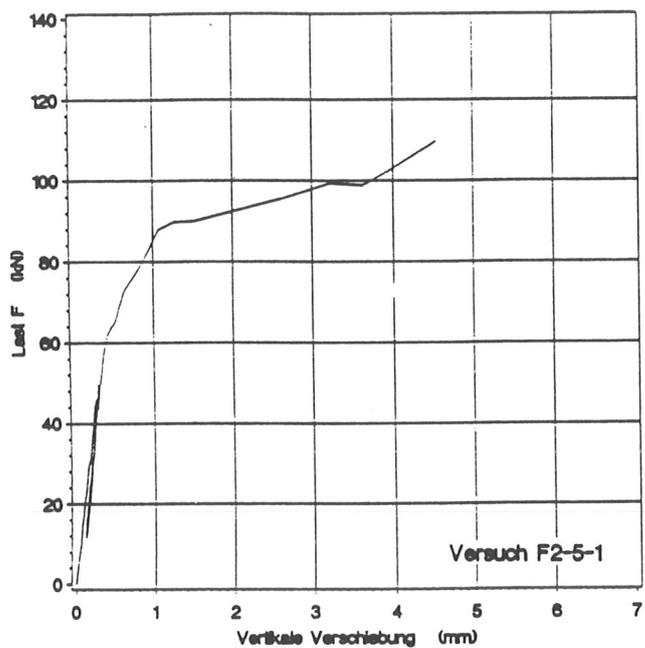


Bild 42: Last-Verschiebungsdiagramme der Versuche F2-5-(1+4)

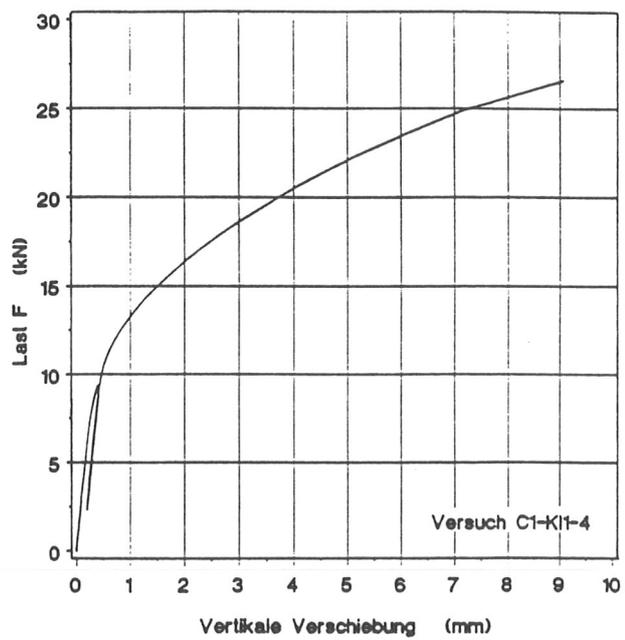
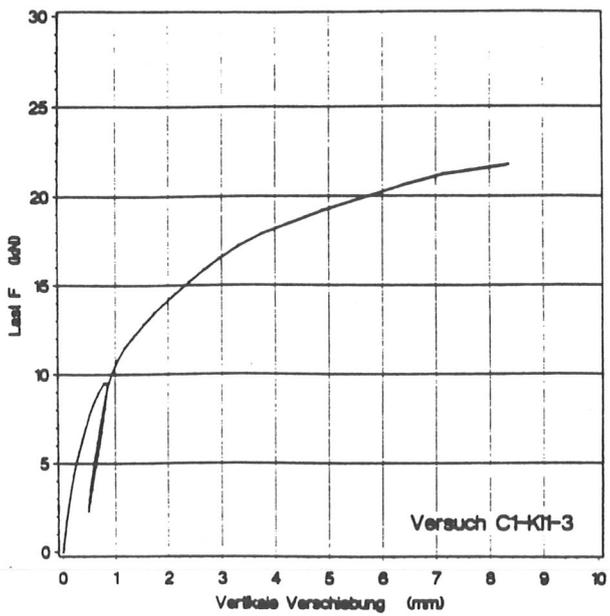
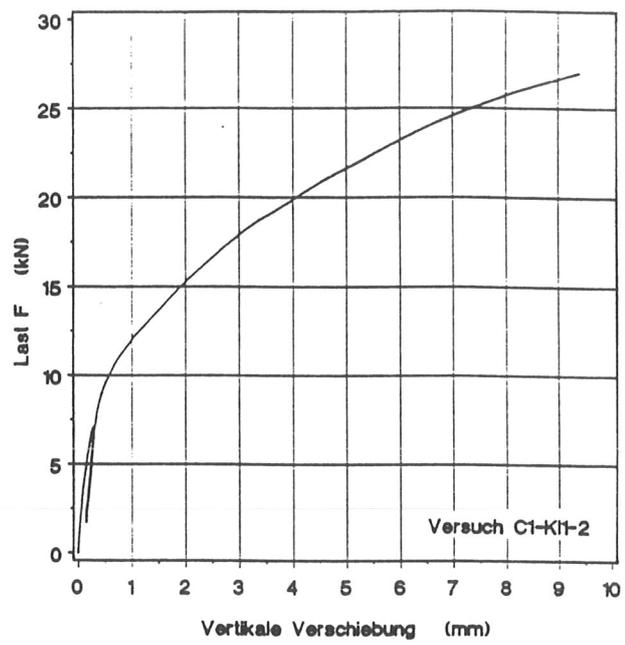
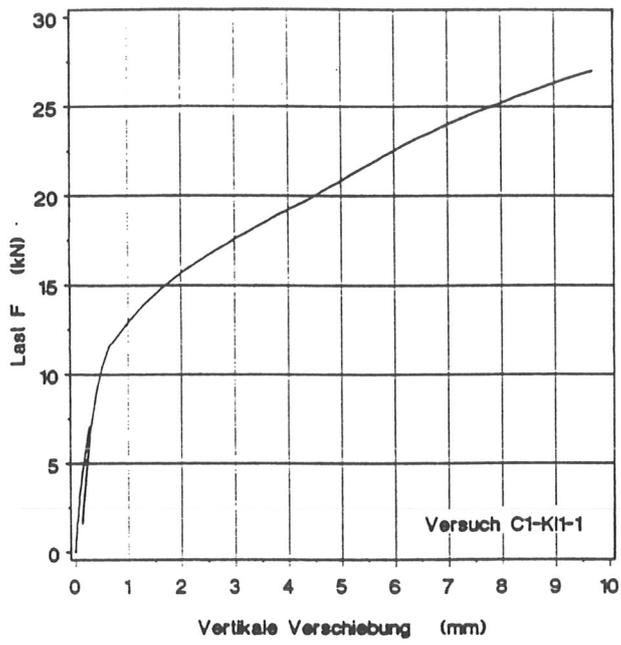


Bild 43: Last-Verschiebungsdiagramme der Versuche C1-K11-(1÷4)

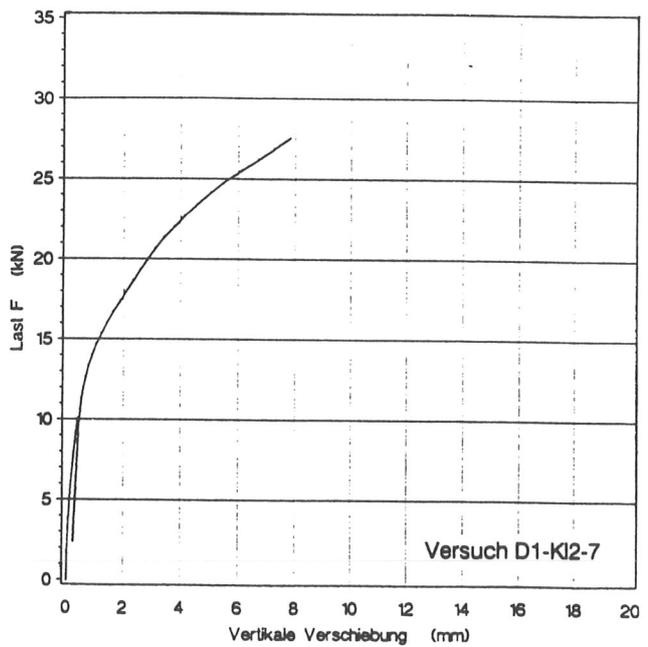
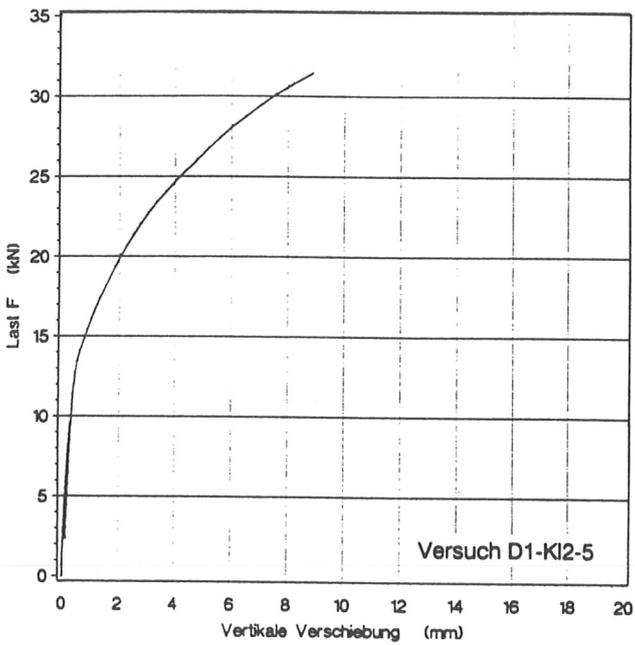
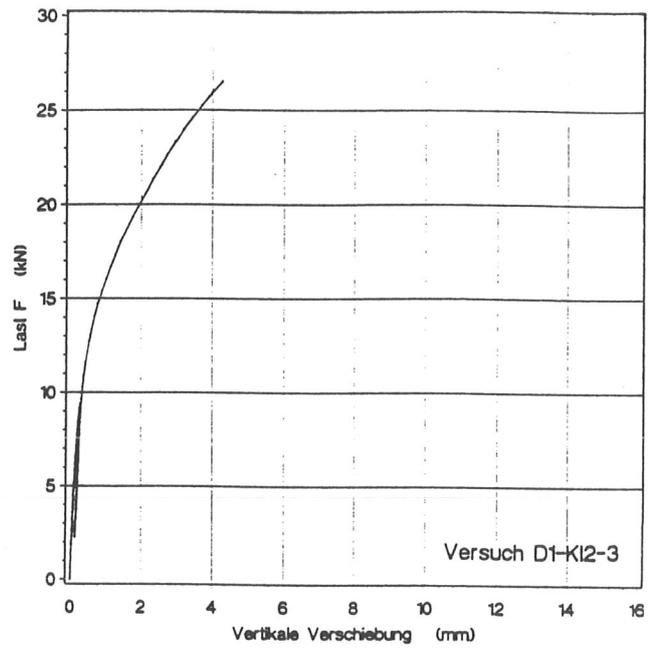
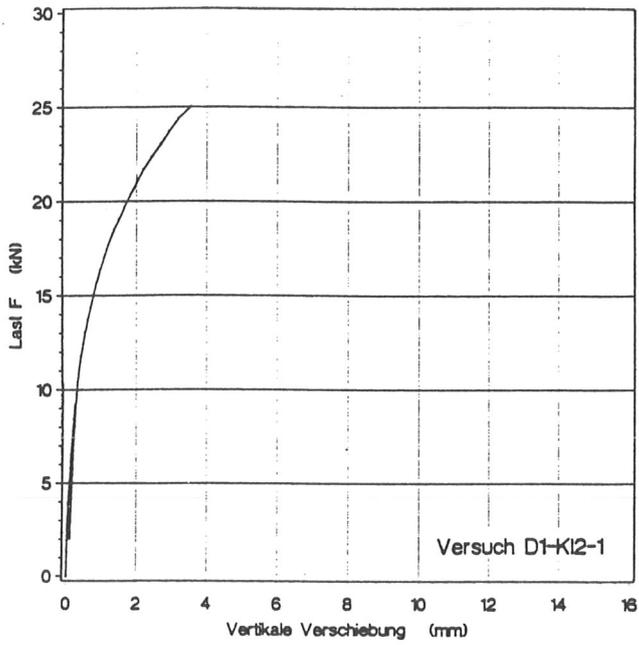


Bild 44: Last-Verschiebungsdiagramme der Versuche D1-K12-(1+3+5+7)

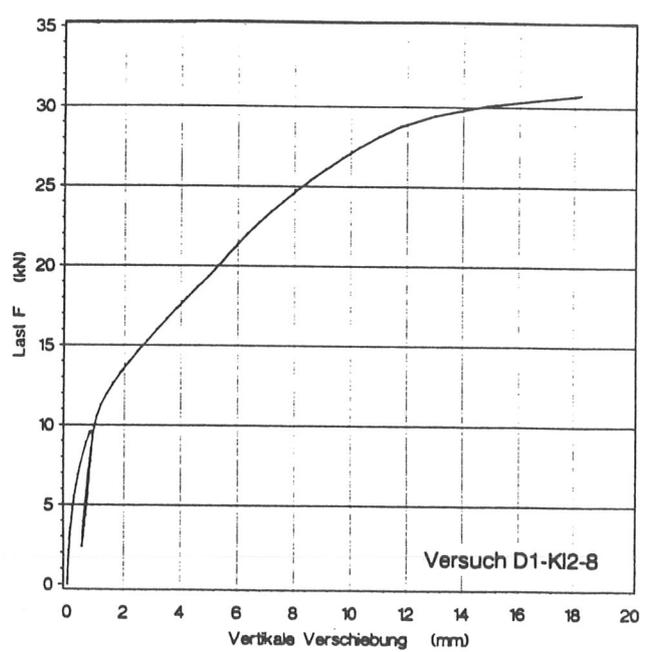
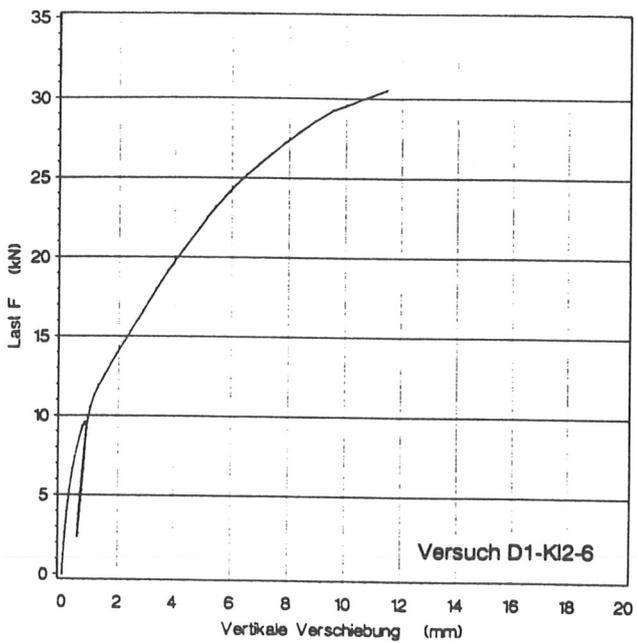
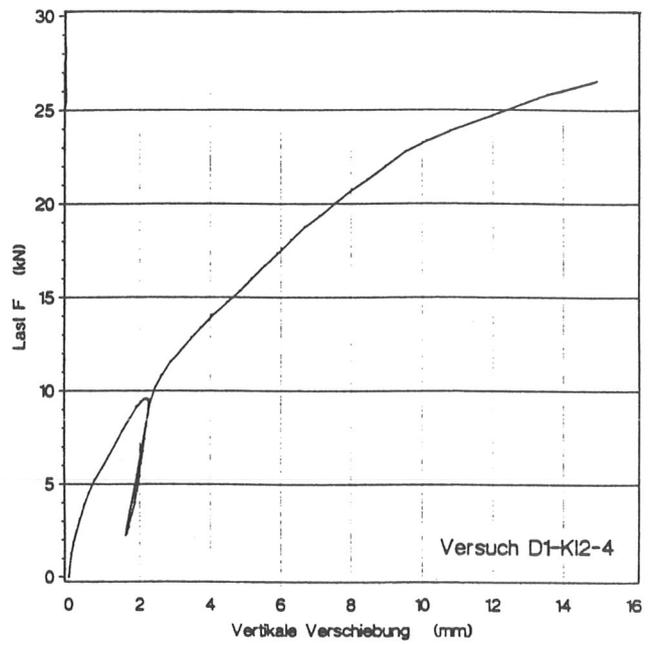
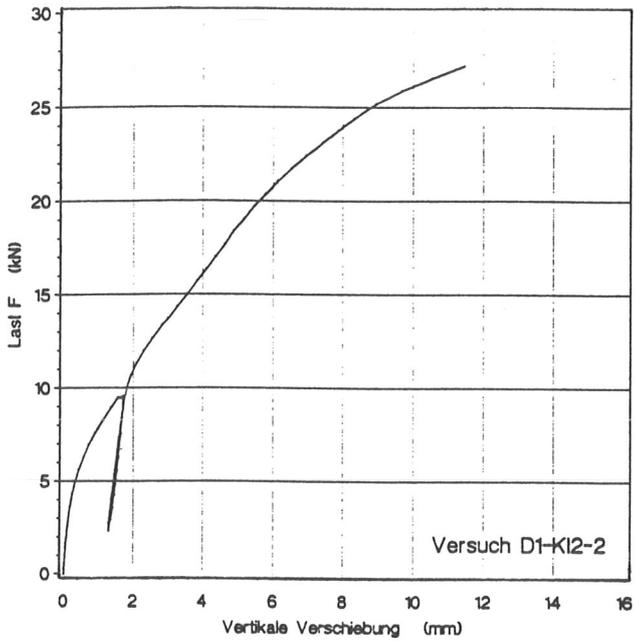


Bild 45: Last-Verschiebungsdiagramme der Versuche D1-K12-(2+4+6+8)

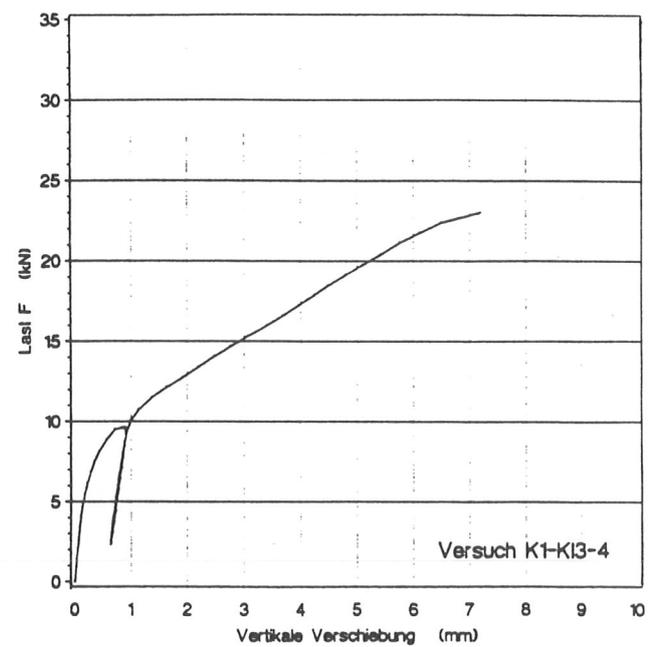
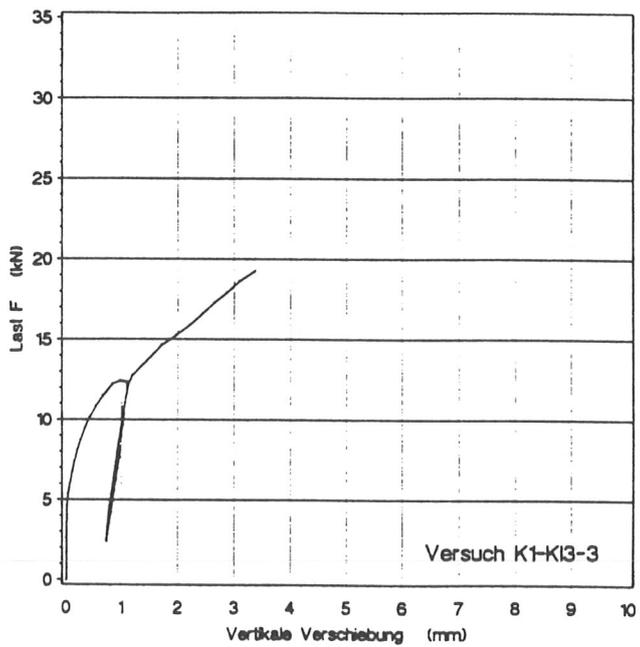
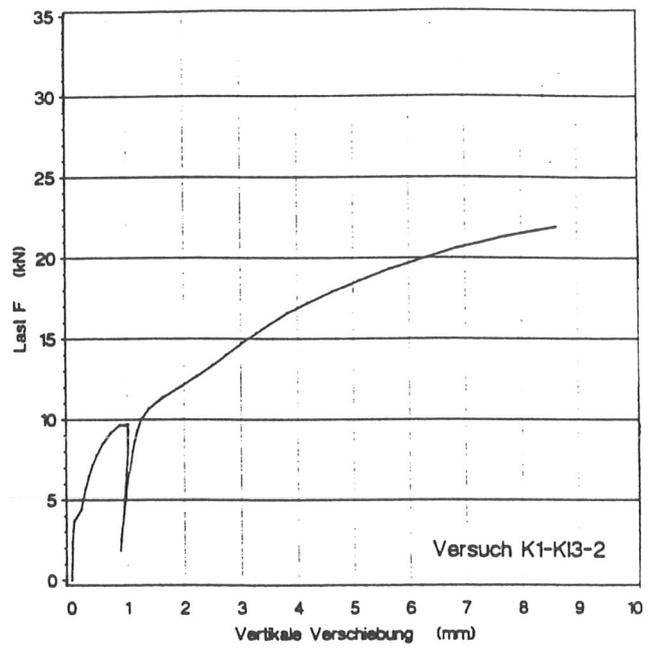
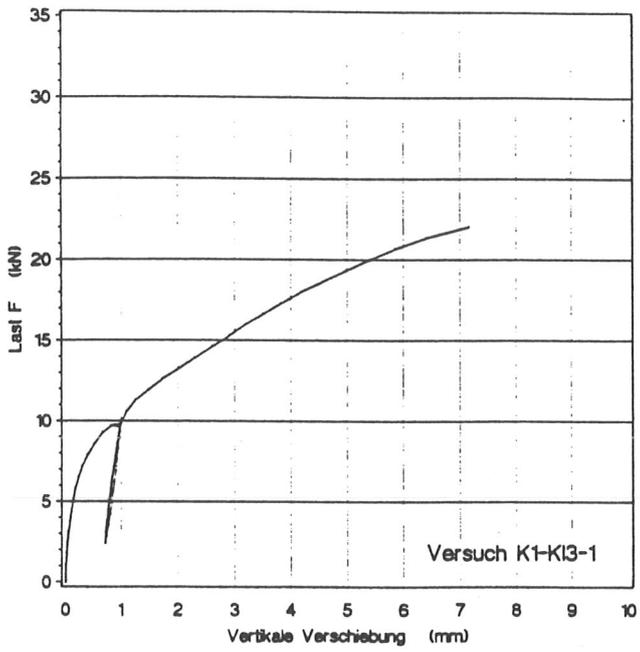


Bild 46: Last-Verschiebungsdiagramme der Versuche K1-K13-(1÷4)

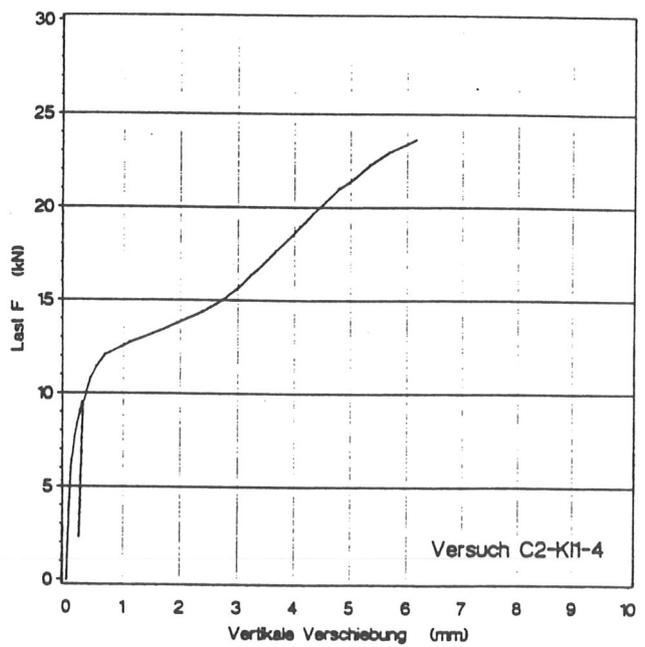
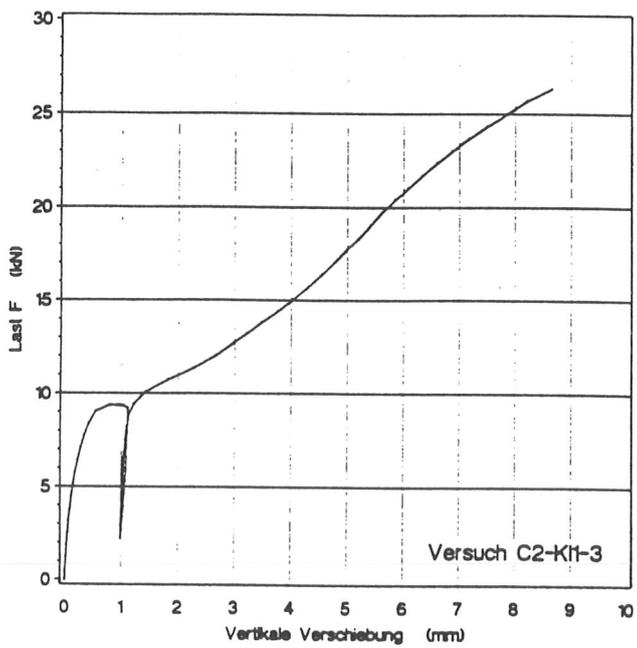
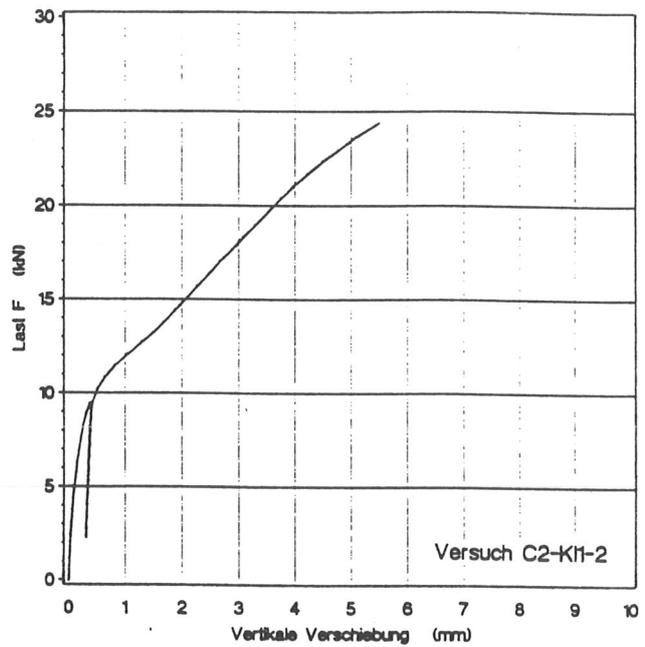
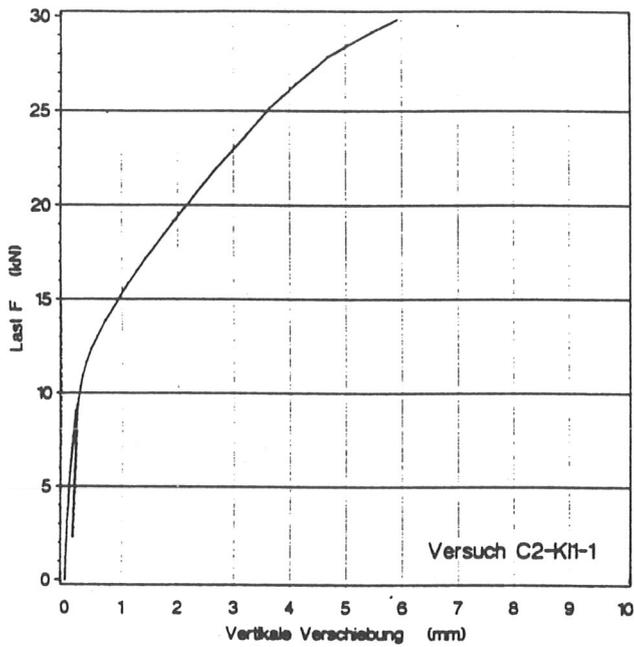


Bild 47: Last-Verschiebungsdiagramme der Versuche C2-K11-(1+4)

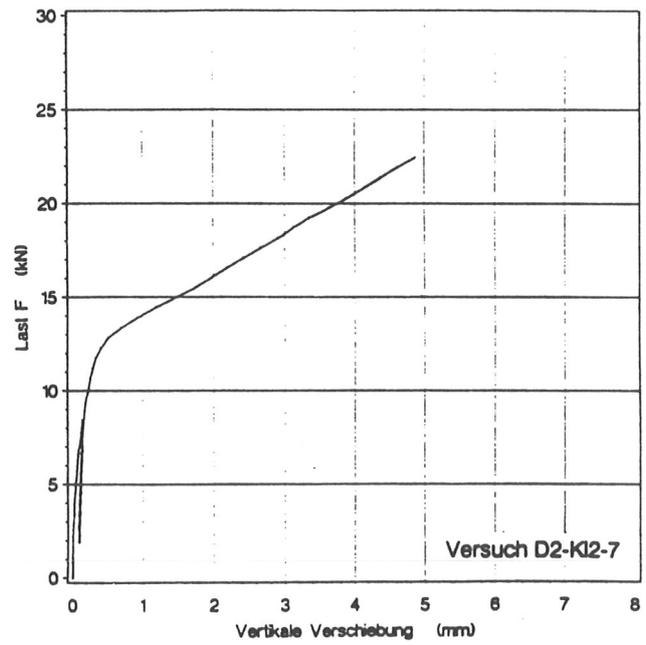
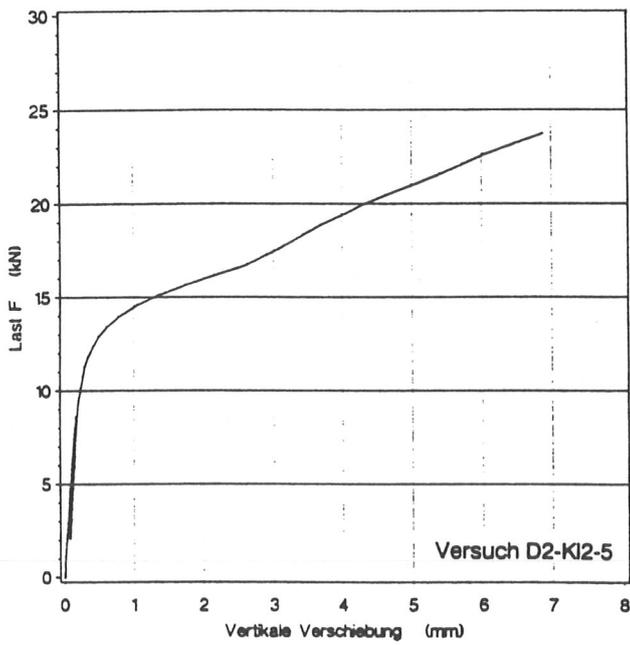
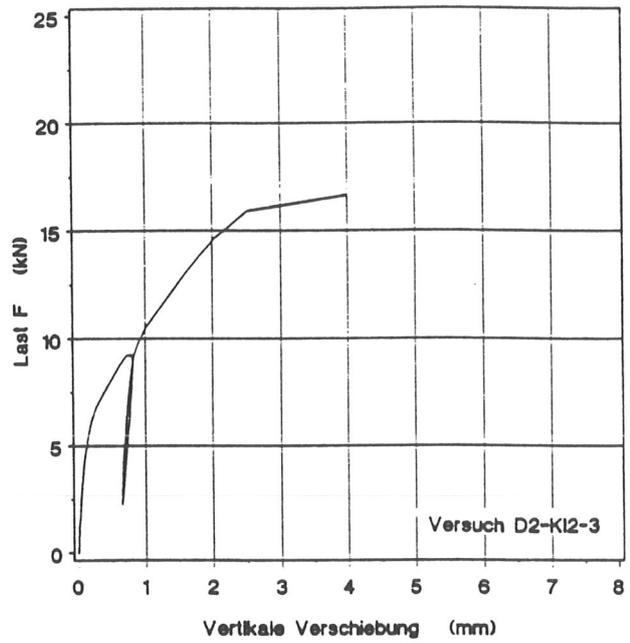
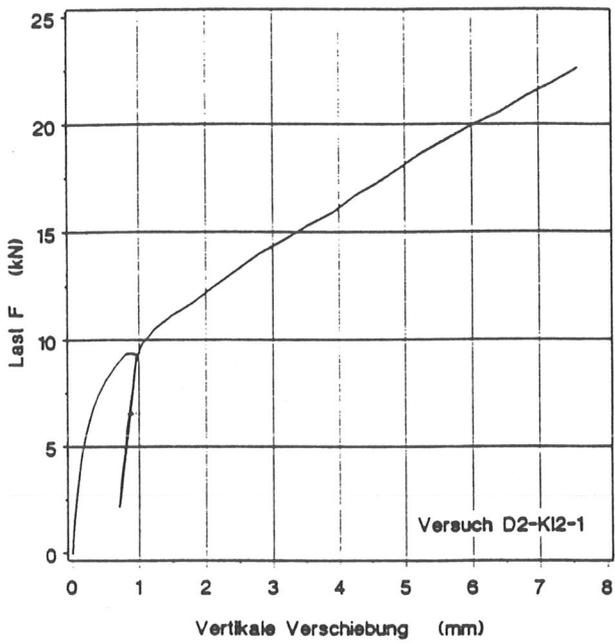


Bild 48: Last-Verschiebungsdiagramme der Versuche D2-K12-(1+3+5+7)

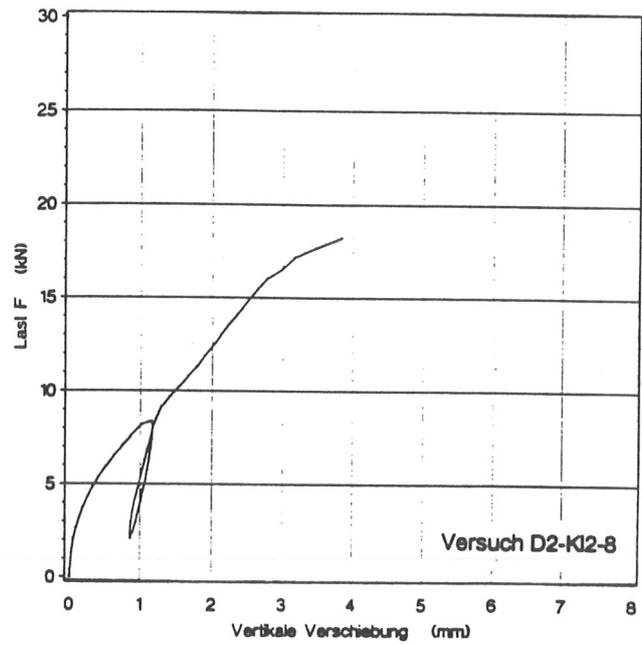
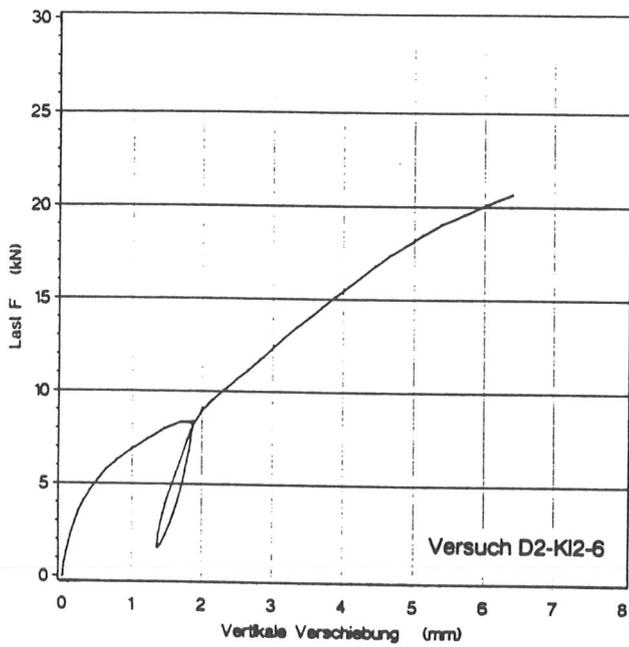
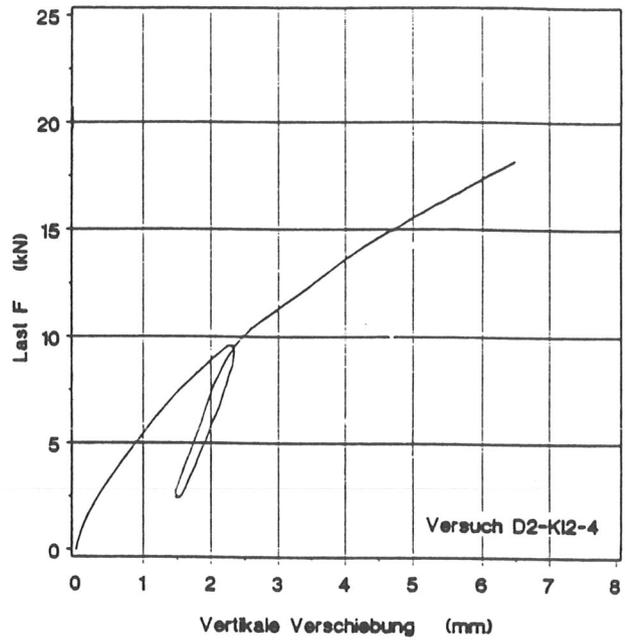
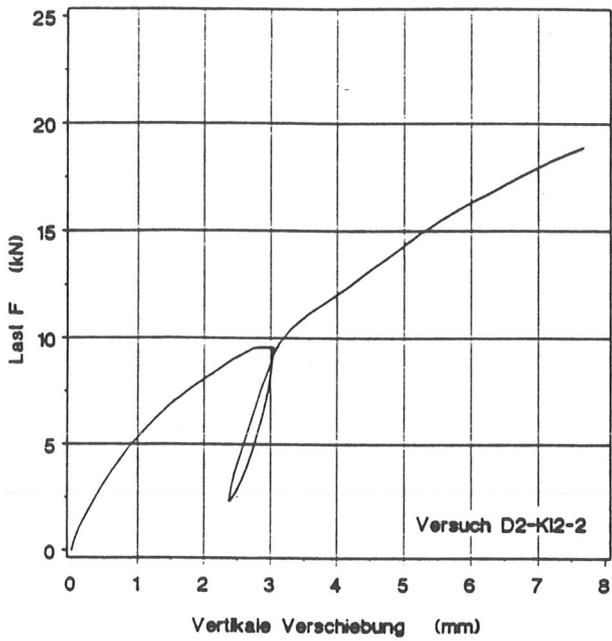


Bild 49: Last-Verschiebungsdiagramme der Versuche D2-K12-(2+4+6+8)

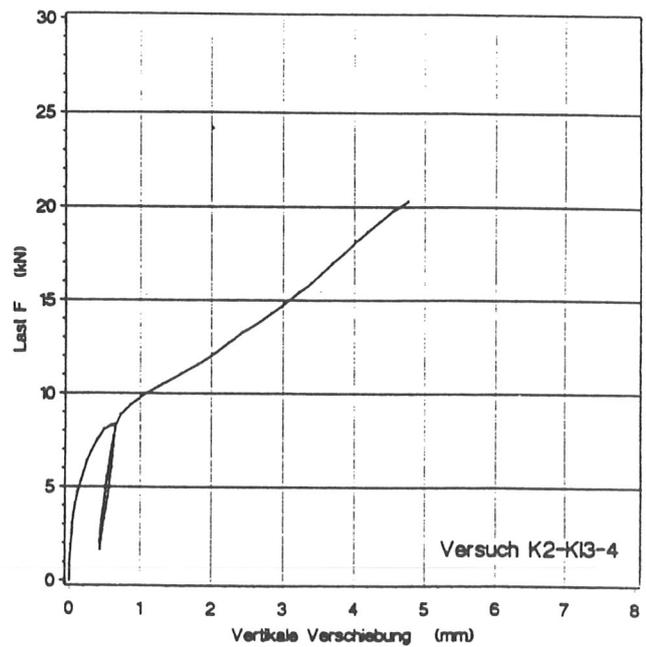
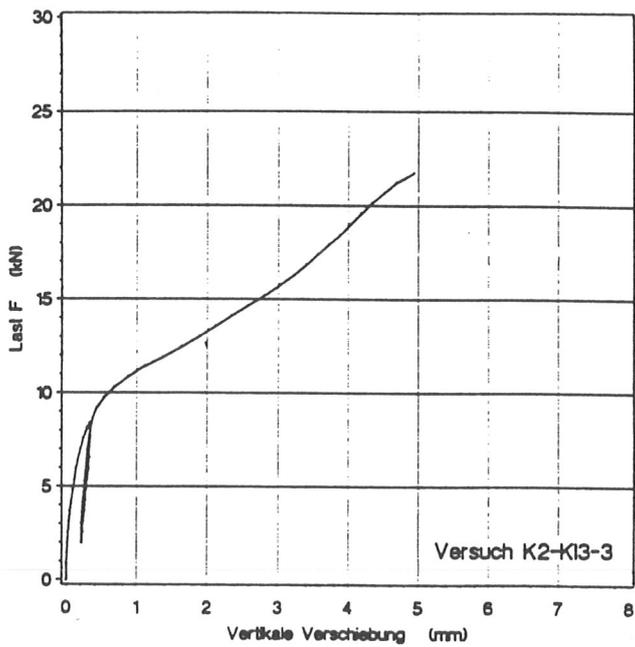
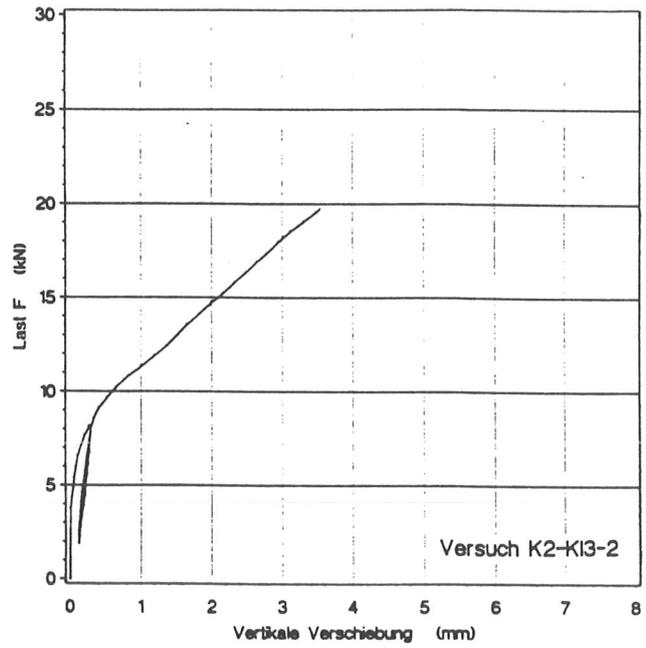
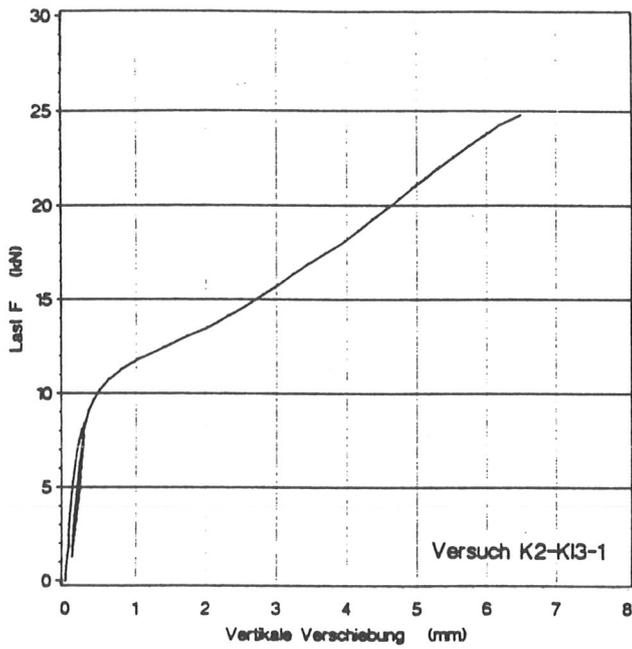


Bild 50: Last-Verschiebungsdiagramme der Versuche K2-K13-(1÷4)

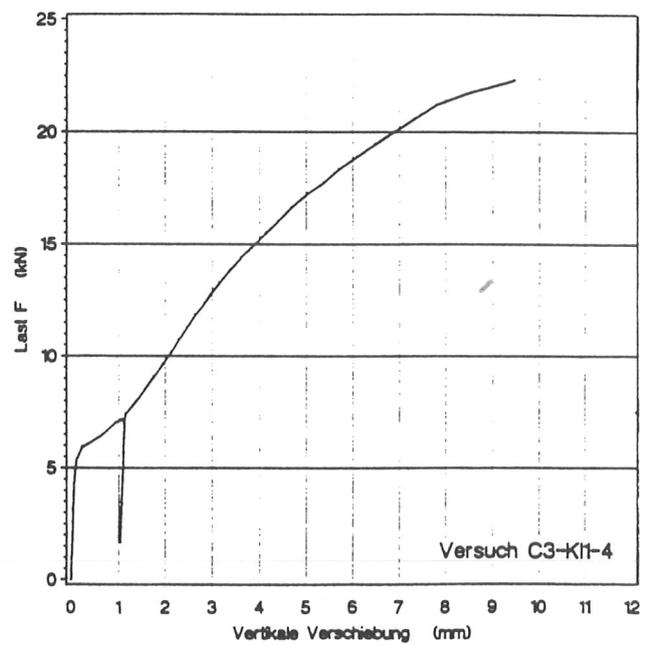
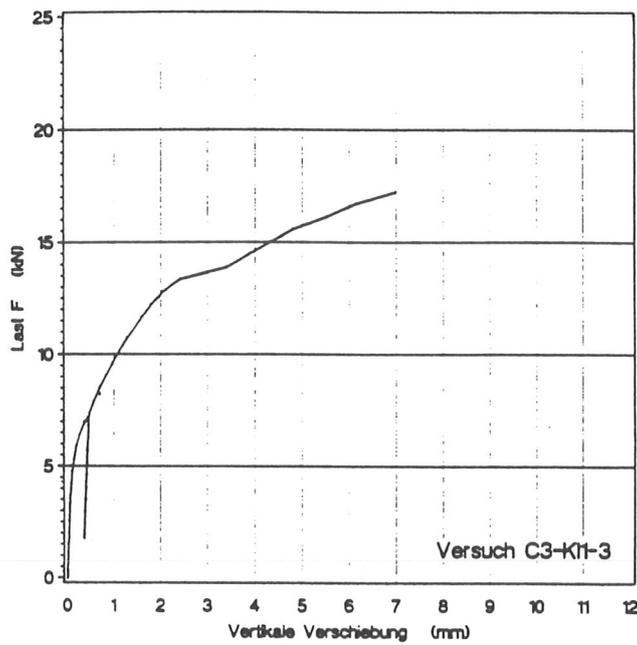
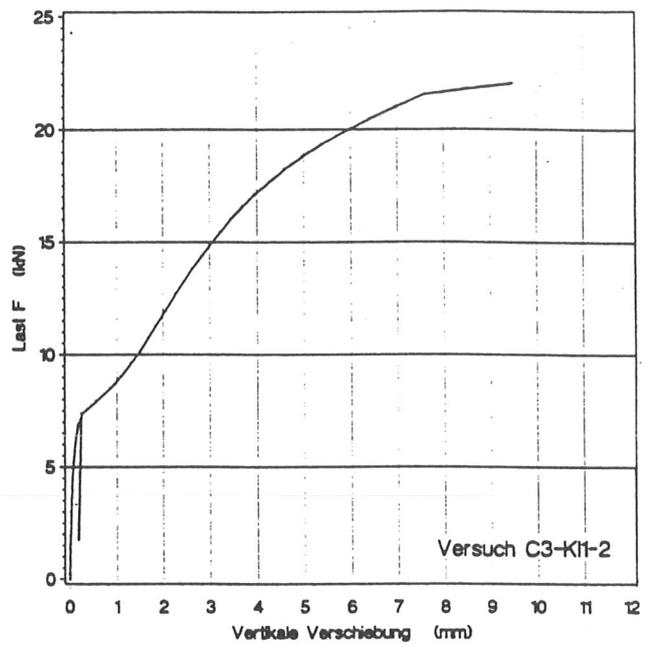
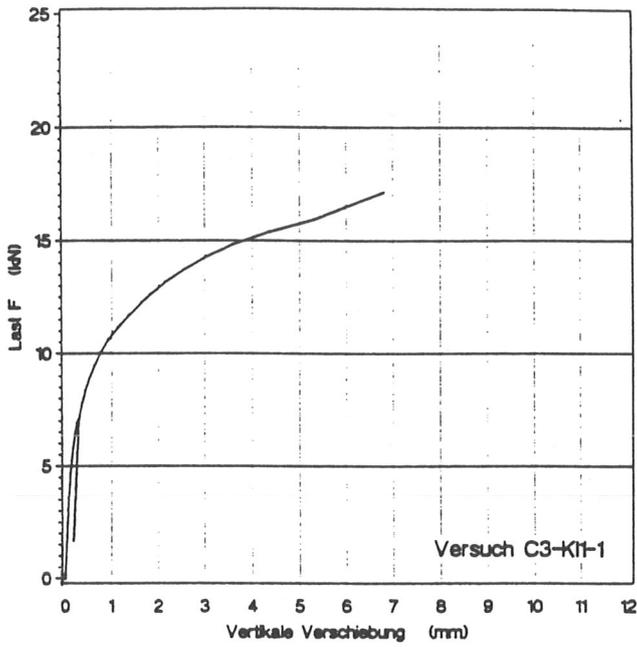


Bild 51: Last-Verschiebungsdiagramme der Versuche C3-K11-(1÷4)

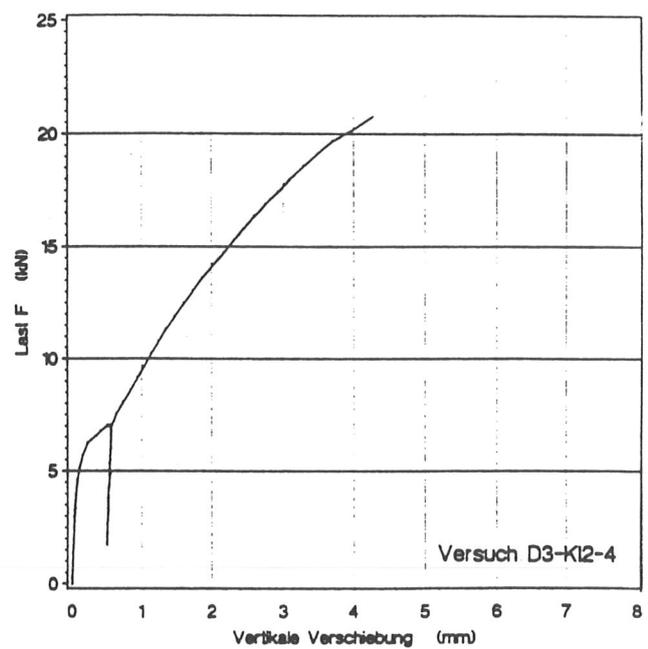
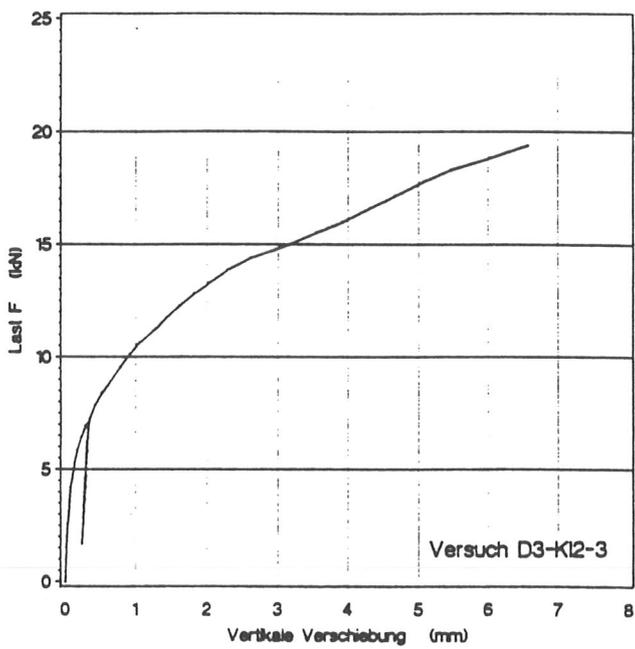
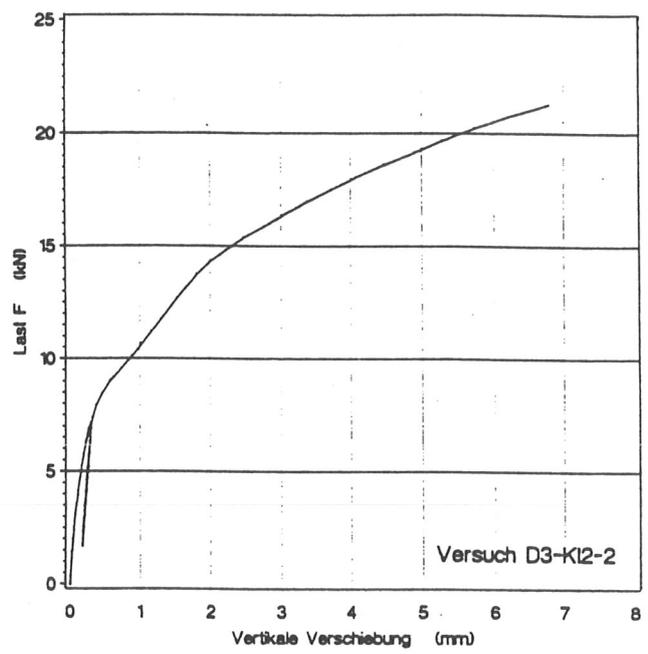
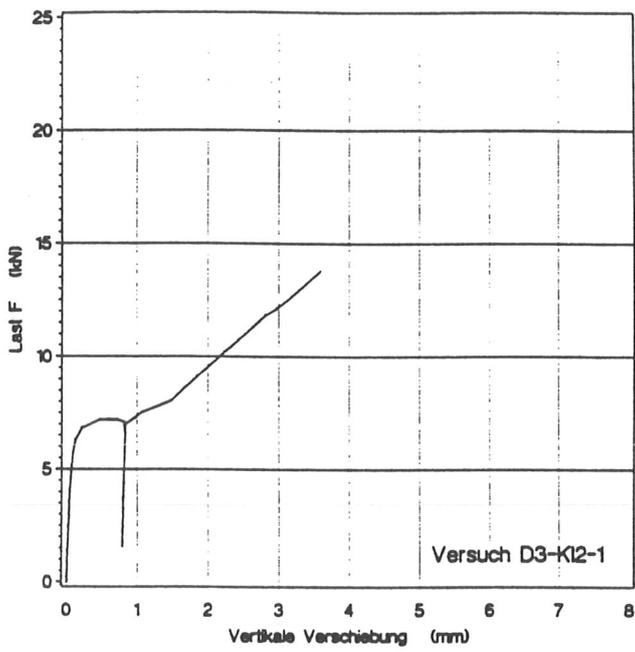


Bild 52: Last-Verschiebungsdiagramme der Versuche D3-K12-(1÷4)

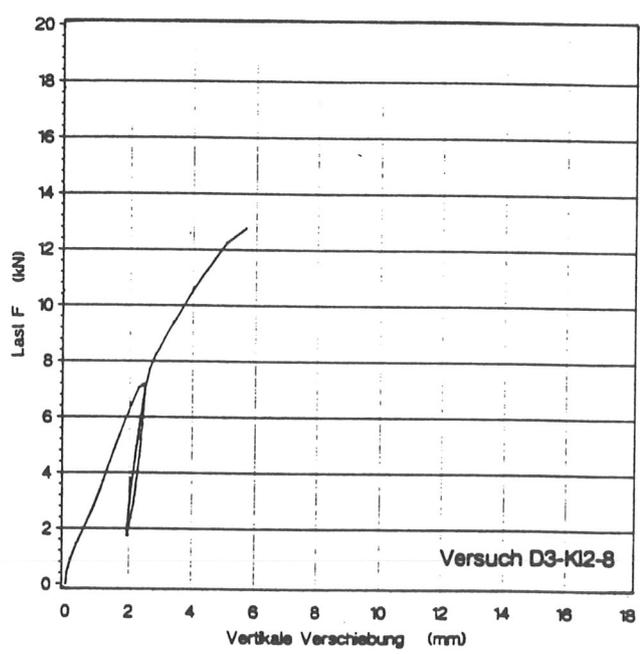
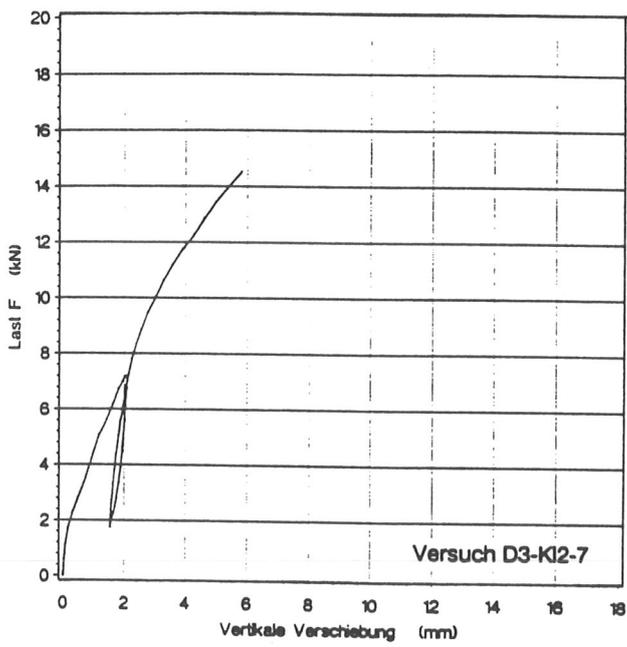
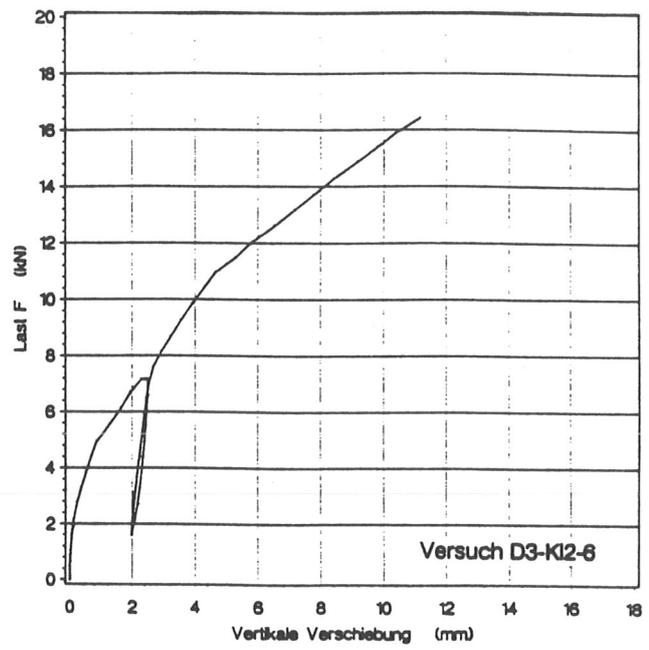
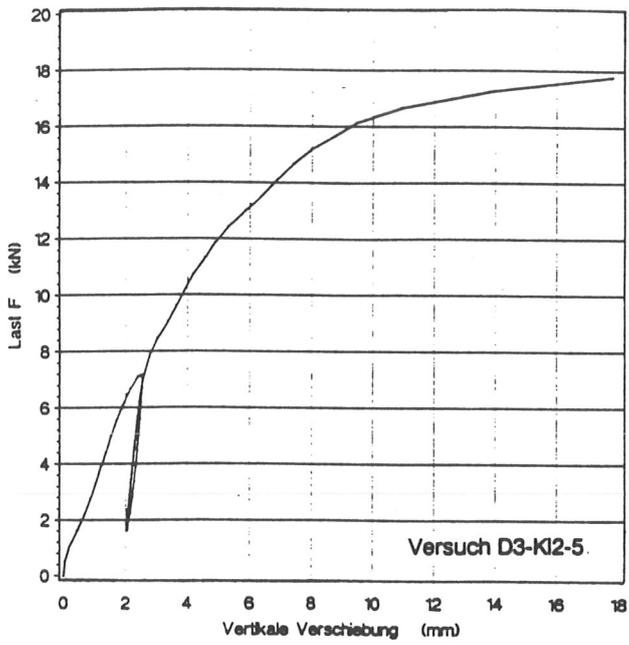


Bild 53: Last-Verschiebungsdiagramme der Versuche D3-K12-(5÷8)

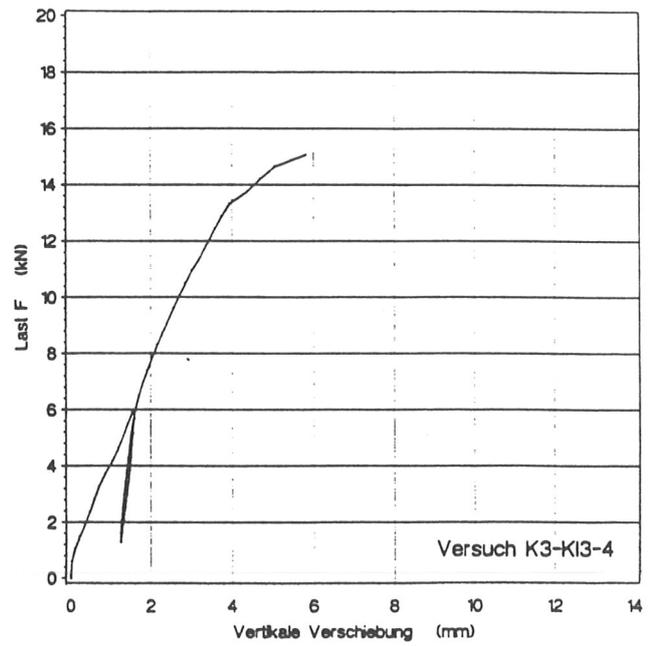
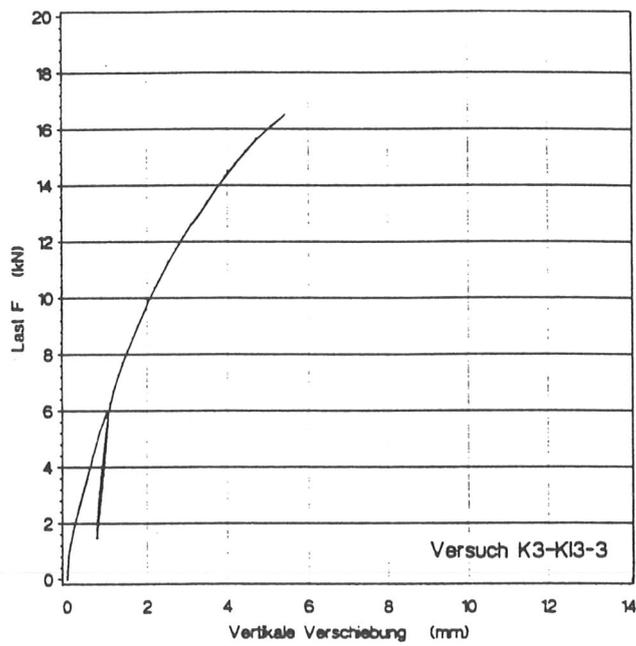
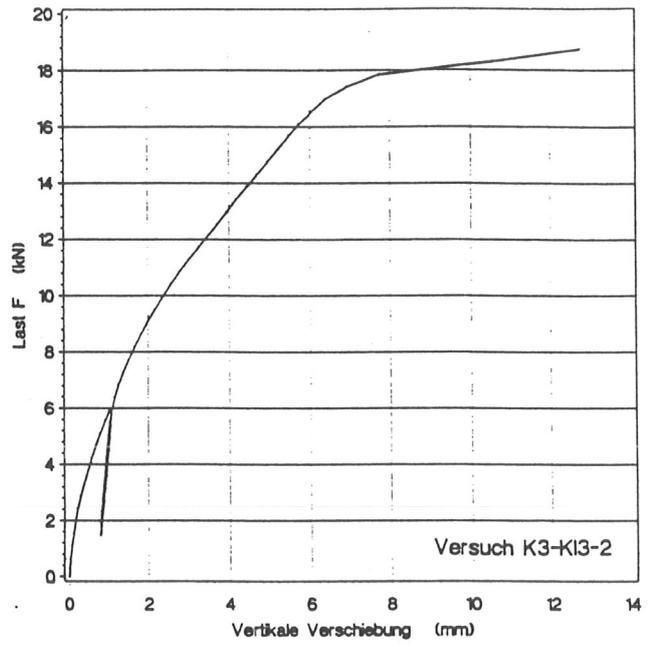
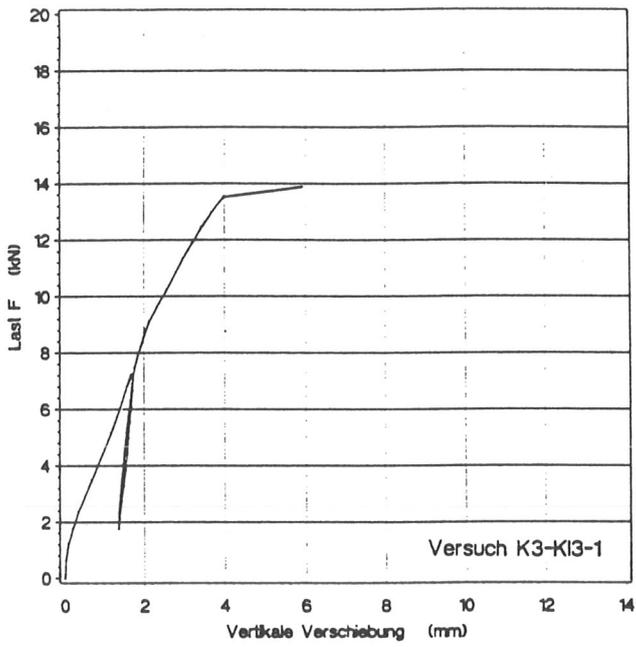


Bild 54: Last-Verschiebungsdiagramme der Versuche K3-K13-(1÷4)

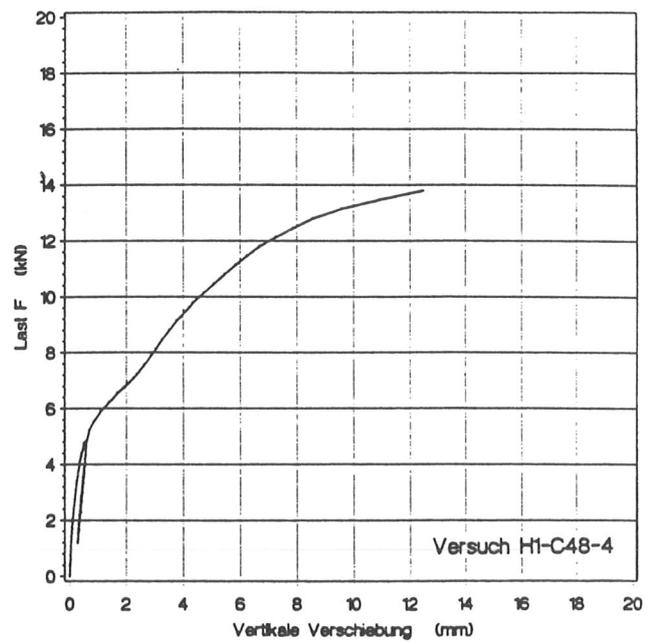
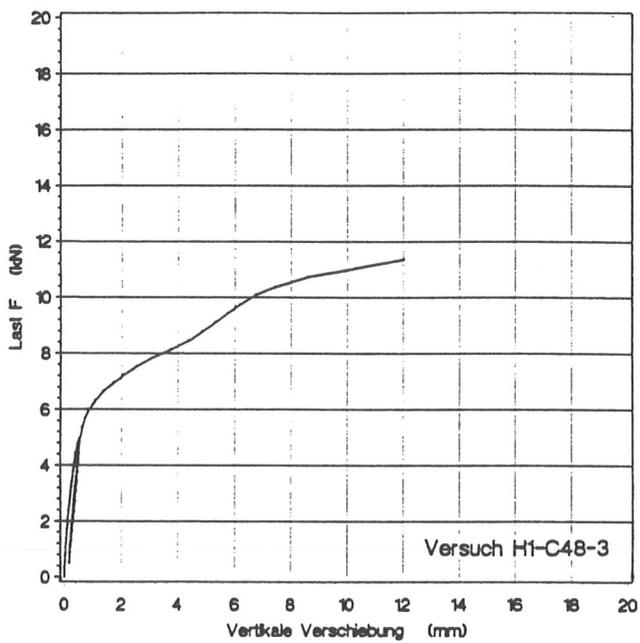
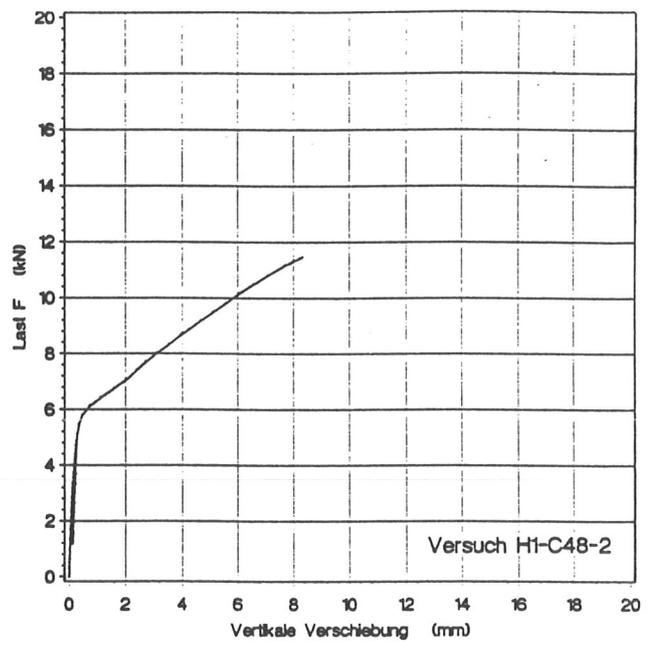
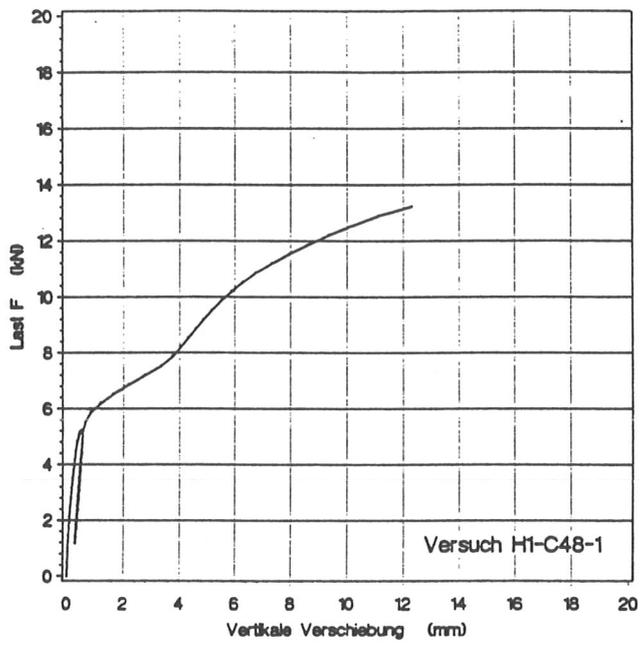


Bild 55: Last-Verschiebungsdiagramme der Versuche H1-C48-(1÷4)

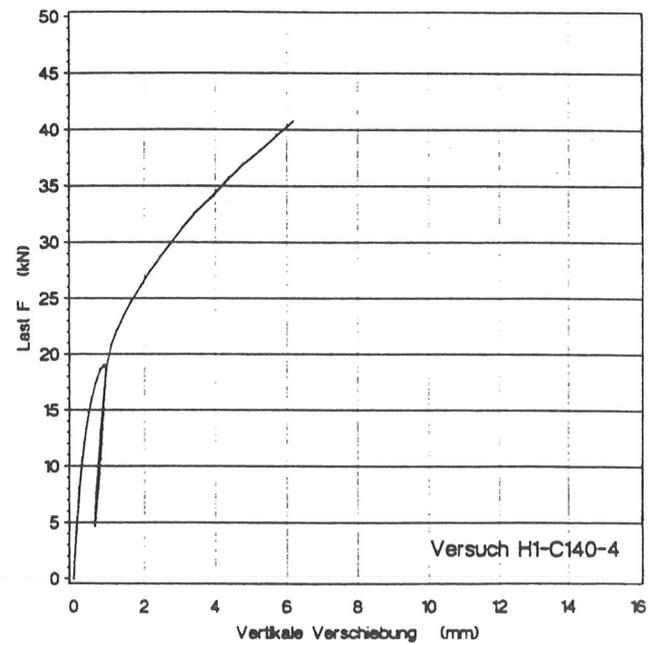
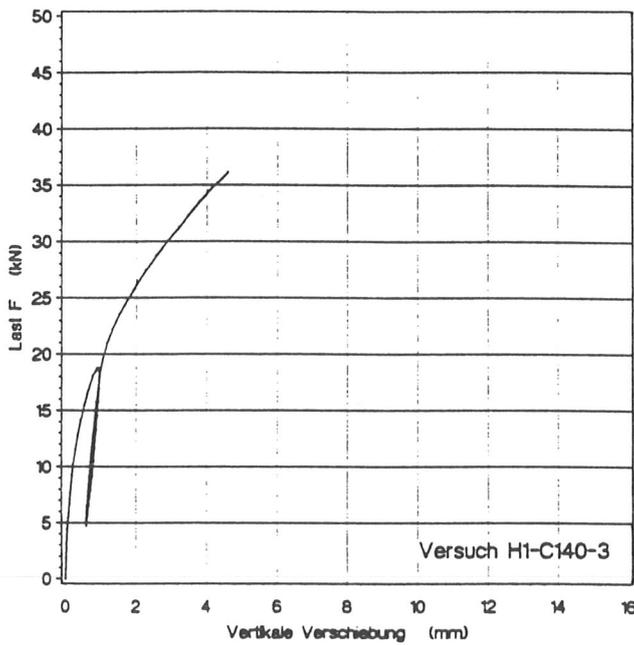
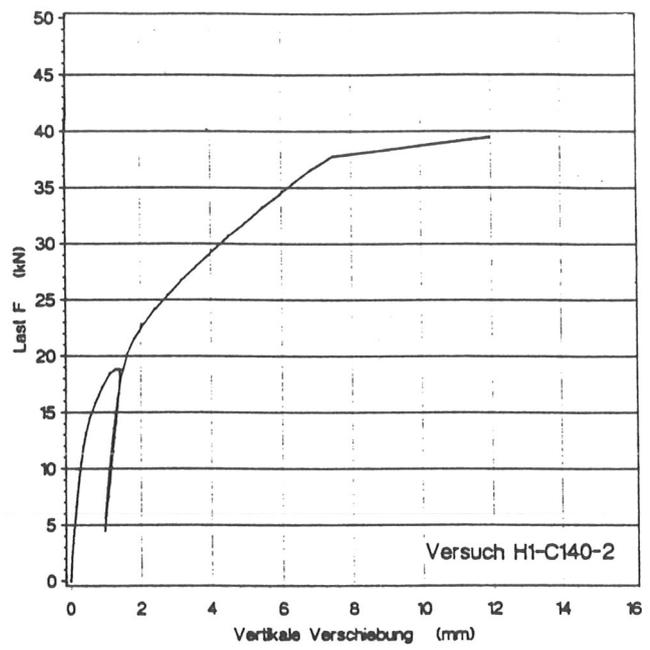
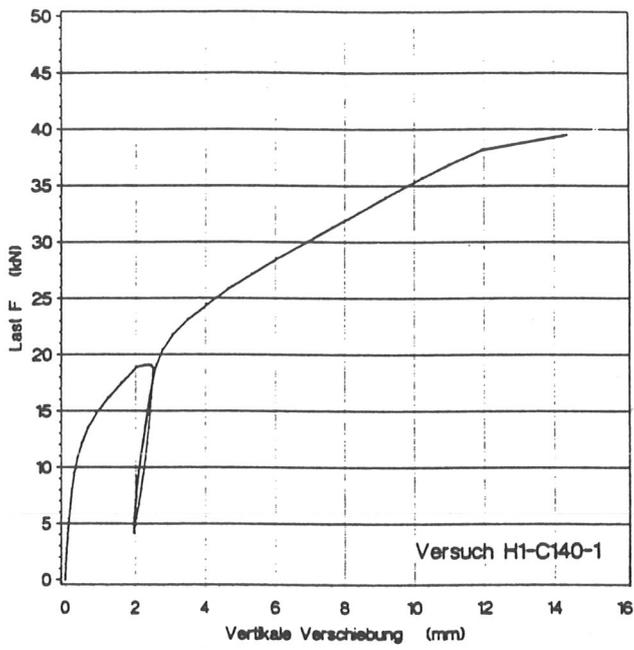


Bild 56: Last-Verschiebungsdiagramme der Versuche H1-C140-(1÷4)

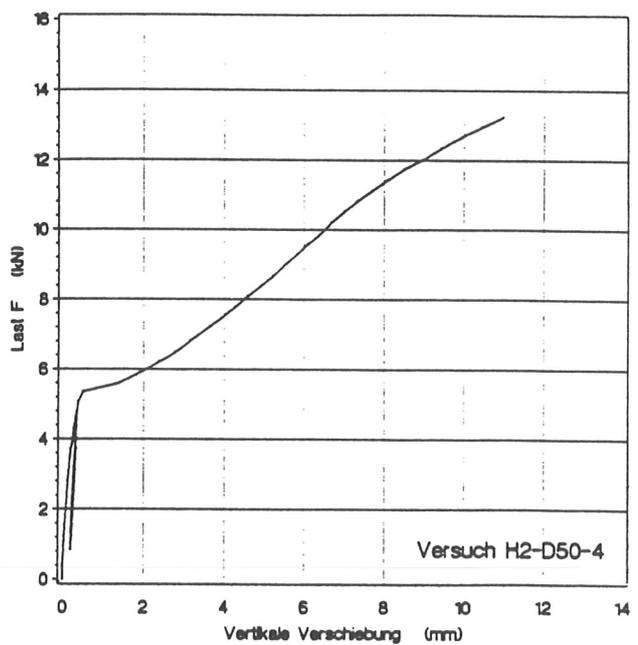
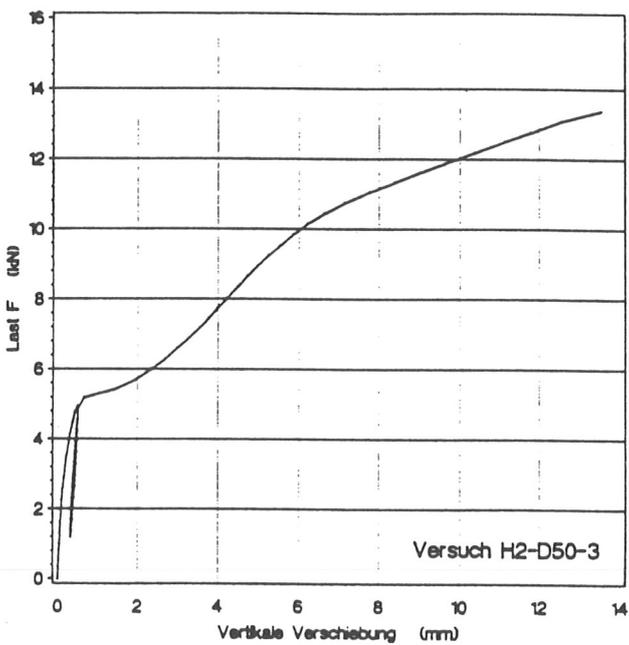
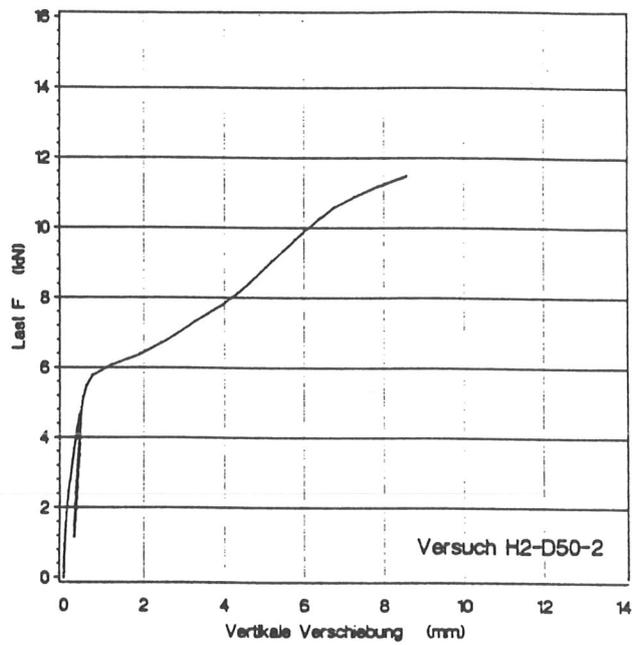
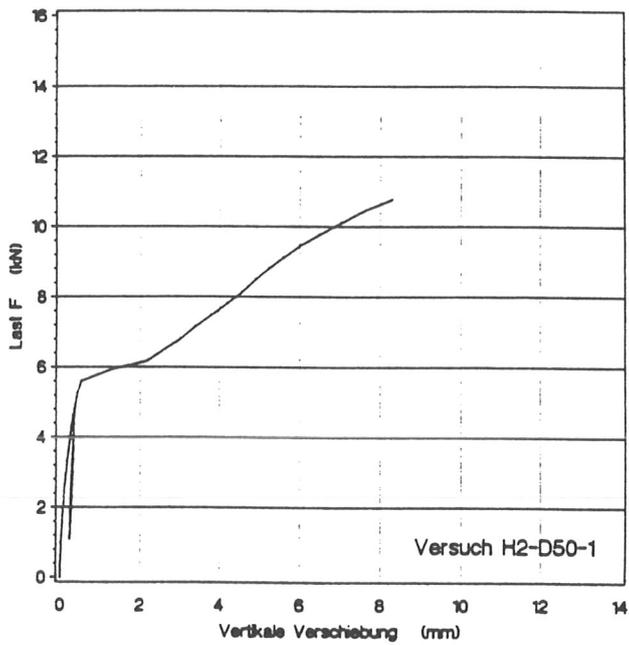


Bild 57: Last-Verschiebungsdiagramme der Versuche H2-D50-(1+4)

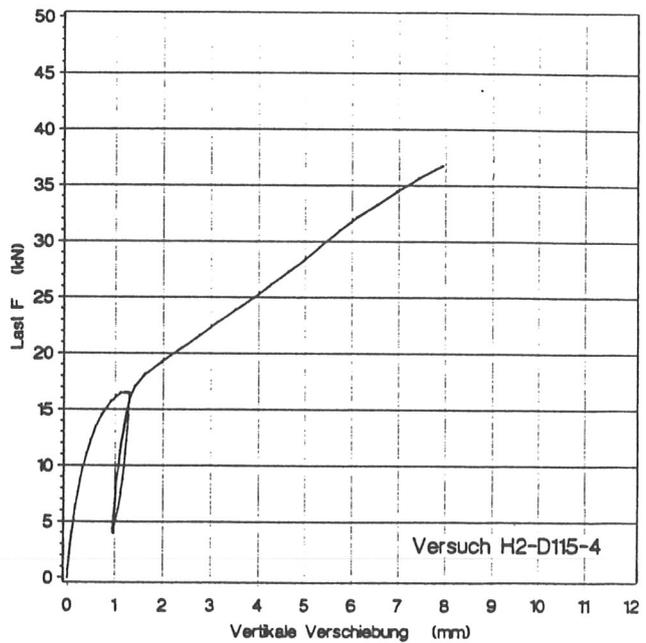
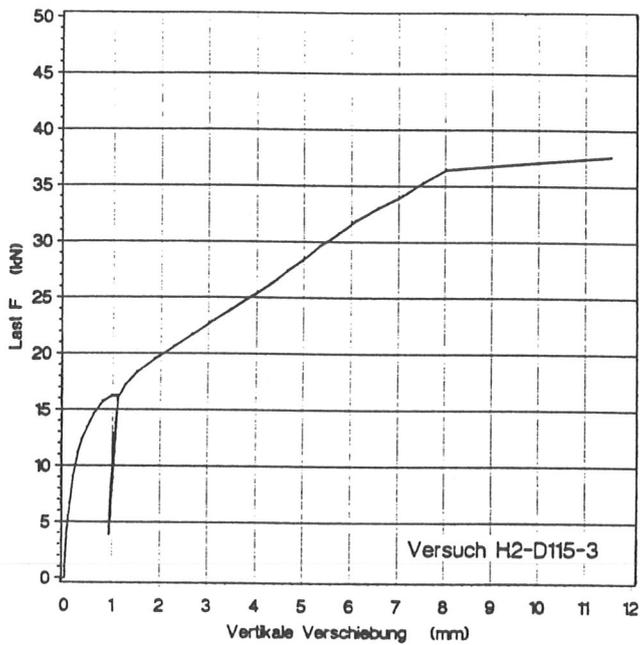
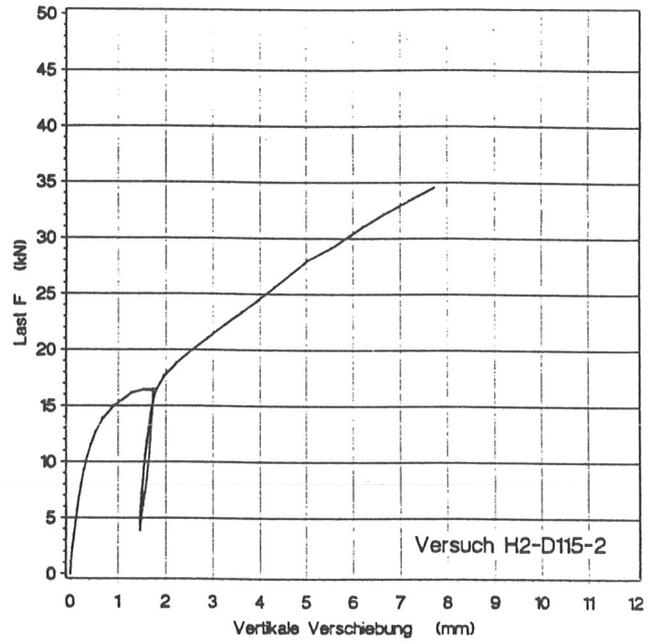
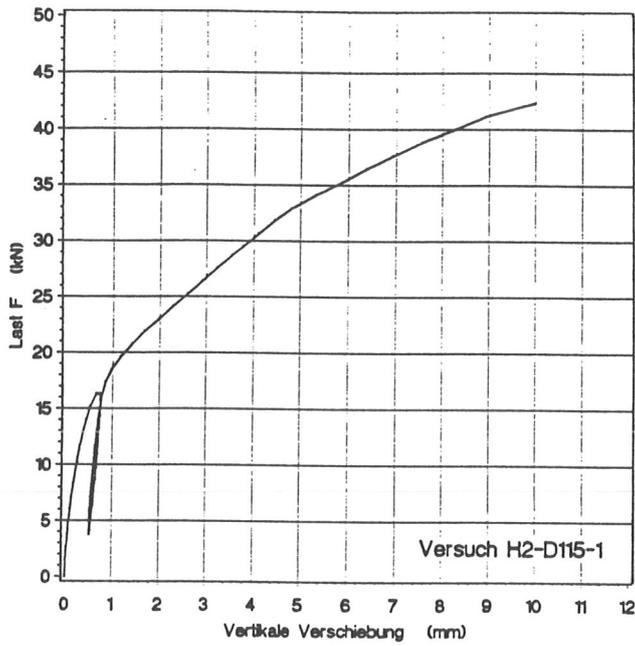


Bild 58: Last-Verschiebungsdiagramme der Versuche H2-D115-(1÷4)

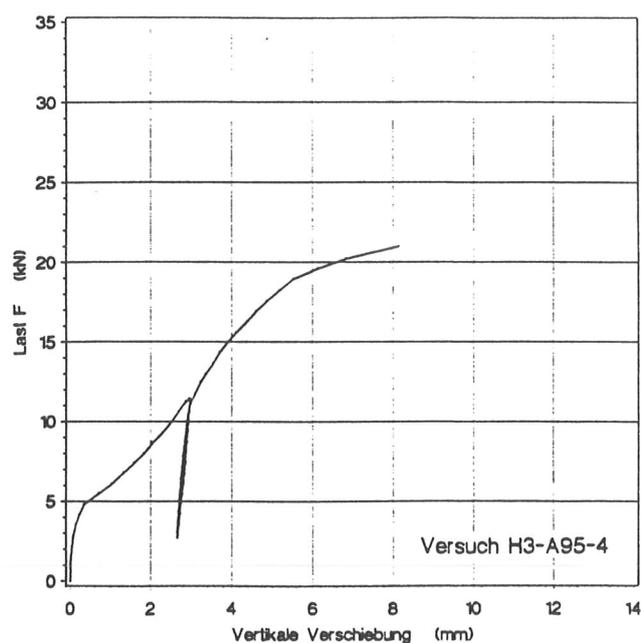
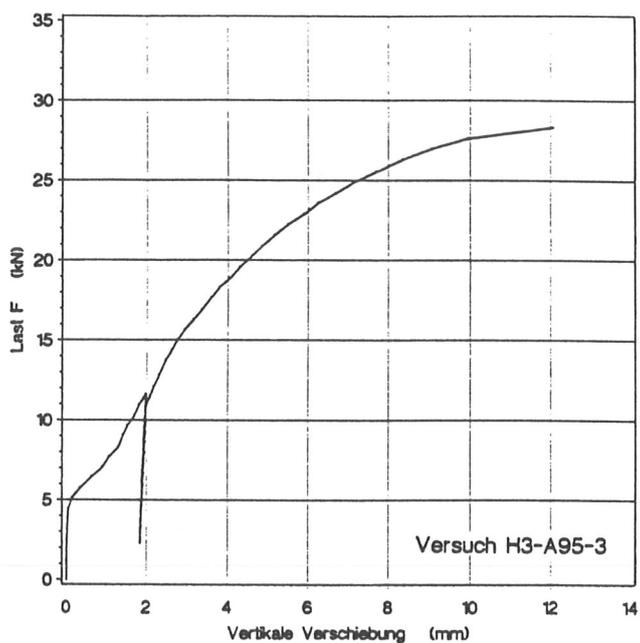
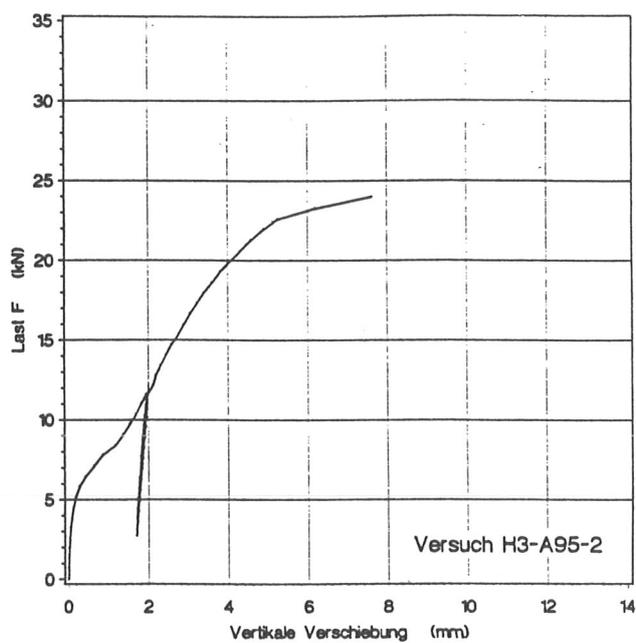
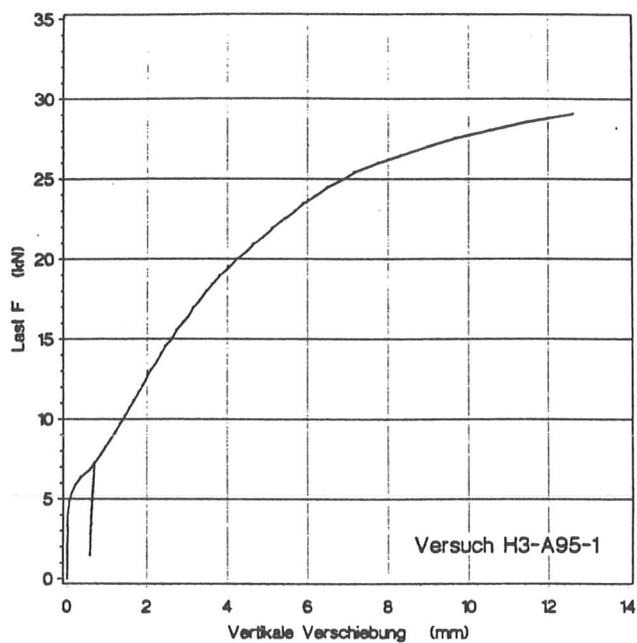


Bild 59: Last-Verschiebungsdiagramme der Versuche H3-A95-(1÷4)

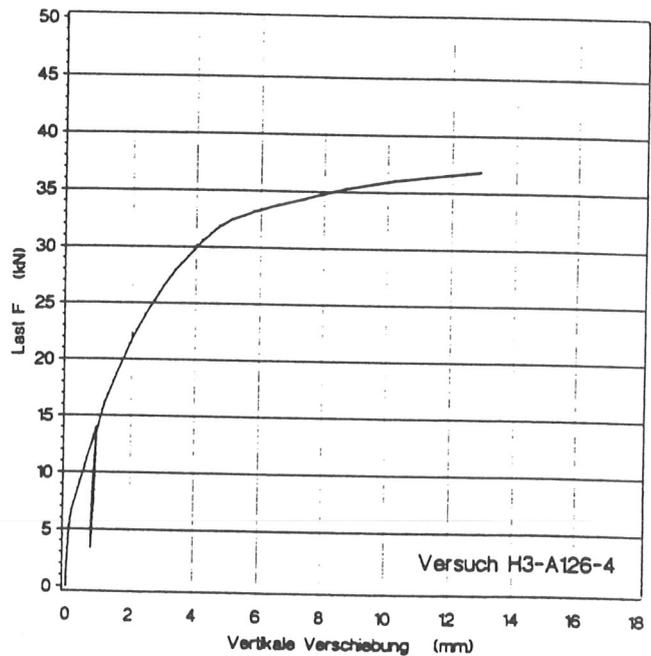
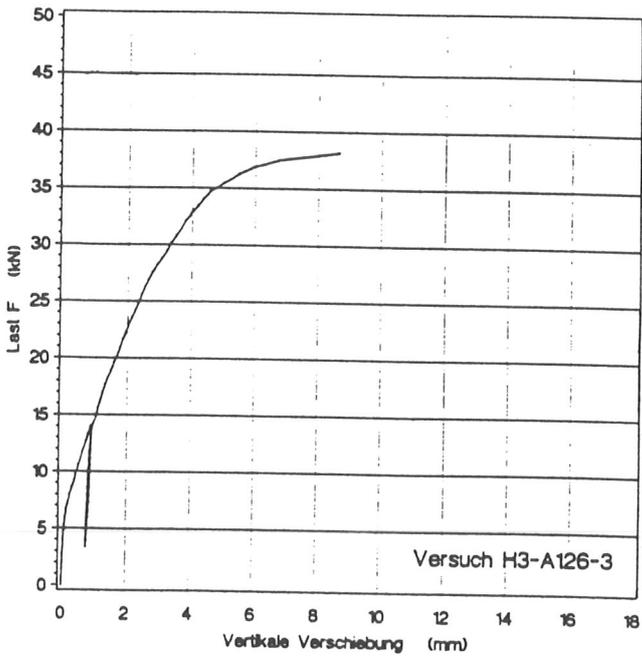
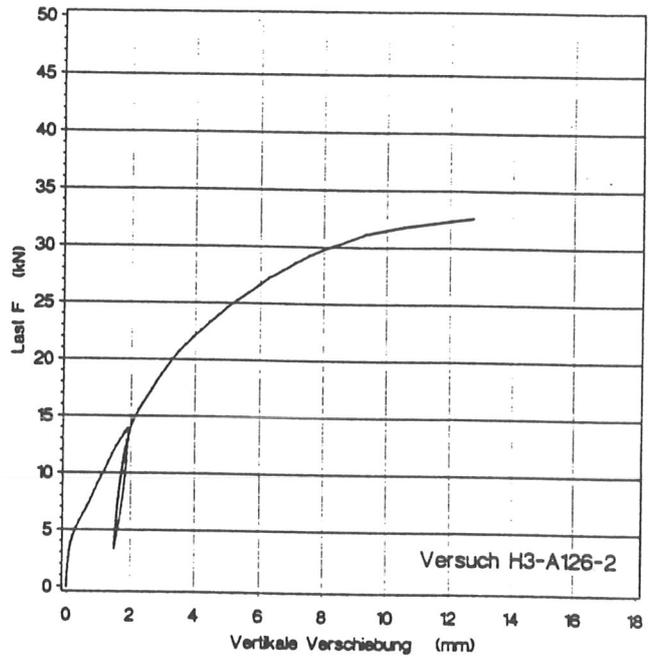
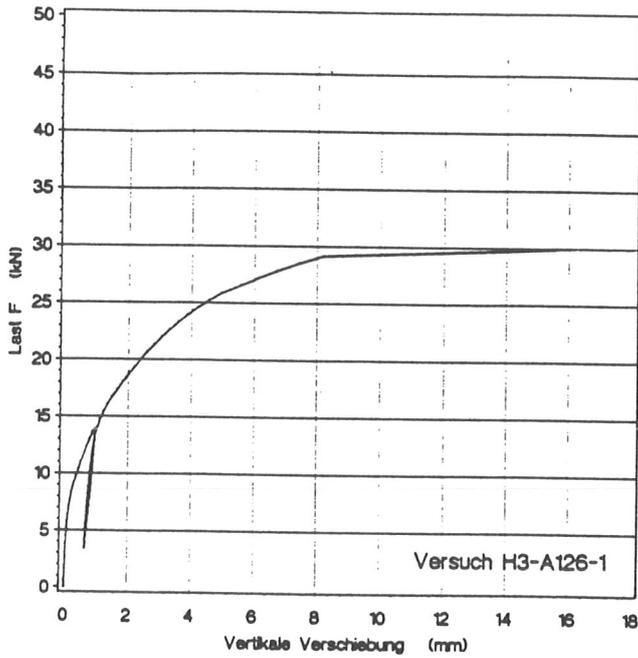


Bild 60: Last-Verschiebungsdiagramme der Versuche H3-A126-(1÷4)

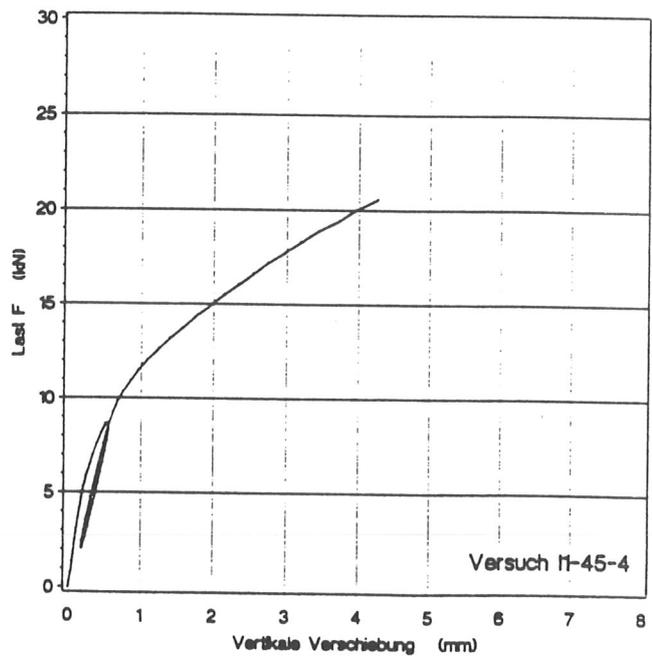
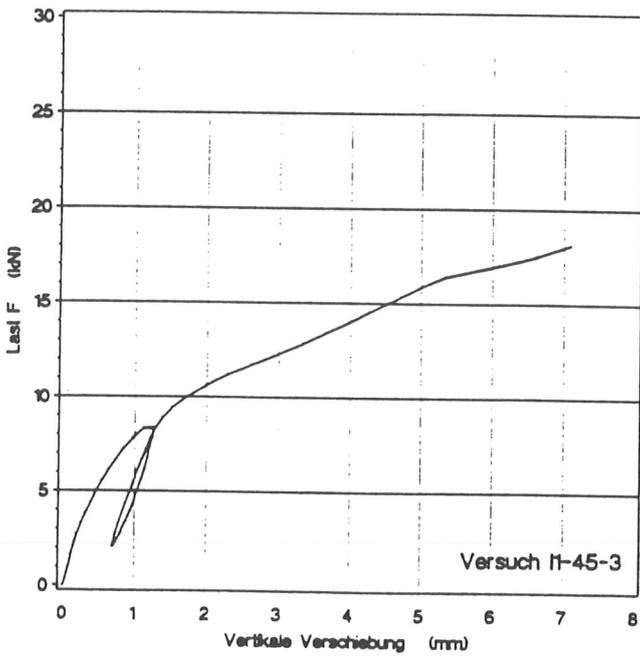
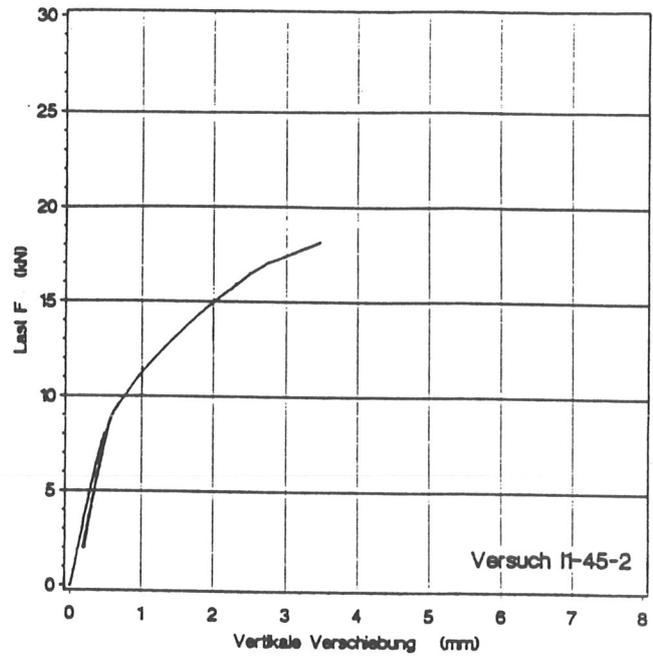
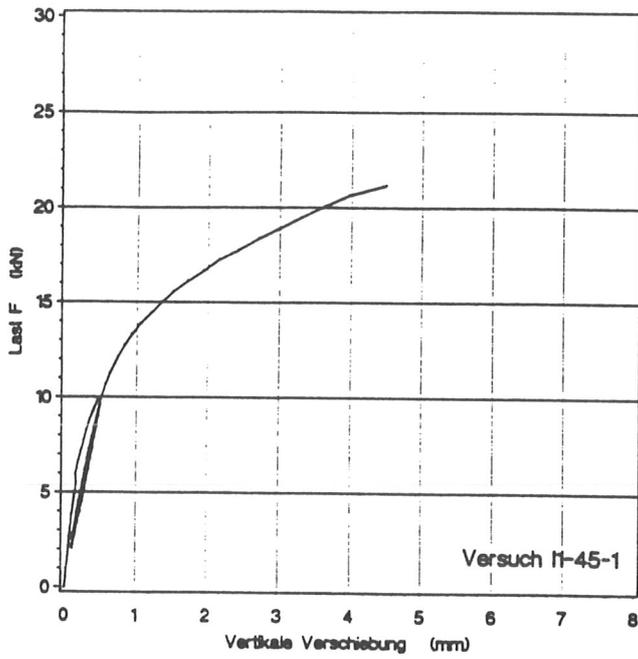


Bild 61: Last-Verschiebungsdiagramme der Versuche II-45-(1÷4)

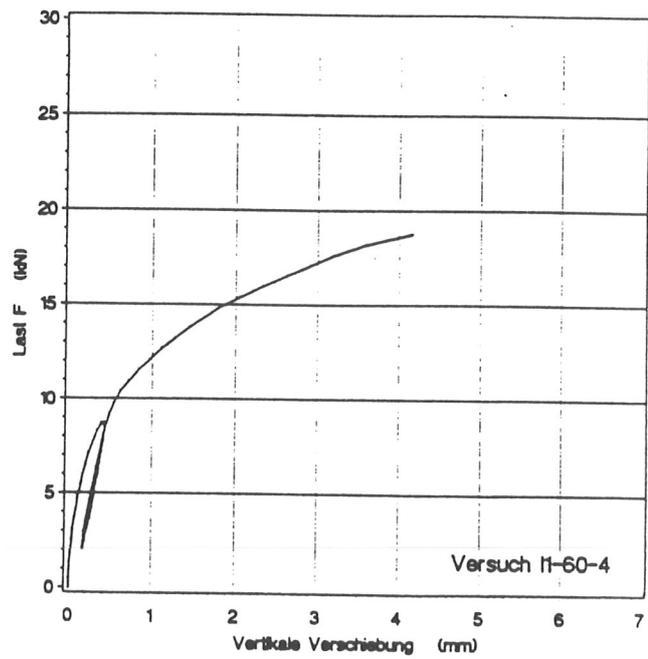
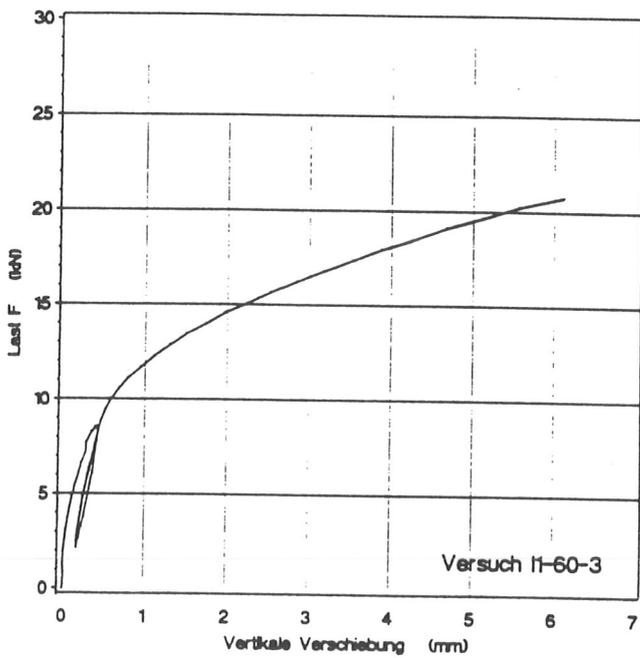
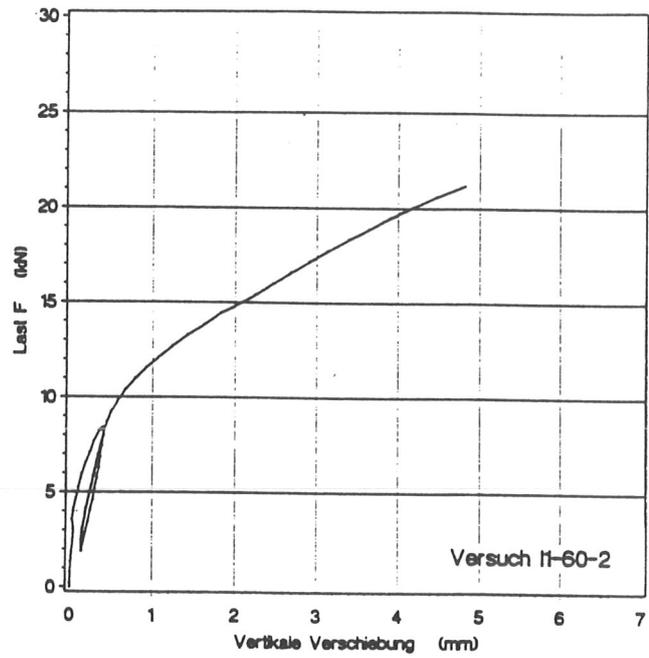
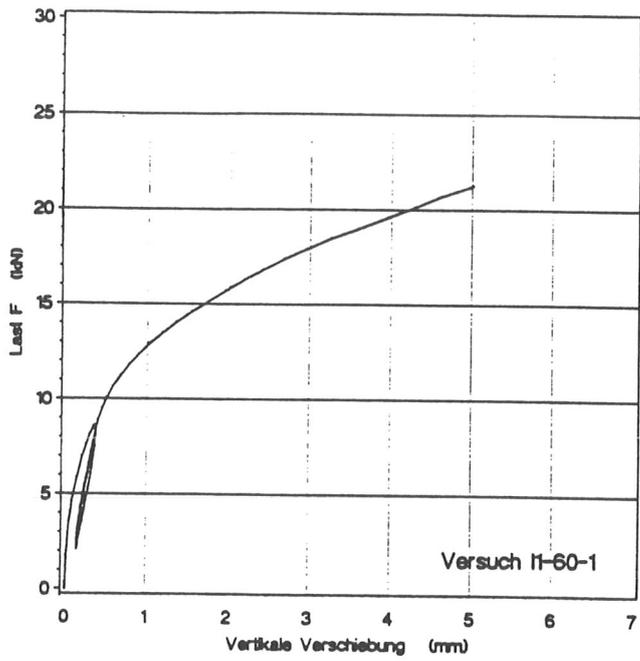


Bild 62: Last-Verschiebungsdiagramme der Versuche I1-60-(1÷4)

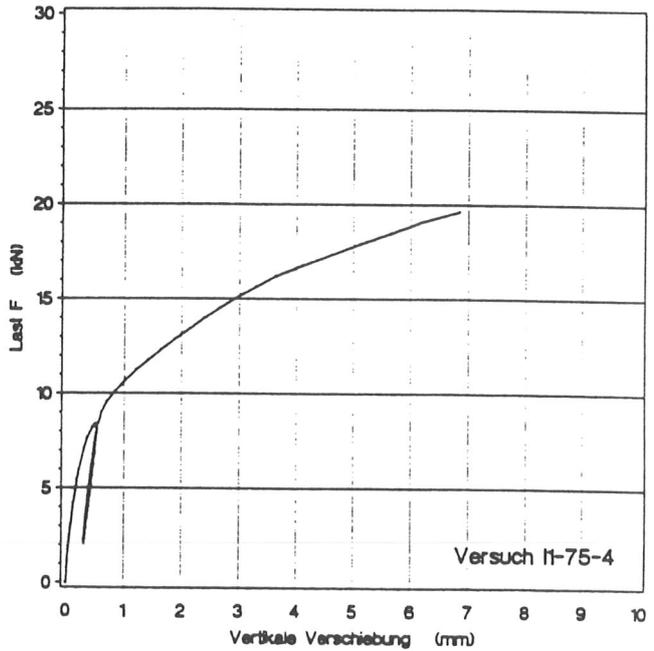
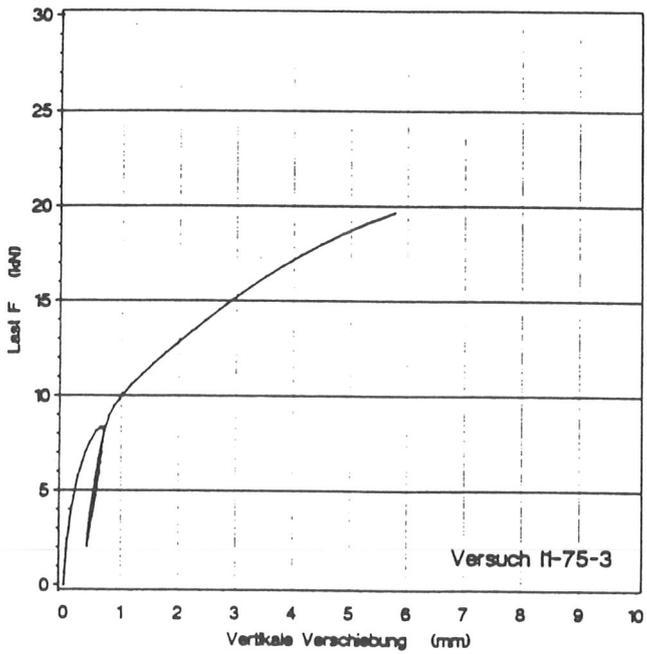
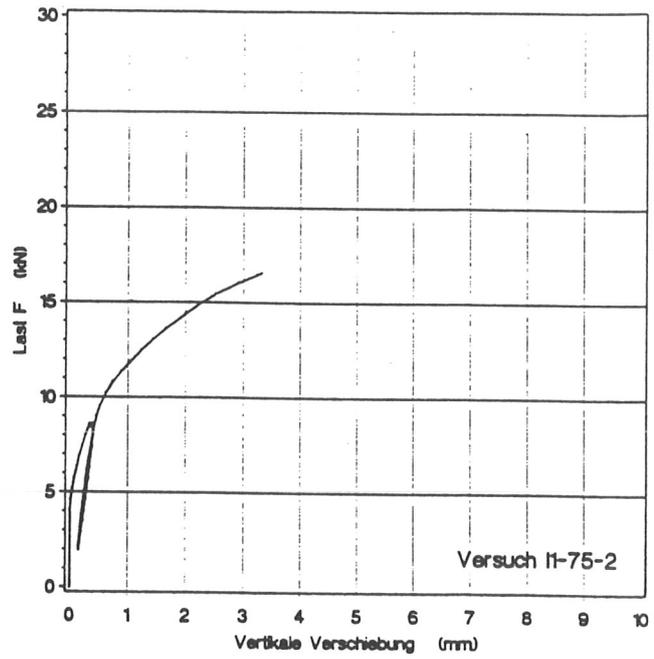
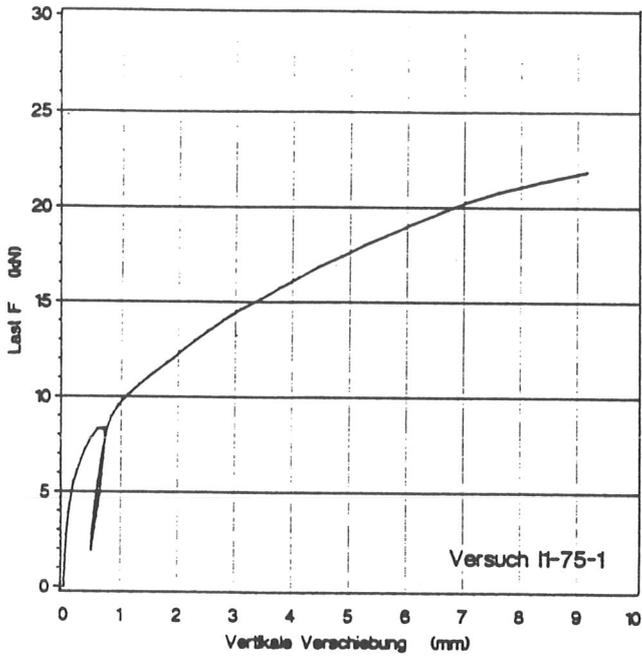


Bild 63: Last-Verschiebungsdiagramme der Versuche I1-75-(1÷4)

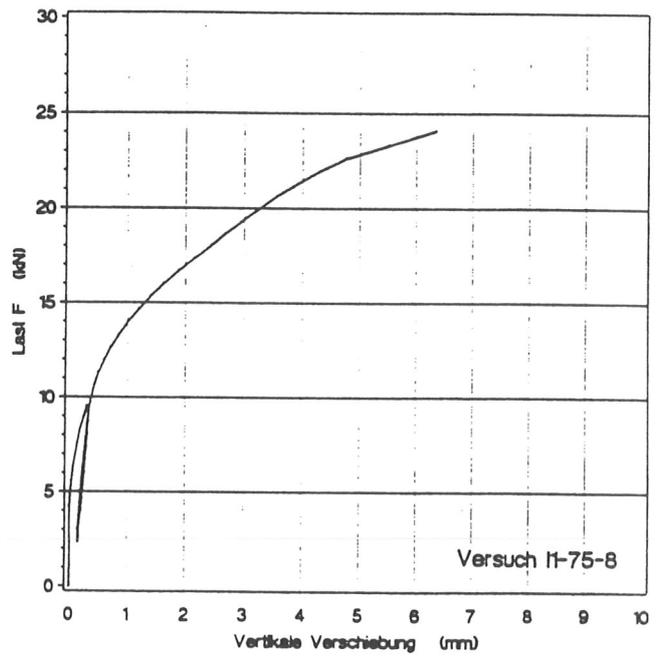
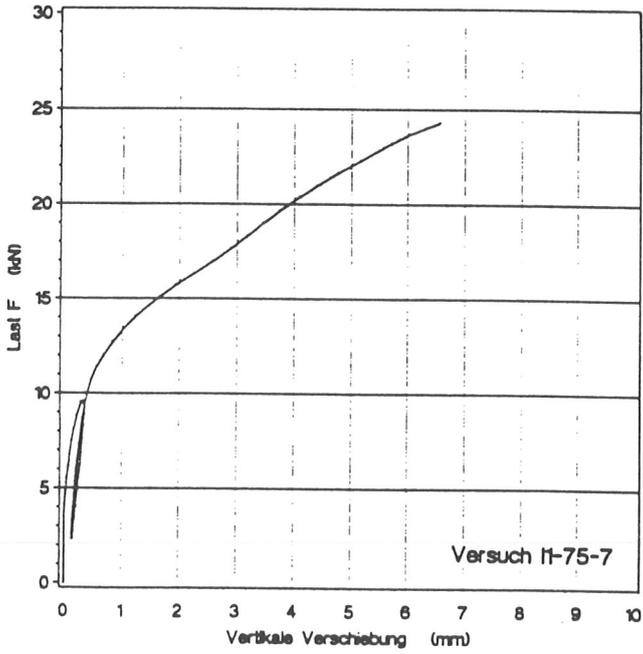
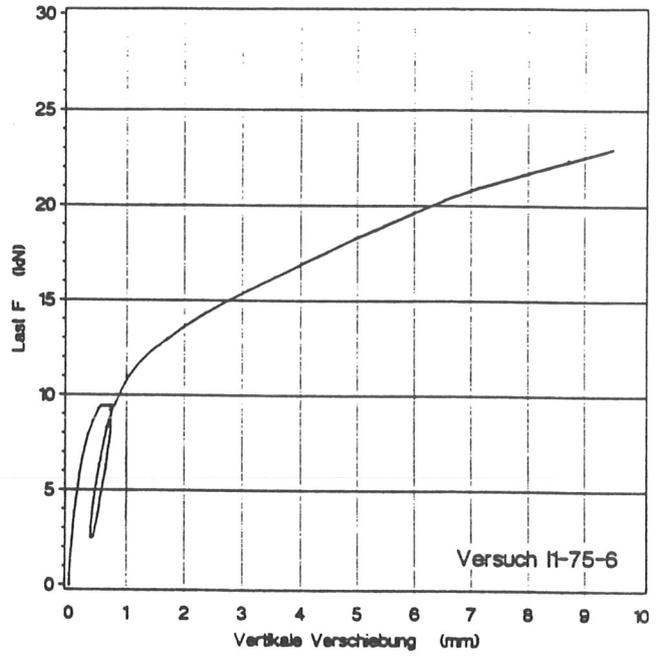
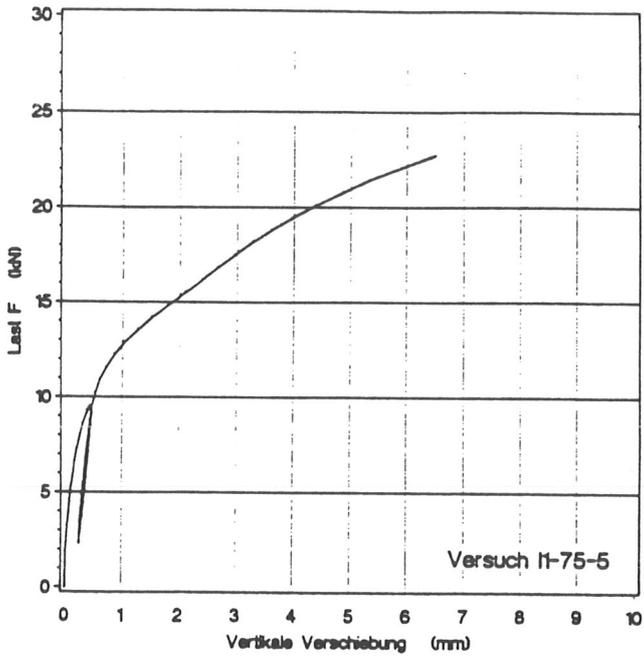


Bild 64: Last-Verschiebungsdiagramme der Versuche I1-75-(5÷8)

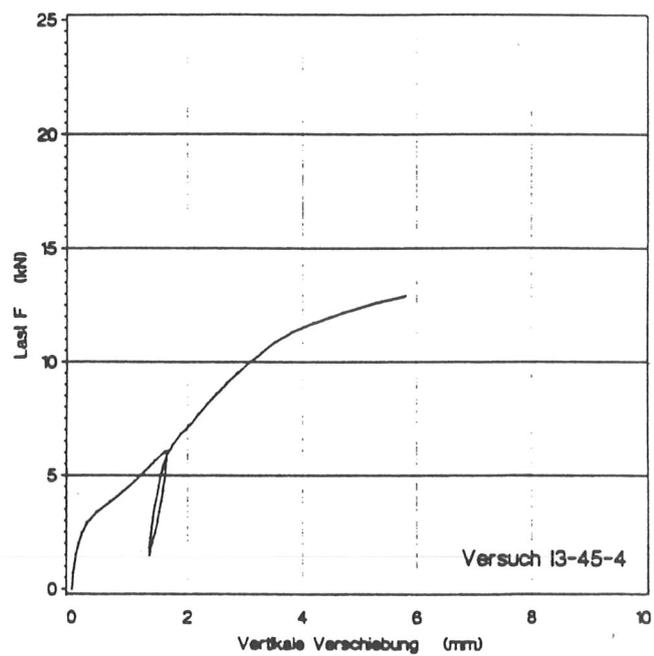
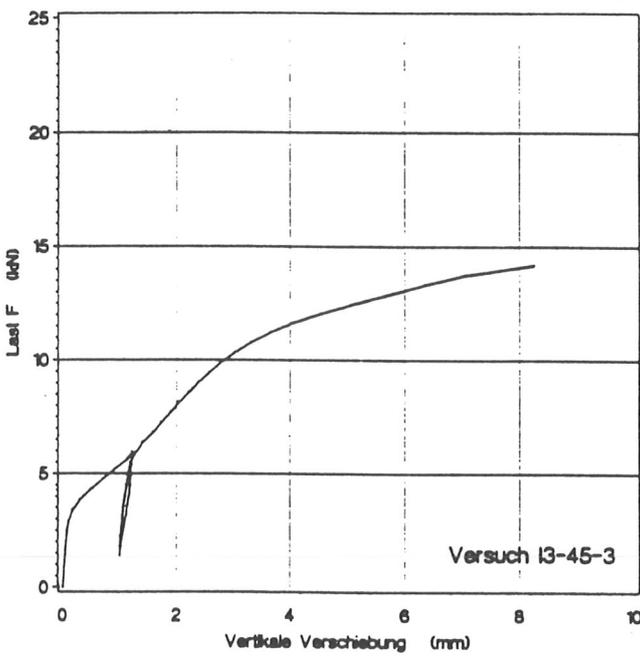
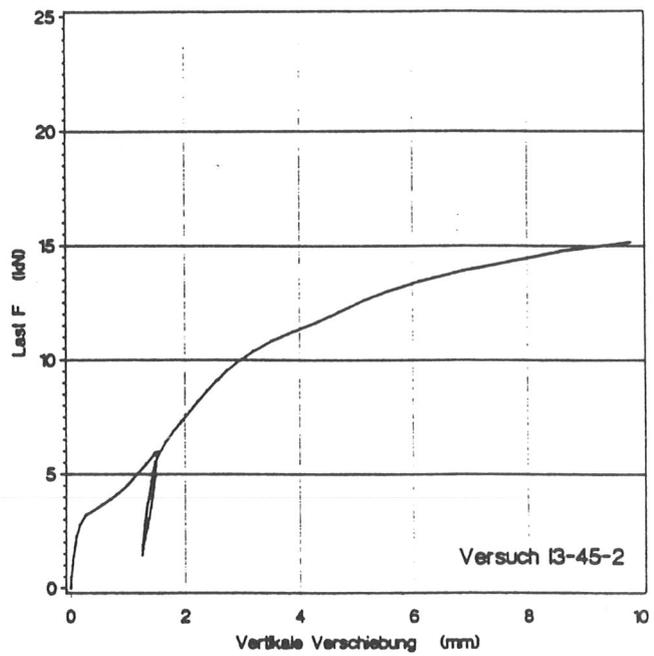
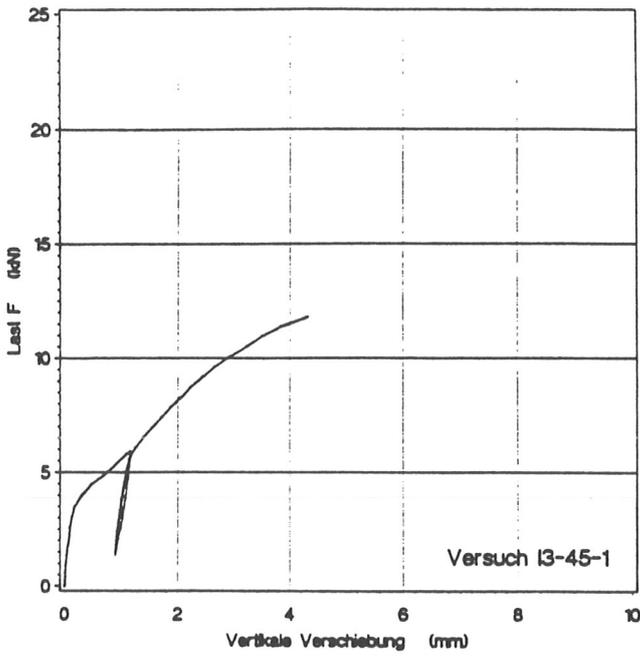


Bild 65: Last-Verschiebungsdiagramme der Versuche I3-45-(1+4)

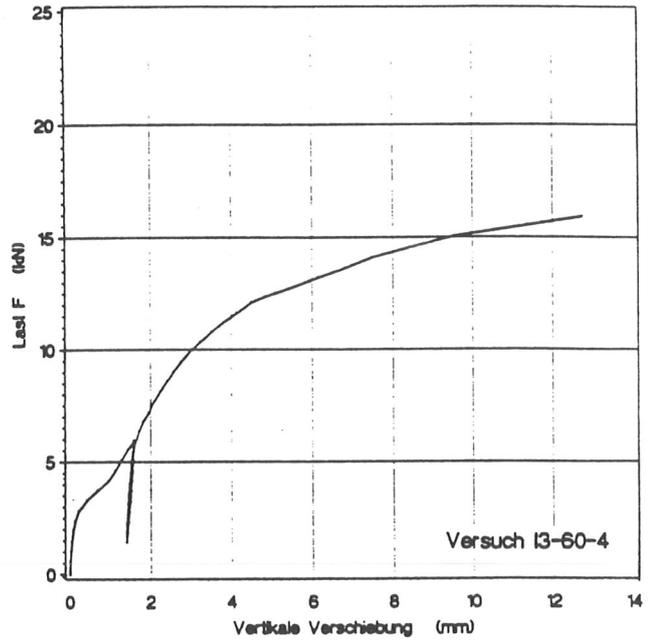
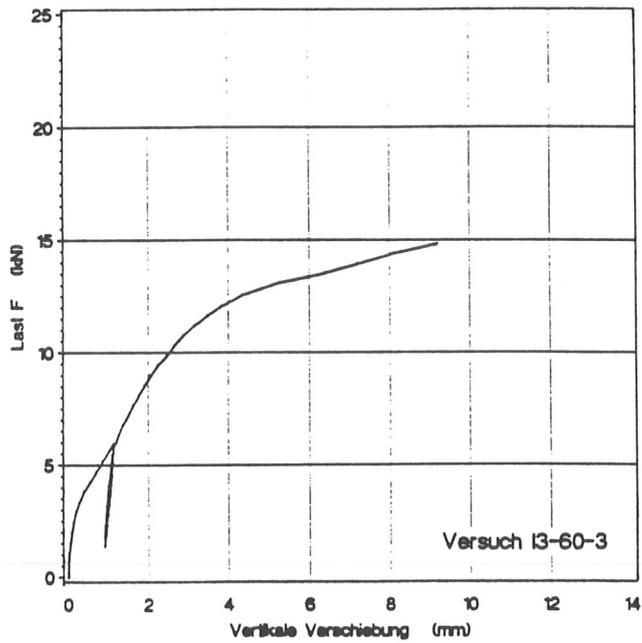
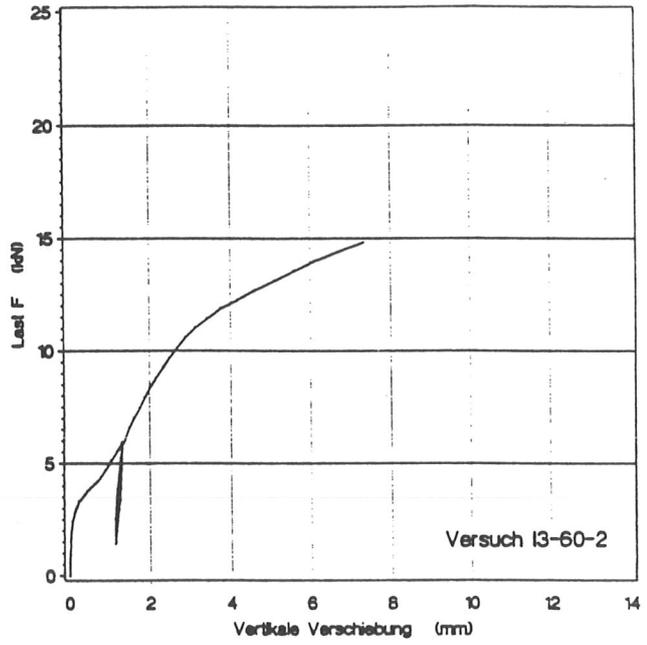
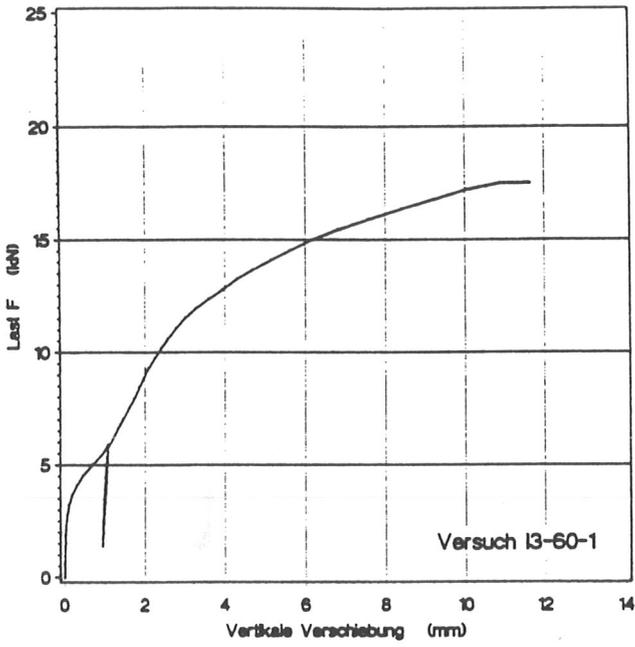


Bild 66: Last-Verschiebungsdiagramme der Versuche I3-60-(1÷4)

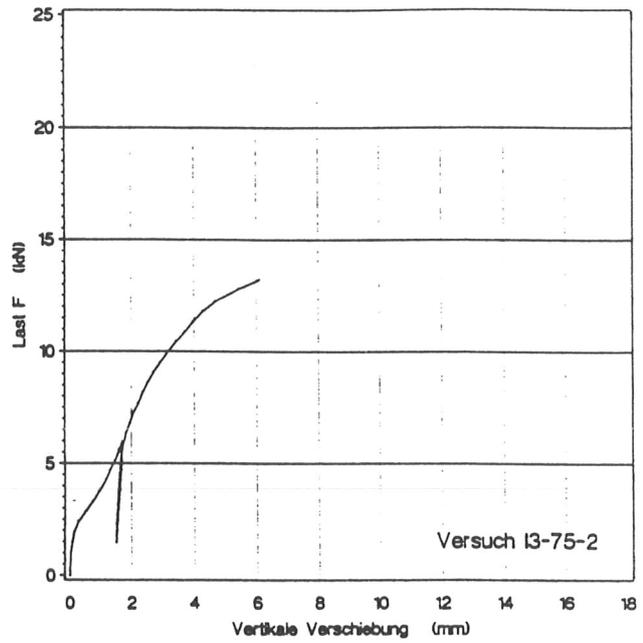
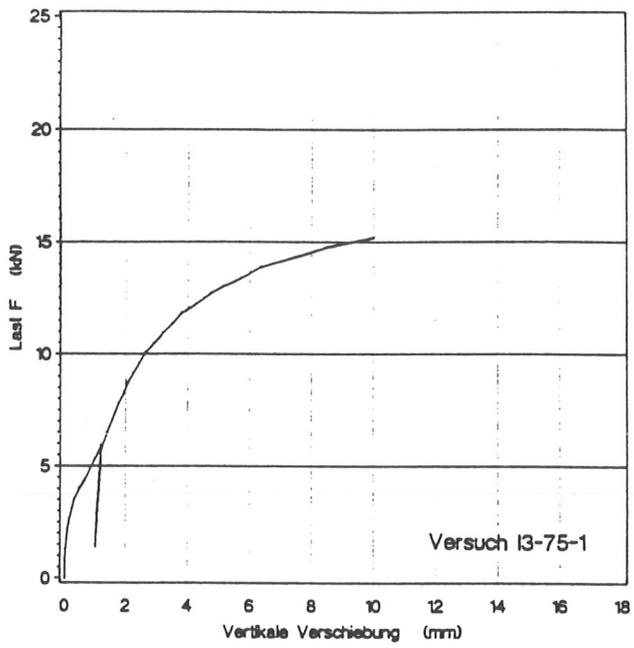


Bild 67: Last-Verschiebungsdiagramme der Versuche I3-75-(1÷2)

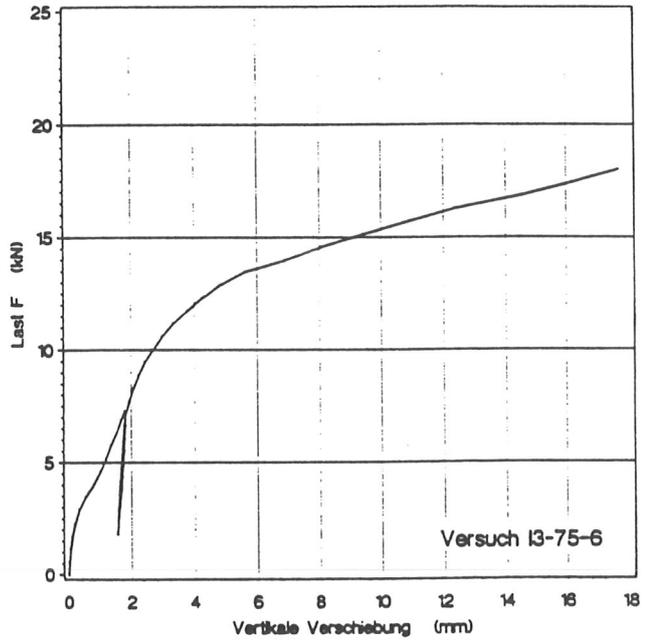
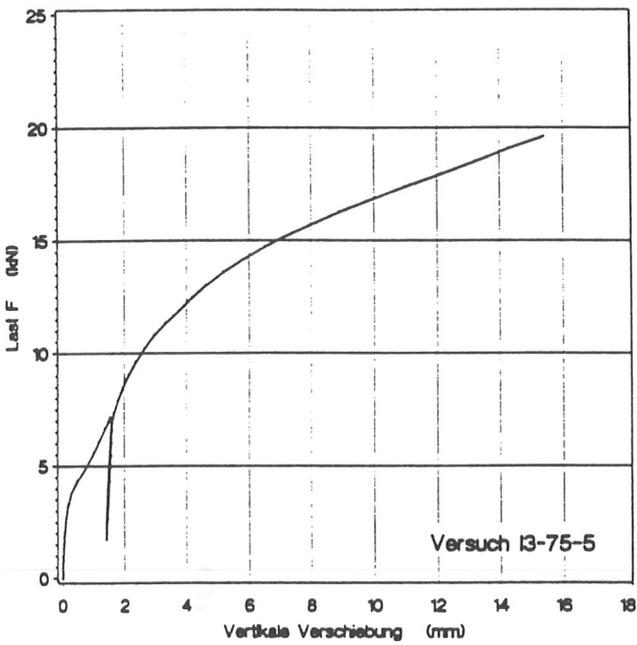
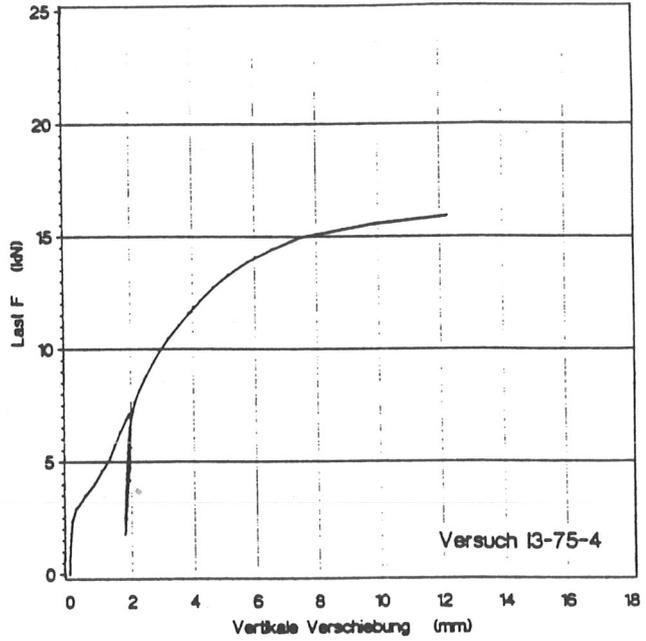
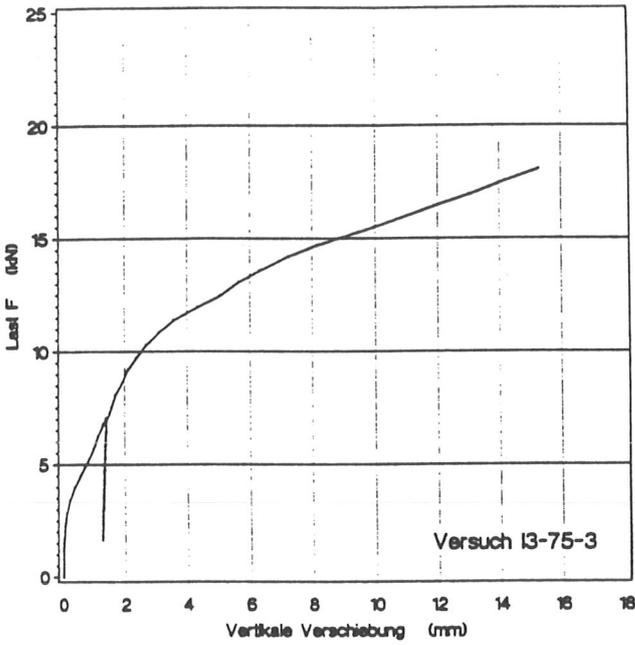


Bild 68: Last-Verschiebungsdiagramme der Versuche I3-75-(3+6)

Tabelle 13: Zusammenstellung der Verformungskennwerte der Hirnholzdübelverbindungen in Brettschichtholz:
Versuchsreihe A

Versuch	v_i [mm]	$v_{i,mod}$ [mm]	v_s [mm]	v_e [mm]	$v_{0,6}$ [mm]	$v_{0,6, mod}$ [mm]	$v_{0,8}$ [mm]	$v_{0,8, mod}$ [mm]	k_i [N/mm]	k_s [N/mm]	$v_{Fmax/3}$ [mm]
1)											
A1-10d _b -5	0,32	0,36	- 0,04	0,26	1,31	1,33	3,61	3,63	32063	28500	0,29
A1-10d _b -6	0,56	0,67	- 0,11	0,37	2,59	2,64	5,51	5,56	17036	14310	0,51
2)											
A2-10d _b -5	0,19	0,20	- 0,01	0,15	0,34	0,34	1,01	1,01	50421	47900	0,15
A2-10d _b -6	0,28	0,31	- 0,03	0,26	0,59	0,60	1,96	1,97	34000	31044	0,21

1) Die Verformungskennwerte der Versuche A1-5d_b-(1÷ 4), A1-7,5d_b-(1÷ 4) und A1-10d_b-(1÷ 4) werden nicht angegeben, da in der Versuchstreihe A die Meßeinrichtungen optimiert wurden und sich somit keine vergleichbaren Verformungsmessungen ergaben.

2) Die Verformungskennwerte der Versuche A2-5d_b-(1÷ 4), A2-7,5d_b-(1÷ 4) und A2-10d_b-(1÷ 4) werden nicht angegeben, da in der Versuchstreihe A die Meßeinrichtungen optimiert wurden und sich somit keine vergleichbaren Verformungsmessungen ergaben.

Tabelle 14: Zusammenstellung der Verformungskennwerte der Hirnholzdübelverbindungen in Brettschichtholz:

Versuchsreihe B, Variation des Winkels φ zwischen Haupt- und Nebenträger

Versuch	v_i [mm]	$v_{i,mod}$ [mm]	v_s [mm]	v_e [mm]	$v_{0,6}$ [mm]	$v_{0,6,mod}$ [mm]	$v_{0,8}$ [mm]	$v_{0,8,mod}$ [mm]	k_i [N/mm]	k_s [N/mm]	$v_{Fmax/3}$ [mm]
B1-45-1	0,19	0,21	- 0,02	0,17	0,63	0,63	1,57	1,57	38316	34125	0,19
B1-45-2	0,15	0,16	- 0,01	0,12	0,39	0,39	0,83	0,83	47733	44750	0,13
B1-45-3	0,32	0,37	- 0,05	0,25	0,93	0,96	1,97	2,00	22469	19259	0,29
B1-45-4	0,25	0,28	- 0,03	0,20	0,68	0,69	1,57	1,58	28640	25571	0,22
B1-60-1	0,10	0,15	-0,05	0,09	0,52	0,57	1,33	1,38	72200	49227	0,11
B1-60-2	0,09	0,16	-0,07	0,08	0,79	0,86	2,01	2,08	79556	44750	0,10
B1-60-3	0,16	0,17	-0,01	0,15	0,28	0,28	0,62	0,62	45000	41539	0,11
B1-60-4	0,14	0,17	-0,03	0,14	0,50	0,52	1,45	1,47	51000	41192	0,14
B1-75-1	- 0,02	0,08	- 0,10	0,13	0,28	0,35	0,97	1,04	- ¹⁾	120000	-
B1-75-2	0,01	0,09	- 0,08	0,11	0,21	0,26	0,89	0,94	- ¹⁾	102429	-
B1-75-3	0,13	0,16	- 0,03	0,08	0,95	0,97	3,07	3,09	73769	59938	0,13
B1-75-4	0,13	0,20	- 0,07	0,12	0,37	0,43	1,03	1,09	73462	47750	0,10
B2-45-1	0,13	0,16	- 0,03	0,07	0,41	0,43	1,20	1,22	55308	44938	0,11
B2-45-2	0,19	0,23	- 0,04	0,08	0,61	0,65	1,37	1,41	37842	31721	0,18
B2-45-3	0,13	0,16	- 0,03	0,05	0,44	0,47	0,87	0,90	55077	44750	0,14
B2-45-4	0,25	0,28	- 0,03	0,17	0,64	0,65	1,32	1,33	28640	25571	0,23
B2-60-1	0,16	0,20	- 0,04	0,05	0,67	0,71	1,64	1,68	45000	36000	0,18
B2-60-2	0,38	0,48	- 0,10	0,09	0,79	0,89	1,52	1,62	18868	14938	0,37
B2-60-3	0,15	0,17	- 0,02	0,09	0,82	0,83	1,61	1,62	47933	41481	0,18
B2-60-4	0,19	0,23	- 0,04	0,07	0,62	0,66	1,28	1,32	37684	31588	0,19
B2-75-1	0,14	0,17	- 0,03	0,07	0,28	0,26	0,66	0,64	60000	48462	0,10
B2-75-2	0,27	0,33	- 0,06	0,10	0,63	0,67	1,32	1,36	31037	25140	0,22
B2-75-3	0,24	0,28	- 0,04	0,11	0,67	0,70	1,77	1,80	34958	29964	0,20
B2-75-4	0,03	0,21	- 0,18	0,03	0,09	0,26	0,41	0,58	- ¹⁾	39188	-

¹⁾ Bedingt durch die Asymmetrie wurden bei schrägen Anschlüssen auf beiden Seiten des Nebenträgers verschieden große vertikale Verschiebungen des Anschlusses gemessen, die im Anfangsbereich der Belastung auch unterschiedliche Vorzeichen haben konnten. Für die Anfangsverschiebung v_i , berechnet als Mittelwert der gemessenen entsprechenden Verschiebungen, ergaben sich dadurch z. T. sehr kleine bzw. negative Werte. Daraus folgten dann sehr große bzw. negative Werte für den Anfangsverschiebungsmodul k_i , die nicht repräsentativ für diese Anschlüsse sind.

Tabelle 15: Zusammenstellung der Verformungskennwerte der Hirnholzdübelverbindungen in Brettschichtholz:

Versuchsreihe E, Variation der Dübelgröße

Versuch	v_i [mm]	$v_{i,mod}$ [mm]	v_s [mm]	v_e [mm]	$v_{0,6}$ [mm]	$v_{0,6,mod}$ [mm]	$v_{0,8}$ [mm]	$v_{0,8,mod}$ [mm]	k_i [N/mm]	k_s [N/mm]	$v_{Fmax/3}$ [mm]
E1-C48-1	0,41	0,48	- 0,07	0,27	1,60	1,67	3,19	3,26	11707	10000	0,36
E1-C48-2	0,36	0,40	- 0,04	0,11	0,99	1,33	2,26	2,60	13333	12000	0,32
E1-C48-3	0,28	0,29	- 0,01	0,30	1,74	1,70	3,17	3,13	17071	16296	0,26
E1-C48-4	0,40	0,41	- 0,01	0,39	1,50	1,47	3,75	3,72	11825	11444	0,39
E1-C140-1	0,18	0,21	- 0,03	0,17	0,81	0,83	2,32	2,34	92722	78234	0,18
E1-C140-2	0,20	0,24	- 0,04	0,21	2,46	2,48	5,10	5,12	83400	69500	0,21
E1-C140-3	0,41	0,51	- 0,10	0,34	1,11	1,16	3,09	3,14	52342	42355	0,29
E1-C140-4	0,48	0,55	- 0,07	0,35	1,05	1,06	3,05	3,06	44583	39146	0,34
E2-D50-1	0,23	0,27	- 0,04	0,21	0,42	0,45	1,71	1,74	20870	18000	0,19
E2-D50-2	0,16	0,19	- 0,03	0,02	0,58	0,68	2,63	2,73	29563	25339	0,14
E2-D50-3	0,18	0,20	- 0,02	0,17	1,21	1,23	4,00	4,02	26556	23900	0,18
E2-D50-4	0,17	0,20	- 0,03	0,15	1,23	1,26	3,28	3,31	28000	23800	0,16
E2-D115-1	0,19	0,21	- 0,02	0,19	0,59	0,61	1,49	1,51	88421	78750	0,18
E2-D115-2	0,18	0,23	- 0,05	0,07	0,71	0,76	2,50	2,55	92444	73412	0,16
E2-D115-3	0,32	0,37	- 0,05	0,19	0,52	0,55	1,65	1,68	52500	45000	0,22
E2-D115-4	0,36	0,43	- 0,07	0,21	0,39	0,44	0,73	0,78	46278	39047	0,20

Tabelle 16: Zusammenstellung der Verformungskennwerte der Hirnholzdübelverbindungen in Brettschichtholz:

Versuchsreihe F, Variation der Anzahl der hintereinander liegenden Dübel besonderer Bauart

Versuch	v_i [mm]	$v_{i,mod}$ [mm]	v_s [mm]	v_e [mm]	$v_{0,6}$ [mm]	$v_{0,6,mod}$ [mm]	$v_{0,8}$ [mm]	$v_{0,8,mod}$ [mm]	k_i [N/mm]	k_s [N/mm]	$v_{Fmax/3}$ [mm]
F1-3-1	0,27	0,29	- 0,02	0,20	0,78	0,78	1,70	1,70	108630	99989	0,21
F1-3-2	0,48	0,55	- 0,07	0,30	1,57	1,62	3,96	4,01	67563	59323	0,38
F1-3-3	0,42	0,47	- 0,05	0,31	1,96	1,94	3,67	3,65	69167	62250	0,38
F1-3-4	0,35	0,39	- 0,04	0,27	1,20	1,20	2,69	2,69	84314	76319	0,31
F1-5-1	0,48	0,55	- 0,07	0,33	1,46	1,48	3,71	3,73	103417	90805	0,40
F1-5-2	0,32	0,37	- 0,05	0,22	1,05	1,07	2,89	2,91	156281	133955	0,27
F1-5-3	0,31	0,33	- 0,02	0,24	0,89	0,85	2,21	2,17	160548	149310	0,27
F1-5-4	0,38	0,40	- 0,02	0,28	0,92	0,90	2,35	2,33	133816	127125	0,30
F2-3-1	0,19	0,20	- 0,01	0,16	0,25	0,25	0,43	0,43	148368	140950	0,12
F2-3-2	0,21	0,21	0,00	0,17	0,38	0,37	0,86	0,85	135476	133359	0,17
F2-3-3	0,21	0,21	0,00	0,17	0,30	0,29	0,50	0,49	134571	132469	0,14
F2-3-4	0,15	0,16	- 0,01	0,11	0,26	0,26	0,65	0,65	192200	180188	0,10
F2-5-1	0,29	0,29	0,00	0,23	0,56	0,54	1,58	1,56	166621	164727	0,23
F2-5-2	0,22	0,23	- 0,01	0,17	0,51	0,50	1,31	1,30	220909	214412	0,19
F2-5-3	0,20	0,21	- 0,01	0,15	0,47	0,47	1,11	1,11	241600	226500	0,17
F2-5-4	0,33	0,37	- 0,04	0,27	0,79	0,80	2,53	2,54	147152	130071	0,27

Tabelle 17: Zusammenstellung der Verformungskennwerte der Hirnholzdübelverbindungen in Nadelvollholz:
Versuchsreihen C, D und K, Variation der Holzfeuchten

Versuch	v_i [mm]	$v_{i,mod}$ [mm]	v_s [mm]	v_e [mm]	$v_{0,6}$ [mm]	$v_{0,6,mod}$ [mm]	$v_{0,8}$ [mm]	$v_{0,8,mod}$ [mm]	k_i [N/mm]	k_s [N/mm]	$v_{Fmax/3}$ [mm]
C1-K11-1	0,40	0,45	- 0,05	0,42	3,43	3,38	7,31	7,26	24000	21177	0,42
C1-K11-2	0,45	0,53	- 0,08	0,44	3,17	3,20	5,61	5,64	21333	18000	0,44
C1-K11-3	0,78	0,89	- 0,11	0,51	1,67	1,67	3,62	3,62	12256	10702	0,60
C1-K11-4	0,39	0,43	- 0,04	0,30	2,29	2,29	5,48	5,48	24385	22289	0,39
D1-K12-1 ¹⁾	0,28	0,35	- 0,07	0,23	0,81	0,87	1,83	1,89	33750	27260	0,25
D1-K12-3 ¹⁾	0,29	0,33	- 0,04	0,21	1,08	1,09	2,46	2,47	32759	28500	0,28
D1-K12-5 ¹⁾	0,27	0,32	- 0,05	0,19	1,82	1,85	4,59	4,62	35444	29906	0,30
D1-K12-7 ¹⁾	0,42	0,52	- 0,10	0,26	1,65	1,71	3,98	4,04	24000	19385	0,39
D1-K12-2	1,56	1,96	- 0,40	0,59	4,23	4,43	6,83	7,03	6109	4862	1,52
D1-K12-4	2,11	2,55	- 0,44	0,85	5,36	5,58	8,85	9,07	4521	3746	2,01
D1-K12-6	0,80	0,97	- 0,17	0,43	3,62	3,70	6,38	6,46	11963	9832	0,87
D1-K12-8	0,84	1,05	- 0,21	0,51	5,15	5,29	9,20	9,34	11381	9076	0,96
K1-K13-1	0,88	1,13	- 0,25	0,35	2,09	2,22	4,13	4,26	10875	8444	0,69
K1-K13-2	0,86	1,13	- 0,27	0,32	2,50	2,41	4,51	4,42	11140	8453	0,66
K1-K13-3	0,97	1,29	- 0,32	0,51	1,10	1,24	2,08	2,22	12495	9371	0,52
K1-K13-4	0,83	1,03	- 0,20	0,38	2,60	2,68	4,79	4,87	11506	9302	0,69

¹⁾ Schraubenbolzen wurde vor dem Versuch nachgespannt.

Tabelle 17: Fortsetzung

Zusammenstellung der Verformungskennwerte der Hirnholzdübelverbindungen
in Nadelvollholz:

Versuchsreihen C, D und K, Variation der Holzfeuchten

Versuch	v_i [mm]	$v_{i,mod}$ [mm]	v_s [mm]	v_e [mm]	$v_{0,6}$ [mm]	$v_{0,6,mod}$ [mm]	$v_{0,8}$ [mm]	$v_{0,8,mod}$ [mm]	k_i [N/mm]	k_s [N/mm]	$v_{Fmax/3}$ [mm]
C2-K11-1	0,20	0,24	- 0,04	0,09	1,72	1,75	3,41	3,44	47650	39708	0,21
C2-K11-2	0,37	0,45	- 0,08	0,13	2,10	2,12	3,68	3,70	25838	21088	0,33
C2-K11-3	0,80	1,00	- 0,20	0,18	4,41	4,19	6,32	6,10	11875	9500	0,75
C2-K11-4	0,27	0,33	- 0,06	0,09	2,47	2,50	4,26	4,29	35407	28680	0,23
D2-K12-1 ¹⁾	0,81	1,01	- 0,20	0,37	2,80	2,81	5,25	5,26	11778	9415	0,66
D2-K12-3 ¹⁾	0,73	0,93	- 0,20	0,23	0,93	1,02	1,71	1,80	13041	10200	0,43
D2-K12-5 ¹⁾²⁾	0,17	0,19	- 0,02	0,13	1,13	1,14	4,13	4,14	49353	44946	0,17
D2-K12-7 ¹⁾	0,15	0,19	- 0,04	0,07	0,94	0,97	3,08	3,11	55400	44518	0,14
D2-K12-2	2,75	3,21	- 0,46	0,93	3,87	3,96	5,62	5,71	3451	2953	1,89
D2-K12-4	2,30	2,65	- 0,35	1,49	4,63	2,84	5,10	3,31	4174	3618	1,49
D2-K12-6	1,69	2,12	- 0,43	0,67	3,05	3,27	4,44	4,66	4941	3939	1,41
D2-K12-8 ²⁾	1,11	1,40	- 0,29	0,43	1,73	1,93	2,50	2,70	7505	5950	0,83
K2-K13-1 ²⁾	0,27	0,31	- 0,04	0,21	2,74	2,76	4,70	4,72	31037	27326	0,27
K2-K13-2	0,28	0,37	- 0,09	0,23	1,37	1,43	2,54	2,60	29607	22205	0,23
K2-K13-3	0,33	0,41	- 0,08	0,17	2,05	2,10	3,71	3,76	25242	20153	0,29
K2-K13-4 ²⁾	0,58	0,73	- 0,15	0,29	2,18	2,26	3,62	3,70	14345	11346	0,49
¹⁾ Schraubenbolzen wurde vor dem Versuch nachgespannt. ²⁾ Schwindrisse in der Hirnholzfläche											

Tabelle 17: Fortsetzung

Zusammenstellung der Verformungskennwerte der Hirnholzdübelverbindungen
in Nadelvollholz:

Versuchsreihen C, D und K, Variation der Holzfeuchten

Versuch	v_i [mm]	$v_{i,mod}$ [mm]	v_s [mm]	v_e [mm]	$v_{0,6}$ [mm]	$v_{0,6,mod}$ [mm]	$v_{0,8}$ [mm]	$v_{0,8,mod}$ [mm]	k_i [N/mm]	k_s [N/mm]	$v_{Fmax/3}$ [mm]
C3-KI1-1	0,28	0,33	- 0,05	0,15	0,81	0,84	2,55	2,58	25250	21210	0,23
C3-KI1-2	0,24	0,29	- 0,05	0,08	2,49	2,53	4,39	4,43	29792	24375	0,25
C3-KI1-3	0,43	0,53	- 0,10	0,13	1,25	1,31	3,67	3,73	16605	13388	0,36
C3-KI1-4	1,06	1,37	- 0,31	0,11	3,82	4,05	6,74	6,97	6698	5170	1,23
D3-KI2-1 ¹⁾	0,48	0,61	- 0,13	0,13	1,62	1,28	2,62	2,28	14979	11723	0,31
D3-KI2-2 ¹⁾	0,31	0,36	- 0,05	0,17	1,60	1,64	3,56	3,60	23097	19889	0,31
D3-KI2-3 ¹⁾	0,32	0,40	- 0,08	0,13	1,43	1,49	3,70	3,76	22188	17750	0,29
D3-KI2-4 ¹⁾	0,52	0,67	- 0,15	0,09	1,70	1,79	2,85	2,94	13789	10755	0,52
D3-KI2-5 ²⁾	2,49	2,64	- 0,15	0,72	4,24	4,27	7,19	7,22	2868	2705	2,10
D3-KI2-6	2,29	2,93	- 0,64	0,73	4,13	4,49	7,63	7,99	3135	2448	1,81
D3-KI2-7	2,00	2,43	- 0,43	0,74	2,58	2,89	4,03	4,34	3580	2951	1,39
D3-KI2-8 ²⁾	2,40	2,57	- 0,17	0,76	2,75	2,80	4,09	4,14	2983	2782	1,50
K3-KI3-1 ²⁾	1,41	1,67	- 0,26	0,49	1,99	2,21	2,94	3,16	4255	3600	1,10
K3-KI3-2	1,02	1,21	- 0,19	0,38	3,07	3,20	5,20	5,33	5843	4912	1,08
K3-KI3-3	1,02	1,19	- 0,17	0,39	2,09	2,21	3,53	3,65	5833	5014	0,97
K3-KI3-4 ²⁾	1,54	1,75	- 0,21	0,47	2,40	2,54	3,48	3,62	3857	3401	1,32
¹⁾ Schraubenbolzen wurde vor dem Versuch nachgespannt. ²⁾ Schwindrisse in der Hirnholzfläche											

Tabelle 18: Zusammenstellung der Verformungskennwerte der Hirnholzdübelverbindungen in Nadelvollholz:
Versuchsreihe H, Variation der Dübelgröße

Versuch	v_i [mm]	$v_{i,mod}$ [mm]	v_s [mm]	v_e [mm]	$v_{0,6}$ [mm]	$v_{0,6,mod}$ [mm]	$v_{0,8}$ [mm]	$v_{0,8,mod}$ [mm]	k_i [N/mm]	k_s [N/mm]	$v_{Fmax/3}$ [mm]
H1-C48-1	0,50	0,61	- 0,11	0,35	3,75	3,80	6,36	6,41	10400	8478	0,43
H1-C48-2	0,26	0,31	- 0,05	0,17	2,12	2,16	5,11	5,15	18385	15587	0,22
H1-C48-3	0,52	0,63	- 0,11	0,39	1,92	2,01	5,65	5,74	9308	7723	0,42
H1-C48-4	0,54	0,67	- 0,13	0,42	3,24	3,31	6,01	6,08	8870	7185	0,53
H1-C140-1 ¹⁾	2,27	2,91	- 0,64	0,79	3,98	4,16	8,33	8,51	8405	6564	1,59
H1-C140-2 ¹⁾	1,29	1,56	- 0,27	0,64	2,41	2,47	5,08	5,14	14799	12237	0,90
H1-C140-3 ¹⁾	0,89	1,11	- 0,22	0,52	1,33	1,43	2,80	2,90	21517	17304	0,57
H1-C140-4 ¹⁾	0,83	0,99	- 0,16	0,42	1,79	1,84	3,91	3,96	23096	19429	0,61
H2-D50-1	0,35	0,43	- 0,08	0,16	3,27	3,34	5,92	5,99	13657	11203	0,29
H2-D50-2	0,43	0,52	- 0,09	0,23	3,00	3,08	5,62	5,70	11023	9115	0,36
H2-D50-3	0,49	0,60	- 0,11	0,25	4,31	4,38	7,39	7,46	9755	7967	0,46
H2-D50-4	0,36	0,44	- 0,08	0,21	4,63	4,70	7,34	7,41	13333	10909	0,34
H2-D115-1	0,65	0,79	- 0,14	0,30	2,91	2,91	5,84	5,84	25862	21369	0,57
H2-D115-2	1,54	1,93	- 0,39	0,41	2,94	3,07	5,16	5,29	10844	8638	1,09
H2-D115-3	0,99	1,25	- 0,26	0,25	3,05	3,15	5,62	5,72	16990	13420	0,75
H2-D115-4	1,12	1,37	- 0,25	0,46	3,18	3,20	5,61	5,63	14946	12189	0,85
H3-A95-1	1,77	2,35	- 0,58	0,05	3,39	3,97	5,98	6,56	6780	5114	1,45
H3-A95-2	1,95	2,55	- 0,60	0,38	2,60	3,15	3,96	4,51	6144	4704	1,34
H3-A95-3	1,98	2,63	- 0,65	0,21	3,54	4,12	6,14	6,72	5874	4428	1,66
H3-A95-4	2,96	3,85	- 0,89	0,46	3,31	4,10	4,63	5,42	4037	3101	1,75
H3-A126-1 ¹⁾	0,96	1,24	- 0,28	0,45	1,88	2,10	4,05	4,27	14917	11548	0,68
H3-A126-2 ¹⁾	1,90	2,40	- 0,50	0,61	3,29	3,70	6,01	6,42	7511	5946	1,48
H3-A126-3 ¹⁾	0,91	1,16	- 0,25	0,21	2,20	2,42	3,78	4,00	15725	12336	0,85
H3-A126-4 ¹⁾	0,93	1,19	- 0,26	0,23	2,20	2,42	4,14	4,36	15387	12059	0,82

¹⁾ Schwindrisse in der Hirnholzfläche

Tabelle 19: Zusammenstellung der Verformungskennwerte der Hirnholzdübelverbindungen in Nadelvollholz:

Versuchsreihe I, Variation des Winkels φ zwischen Haupt- und Nebenträger

Versuch	v_i [mm]	$v_{i,mod}$ [mm]	v_s [mm]	v_e [mm]	$v_{0,6}$ [mm]	$v_{0,6,mod}$ [mm]	$v_{0,8}$ [mm]	$v_{0,8,mod}$ [mm]	k_i [N/mm]	k_s [N/mm]	$v_{Fmax/3}$ [mm]
I1-45-1	0,45	0,52	- 0,07	0,51	0,86	0,88	2,18	2,20	22022	19058	0,33
I1-45-2	0,51	0,52	- 0,01	0,43	0,96	0,96	2,10	2,10	16294	15981	0,38
I1-45-3	1,13	1,32	- 0,19	0,77	2,30	2,33	4,53	4,56	7372	6311	0,86
I1-45-4	0,51	0,57	- 0,06	0,48	1,22	1,23	2,61	2,62	16922	15052	0,42
I1-60-1	0,34	0,43	- 0,09	0,31	1,08	1,13	2,72	2,77	24529	19547	0,30
I1-60-2	0,39	0,49	- 0,10	0,37	1,30	1,36	2,92	2,98	21410	16926	0,33
I1-60-3	0,39	0,49	- 0,10	0,36	1,22	1,26	3,19	3,23	21333	16865	0,33
I1-60-4	0,39	0,49	- 0,10	0,35	0,79	0,84	1,89	1,94	21795	17230	0,29
I1-75-1	0,65	0,83	- 0,18	0,33	2,50	2,57	5,19	5,26	12815	10077	0,58
I1-75-2	0,35	0,49	- 0,14	0,36	0,66	0,72	1,78	1,84	24514	17392	0,24
I1-75-3	0,64	0,79	- 0,15	0,39	2,24	2,30	4,48	4,54	12984	10564	0,57
I1-75-4	0,49	0,59	- 0,10	0,29	1,55	1,59	3,59	3,63	17102	14284	0,39
I1-75-5	0,43	0,55	- 0,12	0,28	1,46	1,54	3,56	3,64	22163	17433	0,35
I1-75-6	0,52	0,63	- 0,11	0,48	2,23	2,06	5,45	5,28	18462	15319	0,42
I1-75-7	0,32	0,44	- 0,12	0,28	1,65	1,72	3,97	4,04	29813	21682	0,28
I1-75-8	0,30	0,43	- 0,13	0,25	1,20	1,28	3,11	3,19	31767	22336	0,26
I3-45-1	1,16	1,49	- 0,33	0,39	1,70	1,97	2,74	3,01	5129	3984	0,79
I3-45-2	1,52	1,95	- 0,43	0,39	2,72	3,11	5,23	5,62	3901	3046	1,36
I3-45-3	1,23	1,59	- 0,36	0,34	2,31	2,60	4,22	4,51	4846	3756	1,01
I3-45-4	1,60	2,03	- 0,43	0,43	2,31	2,66	3,44	3,79	3725	2941	1,20
I3-60-1	1,09	1,43	- 0,34	0,25	2,74	2,99	5,79	6,04	5440	4157	1,12
I3-60-2	1,31	1,71	- 0,40	0,27	2,36	2,71	4,35	4,70	4534	3481	1,14
I3-60-3	1,12	1,43	- 0,31	0,32	2,20	2,46	4,19	4,45	5304	4164	0,97
I3-60-4	1,58	2,03	- 0,45	0,27	3,01	3,41	6,23	6,63	3760	2931	1,47
I3-75-1	1,21	1,56	-0,35	0,29	2,31	2,61	4,43	4,73	4934	3827	1,05
I3-75-2	1,69	2,13	-0,44	0,31	2,35	2,72	3,65	4,02	3521	2789	1,27
I3-75-3	1,42	1,84	- 0,42	0,22	3,57	3,94	9,34	9,71	5028	3880	1,26
I3-75-4	1,94	2,49	- 0,55	0,31	2,94	3,38	5,10	5,54	3660	2848	1,51
I3-75-5	1,56	1,99	- 0,43	0,27	3,94	4,27	8,89	9,22	4571	3589	1,48
I3-75-6	1,80	2,24	- 0,44	0,39	3,12	3,50	7,81	8,19	3978	3196	1,51

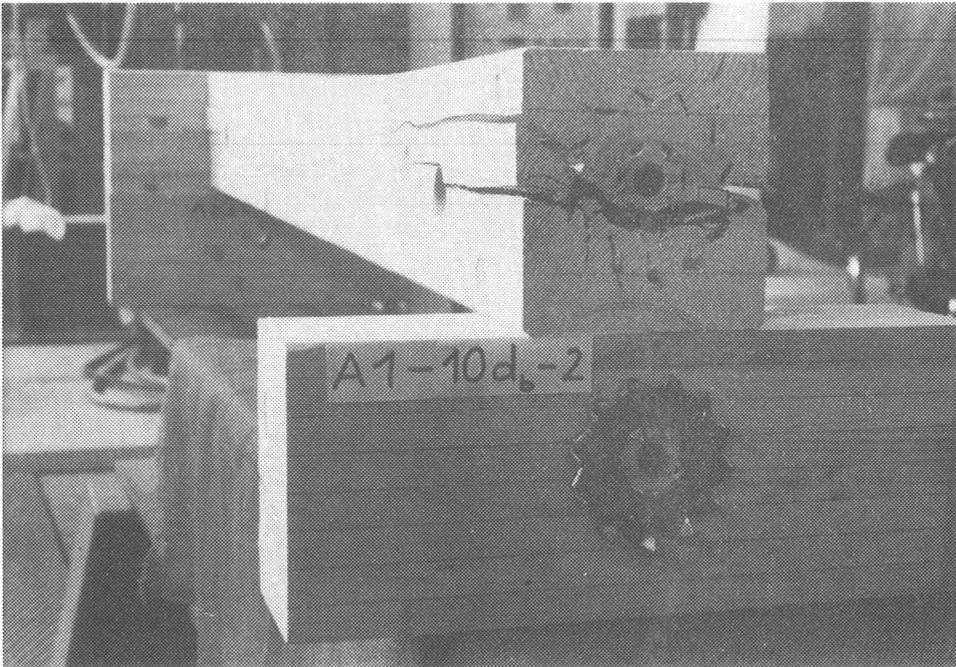


Bild 69

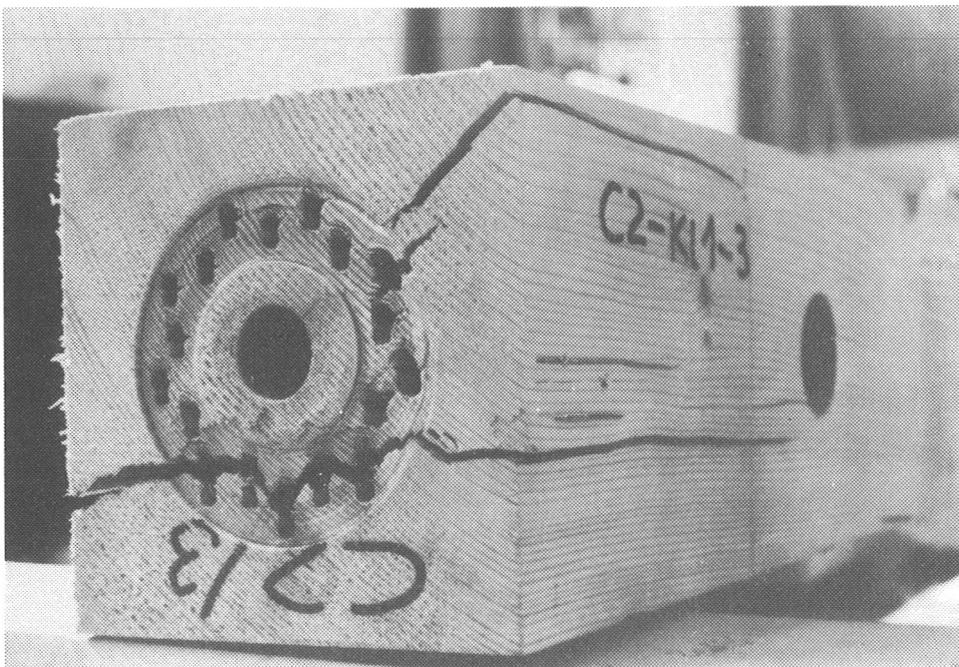


Bild 70

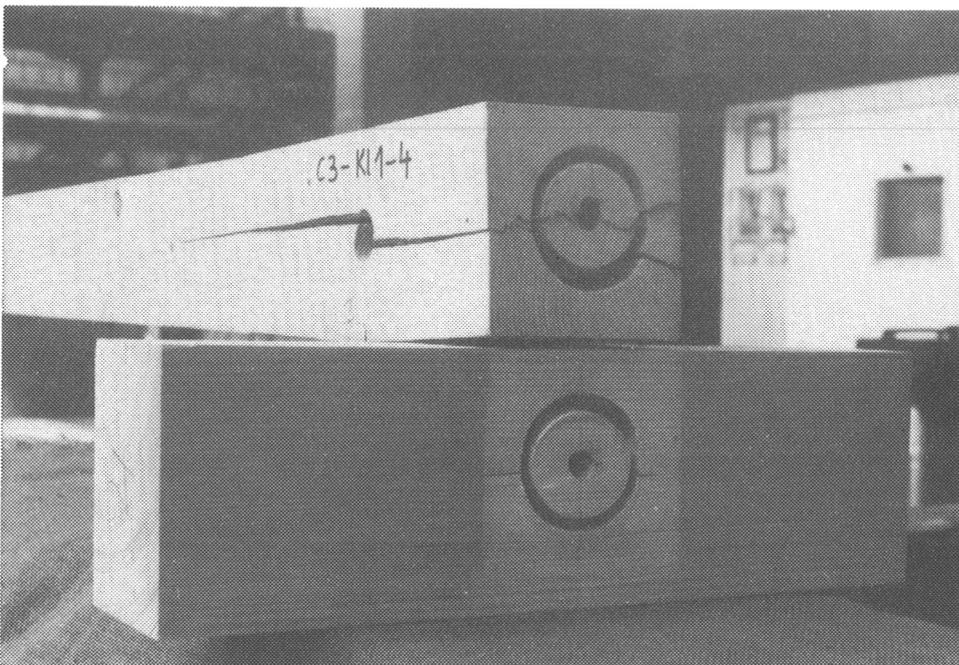


Bild 71

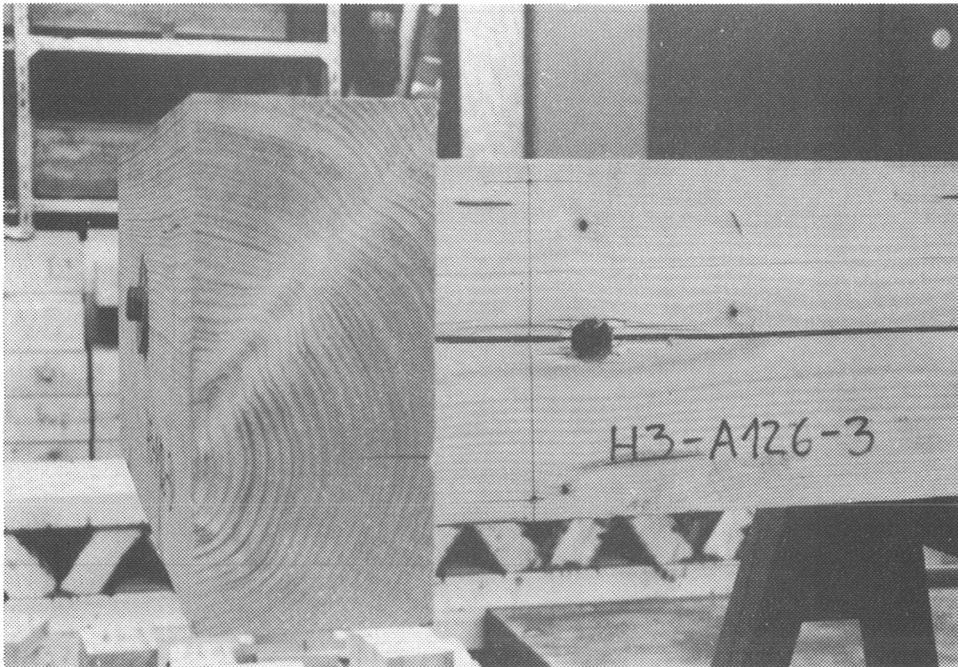


Bild 72

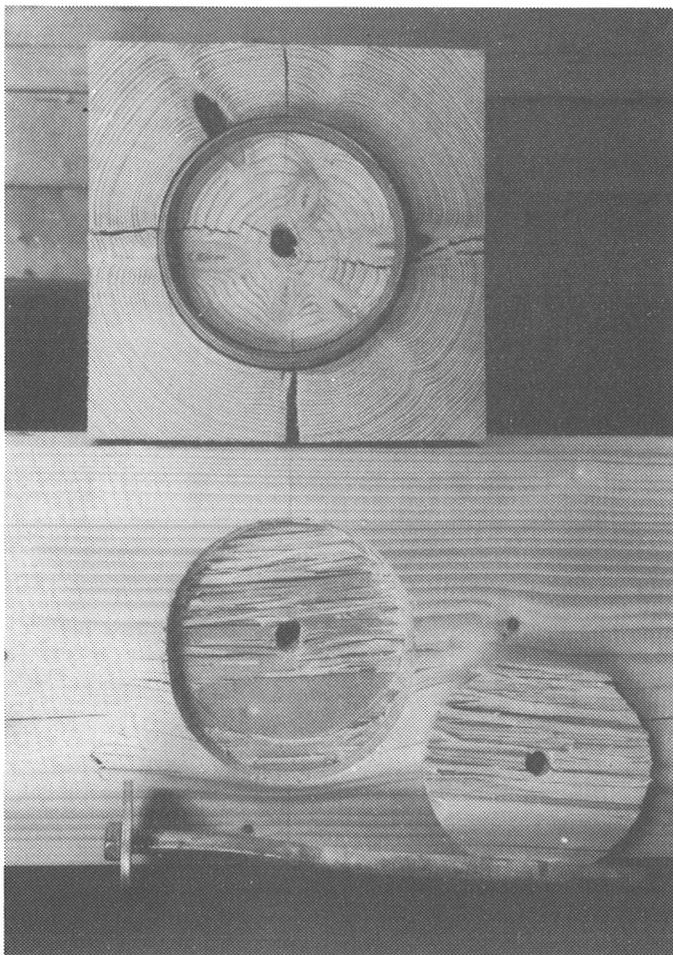


Bild 73



Bild 74

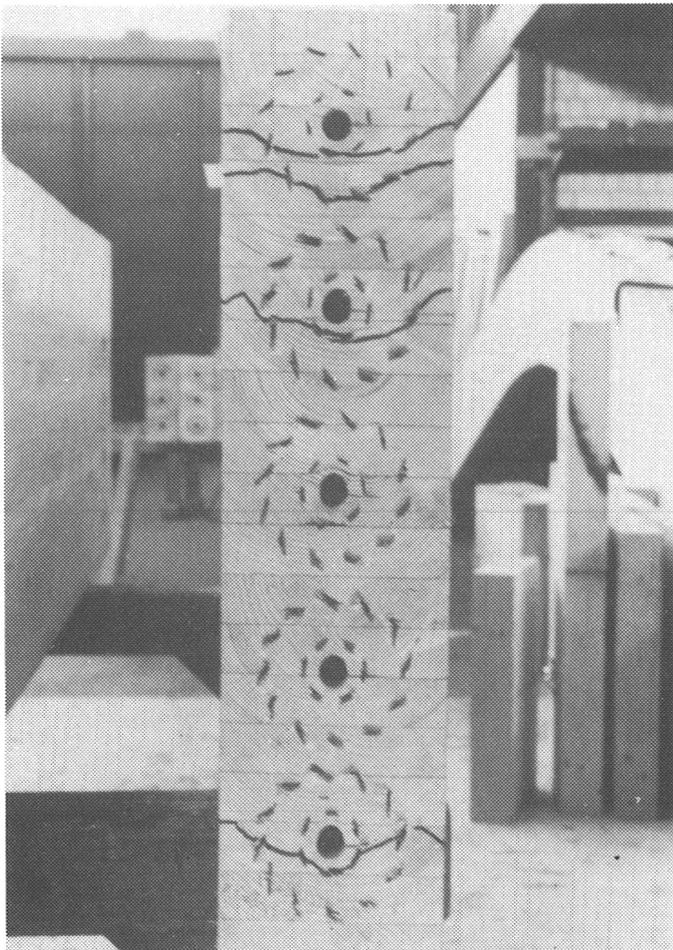


Bild 75

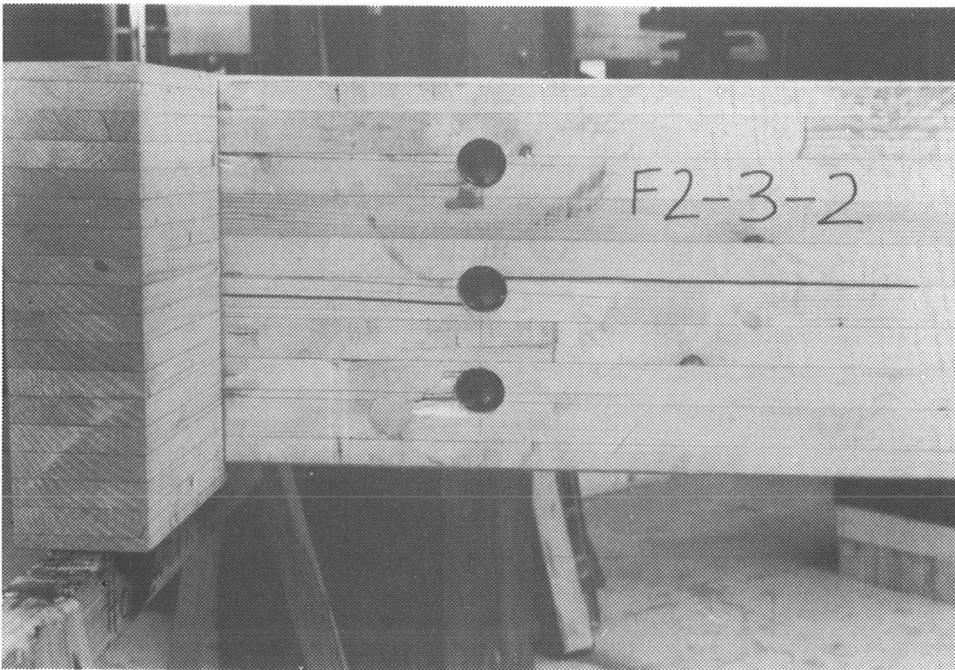


Bild 76

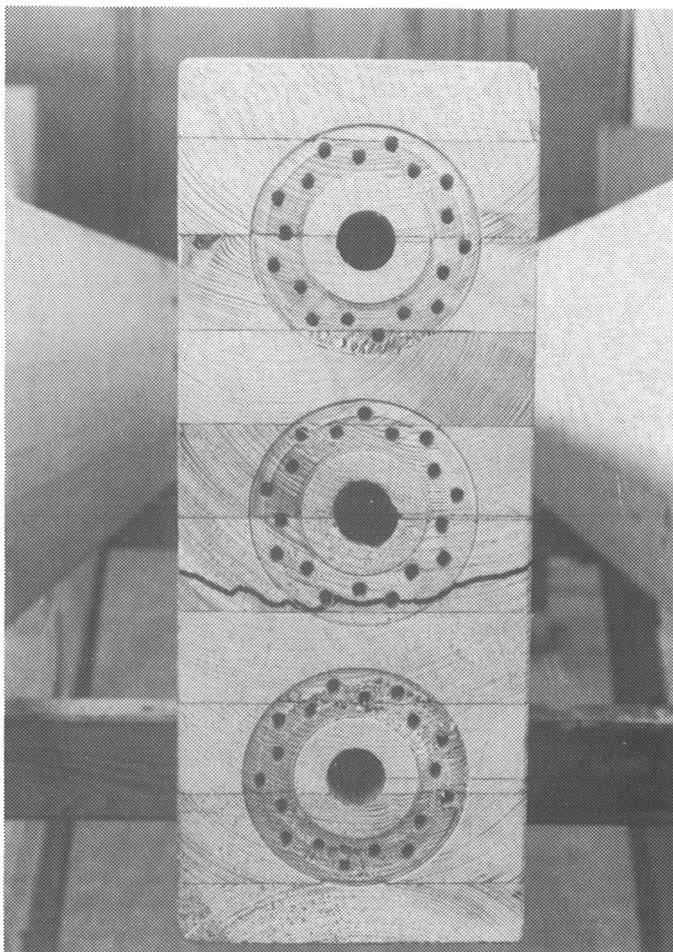


Bild 77

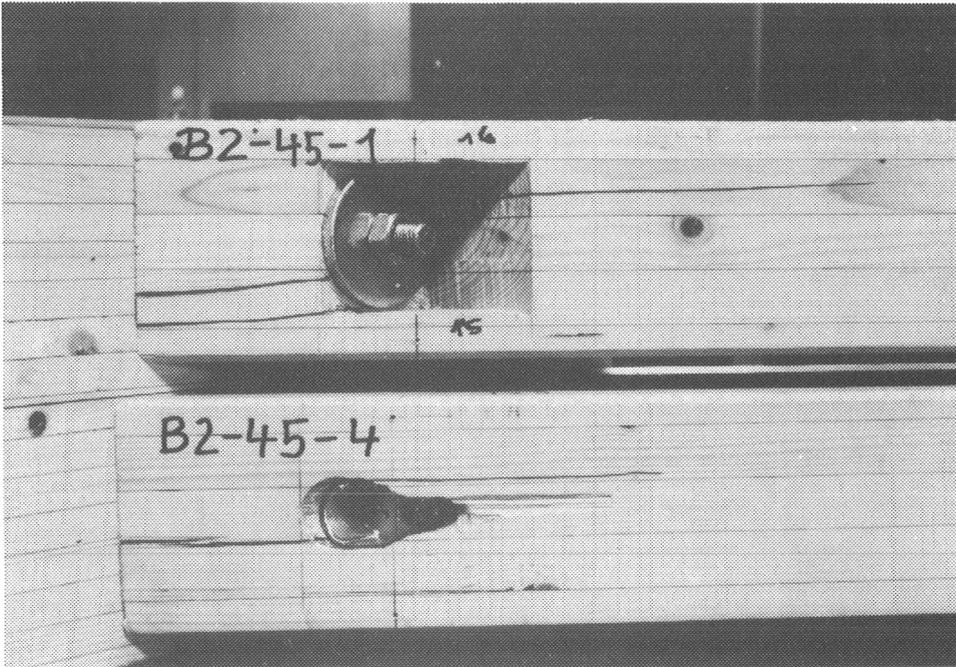


Bild 78

Tabelle 20: Zusammenstellung der mittleren Höchstlasten F_{\max} (zugehörige Variationskoeffizienten in Klammern) derjenigen Hirnholzdübelverbindungen in Brettschichtholz und in Nadelvollholz mit

- lichtigem Abstand zwischen Hirnholzfläche und Klemmvorrichtung in Faserrichtung des Nebenträgers: $l_f = 10 \cdot d_b$,
- Winkel zwischen Haupt- und Nebenträger: $\varphi = 90^\circ$,
- Anzahl der hintereinander liegenden Dübel: $n = 1$;

Angabe des Gesamtmittelwertes.

Dübeltyp und Dübelgröße	Verbindungen in Brettschichtholz	Verbindungen in Nadelvollholz				Gesamt- mittelwert [kN]
		$u_1 \approx u_2 \approx 18\%$	$u_1 \approx 18\%$ und $u_2 \approx 12\%$		$u_1 \approx u_2 \approx 12\%$	
		F_{\max} [kN]	Schrauben- bolzen nachgespannt	Schrauben- bolzen nicht nachgespannt	F_{\max} [kN]	
	F_{\max} [kN]	F_{\max} [kN]	F_{\max} [kN]	F_{\max} [kN]		
Typ C Ø48	13,11 (4,9%)	12,77 (8,6%)	-	-	-	12,94
Typ C Ø95	23,98 (11,1%)	27,33 (13,2%)	28,21 (9,9%)	29,73 (8,9%)	21,97 (8,4%)	26,04
Typ C Ø140	48,79 (8,2%)	39,96 (5,6%)	-	-	-	44,38
Typ D Ø50	13,05 (9,6%)	12,69 (8,0%)	-	-	-	12,87
Typ D Ø80	22,03 (4,9%)	26,67 (11,3%)	21,97 (16,0%)	19,47 (5,5%)	22,28 (9,3%)	22,44
Typ D Ø115	38,28 (24,6%)	38,87 (9,3%)	-	-	-	38,58
Typ A Ø65	-	20,48 (17,9%)	19,19 (18,3%)	15,84 (13,2%)	16,32 (13,0%)	17,96
Typ A Ø95	-	26,13 (15,1%)	-	-	-	26,13
Typ A Ø126	-	35,42 (12,3%)	-	-	-	35,42

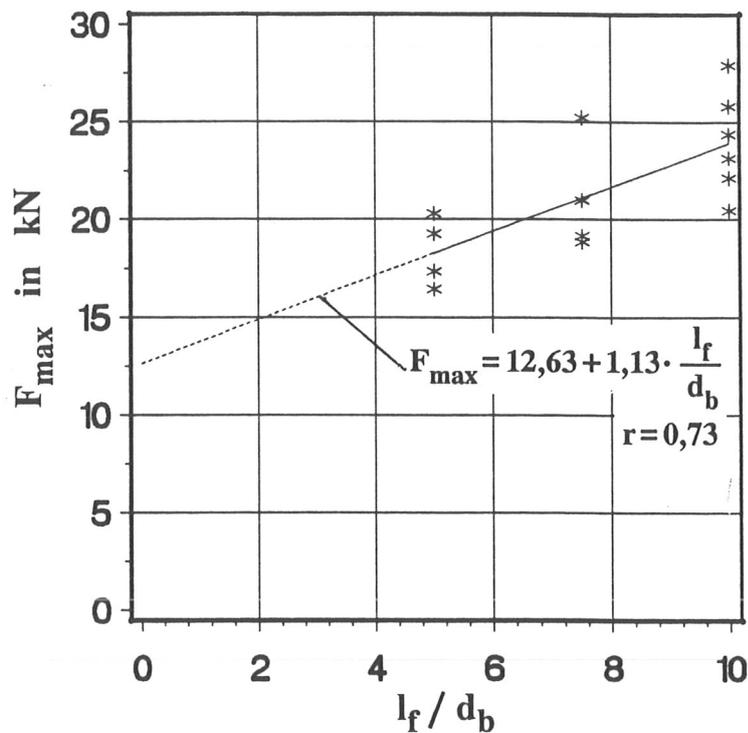


Bild 79: Höchstlasten F_{\max} in Abhängigkeit vom Abstand l_f zwischen Hirnholzfläche und Klemmvorrichtung in Faserrichtung des Nebenträgers bezogen auf den Durchmesser d_b des zum Dübel gehörenden Schraubenbolzens bei Hirnholzverbindungen mit dem Dübeltyp C

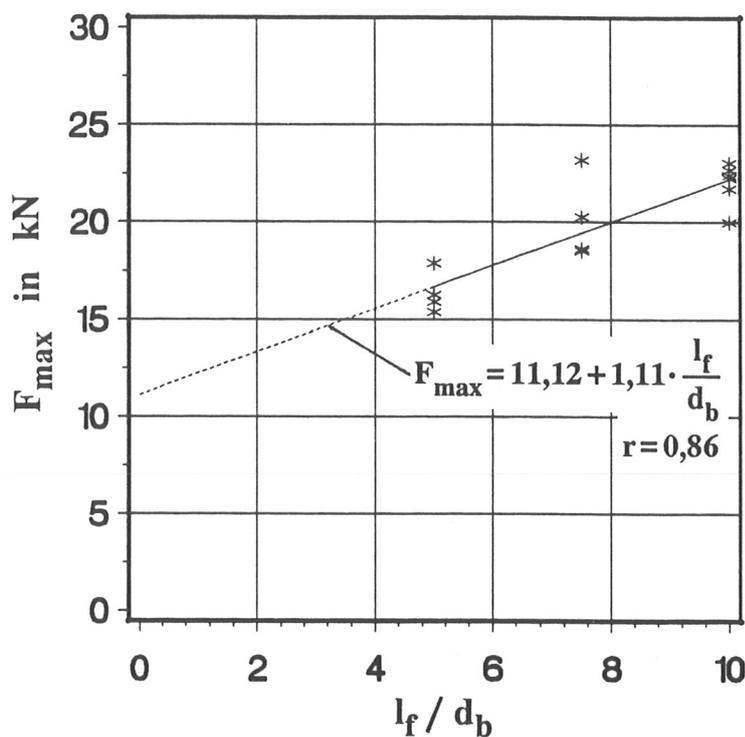


Bild 80: Höchstlasten F_{\max} in Abhängigkeit vom Abstand l_f zwischen Hirnholzfläche und Klemmvorrichtung in Faserrichtung des Nebenträgers bezogen auf den Durchmesser d_b des zum Dübel gehörenden Schraubenbolzens bei Hirnholzverbindungen mit dem Dübeltyp D

Tabelle 21: Zusammenstellung der Höchstlasten F_{\max} bei unterschiedlichen Klemmvorrichtungen;

Angabe der korrigierten Werte F_{cor} , die sich auf den Regelabstand $l_f = 10 \cdot d_b$ und auf die Mindestholzbreite des anzuschließenden Trägers $\min b$ beziehen und Angabe der entsprechenden Mittelwerte $\overline{F}_{\text{cor}}$;

Zusammenstellung der Verschiebungen $v_{F_{\max}/3}$ bei unterschiedlichen Klemmvorrichtungen und der entsprechenden Mittelwerte $\overline{v}_{F_{\max}/3}$.

Versuch	Klemmvorrichtung	$\frac{l_f}{d_b}$	$\frac{b}{\min b}$	F_{\max} [kN]	F_{cor} [kN]	$\overline{F}_{\text{cor}}$ [kN]	$v_{F_{\max}/3}$ [mm]	$\overline{v}_{F_{\max}/3}$ [mm]
B1-45-1	M+U	5,6	1,0	21,33	27,35	26,00	0,19	0,16
B1-45-2	M+U	5,6	1,0	19,22	24,64		0,13	
B1-45-3	F	5,0	1,0	19,46	25,95		0,29	
B1-45-4	F	5,0	1,0	18,84	25,12		0,22	
B1-60-1	M+U	5,6	1,0	22,83	29,27	30,43	0,11	0,11
B1-60-2	M+U	5,6	1,0	24,63	31,58		0,10	
B1-60-3	F	5,6	1,0	15,49	19,86		0,11	
B1-60-4	F	5,6	1,0	21,76	27,90		0,14	
B2-45-1	M+U	5,0	1,23	18,37	19,91	20,84	0,11	0,15
B2-45-2	M+U	5,0	1,23	20,08	21,77		0,18	
B2-45-3	F	5,0	1,38	22,85	22,08		0,14	
B2-45-4	F	5,0	1,38	19,63	18,97		0,23	
I1-45-1	M+U	5,0	1,0	21,61	28,81	26,65	0,33	0,36
I1-45-2	M+U	5,0	1,0	18,36	24,48		0,38	
I1-45-3	F	5,0	1,0	18,96	25,28		0,86	
I1-45-4	F	5,0	1,0	21,10	28,13		0,42	
I3-45-1	M+U	5,0	1,0	12,22	16,29	18,74	0,79	1,08
I3-45-2	M+U	5,0	1,0	15,89	21,19		1,36	
I3-45-3	F	5,0	1,0	14,72	19,63		1,01	
I3-45-4	F	5,0	1,0	13,43	17,91		1,20	

M+U: Mutter mit Unterlegscheibe
F: Formstück

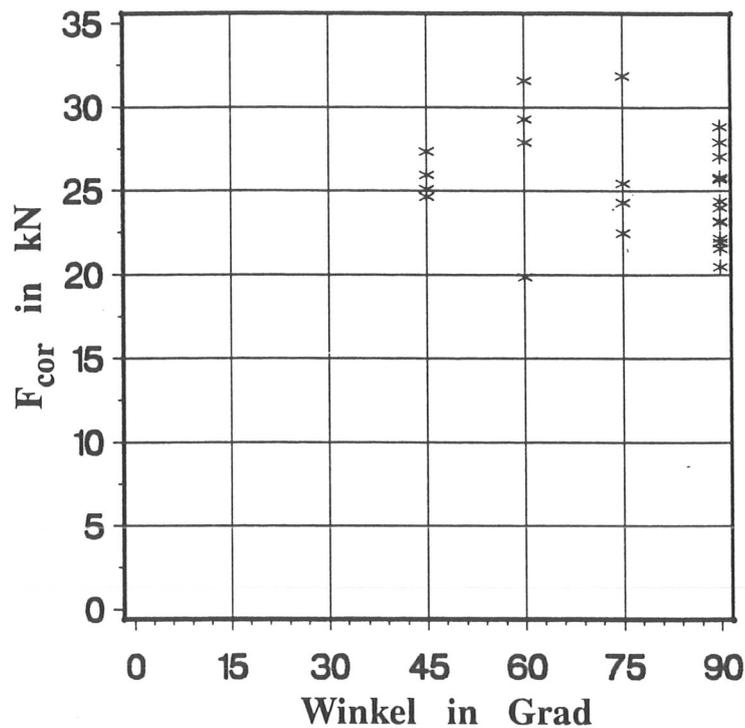


Bild 81: Auf den Regelabstand $l_f = 10 \cdot d_b$ bezogene Höchstlasten F_{cor} in Abhängigkeit vom Winkel zwischen Haupt- und Nebenträger bei Hirnholzverbindungen mit dem Dübeltyp C in Brett-schichtholz

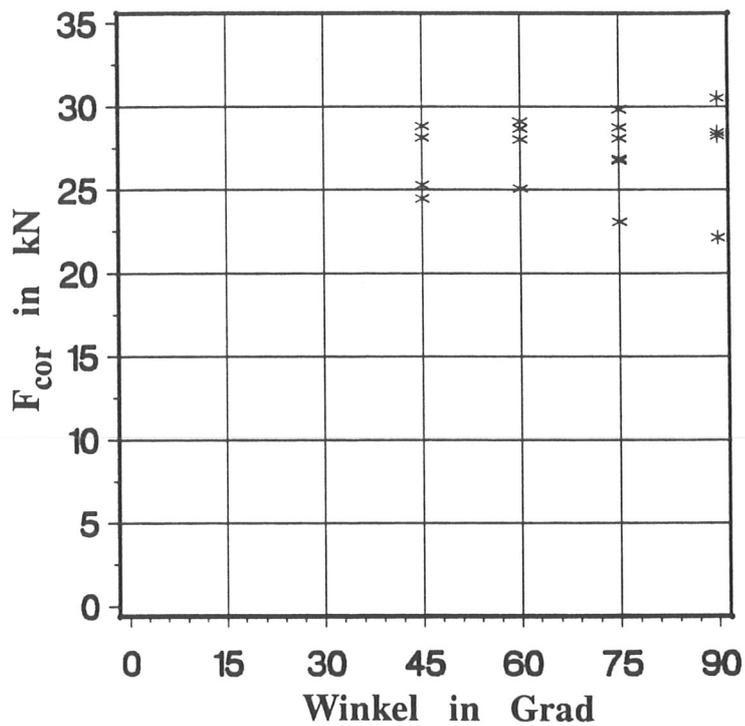


Bild 82: Auf den Regelabstand $l_f = 10 \cdot d_b$ bezogene Höchstlasten F_{cor} in Abhängigkeit vom Winkel zwischen Haupt- und Nebenträger bei Hirnholzverbindungen mit dem Dübeltyp C in Nadelvollholz

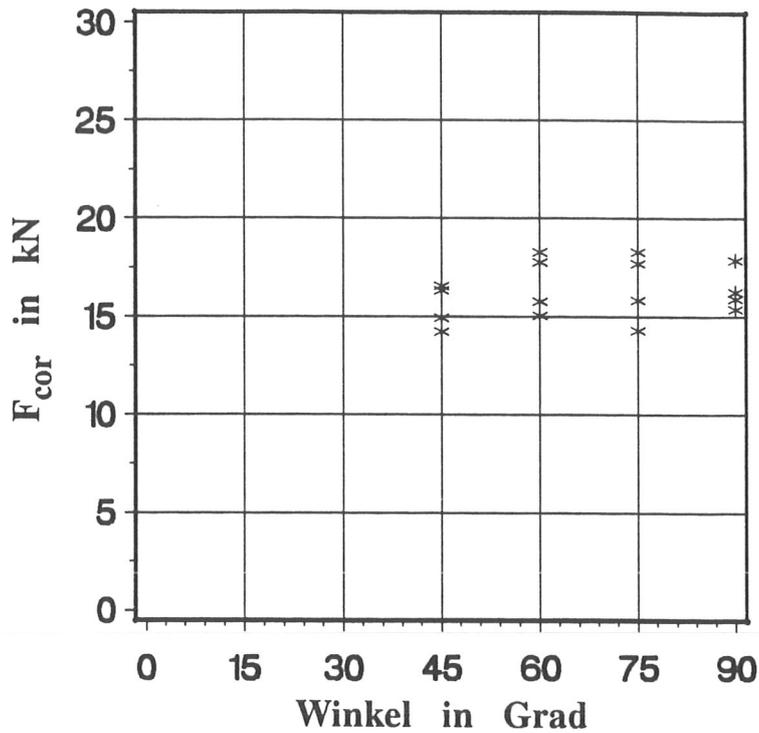


Bild 83: Auf die Mindestholzbreite bezogene Höchstlasten F_{cor} in Abhängigkeit vom Winkel zwischen Haupt- und Nebenträger bei Hirnholzverbindungen mit dem Dübeltyp D in Brettschichtholz; vorhandener Mindestabstand $l_f = 5 \cdot d_b$

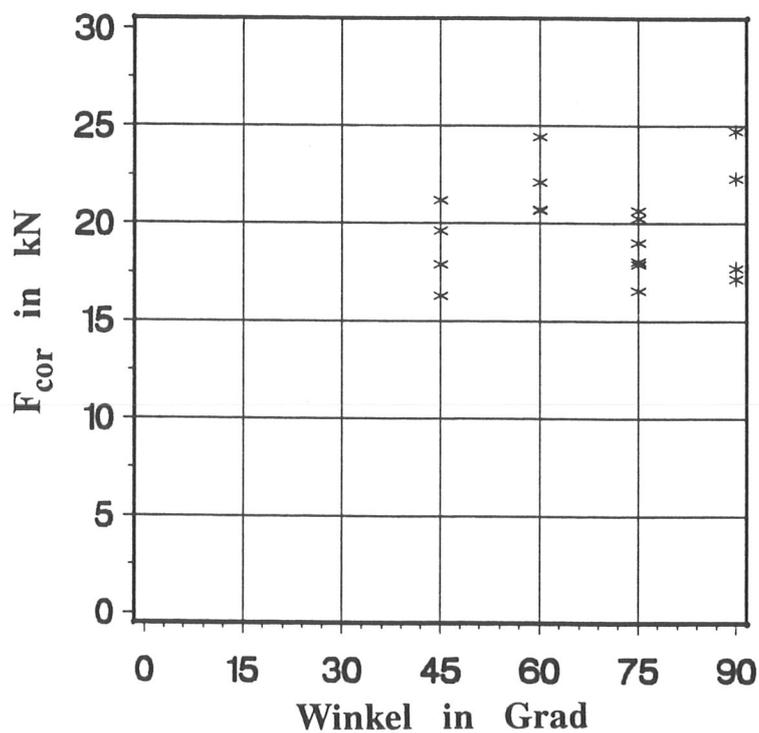


Bild 84: Auf den Regelabstand $l_f = 10 \cdot d_b$ bezogene Höchstlasten F_{cor} in Abhängigkeit vom Winkel zwischen Haupt- und Nebenträger bei Hirnholzverbindungen mit dem Dübeltyp A in Nadelvollholz

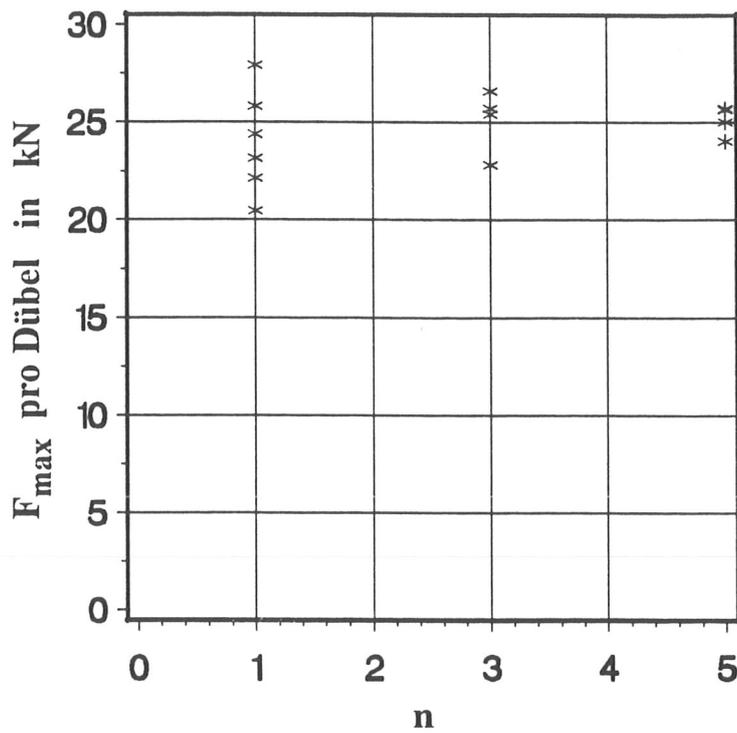


Bild 85: Höchstlasten F_{\max} pro Dübel in Abhängigkeit von der Anzahl n der in der Hirnholzfläche hintereinander liegenden Einpreßdübel des Dübeltyps C

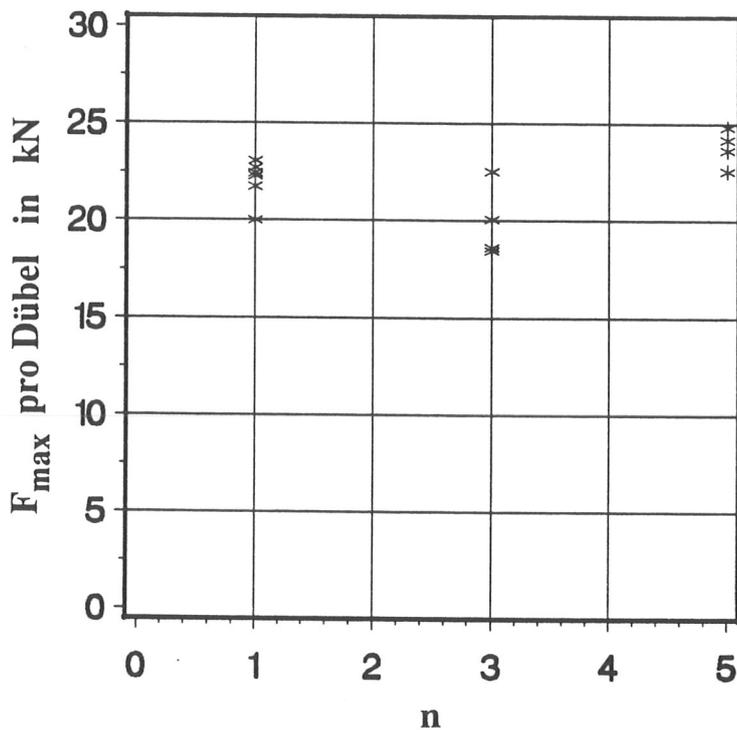


Bild 86: Höchstlasten F_{\max} pro Dübel in Abhängigkeit von der Anzahl n der in der Hirnholzfläche hintereinander liegenden Einpreßdübel des Dübeltyps D

Tabelle 22: Zusammenstellung der Verschiebungen unter einem Drittel der Höchstlast von Hirnholzdübelverbindungen in Nadelvollholz

Dübel bes. Bauart	Holzfeuchten bei Herstellung u_1 und beim Versuch u_2	$v_{Fmax}/3$ [mm]		
		Kleinstwert	Mittelwert	Größtwert
Einpreßdübel Typ C	Nadelvollholz mit $u_1 \approx u_2$	0,22	0,50	1,59
	Nadelvollholz mit $u_2 < u_1$ und nachgespanntem Schraubenbolzen	0,25	0,31	0,39
	Nadelvollholz mit $u_2 < u_1$ und nicht nachgespanntem Schraubenbolzen	0,87	1,34	2,01
Einpreßdübel Typ D	Nadelvollholz mit $u_1 \approx u_2$	0,14	0,47	1,09
	Nadelvollholz mit $u_2 < u_1$ und nachgespanntem Schraubenbolzen	0,14	0,35	0,66
	Nadelvollholz mit $u_2 < u_1$ und nicht nachgespanntem Schraubenbolzen	0,83	1,41	1,89
Einlaßdübel Typ A	Nadelvollholz mit $u_1 \approx u_2$	0,25	1,13	1,75
	Nadelvollholz mit $u_2 < u_1$ und nachgespanntem Schraubenbolzen	0,29	0,36	0,52
	Nadelvollholz mit $u_2 < u_1$ und nicht nachgespanntem Schraubenbolzen	1,39	1,70	2,10

Tabelle 23: Mindestholzabmessungen, Mindestabstände und Rechenwerte für die Tragfähigkeiten von Hirnholzdübelverbindungen in Brettschichtholz und in Nadelvollholz ($u \leq 20\%$) mit einem lichten Abstand zwischen Hirnholzfläche und Klemmvorrichtung in Faserrichtung des Nebenträgers $l_f \geq 10 \cdot d_b$ und einem Winkel zwischen Haupt- und Nebenträger $45^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ$

Dübeltyp und Dübelgröße	Mindestbreite des anzuschließenden Trägers	Mindestrand- abstand	Mindestabstand der Dübel untereinander	Tragfähigkeit eines Dübels bei 1 bis 5 Dübeln hintereinander
	b [mm]	v_d [mm]	$e_{d\perp}$ [mm]	F_{\max} [kN]
Typ C Ø48	100	50	55	12,9
Typ C Ø95	140	70	110	26,0
Typ C Ø140	200	100	155	44,4
Typ D Ø50	100	50	65	12,9
Typ D Ø80	130	65	100	22,4
Typ D Ø115	170	85	130	38,6

Dübeltyp und Dübelgröße	Mindestbreite des anzuschließenden Trägers	Mindestrand- abstand	Mindestabstand der Dübel untereinander	Tragfähigkeit eines Dübels bei 1 bis 2 Dübeln hintereinander
	b [mm]	v_d [mm]	$e_{d\perp}$ [mm]	F_{\max} [kN]
Typ A Ø65	110	55	80	18,0
Typ A Ø95	150	75	110	26,1
Typ A Ø126	200	100	145	35,4

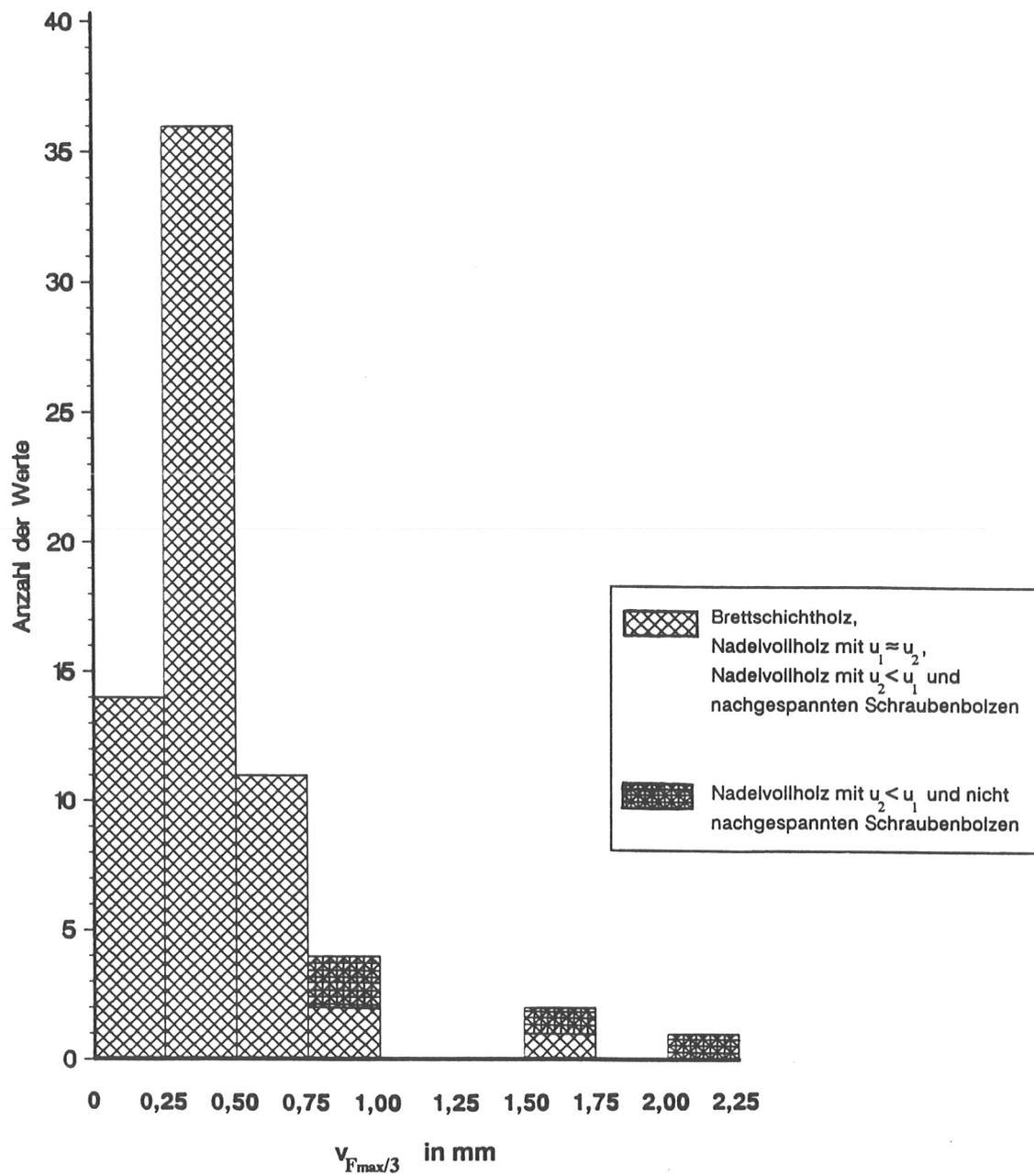


Bild 87: Häufigkeitsverteilung der Verschiebungen unter einem Drittel der jeweiligen Höchstlast von Hirnholzdübelverbindungen mit dem Dübeltyp C

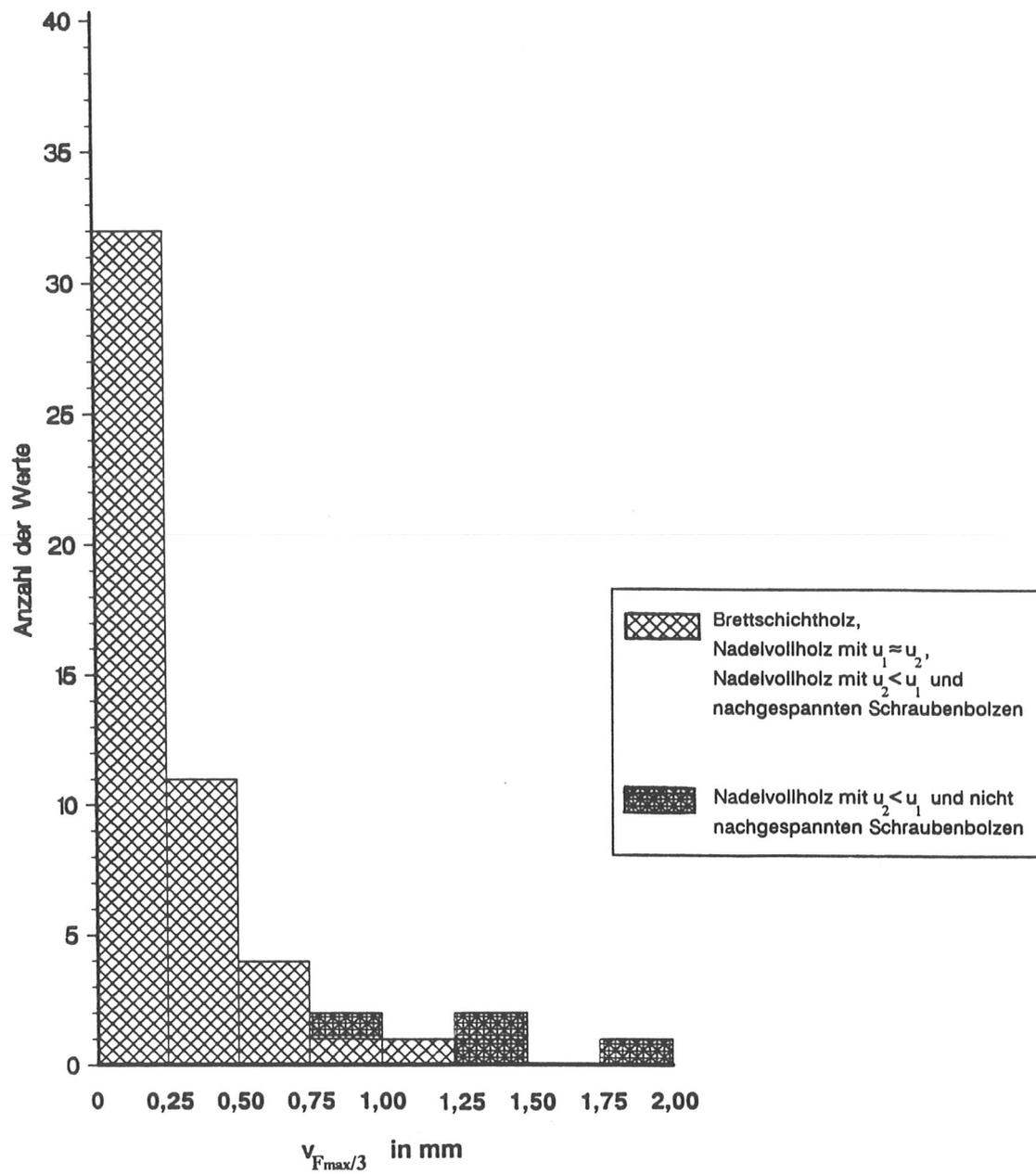


Bild 88: Häufigkeitsverteilung der Verschiebungen unter einem Drittel der jeweiligen Höchstlast von Hirnholzdübelverbindungen mit dem Dübeltyp D

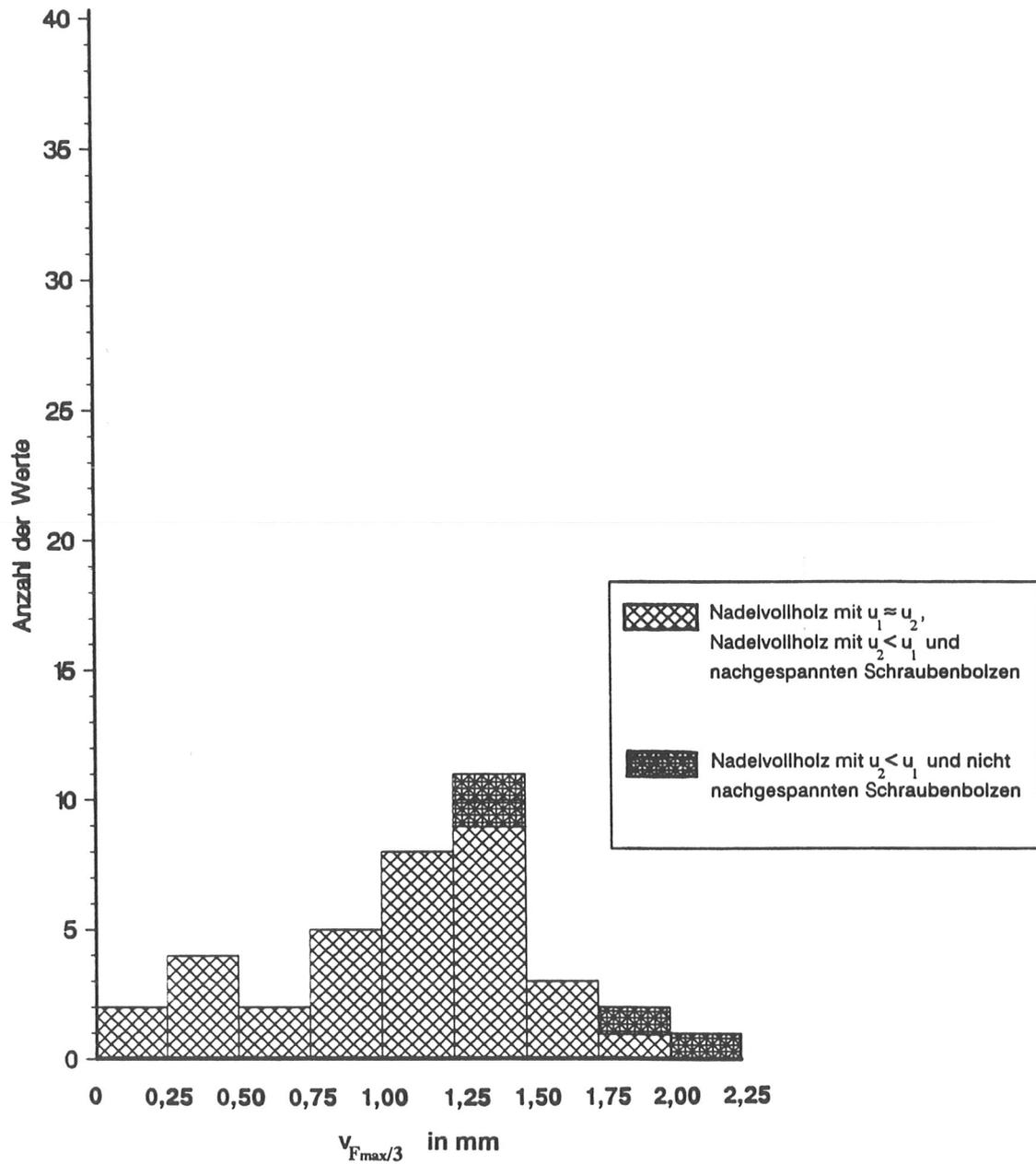


Bild 89: Häufigkeitsverteilung der Verschiebungen unter einem Drittel der jeweiligen Höchstlast von Hirnholzdübelverbindungen mit dem Dübeltyp A

