

UNTERSUCHUNGEN UEBER DEN EINFLUSS DES LAST-ZEIT-ABLAUFES BEI
PRUEFVERSUCHEN FUER MECHANISCHE HOLZVERBINDUNGSMITTEL AUF
TRAGLAST UND VERFORMUNGSGROESSEN

Untersuchungen

durchgefuehrt im Auftrage des Institut für Bautechnik, Berlin

Az.: IV/1-5-18/74 und IV/1-5-18/75

von

K. Möhler, J. Ehlbeck und T.K. Ong

Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen
Universität Karlsruhe (TH)

1978

Inhalt

- 1 Ziel der Untersuchung
- 2 Bisherige Prüfverfahren in verschiedenen Ländern
- 3 Vorversuche mit Nageldruckscherkörpern
 - 3.1 Beschreibung der gewählten acht Prüfverfahren
 - 3.2 Versuchskörper und Versuchsdurchführung
 - 3.3 Ergebnisse und Auswertungen der Vorversuche
 - 3.4 Schlußfolgerungen für die Hauptversuche
- 4 Hauptversuche
 - 4.1 Versuche mit Zugscherkörpern nach drei Verfahren
 - 4.1.1 Verbindungsmittel, Prüfkörper, angenommene Höchstlasten
 - 4.1.2 Prüfverfahren
 - 4.1.3 Versuchsergebnisse und Auswertungen
 - 4.2 Vergleichende Versuche mit Steuerung nach Verformungsgeschwindigkeit und nach Belastungsgeschwindigkeit
- 5 Vorgeschlagenes Prüfverfahren
 - 5.1 Allgemeines
 - 5.2 Beschreibung des Prüfverfahrens
 - 5.3 Versuche nach diesem Verfahren
 - 5.3.1 Reihe Na und Na Z
 - 5.3.2 Reihe Nb
 - 5.3.3 Reihe K
 - 5.3.4 Reihe M und MZ
 - 5.4 Vergleichende Versuche mit Steuerung nach Belastungsgeschwindigkeit
- 6 Zusammenfassung

Schrifttum

Erläuterung der verwendeten Bezeichnungen

Bilder 1 bis 33

Tabellen 1 bis 12

Untersuchungen über den Einfluß des Last-Zeitablaufes bei Prüfversuchen für mechanische Holzverbindungsmittel auf Traglast und Verformungsgrößen

von

K. Möhler, J. Ehlbeck und T.K. Ong

1 Ziel der Untersuchung

Im Ingenieurholzbau wurden in den vergangenen Jahren eine Vielzahl verschiedenartiger, mechanischer Holzverbindungsmittel entwickelt. Diese weichen in Form und Größe von denjenigen Verbindungsmitteln ab, deren Tragfähigkeits- und Verformungsverhalten unter statischer Beanspruchung bekannt ist und für die in den einschlägigen technischen Baubestimmungen zulässige Beanspruchungen und Anwendungsvorschriften bestehen. Neuartige und noch nicht allgemein gebräuchliche Verbindungsmittel bedürfen jedoch entweder einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung oder der Zustimmung der Bauaufsichtsbehörde im Einzelfall, womit ihre Brauchbarkeit für den Verwendungszweck nachgewiesen ist. Voraussetzung dazu aber ist ein Nachweis über das Trag- und Verformungsverhalten durch sog. Zulassungsversuche.

Die Durchführung von derartigen Zulassungsversuchen muß nach einheitlich geregelten Prüfrichtlinien erfolgen, um eine gleichwertige Beurteilung neuartiger Verbindungsmittel untereinander oder im Vergleich mit den bestehenden und bewährten Bauarten zu gewährleisten.

In Deutschland besteht dafür z. Z. keine brauchbare Prüfrichtlinie. Nur für die in früheren Jahren in vielerlei Variationen zu prüfenden Dübelverbindungen bestand bis zur Zurückziehung durch das Deutsche Institut für Normung (DIN) ein Prüfrichtlinien-Entwurf zu DIN 4110 Blatt 8 in der Ausgabe Oktober 1965, der aber auf nagelähnliche Verbindungen, wie z. B. Holzschrauben, Klammern und Nagelplatten sowie die vielen neuentwickelten Typen von Nägeln mit besonderen Schaft- und Kopfformen, nicht ohne Beeinträchtigung der Aussagewirkung übertragbar ist. Insbesondere der zeitliche Ablauf der Prüfung nach diesem Normentwurf erscheint in vielen

Fällen wenig sinnvoll und sehr zeitaufwendig. Die auf diesem Gebiet in einigen Ländern bereits entwickelten Prüfverfahren machen es außerdem dringend erforderlich, eine neue Prüfrichtlinie für Holzverbindungsmittel zu erarbeiten und einzuführen. Dabei sollte man gleichzeitig eine weitestmögliche Vereinheitlichung der Prüfverfahren auf internationaler Ebene anstreben. Dies gilt sowohl für die Wahl der Prüfkörper, ihrer Größe und Abmessungen und die Anzahl der durchzuführenden Prüfungen als auch für den Prüfablauf, der auf die heute automatisch registrierenden Meßverfahren und die entweder mechanisch oder hydraulisch betriebenen modernen Materialprüfmaschinen abgestimmt sein muß.

Durch vergleichende Versuche bei verschiedenen Belastungs- oder Verformungsgeschwindigkeiten mit und ohne Zwischenentlastungen, auch in Anlehnung an bestehende ausländische Prüfmethode, sollte daher untersucht werden, nach welchem Verfahren die für die Festlegung der zulässigen Belastungen neuartiger Verbindungsmittel des Holzbaus maßgebenden Größen mit genügender Zuverlässigkeit und vertretbarem Zeitaufwand ermittelt werden können.

2 Bisherige Prüfverfahren in verschiedenen Ländern

Der genannte Entwurf zu DIN 4110 Blatt 8 aus dem Jahre 1965 ging davon aus, daß aufgrund einiger Vorversuche über eine Bruchsicherheit von $\gamma = 2,75$ eine "vorläufige" zulässige Belastung festgelegt wurde. Damit wurden die Prüfkörper so bemessen, daß mit Sicherheit das zu prüfende Verbindungsmittel unter der aufnehmbaren Höchstlast versagte. Die Prüfung erfolgte stufenweise um je $1/4$ der angenommenen zulässigen Belastung, ohne daß genaue Angaben über die Geschwindigkeit der Lastaufbringung bestanden. Um die Nachgiebigkeit der Verbindung zu erfassen, waren jeweils nach zweiminütiger Wartezeit bei jeder Laststufe die in der Verbindung eingetretenen Verschiebungen zu messen. Nach Erreichen der angenommenen zulässigen Belastung erfolgte eine erste Entlastung, und weitere elf Be- und Entlastungen sollten insbesondere über

die bleibenden Verformungen der Verbindung nach wiederholter Beanspruchung in Höhe der Gebrauchslasten Auskunft geben. Erst die 13. Belastung wurde über die angenommene zulässige Belastung hinaus, ebenfalls in gleichgroßen Laststufen und mit jeweiligen Wartezeiten von 2 Minuten, bis zum Bruch gesteigert. Dabei wurden weitere Zwischenentlastungen empfohlen. Geht man davon aus, daß die Belastungen recht zügig aufgebracht wurden, so waren dennoch durch die vielen Konstanthaltungen und die geforderten Zwischenentlastungen insgesamt meist Prüfzeiten von 30 Minuten und mehr erforderlich, bis schließlich die Höchstlast erreicht war. Ueber das Verformungsverhalten lieferte dieses Verfahren allerdings recht umfassende Daten.

In den Niederlanden hatte man inzwischen in dem Betreiben, zu sinnvollen und auf die neuere Meßtechnik abgestimmten Verfahren zu kommen, alle bestehenden Prüfmethode gegeneinander abgewogen und ein Prüfverfahren festgelegt, nach dem am STEVIN-Laboratorium der Technischen Hochschule Delft mechanische Holzverbindungsmittel geprüft werden. Den Anstoß hierzu gab auch die Notwendigkeit, Prüfungen an verschiedenen Instituten zuverlässig miteinander vergleichen zu können. Diese von VERMEYDEN [1] bereits 1963 vorgeschlagene Methode wurde im wesentlichen in den Folgejahren von KUIPERS [2] in den internationalen Gremien als Vorschlag für einheitliche Prüfverfahren eingebracht. Die wesentlichen Gedanken hierbei sind: Keine Konstanthaltung der Last während des gesamten Versuchsablaufes, stets gleichen Zeitbedarf vom Versuchsbeginn bis zur Erreichung von etwa 90% der aufnehmbaren Höchstlast, eine Zwischenentlastung bei etwa 40% der Höchstlast zur Bestimmung des Verformungsverhaltens im später zu erwartenden Gebrauchszustand, Steuerung des Ablaufes mit konstanter Belastungs- oder Verformungsgeschwindigkeit (je nach Möglichkeit der Prüfmaschine) bis etwa 70% der aufnehmbaren Höchstlast und im oberen Lastbereich Vermeidung zu rascher Verformungszunahmen.

In den skandinavischen Ländern gaben vor allem die Untersuchungen an Nagelplatten-Systemen den Anlaß, ein einheitliches Prüfverfahren festzulegen. Hierzu legten EDLUND und NORÉN [3] im Jahre 1969 von der IUFRO-Section 41

in London einen Entwurf vor, der auf den "Nordiska riktlinjer för träkonstruktioner (Chapter V)" in der NKB-Schrift Nr. 7, Mai 1967, beruht. Dieser Prüfablauf ähnelt sehr dem holländischen Vorschlag und fordert eine konstante Verformungsgeschwindigkeit von höchstens 1,5 mm/min oder eine konstante Belastungsgeschwindigkeit von 1/10 der zu erwartenden Höchstlast in 30 s bis zu einer Lasthöhe von etwa 70% der Höchstlast. Im oberen Lastbereich wird auch hier eine gleichbleibende Verformungsgeschwindigkeit empfohlen.

In den USA hat das Truss Plate Institute [4] im Jahre 1970 in seinen "Design Specifications for Light Metal Plate Connected Wood Trusses" für das Prüfverfahren bei Nagelplatten festgelegt, daß die Höchstlast in etwa 10 Minuten erreicht werden soll, wobei mit einer Zeitspanne von mindestens 5 Minuten und höchstens 20 Minuten noch ein großer Spielraum gegeben ist. Man gibt dazu als Richtwert eine konstante Querhauptgeschwindigkeit der Prüfmaschine von 0,035"/min, d.h. etwa 0,9 mm/min, mit einer Toleranz von $\pm 50\%$ an, bei der die vorgesehene Gesamtprüfdauer eingehalten werden kann. Diese Angaben entsprechen der ASTM D 1761-74 "Standard Methods of Testing Metal Fasteners in Wood" für die Prüfung von Bolzen, Dübeln und plattenartigen Holzverbindern [5], während man bei Nägeln und Schrauben sowohl für die Beanspruchung auf Herausziehen als auch auf Abscheren eine Verformungsgeschwindigkeit von 0,1"/min, d.h. etwa 2,5 mm/min, mit einer Toleranz von $\pm 25\%$ als Standardversuch festgelegt hat. Man geht bei diesen Richtwerten davon aus, daß die Verformungsgeschwindigkeit am Prüfkörper etwa der Querhauptgeschwindigkeit der Prüfmaschine entspricht.

Aus den beschriebenen Prüfverfahren geht hervor, daß neben der Gesamtprüfdauer vor allem der Frage der Steuerung nach Verformungs- oder Belastungsgeschwindigkeit Aufmerksamkeit geschenkt werden mußte. So ergaben sich für die nachstehend beschriebenen Vorversuche neben dem zum Vergleich herangezogenen Verfahren nach dem Normentwurf DIN 4110 Blatt 8 zwei Gruppen

von Versuchen, in denen jeweils mit oder ohne Zwischenentlastungen und mit verschiedenen Prüfungsgeschwindigkeiten an gleichartigen Versuchskörpern festgestellt werden sollte, wie sich unterschiedliche Prüfabläufe auf das Verformungsverhalten und schließlich auf die Höhe der aufnehmbaren Last auswirken.

3 Vorversuche mit Nageldruckscherkörpern

3.1 Beschreibung der gewählten acht Prüfverfahren

Für die Vorversuchsreihe mit zweischnittigen Nagel-Druckscherkörpern wurden acht verschiedene Belastungsverfahren vorgesehen, die sich grundsätzlich in 3 Gruppen einreihen lassen, nämlich

- A Verfahren in Anlehnung an den alten Normentwurf DIN 4110 Blatt 8,
- B Verfahren mit konstanter Verformungsgeschwindigkeit,
- C Verfahren mit konstanter Belastungsgeschwindigkeit.

Jede systematische Planung von Versuchen dieser Art muß von zu erwartenden Höchstlasten (Bruchlasten) ausgehen, die entweder aus Erfahrungswerten, Vorberechnungen oder einfachen Bruchversuchen gewonnen werden müssen. Schon für die Gestaltung und Dimensionierung der Versuchskörper sind solche Daten erforderlich. Bei den Vorversuchen wurden Nagelkörper verwendet, deren Tragfähigkeit aufgrund der dafür bestehenden Bemessungs- und Ausführungsbestimmungen der DIN 1052 Teil 1, Ausgabe Oktober 1969, bekannt war. Diese abgeschätzte Höchstlast $\max F$ wurde in zehn gleiche Stufen $f = 0,1 \cdot \max F$ unterteilt. Damit wurden folgende acht Prüfverfahren abgewickelt :

- A 1 Belastung in Stufen zu $f = 0,1 \cdot \max F$ mit 2-minütiger Wartezeit bei jeder Laststufe. Nach der ersten Belastung bis $4 f = 0,4 \cdot \max F$ erfolgte eine Entlastung mit nachfolgender elfmaliger Be- und Entlastung zwischen 0 und $4 f$. Die Lastaufbringung in jeder Stufe erfolgte mit einer konstanten Verformungsgeschwindigkeit von 2 mm/min.

- A 2 wie A 1, jedoch erfolgte die Lastaufbringung in jeder Stufe innerhalb 30 s, d.h. mit einer konstanten Belastungsgeschwindigkeit von $2 \cdot f/\text{min} = 0,2 \cdot \max F/\text{min}$.
- B 1 Belastung mit durchgehend bis zum Bruch konstanter Verformungsgeschwindigkeit von 2 mm/min ohne Zwischenentlastungen.
- B 2 wie B 1, jedoch mit einer Verformungsgeschwindigkeit von 1 mm/min.
- B 3 wie B 1, jedoch mit einer Zwischenentlastung bei $4 f = 0,4 \cdot \max F$ zurück auf $f = 0,1 \cdot \max F$ ohne jede Wartezeit.
- B 4 wie B 2, jedoch mit einer Zwischenentlastung bei $4 f = 0,4 \cdot \max F$ zurück auf $f = 0,1 \cdot \max F$ ohne jede Wartezeit.
- C 1 Belastung mit durchgehend bis zum Bruch konstanter Belastungsgeschwindigkeit von $2 f/\text{min} = 0,2 \cdot \max F/\text{min}$.
- C 2 Belastung mit konstanter Belastungsgeschwindigkeit von $2 f/\text{min} = 0,2 \cdot \max F/\text{min}$ bis $7 f = 0,7 \cdot \max F$ mit einer Zwischenentlastung bei $4 f = 0,4 \cdot \max F$ zurück auf $f = 0,1 \cdot \max F$ ohne jede Wartezeit. Ab $7 f = 0,7 \cdot \max F$ Laststeigerung mit der in diesem Augenblick vorhandenen Verformungsgeschwindigkeit bis zum Bruch.

Mit den Verfahren A 1, A 2, C 1 und C 2 wurden je drei Versuche, den Verfahren B 1 und B 3 je vier Versuche und den Verfahren B 2 und B 4 je zwei Versuche durchgeführt.

3.2 Versuchskörper und Versuchsdurchführung

Sämtliche Vorversuche wurden an zweischnittigen, genagelten Druckscherkörpern aus Nadelholz mit 8 Nägeln 34 x 90 DIN 1151 in den Abmessungen gemäß Bild 1 durchgeführt. Nach DIN 1052 Teil 1 beträgt die zulässige Belastung einer solchen Verbindung

$$\text{zul } F = 2 \cdot 8 \cdot 430 = 6\,880 \text{ N}$$

Geht man von einer mindestens 2,75-fachen Sicherheit gegenüber Bruch aus, so beträgt die zu erwartende Höchstlast

$$\max F \approx 19 \text{ bis } 20 \text{ kN.}$$

Da für die Versuchskörper zwei Fichtenbohlen mit einer durchschnittlichen

Rohdichte $\rho_N = 0,50 \text{ g/cm}^3$ verwendet wurden, waren noch höhere Bruchlasten zu erwarten. Daher wurde $f = 2500 \text{ N}$ festgelegt.

Die Versuche wurden an einer mechanischen 100 kN - Prüfmaschine durchgeführt, an der die Vorschubgeschwindigkeiten des Querhauptes fest vorgegeben werden können, während konstante Belastungsgeschwindigkeiten mit einer Zusatzeinrichtung, einem sog. Belastungsgeschwindigkeits-Vorgeber, gefahren werden können.

Mit Hilfe induktiver Wegaufnehmer und einem Zweikomponentenschreiber wurden die Last-Verschiebungs-Diagramme selbsttätig aufgezeichnet. Außerdem wurden die erreichte Höchstlast $\max F$ und die für den gesamten Versuchsablauf benötigte Zeit in jedem Einzelfall registriert.

3.3 Ergebnisse und Auswertungen der Vorversuche

In den in Abschnitt 2 genannten holländischen und skandinavischen Prüfrichtlinien wird als Höchstlast diejenige Last definiert, die von der Verbindung noch aufgenommen werden kann, ohne daß dabei eine Verschiebung von 7,5 mm zwischen den verbundenen Holzteilen überschritten wird. Andernfalls gilt die bei 7,5 mm Verschiebung vorhandene Last als die Höchstlast. Dies wird bei mechanischen Verbindungsmitteln mit erhöhter Nachgiebigkeit der Fall sein.

Bei den vorliegenden Versuchen wurde daher diese Last $F_{7,5}$ bei 7,5 mm Verschiebung bestimmt und die bis dahin benötigte Versuchsdauer als gesamte Versuchsdauer angesehen, auch wenn daran anschließend die Belastung unter großen Verformungszunahmen und entsprechendem Zeitaufwand noch bis zu einer meist geringfügig höheren Maximallast $\max F$ gesteigert werden konnte.

Im Balkendiagramm Bild 2 sind die nach den einzelnen Prüfverfahren ermittelten Lasten $F_{7,5}$ bei 7,5 mm Verschiebung und die Höchstlasten $\max F$ nebeneinander dargestellt. Zusätzlich ist die mittlere Versuchsdauer für jedes Verfahren

angegeben. Neben den Lasten sind auch die Verschiebungen im unteren Lastbereich von Interesse. Deren Größe hängt ebenfalls deutlich vom gewählten Prüfverfahren ab und ist für die Last $F = 4 \cdot f$, also für etwa 40% der Höchstlast, im Diagramm Bild 3 dargestellt. Die Bilder 4 bis 11 zeigen jeweils ein typisches Last-Verschiebungs-Diagramm der acht verschiedenen Prüfverfahren.

Das Verfahren A1, das etwa dem im deutschen Normentwurf DIN 4110 Blatt 8 vorgeschriebenen Belastungsablauf entspricht, lieferte die geringsten Höchstlasten und bei $4 f = 10 \text{ kN}$ mit über 0,4 mm die größten Verschiebungen. Der Zeitaufwand für diese Versuche betrug 27,5 Minuten. Beim Verfahren A2 wird eine wesentlich größere Versuchsdauer benötigt, da im unteren Lastbereich gegenüber Verfahren A1 wesentlich langsamer belastet wird. Das wirkt sich auf die Verformungen nicht nachteilig aus. Im oberen Lastbereich dagegen führt die konstante Belastungsgeschwindigkeit zu einer sehr raschen Verformungszunahme und zu einer etwas höheren aufnehmbaren Höchstlast $\max F$. Der Bruch tritt im Fall A2 wesentlich plötzlicher auf. Für den Beobachter ist das Eintreten des Bruches unter konstanter Verformungsgeschwindigkeit erheblich besser zu verfolgen und die Bruchursache deutlicher zu erkennen.

Bei den Verfahren B mit durchweg konstanten Verformungsgeschwindigkeiten bis zum Bruch erfolgt die Laststeigerung anfangs relativ schnell, so daß die Verschiebungen ohne Wartezeiten hinter denen der Verfahren A zurückbleiben. Die konstante Geschwindigkeit von 2 mm/min führte zu relativ kurzen Versuchsdauern und erhöhten Bruchlasten. Andererseits zeigte sich, daß im oberen Lastbereich die große Nachgiebigkeit der Verbindung zu einer beträchtlichen Erhöhung der Versuchsdauer führt.

Im Verfahren C1 mit durchgehend konstanter Belastungsgeschwindigkeit hat eine zu rasche Lastzunahme im oberen Bereich eine erhöhte Höchstlast bei relativ kurzer Versuchsdauer zur Folge, während im Verfahren C2 durch

Drosselung der Belastungsgeschwindigkeit oberhalb $7f$ die Versuchsdauer verlängert und die Tragfähigkeit etwas vermindert wird. Die niedrigen Verschiebungen bei Verfahren C1 hätten eigentlich ebenfalls in der Größenordnung von $0,4$ mm liegen müssen, da die Last in beiden Verfahren C im Vergleich zu Verfahren B im unteren Lastbereich verhältnismäßig langsam aufgebracht wird.

3.4 Schlußfolgerungen für die Hauptversuche

Die Voruntersuchungen haben gezeigt, daß das außerordentlich zeitaufwendige Verfahren A durchaus durch ein anderes ohne Wartezeiten ersetzt werden kann. Man sollte aber die Prüfmethode im Hinblick auf die Prüfmaschinen sowohl für weggesteuerte als auch für lastgesteuerte Prüfeinrichtungen auslegen, wobei anzustreben ist, nach beiden Verfahren vergleichbare Ergebnisse zu erzielen. Dabei scheint eine Versuchsdauer von 8 bis 10 Minuten sinnvoll zu sein. Wird mit konstanter Belastungsgeschwindigkeit geprüft, so muß diese jedoch im oberen Lastbereich gedrosselt werden. Bei sehr nachgiebigen Verbindungen sollte auch bei ausschließlicher Steuerung nach Verformungsgeschwindigkeit im oberen Lastbereich eine Erhöhung der Geschwindigkeit in Betracht gezogen werden. Eine einmalige Zwischenentlastung, etwa von $4f$ zurück auf f , ohne eingeschaltete Wartezeiten sollte vorgesehen werden, um das Verformungsverhalten der Verbindung im späteren Gebrauchsbereich hinsichtlich des Anteils bleibender Verschiebungen besser beurteilen zu können.

Es wurden daher für die Hauptversuche mit verschiedenen Verbindungsmitteln drei Prüfverfahren ähnlich der Verfahren A1, B4 und C2 vorgesehen, wobei das Verfahren A1 lediglich zum Vergleich herangezogen wurde.

4 Hauptversuche

4.1 Versuche mit Zugscherkörpern nach drei Verfahren

Aufgrund der Vorversuche wurden an drei Verbindungsmitteln unterschiedlicher Nachgiebigkeit mit Zugscherkörpern je fünf Einzelversuche durchgeführt, wie

sie im folgenden beschrieben werden.

4.1.1 Verbindungsmittel, Prüfkörper, angenommene Höchstlasten.

Als Verbindungsmittel wurden runde Drahtnägel 34 x 90 DIN 1151 (Versuchsreihe N), Halbrund-Holzschrauben 5 x 60 DIN 96 (Versuchsreihe HS) sowie eine 1,25 mm dicke Nagelplatte amerikanischer Herkunft in der Abmessung $b/l = 76/102$ mm (Versuchsreihe NP) verwendet. Die damit hergestellten Zugscherkörper sind in Bild 12 dargestellt. Das für diese Versuche verwendete Fichtenholz besaß bei einer Normalrohdichte von $0,48 \text{ g/cm}^3$ eine mittlere Druckfestigkeit von 36 N/mm^2 , bezogen auf einen Feuchtigkeitsgehalt von 15%.

Für die Nagelkörper mit acht zweischnittig angeordneten Nägeln ergab sich aus der zulässigen Belastung nach DIN 1052 Teil 1 von $\text{zul } F = 2 \cdot 8 \cdot 430 = 6880 \text{ N}$ unter Annahme einer etwa 3-fachen Sicherheit eine Laststufe $f = 0,1 \cdot \max F = 2000 \text{ N}$.- Für die Verbindung mit 2×5 einschnittigen Holzschrauben ergab sich aus der zulässigen Belastung von $\text{zul } F = 10 \cdot 17 \cdot 5^2 = 4250 \text{ N}$ nach DIN 1052 Teil 1 zwar unter 3-facher Sicherheit nur eine geschätzte Höchstlast von etwa 13 kN, doch wurde bei einem Vorversuch eine Tragfähigkeit von mindestens 20 kN festgestellt, so daß auch in diesem Falle für die Versuche $f = 2000 \text{ N}$ gewählt wurde.- Bei der Nagelplatte hatte ein Vorversuch eine Tragfähigkeit von 27 kN ergeben, so daß für diese Verbindung $f = 2500 \text{ N}$ angenommen wurde.

4.1.2 Prüfverfahren

Mit 15 Versuchskörpern eines jeden Verbindungsmitteltyps wurden je 5 Körper nach den folgenden Verfahren geprüft.

Verfahren A. Belastung in Stufen von $f = 0,1 \max F$ mit jeweils 2 Minuten Wartezeit pro Laststufe, einer Entlastung bei $4 f$ zurück auf f , 11 weitere Be- und Entlastungen zwischen $4 f$ und f und schließlich stufenweiser Weiterbelastung über $4 f$ hinaus bis zum Bruch. Die Lastaufbringung erfolgte dabei mit einer konstanten Verformungsgeschwindigkeit (Querhauptgeschwindigkeit der Prüfmaschine) von 1 mm/min unterhalb $7 f$ und einer Steigerung auf 4 mm/min

oberhalb $7 f$. Das Verfahren A entsprach somit etwa den Angaben des früheren Normentwurfes zu DIN 4110 Blatt 8.

Verfahren B. Lastaufbringung ohne jede Wartezeit mit einer konstanten Verformungsgeschwindigkeit von 1 mm/min bis $7 f$ bei einmaliger Zwischenentlastung von $4 f$ zurück auf f sowie einer Geschwindigkeitssteigerung auf 4 mm/min oberhalb $7 f$ bis zum Bruch. Dieses Verfahren entsprach im unteren Lastbereich dem Verfahren B4 der Vorversuche und wurde nur im oberen Lastbereich durch Erhöhung der Verformungsgeschwindigkeit abgekürzt.

Verfahren C. Lastaufbringung ohne jede Wartezeit mit einer konstanten Belastungsgeschwindigkeit von 2 f/min bei einmaliger Zwischenentlastung von $4 f$ zurück auf f bis zu einer Lasthöhe von $7 f$. Ab $7 f$ Weiterbelastung mit der in diesem Augenblick vorhandenen Verformungsgeschwindigkeit bis zur Höchstlast. Dieses Verfahren entsprach dem Verfahren C 2 der Vorversuche.

Bei allen Versuchen wurden die Last-Verschiebungs-Diagramme automatisch aufgezeichnet und die Höchstlasten $\max F$ sowie die bis zum Erreichen der Höchstlast benötigte Gesamtversuchsdauer registriert. Beim Verfahren C wurde außerdem die bei der Lasthöhe $7 f$ erreichte Verformungsgeschwindigkeit (= Querschnittsgeschwindigkeit) bestimmt.

4.1.3 Versuchsergebnisse und Auswertungen

Die bei den Versuchen gewonnenen Daten aller Einzelprüfungen und deren Mittelwerte sind in den Tabellen 1 bis 3 zusammengestellt. Daraus läßt sich entnehmen, daß die Verschiebungen im Bereich der zu erwartenden Gebrauchslasten bei den verschiedenen Prüfverfahren nicht wesentlich voneinander abweichen.

Ein Vergleich der Höchstlasten $\max F$ zeigt jedoch, daß in allen Fällen beim Verfahren A die geringsten Werte erreicht werden; dies ist auf die außerordentlich lange Versuchsdauer bei diesem Verfahren zurückzuführen (s. Bild 13).

Bei den Verfahren B und C wurde die Prüfdauer auf rund 20 bis 30% reduziert. Im Verfahren B hängt die Prüfdauer deutlich vom Grad der Nachgiebigkeit des Verbindungsmittels ab. Bei einem sehr steifen Verbindungsmittel, wie z.B. der Nagelplatte, führt eine extrem niedrige Versuchsdauer zu etwas höheren Höchstlasten, während im Verfahren C von vornherein durch die Wahl der Belastungsgeschwindigkeit zu $0,2 \cdot \max F/\min$ die gesamte Versuchsdauer unabhängig von der Nachgiebigkeit der Verbindung vorbestimmt ist. Beim Verfahren B muß daher besonders auf die Nachgiebigkeit der Verbindung Rücksicht genommen und die Verformungsgeschwindigkeit so gewählt werden, daß einheitliche Gesamtprüfzeiten erreicht werden.

Nach diesen Versuchen konnte das Prüfverfahren A eindeutig wegen zu großer Prüfdauer für weitere Untersuchungen ausgeschieden werden, während für die Prüfverfahren B und C weitere Einzelheiten über die Verfahrensweise festzulegen waren, um die Gleichwertigkeit beider Verfahren sicherzustellen. Damit können einheitliche Prüfrichtlinien festgelegt werden, bei denen wahlweise auf der Grundlage konstanter Verformungs- oder konstanter Belastungsgeschwindigkeit geprüft werden kann.

4.2 Vergleichende Versuche mit Steuerung nach Verformungsgeschwindigkeit und nach Belastungsgeschwindigkeit

Nachdem durch die Vorversuche (siehe Abschn. 3) und die Hauptversuche nach Abschnitt 4.1 die zweckmäßigsten Prüfverfahren bereits weitgehend eingegrenzt waren, kam es im folgenden darauf an, einen direkten Vergleich zwischen Steuerung nach Verformungs- und Belastungsgeschwindigkeit durchzuführen und dabei die Unterschiede im zeitlichen Ablauf des Belastungsvorganges zu erfassen. Gleichzeitig sollte geklärt werden, mit welcher tatsächlichen Verformungsgeschwindigkeit am Prüfkörper zu rechnen ist, wenn bei Prüfmaschinen mit konstanter Vorschubgeschwindigkeit des Querhauptes (nachfolgend Querhauptgeschwindigkeit v_Q genannt) gefahren wird.

Für diese Versuche wurden Scherkörper mit 1,25 mm dicken Nagelplatten der

Abmessungen $b/\ell = 76/152$ mm verwendet, deren Abmessungen in Bild 14 dargestellt sind.

In einem Vorversuch wurde unter konstanter Verformungsgeschwindigkeit von 1 mm/min eine Höchstlast von 70 kN in einer Gesamtzeit von etwa 11 Minuten festgestellt. Um auf eine Prüfzeit unter 10 Minuten bei zusätzlicher Zwischenentlastung von 4 f auf f zu kommen, wurden die Versuche auf einer mechanischen Prüfmaschine mit $f = 7\,000$ N und einer Querschnittsgeschwindigkeit von $v_Q = 1$ mm/min bis 7 f und $v_Q = 2$ mm/min ab 8 f gefahren (zwischen 7 f und 8 f allmähliche Geschwindigkeitssteigerung von 1 auf 2 mm/min). Auf einer hydraulischen Prüfmaschine wurde die Belastungsgeschwindigkeit v_F bis zur Höchstlast mit 2 f/min = 14 kN/min konstant beibehalten, da sich daraus theoretisch eine Gesamtversuchsdauer von genau 8 Minuten ergibt. Um den zeitlichen Ablauf der beiden Verfahren genau zu erfassen, wurden jeweils alle $f = 7\,000$ N die verfllossene Zeit und die aufgetretene tatsächliche Verschiebung am Versuchskörper gemessen. Für jeden Versuchstyp wurden drei Einzelversuche durchgeführt, die sich im Ablauf jedoch kaum voneinander unterschieden. Die gewonnenen Daten aus diesen Versuchen sind in den Tabellen 4 und 5 zusammengestellt. Aus den in den einzelnen Lastbereichen ermittelten Verformungszunahmen an den Versuchskörpern sowie der benötigten Zeit für das Durchlaufen eines Bereiches wurden die tatsächlich am Versuchskörper auftretenden Verformungsgeschwindigkeiten v_δ und bei der Steuerung nach Verformungsgeschwindigkeit auch die tatsächliche Belastungsgeschwindigkeit v_F errechnet. Die Prüfabläufe sind in Bild 15 dargestellt.

Aus diesen Messungen ergab sich zwischen beiden Prüfverfahren eine recht gute Übereinstimmung des Verformungsverhaltens bis nahe an den Bruch der Verbindung, obwohl bei einer Steuerung mit konstanter Querschnittsgeschwindigkeit eine anfangs sehr hohe Belastungsgeschwindigkeit auftritt, die erst mit zunehmender Verformung zurückgeht. Eine wesentliche Unterscheidung beider Verfahren trat oberhalb 7 f auf, da bei Steuerung mit konstanter Be-

lastungsgeschwindigkeit im oberen Lastbereich die Verformungsgeschwindigkeit zwangsläufig sehr stark ansteigen mußte. Die Folge davon war, daß trotz etwa gleicher Gesamtprüfdauer die Prüfung mit konstantem v_F zu einer im Mittel etwa 5% höheren Höchstlast $\max F$ führte. Dabei trat der Bruch schlagartig ein.

Um das Verfahren mit gesteuerter Belastungsgeschwindigkeit vor allem im oberen Lastbereich dem Verhalten mit gesteuerter Verformungsgeschwindigkeit anzupassen, sollte daher oberhalb $7 f$ die Belastungsgeschwindigkeit gedrosselt werden. Die dadurch benötigte längere Prüfzeit kann durch eine Beschleunigung der Zwischenentlastung von $4 f$ auf f wieder ausgeglichen werden, so daß der gesamte zeitliche Prüfablauf - wie in Bild 16 dargestellt - sich dem Verfahren mit Steuerung der Verformungsgeschwindigkeit besser anpassen kann.

Eine wichtige Erkenntnis aus diesen Versuchen ist ferner, daß die am Versuchskörper tatsächlich vorhandene Verformungsgeschwindigkeit v_δ sich von der Querhauptgeschwindigkeit v_Q der Prüfmaschine, nach der die Steuerung des Versuches abläuft, deutlich unterscheidet. Wenn von Steuerung eines Versuches mit konstanter Verformungsgeschwindigkeit gesprochen wird, so ist damit im allgemeinen eine konstante Querhauptgeschwindigkeit v_Q gemeint. Mit Hilfe elektro-hydraulischer Regelgeräte ist eine genaue Regelung des Prüfablaufes nach der am Versuchsobjekt vorhandenen Verformungsgeschwindigkeit zwar auch möglich, doch ist hierfür ein besonderer apparativer Aufwand erforderlich. Im Rahmen dieses Auftrages wurde ein derartiges Prüfverfahren nicht untersucht. Soll ein Versuch exakt nach der Verformung am Prüfkörper gesteuert werden, so muß daher die zu wählende Geschwindigkeit je nach der Nachgiebigkeit der Verbindung auf eine stets anzustrebende Versuchsdauer von etwa 8 bis 10 Minuten abgestimmt werden.

5 Vorgeschlagenes Prüfverfahren

5.1 Allgemeines

Die Untersuchungen haben gezeigt, daß es insbesondere im oberen Lastbereich zweckmäßig ist, Versuche zur Prüfung mechanischer Holzverbindungen

nach der Verformungsgeschwindigkeit zu steuern. Diese Anforderungen erfüllen alle Prüfmaschinen, die nach der Vorschubgeschwindigkeit des Querhauptes gesteuert werden können. Prüfmaschinen, deren Steuerung manuell oder mit Reglern nur nach der Belastungsgeschwindigkeit erfolgt, liefern im unteren Lastbereich bis etwa 60 bis 80% der zu erwartenden Tragfähigkeit des Verbindungsmittels zwar praktisch die gleichen Ergebnisse hinsichtlich des Verformungsverhaltens, haben aber den Nachteil, daß wegen der zunehmenden Weichheit der Holzverbindungsmittel im oberen Lastbereich die Verformungsgeschwindigkeit am Prüfling derart stark zunimmt, daß einerseits das Bruchverhalten nicht zuverlässig erfaßt werden kann und andererseits die aufnehmbare Höchstlast gegenüber der Prüfung mit Steuerung nach der Verformungsgeschwindigkeit mehr oder weniger stark erhöht wird. Bei der Steuerung nach der Belastungsgeschwindigkeit muß daher, um einigermaßen vergleichbare Ergebnisse zu erzielen, die Belastungsgeschwindigkeit im oberen Lastbereich erheblich reduziert werden, ohne daß man von vornherein eindeutige Angaben über die Größe dieser Verzögerung machen könnte. Steht keine nach der Verformungsgeschwindigkeit steuerbare Prüfmaschine zur Verfügung, so empfiehlt es sich, mit Hilfe zusätzlicher Regelgeräte die Prüfanlage so auszustatten, daß sie auch nach der Verformung des Prüfkörpers oder dem Vorschub des Querhauptes oder des Prüfkolbens gesteuert werden kann.

Unter diesen Voraussetzungen wird ein Prüfverfahren vorgeschlagen, welches grundsätzlich auf der Steuerung der Prüfanlage nach dem Weg des beweglichen Querhauptes beruht. Abschließend wird anhand vergleichender Prüfungen mit einer nur nach der Belastungsgeschwindigkeit steuerbaren Prüfanlage gezeigt, wie man auch in diesem Falle zu nahezu gleichen Versuchsergebnissen gelangen kann.

5.2 Beschreibung des Prüfverfahrens

Grundsätzlich benötigt man zur einwandfreien Durchführung der Prüfungen zwei Vorversuche, um daraus die richtige Wahl der Querhauptgeschwindig-

keit v_Q zu bestimmen. Einer dieser Versuche kann eingespart werden, wenn man aus Erfahrungswerten oder Vorberechnungen bereits sehr zuverlässig die zu erwartende Höchstlast vorherbestimmen kann. Dies ist bei neuartigen Verbindungsmitteln selten der Fall. Außerdem wird ein erster Vorversuch oft auch zur endgültigen Festlegung der Prüfkörperform und -abmessungen erforderlich, da der Prüfkörper so ausgebildet sein muß, daß seine Tragfähigkeit eindeutig auf das Versagen des Verbindungsmittels zurückzuführen ist.

Als weitere Forderung gilt, daß der Versuch in einer Gesamtzeit von 8 bis 10 Minuten abgeschlossen sein soll. Außerdem sind Lastkonstanthaltungen während des Versuchsablaufes zu vermeiden. Zur Erfassung der Verformungen im später zu erwartenden Gebrauchszustand wird lediglich eine einmalige Zwischenentlastung auf eine geringe Vorlast eingeschaltet.

1. Vorversuch

Der erste Vorversuch dient zur Ueberprüfung der Prüfkörper-Dimensionen und zur Ermittlung der zu erwartenden Höchstlast $\max F$. Er wird mit einer konstanten Querhauptgeschwindigkeit $v_{Q(V)} = 1 \text{ mm/min}$ (bei Versuchskörpern, die aus zwei Anschlüssen bestehen, z. B. Zugscherkörper, muß die Querhauptgeschwindigkeit zu $v_{Q(V)} = 2 \text{ mm/min}$ gewählt werden) ohne jede Zwischenentlastung bis zum Bruch gefahren. Neben der Höchstlast $\max F_{(1)}$ und der zugehörigen Gesamtverformung $\max \delta$ wird die Gesamtprüfzeit $T_{(1)}$ ermittelt. Das Aufzeichnen des Last-Verschiebungs-Diagrammes mit Hilfe der meist zur Prüfmaschine gehörigen Schreibvorrichtung gibt erste Auskunft über das Verformungsverhalten des Verbindungsmittels.

2. Vorversuch

Aufgrund der Höchstlast $\max F_{(1)}$ aus dem 1. Vorversuch wird eine Laststufe $f = 0,1 \cdot \max F$ festgelegt. Der 2. Vorversuch wird mit einer Zwischenentlastung von $4 f$ auf f und sofortiger Wiederbelastung über $4 f$ hinaus durchgeführt.

Dabei wird die durch die Zwischenent- und Wiederbelastung bis 4 f benötigte Zeit gemessen. Als Querhauptgeschwindigkeit wird wiederum $v_{Q(V)} = 1 \text{ mm/min}$ pro Anschluß gewählt. Das Last-Verschiebungs-Diagramm ist aufzuzeichnen.

Hat im 1. Vorversuch die Gesamtprüfdauer $T_{(1)}$ etwa 7 bis 10 Minuten betragen, so wird die Gesamtprüfdauer $T_{(2)}$ zwischen 8 und 11 Minuten liegen. Ueberschreitet sie 10 Minuten, so wird die Gesamtverschiebung pro Verbindung unter max F bereits über 7,5 mm liegen. In diesem Fall dient der 2. Vorversuch lediglich zur Bestätigung der gemachten Annahmen. Die nachfolgenden Hauptversuche können in gleicher Weise mit durchgehend konstantem $v_{Q(H)} = 1 \text{ mm/min}$ pro Anschluß durchgeführt werden. Gegebenenfalls kann der 2. Vorversuch bereits als 1. Hauptversuch gewertet werden.

Liegt im 1. Vorversuch die Gesamtprüfdauer $T_{(1)}$ über 10 Minuten, so muß im oberen Lastbereich eine Zunahme der Verformungsgeschwindigkeit erfolgen, um die Prüfzeit abzukürzen. Dazu wird neben der Aufzeichnung des Last-Verschiebungs-Diagrammes oder einer numerischen Registrierung der auftretenden Verschiebungen bei 7 f, 8 f, 9 f, 10 f und max F auch bei diesen Laststufen die Zeit gemessen. Mit Hilfe dieser Daten wird eine Querhauptgeschwindigkeit $v'_{Q(H)}$ errechnet, auf die im Hauptversuch die anfängliche Geschwindigkeit von 1 mm/min pro Anschluß im Lastbereich zwischen 7 f und 8 f stetig zu erhöhen und mit der oberhalb 8 f konstant bis zur Höchstlast weiterzufahren ist.

Berechnung der erhöhten Querhauptgeschwindigkeit $v'_{Q(H)}$

Aus den Zeitmessungen und den Verschiebungen bei den Laststufen ab 7 f des 2. Vorversuches wird die durchschnittliche Verformungsgeschwindigkeit \bar{v}_δ am Prüfkörper berechnet:

$$\bar{v}_\delta \approx \frac{1}{4} \left(\frac{\delta_8 - \delta_7}{t_8 - t_7} + \frac{\delta_9 - \delta_8}{t_9 - t_8} + \frac{\delta_{10} - \delta_9}{t_{10} - t_9} + \frac{\max \delta - \delta_{10}}{T_{(2)} - t_{10}} \right)$$

(δ_i = Verschiebungen in mm; t_i = Zeiten in Minuten)

Diese Geschwindigkeit liegt geringfügig unter der im 2. Vorversuch gefahrenen Querhauptgeschwindigkeit $v_{Q(V)} = 1 \text{ mm/min}$.

Die Verformungsgeschwindigkeit v_{δ} am Prüfling, die oberhalb 7 f erforderlich ist, um den Versuch nach 10 Minuten zum Abschluß zu bringen, beträgt dann :

$$\text{erf } v_{\delta} = \frac{\max \delta - \delta_7}{10 - t_7}$$

und die erforderliche Querhauptgeschwindigkeit $v'_{Q(H)}$ ergibt sich zu :

$$\text{erf } v'_{Q(H)} = \text{erf } v_{\delta} \cdot \frac{v_{Q(V)}}{v_{\delta}}$$

Diese Querhauptgeschwindigkeit wird auf 0,5 mm/min aufgerundet und im oberen Lastbereich ab 8 f für die Hauptversuche vorgesehen.

Hauptversuche

Die Laststufe f wird endgültig festgelegt und gegebenenfalls nach dem Ergebnis des 2. Vorversuches nochmals korrigiert. Mit einer konstanten Querhauptgeschwindigkeit von $v_{Q(H)} = 1 \text{ mm/min}$ pro Anschluß wird bis 4 f belastet, auf f entlastet und wiederbelastet über 4 f hinaus bis zur Höchstlast max F. Wird nach dem 2. Vorversuch eine notwendige Erhöhung der Verformungsgeschwindigkeit im oberen Lastbereich festgestellt, so wird im Bereich zwischen 7 f und 8 f die Geschwindigkeit $v_{Q(H)}$ auf $v'_{Q(H)}$ stetig gesteigert und ab 8 f konstant mit $v'_{Q(H)}$ bis zur Höchstlast max F gefahren.

Das Last-Verschiebungs-Diagramm ist mit ausreichender Auflösung des Weges bis zur Laststufe 7 f aufzuzeichnen, möglichst mit selbsttätig aufzeichnenden Zweikomponentenschreibern. Die Höchstlast max F, an die in Anlehnung an die skandinavischen Vorschläge die Bedingung geknüpft werden kann, daß sie als die größte aufnehmbare Kraft ohne Ueberschreitung einer Verschiebung

von 7,5 mm gilt, sowie gegebenenfalls die Bruchverschiebung $\max \delta$ (sofern $\max \delta < 7,5$ mm) und die gesamte Versuchsdauer sollten stets Bestandteil des Prüfberichtes sein.

In Bild 17 ist das vorgeschlagene Prüfverfahren schematisch dargestellt.

5.3 Versuche nach diesem Verfahren

Mit vier verschiedenartigen Verbindungsmitteln wurden nach dem vorgeschlagenen Prüfverfahren systematisch jeweils zwei Vor- und drei Hauptversuche durchgeführt. Als Verbindungsmittel wurden verwendet:

- a) runde Drahtnägel 25 x 60 DIN 1151, einschnittig, als Druckscherkörper (Reihe Na) mit drei ergänzenden Hauptversuchen als Zugscherkörper (Reihe Na Z), Versuchskörper nach Bild 18,
- b) runde Drahtnägel 55 x 145 DIN 1151, zweischnittig mit vorgebohrten Nagellöchern (\varnothing 4,7 mm) als Druckscherkörper (Reihe Nb), Versuchskörper nach Bild 19,
- c) Klammern des Typs Q 6774-Q23 (56 mm lang) nach allg. bauaufsichtlicher Zulassung Nr. Z 9 - 1976 vom 21.4.1978, einschnittig, als Druckscherkörper (Reihe K), Versuchskörper nach Bild 20,
- d) MENIG-Nagelplatten nach allg. bauaufsichtlicher Zulassung Nr. 9.1-1978 vom 29.6.1973 als Druckscherkörper (Reihe M) mit drei ergänzenden Hauptversuchen als Zugscherkörper (Reihe MZ), Versuchskörper nach Bild 21.

Diese Versuche lieferten folgende Ergebnisse:

5.3.1 Reihe Na und Na Z

Tabelle 6 enthält sämtliche Daten der Reihe Na und Bild 22 das Last-Verschiebungs-Diagramm des 1. Hauptversuches dieser Reihe. Die Vorversuche hatten gezeigt, daß in diesem Falle eine Erhöhung der Querhauptgeschwindigkeit oberhalb 7 f

nicht nötig ist. Die Vorversuche können in diesem Falle als vollwertige Versuche betrachtet werden, wenn aus den Last-Verschiebungs-Diagrammen die Lasten $P_{7,5}$ bei 7,5 mm Verschiebung entnommen werden können. (Gegenüber der für dieses Verbindungsmittel zulässigen Belastung von $12 \cdot 250 = 3\,000$ N nach DIN 1052 Teil 1 haben die Versuche eine mittlere Bruchsicherheit von $8\,310/3\,000 = 2,77$ nachgewiesen.)

Die zusätzlichen Versuche an drei Zugscherkörpern gleicher Dimensionierung (Reihe Na Z), bei denen die Querhauptgeschwindigkeit aufgrund der Vorversuche der Reihe Na durchgehend konstant mit $v_{Q(H)} = 2$ mm/min (da zwei Anschlüsse) gewählt wurde, bestätigten die Richtigkeit der Wahl des Versuchsablaufes (siehe Tabelle 7). (Diese Versuche wiesen mit $8\,190/3\,000 = 2,73$ eine geringfügig kleinere mittlere Bruchsicherheit gegenüber zul F nach DIN 1052 Teil 1 aus. Die Unterschiede zwischen Druck- und Zugversuchen waren bei $F_{7,5}$ und max F weniger als 1,5%).

5.3.2 Reihe Nb

Bei der Reihe Nb mit dickeren Drahtnägeln in vorgebohrten Nagellöchern erwies sich die Versuchsdauer $T_{(1)}$ im 1. Vorversuch etwas zu groß (siehe Bild 23). Im 2. Vorversuch wurden daher nach Festlegung der Laststufe $f = 3\,500$ N die Zeiten und Verschiebungen ab $7f$ genauer ermittelt (siehe Bild 24), so daß daraus die Querhauptgeschwindigkeit $v'_{Q(H)} = 1,5$ mm/min oberhalb $8f$ bestimmt werden konnte. Die gesamten Versuchsdaten sind in Tabelle 8 enthalten und das Last-Verschiebungs-Diagramm des 1. Hauptversuches in Bild 25 wiedergegeben. (Nach DIN 1052 Teil 1 ist für diese Verbindung eine Belastung von $zul F = 6 \cdot 2 \cdot 1\,220 = 14\,640$ N zugelassen. Betrachtet man die Last $F_{7,5}$ als maßgebende Höchstlast, so beträgt die mittlere Bruchsicherheit bei dieser Versuchsreihe $34\,730/14\,640 = 2,37$, bezogen auf max F wäre $v = 2,42$.)

5.2.2 Reihe K

Bei den Verbindungen mit Klammern des Typs Q 6774 - Q 23 nach der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung für SENCO-Klammern als Holzverbindungsmittel

wurde nach dem 2. Vorversuch die ursprünglich vorgesehene Laststufe $f = 3\,000\text{ N}$ auf $3\,250\text{ N}$ erhöht und für Lasten oberhalb $8\ f$ eine Erhöhung der Querhauptgeschwindigkeit auf $1,5\text{ mm/min}$ bestimmt. Alle Ergebnisse dieser Reihe enthält Tabelle 9. (Die Hauptversuche ergaben bei Einhaltung einer Gesamtversuchsdauer von etwas über 10 Minuten für die zulässige Belastung nach der bestehenden Zulassung vom 21.4.1978 eine mittlere Bruchsicherheit gegenüber der Last $F_{7,5}$ von $34\,380/30 \cdot 280 = 4,09$). Das Last-Verschiebungs-Diagramm in Bild 26 zeigt das für beharzte Klammern typische Formänderungsverhalten.

5.3.4 Reihe M und MZ

Die Ergebnisse der Untersuchungen an den Druckscherkörpern sind in Tabelle 10 zusammengestellt. Hier zeigte sich besonders, wie notwendig Vorversuche sind, da die nach dem 1. Vorversuch festgelegte Laststufe f sich als unzutreffend erwies und für die Hauptversuche erheblich höher angesetzt werden mußte. Die Erhöhung der Querhauptgeschwindigkeit auf $1,5\text{ mm/min}$ oberhalb $8\ f$ war gerade noch gerechtfertigt, um die Gesamtversuchsdauer nicht zu gering werden zu lassen. Das Last-Verschiebungs-Diagramm des 3. Hauptversuches zeigt Bild 27. (Die mittlere Bruchsicherheit gegenüber der Last $F_{7,5}$ der Hauptversuche betrug bei einer zulässigen Belastung von $8\,000\text{ N}$ nach der bestehenden allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung $38\,430/8\,000 = 4,80$).

Die Versuche mit Zugscherkörpern (Reihe MZ) wurden nach dem gleichen Verfahren durchgeführt. Die Querhauptgeschwindigkeit betrug 2 mm/min unterhalb $7\ f$ und 3 mm/min oberhalb $8\ f$. Die in Tabelle 11 angegebenen Versuchsergebnisse führten zu praktisch den gleichen Ergebnissen wie bei Druckscherkörpern. Lediglich die Versuchsdauer war etwas größer. Bild 28 zeigt ein Last-Verschiebungs-Diagramm aus dieser Reihe.

5.4 Vergleichende Versuche mit Steuerung nach Belastungsgeschwindigkeit

Das in Abschnitt 5.2 beschriebene Prüfverfahren bedarf einer Ergänzung für den Fall, daß für die Prüfung keine Prüfmaschine mit Verformungssteuerung zur Verfügung steht. Die vergleichenden Versuche nach Abschnitt 4.2 haben gezeigt,

daß im oberen Lastbereich bei Laststeuerung infolge zu hoher Verformungsgeschwindigkeit eine Abweichung gegenüber verformungsgesteuerten Versuchen auftritt, die dazu führt, daß zu hohe Bruchlasten bei schlagartig auftretendem Bruch erzielt werden. Um eine bessere Angleichung an das vorgeschlagene Prüfverfahren für Verformungssteuerung zu erreichen wird daher folgendes Verfahren vorgeschlagen :

In einem oder mehreren Vorversuchen, je nachdem, ob aufgrund anderer Vorkenntnisse die Tragfähigkeit bereits abgeschätzt werden kann, wird mit einer Belastungsgeschwindigkeit von etwa $0,2 \cdot \max F/\text{min}$ (Schätzwert !) bis zum Bruch die zu erwartende Tragfähigkeit ermittelt. Daraus wird die Laststufe $f = 0,10 \cdot \max F$ festgelegt.

Bei den Hauptversuchen wird mit einer Belastungsgeschwindigkeit von $v_F = 2 f/\text{min}$ bis $4 f$ belastet, dann mit doppelter Geschwindigkeit von $4 f/\text{min}$ auf f entlastet und bis $4 f$ wieder belastet. Ab $4 f$ wird zunächst bis $7 f$ wieder mit einer Geschwindigkeit von $2 f/\text{min}$ gefahren. Die erforderliche Verzögerung im oberen Lastbereich erfolgt durch allmähliche Verringerung der Geschwindigkeit von $2 f/\text{min}$ auf $0,5 f/\text{min}$ zwischen den Laststufen $7 f$ und $8 f$, wofür eine Zeit von etwa 1 Minute benötigt wird. Oberhalb $8 f$ schließlich wird mit konstanter Geschwindigkeit von $0,5 f/\text{min}$ bis zur Höchstlast weitergefahren. Für diesen Versuchsablauf wird eine theoretische Gesamtzeit von 10 Minuten benötigt. Im übrigen werden durch selbsttätige Aufzeichnung des Last-Verschiebungs-Diagrammes die gleichen Daten wie bei einem weggesteuerten Versuch (Abschnitt 5.2) ermittelt. In Bild 29 ist schematisch das vorgeschlagene Prüfverfahren dargestellt.

Nach diesem Verfahren wurden je ein Vorversuch (Höchstlast war aus den Versuchen mit konstanter Querhauptgeschwindigkeit bekannt) und 3 Hauptversuche an Druckscherkörpern der Reihen Na (Abschnitt 5.3.1), Nb (Abschnitt 5.3.2), K (Abschnitt 5.3.3) und M (Abschnitt 5.3.4) durchgeführt, um unmittelbare Vergleiche mit den Versuchen mit verformungsgesteuerter Prüfmaschine zu erhalten. Die Bilder 30 bis 33 zeigen die Last-Verschiebungs-

Diagramme je eines Hauptversuches dieser Vergleichsversuche. Man erkennt im Vergleich zu den Diagrammen der entsprechenden Hauptversuche mit konstanter Verformungsgeschwindigkeit, daß im oberen Lastbereich ein meist etwas anderes Verhalten der Verbindungen eintritt. In Tabelle 12 sind die wichtigsten Versuchsdaten dieser vergleichenden Versuche zusammengestellt. Die 7,5 mm-Verschiebung war praktisch bei gleicher Last erreicht, die Bruchverschiebungen waren aber durchweg erheblich größer und die erreichten Höchstlasten lagen um 2,7 bis 7,5% höher als beim weggesteuerten Prüfverfahren. Die bei diesen Vergleichsversuchen benötigte Versuchsdauer lag auch dann etwas über der bis $F = 10 \cdot f$ vorbestimmten Zeit von 10 Minuten, wenn die Höchstlast den Wert von $10 \cdot f$ nicht überstieg. Dies ist darauf zurückzuführen, daß bei Versuchsbeginn im allgemeinen eine kleine Zeitverzögerung in der Laststufe von 0 bis f nicht zu vermeiden ist.

6 Zusammenfassung

Ausgehend vom früheren deutschen Normentwurf DIN 4110 Blatt 8 über die Prüfung von mechanischen Verbindungsmitteln für tragende Bauteile aus Holz und Holzwerkstoffen und den in verschiedenen anderen Ländern eingeführten Prüfverfahren wurden vergleichende Versuche nach unterschiedlichen Methoden durchgeführt, um zu einem ausreichend zuverlässigen und nicht zu zeitaufwendigen einheitlichen Prüfverfahren zu gelangen. Dabei wurde davon ausgegangen, daß derartige Versuche entweder an verformungsgesteuerten oder an lastgesteuerten Prüfmaschinen durchgeführt werden. Wegen der im allgemeinen verhältnismäßig großen Nachgiebigkeit der mechanischen Holzverbindungsmittel im oberen Lastbereich, d.h. bei Lasten oberhalb von 70% der aufnehmbaren Höchstlast, hat es sich als sinnvoll erwiesen, die Versuche nach der Verformungsgeschwindigkeit zu steuern. Dabei genügt es im allgemeinen, mit vorbestimmten Vorschubgeschwindigkeiten des Maschinenquerhauptes zu fahren, obwohl diese Geschwindigkeit zumindest im unteren Lastbereich nicht der tatsächlichen Verformungsgeschwindigkeit der zu prüfenden Verbindung

entspricht.

Für diese Prüfmethode wird ein Prüfverfahren vorgeschlagen, welches den Prüfablauf auf 10 ± 2 Minuten begrenzt und durch eine Zwischenentlastung bei etwa 40% der Höchstlast die Ermittlung der wichtigsten gesamten und bleibenden Verformungsgrößen im Gebrauchsbereich des Verbindungsmittels ermöglicht. Für die Prüfung mit Steuerung nach der Belastungsgeschwindigkeit wird ebenfalls ein Verfahrensablauf empfohlen, der praktisch die gleichen Versuchsdaten wie bei verformungsgesteuerter Prüfung liefert, wenn die Belastung bei 7,5 mm Verschiebung je Anschluß als maßgebende Höchstlast angesehen wird. Die absolute Höchstlast wird aber meist zu hoch erhalten, da je nach Weichheit des zu prüfenden Verbindungsmittels eine Verzögerung der Belastungsgeschwindigkeit erfolgen muß, die nicht eindeutig festgelegt werden kann und daher in der praktischen Versuchsdurchführung meist zu hoch gewählt wird. Die Prüfung mit regelbarer Verformungsgeschwindigkeit ist daher in jedem Falle der lastgesteuerten Prüfung vorzuziehen.

SCHRIFTTUM

- [1] Vermeyden, P.: A Loading Procedure for Testing Timber Joints.
HERON 1963, Nr. 2, S.41/51.
Hrsg. Stevin-Lab. (Techn.Univ.) und
Inst. T.N.O. for Building Mat. and Struct.
Delft, Niederlande
- [2] Kuipers, J.: RILEM - Recommendations for Testing Methods
for Joints with Mechanical Fasteners and Connectors
in Load - Bearing Timber Structures.
5th Draft, August 1975 (7 Seiten)
Delft, Niederlande
- [3] Edlund, G. und Nordic Standards for Timber Joints with Nail-Plates
B. Norén : Vorlage zum IUFRO - Section 41 Meeting
London, 23./27. Juni 1969
- [4] - Design Specifications for Light Metal Plate
Connected Wood Trusses.
Truss Plate Institute (TPI), Washington (DC),
6. Edition 1970
- [5] - Standard Methods of Testing Metal Fasteners
in Wood.
ASTM Standard D 1761 - 74, März 1974

Erläuterung der verwendeten Bezeichnungen

| | |
|------------------|--|
| b | Plattenbreite bei Nagelplatten |
| f | Laststufe; im allgemeinen $f \approx 0,1 \cdot \max F$ |
| ℓ | Plattenlänge bei Nagelplatten |
| t_i | Zeit bei der i -ten Laststufe |
| v_F | Belastungsgeschwindigkeit |
| v_Q | Querhauptgeschwindigkeit |
| $v_{Q(V)}$ | Querhauptgeschwindigkeit im Vorversuch |
| $v_{Q(H)}$ | Querhauptgeschwindigkeit im Hauptversuch |
| $v'_{Q(H)}$ | Querhauptgeschwindigkeit im Hauptversuch bei Belastung oberhalb $8 \cdot f$ (80% der Höchstlast) |
| v_δ | tatsächliche Verformungsgeschwindigkeit am Prüfkörper |
| \bar{v}_δ | durchschnittliche Verformungsgeschwindigkeit am Prüfkörper im oberen Lastbereich |
| F | Last |
| zul F | zulässige Belastung |
| max F | Höchstlast |
| max $F_{(1)}$ | Höchstlast im 1. Vorversuch |
| $F_{7,5}$ | Last bei 7,5 mm Verschiebung |
| $T_{(1)}$ | Gesamtprüfzeit beim 1. Vorversuch |
| $T_{(2)}$ | Gesamtprüfzeit beim 2. Vorversuch |
| $T_{(H)}$ | Gesamtprüfzeit beim Hauptversuch |
| δ | Verschiebung |
| δ_i | Verschiebung bei der i -ten Laststufe |
| max δ | Verschiebung unter der Höchstlast |
| v | Sicherheitsbeiwert |

~~UNTERSUCHUNGEN UEBER DEN EINFLUSS DES LAST-ZEIT-ABLAUFES BEI
PRUEFVERSUCHEN FUER MECHANISCHE HOLZVERBINDUNGSMITTEL AUF
TRAGLAST UND VERFORMUNGSGROSSEN~~

UNTERSUCHUNGEN UEBER DEN EINFLUSS DES LAST-ZEIT-ABLAUFES BEI
PRUEFVERSUCHEN FUER MECHANISCHE HOLZVERBINDUNGSMITTEL AUF
TRAGLAST UND VERFORMUNGSGROESSEN

UNTERSUCHUNGEN UEBER DEN EINFLUSS DES LAST-ZEIT-ABLAUFES BEI
PRUEFVERSUCHEN FUER MECHANISCHE HOLZVERBINDUNGSMITTEL AUF
TRAGLAST UND VERFORMUNGSGROESSEN

| 1. Vorversuch | |
|---------------|--|
| Ablauf: | $v_{Q(V)} = 1 \text{ mm/min}$ (pro Anschluß) ohne Unterbrechung bis Bruch |
| Messungen: | $\max F_{(1)}$, $\max \delta$, $T_{(1)}$ |
| Sonstiges: | F/δ - Diagramm, Prüfkörperform und -abmessungen überprüfen |

↓

Festlegung einer Laststufe $f = 0,1 \cdot \max F$

↓

| 2. Vorversuch | |
|---------------|---|
| Ablauf: | $v_{Q(V)} = 1 \text{ mm/min}$ (pro Anschluß) bis Bruch Zwischenentlastung $4f \rightarrow f \rightarrow 4f$ |
| Messungen: | Zeit: Bedarf für Zwischenentlastung Zeit bei $7f, 8f, 9f, \dots, \max F$ Verschiebungen bei $7f, 8f, 9f, \dots, \max F$ $\max F_{(2)}$ |
| Sonstiges: | F/δ - Diagramm |

↓

ggfls. Korrektur der Laststufe f
Festlegung von $v'_{Q(H)}$, wenn $T_{(1)} > 10$ Minuten

↓

| Hauptversuche | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|-----------|---|---|---|------------|--------------------|-----------|--------------------|--|--|---|----------------------------------|--|--|
| Ablauf: | <table style="border: none;"> <tr> <td style="padding-right: 10px;">Belastung</td> <td>$0 \rightarrow 4f$</td> <td rowspan="3" style="font-size: 2em; padding: 0 10px;">}</td> <td rowspan="3" style="vertical-align: middle;">$v_{Q(H)} = 1 \text{ mm/min}$ (pro Anschluß)</td> </tr> <tr> <td>Entlastung</td> <td>$4f \rightarrow f$</td> </tr> <tr> <td>Belastung</td> <td>$f \rightarrow 7f$</td> </tr> <tr> <td colspan="2"><u>Fall A:</u> Belastung $7f - \max F$</td> <td rowspan="2" style="font-size: 2em; padding: 0 10px;">}</td> <td rowspan="2" style="vertical-align: middle;">$v_{Q(H)} \rightarrow v'_{Q(H)}$</td> </tr> <tr> <td colspan="2"><u>Fall B:</u> $7f \rightarrow 8f$ Steigerung von $8f \rightarrow \max F$ mit $v'_{Q(H)}$</td> </tr> </table> | Belastung | $0 \rightarrow 4f$ | } | $v_{Q(H)} = 1 \text{ mm/min}$ (pro Anschluß) | Entlastung | $4f \rightarrow f$ | Belastung | $f \rightarrow 7f$ | <u>Fall A:</u> Belastung $7f - \max F$ | | } | $v_{Q(H)} \rightarrow v'_{Q(H)}$ | <u>Fall B:</u> $7f \rightarrow 8f$ Steigerung von $8f \rightarrow \max F$ mit $v'_{Q(H)}$ | |
| Belastung | $0 \rightarrow 4f$ | } | $v_{Q(H)} = 1 \text{ mm/min}$ (pro Anschluß) | | | | | | | | | | | | |
| Entlastung | $4f \rightarrow f$ | | | | | | | | | | | | | | |
| Belastung | $f \rightarrow 7f$ | | | | | | | | | | | | | | |
| <u>Fall A:</u> Belastung $7f - \max F$ | | } | $v_{Q(H)} \rightarrow v'_{Q(H)}$ | | | | | | | | | | | | |
| <u>Fall B:</u> $7f \rightarrow 8f$ Steigerung von $8f \rightarrow \max F$ mit $v'_{Q(H)}$ | | | | | | | | | | | | | | | |
| Messungen: | $\max F$ und/oder $F_{7,5}$, $\max \delta$, $T_{(H)}$ F/δ - Diagramme | | | | | | | | | | | | | | |
| Auswertungen: | elastische und bleibende Verformungen im Bereich bis $4f$, statistische Auswertungen | | | | | | | | | | | | | | |

Ablauf eines Prüfverfahrens mit Steuerung der
Prüfmaschine nach der Querhauptgeschwindigkeit v_Q

| 1. Vorversuch | |
|---------------|--|
| Ablauf: | $v_{F(V)} \approx 0,2 \cdot \max F^* / \text{min}$ ohne Unterbrechung bis Bruch $\max F^* =$ geschätzte Höchstlast |
| Messungen: | $\max F_{(1)}, \max \delta, T_{(1)}$ |
| Sonstiges: | F/δ -Diagramm, Prüfkörperform und -abmessungen überprüfen |

Festlegung einer Laststufe: $f = 0,1 \cdot \max F$

| 2. Vorversuch und weitere nach Bedarf | |
|---------------------------------------|---|
| Ablauf: | $v_{F(V)} = 2f / \text{min}$ ohne Unterbrechung bis Bruch, jedoch leichte Drosselung der von $v_{F(V)}$ im oberen Lastbereich |
| Messungen: | $\max F_{(2)}; \max \delta, T_{(2)}$ |
| Sonstiges: | F/δ -Diagramm |

ggfls: Korrektur der Laststufe f

| Hauptversuche | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|---|---|--------------------|-----------------------------|------------|--------------------|---|-----------|--------------------|-------------------|-----------|---------------------|-------------------|-----------|---------------------|---|-----------|-------------------------|---------------------|
| Ablauf: | <table style="border: none;"> <tr> <td>Belastung</td> <td>$0 \rightarrow 4f$</td> <td>$v_{F(H)}: 2f / \text{min}$</td> </tr> <tr> <td>Entlastung</td> <td>$4f \rightarrow f$</td> <td rowspan="2">}</td> </tr> <tr> <td>Belastung</td> <td>$f \rightarrow 4f$</td> <td>$4f / \text{min}$</td> </tr> <tr> <td>Belastung</td> <td>$4f \rightarrow 7f$</td> <td>$2f / \text{min}$</td> </tr> <tr> <td>Belastung</td> <td>$7f \rightarrow 8f$</td> <td>$2f / \text{min} \rightarrow 0,5f / \text{min}$</td> </tr> <tr> <td>Belastung</td> <td>$8f \rightarrow \max F$</td> <td>$0,5f / \text{min}$</td> </tr> </table> | Belastung | $0 \rightarrow 4f$ | $v_{F(H)}: 2f / \text{min}$ | Entlastung | $4f \rightarrow f$ | } | Belastung | $f \rightarrow 4f$ | $4f / \text{min}$ | Belastung | $4f \rightarrow 7f$ | $2f / \text{min}$ | Belastung | $7f \rightarrow 8f$ | $2f / \text{min} \rightarrow 0,5f / \text{min}$ | Belastung | $8f \rightarrow \max F$ | $0,5f / \text{min}$ |
| Belastung | $0 \rightarrow 4f$ | $v_{F(H)}: 2f / \text{min}$ | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Entlastung | $4f \rightarrow f$ | } | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Belastung | $f \rightarrow 4f$ | | $4f / \text{min}$ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Belastung | $4f \rightarrow 7f$ | $2f / \text{min}$ | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Belastung | $7f \rightarrow 8f$ | $2f / \text{min} \rightarrow 0,5f / \text{min}$ | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Belastung | $8f \rightarrow \max F$ | $0,5f / \text{min}$ | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Messungen: | $\max F$ und/oder $F_{7,5}, \max \delta, T_{(H)}, F/\delta$ -Diagramme | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Auswertungen: | elastische und bleibende Verformungen im Bereich bis $4f$ statistische Auswertungen | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Ablauf eines Prüfverfahrens mit lastgesteuerter Prüfmaschine

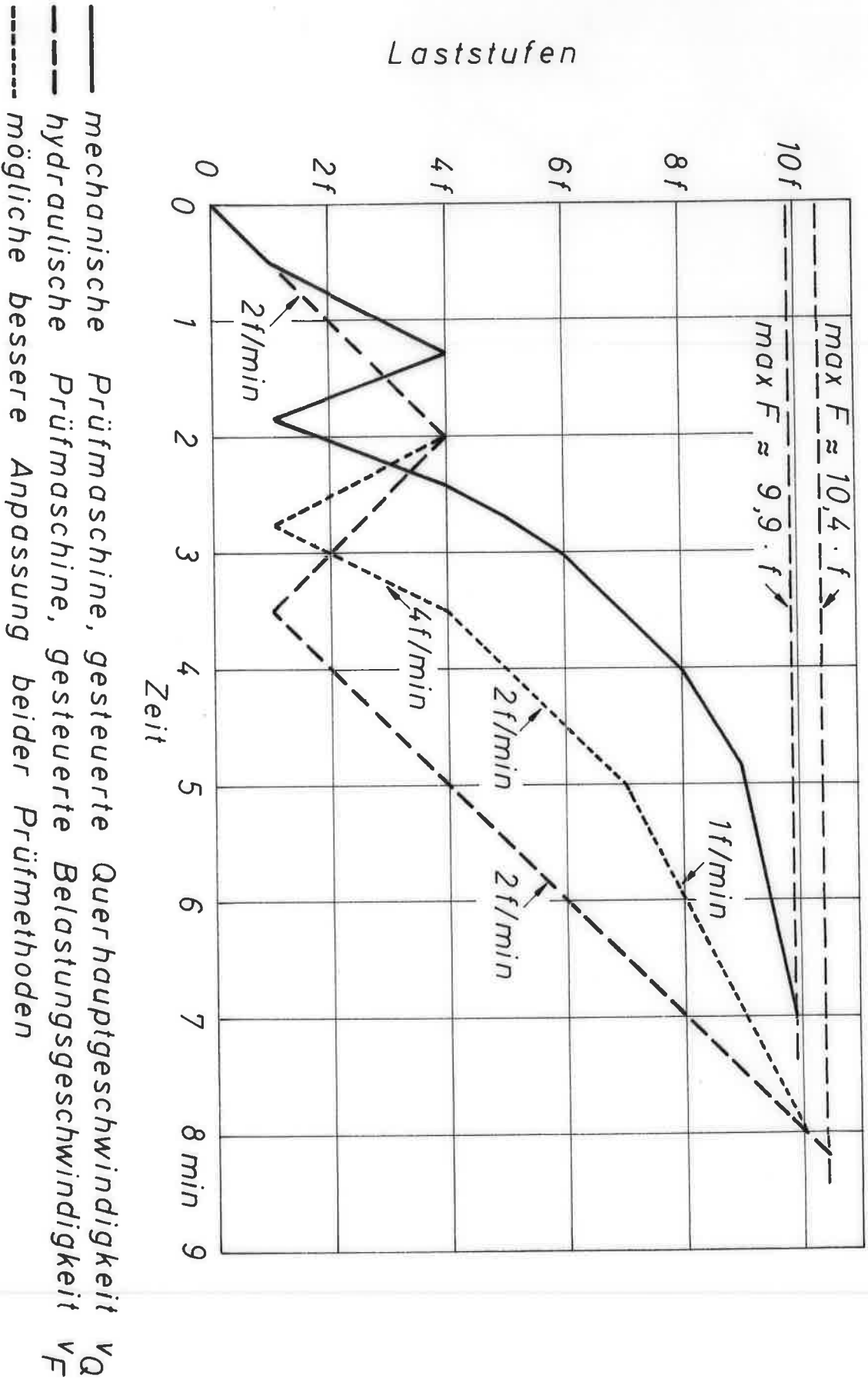
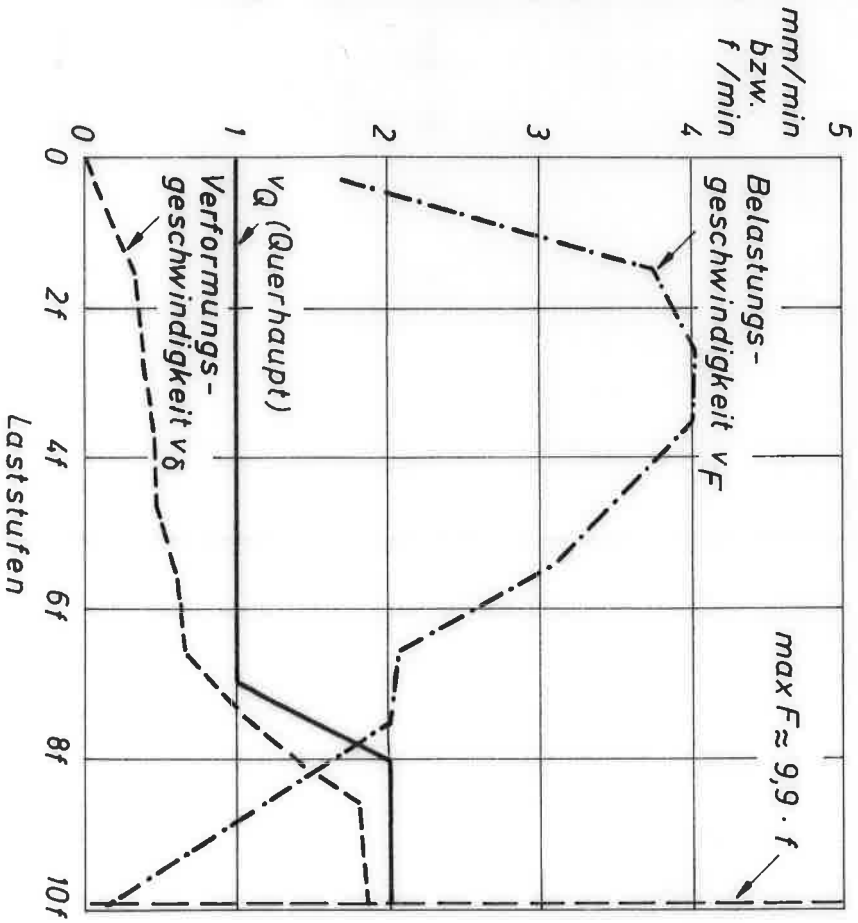


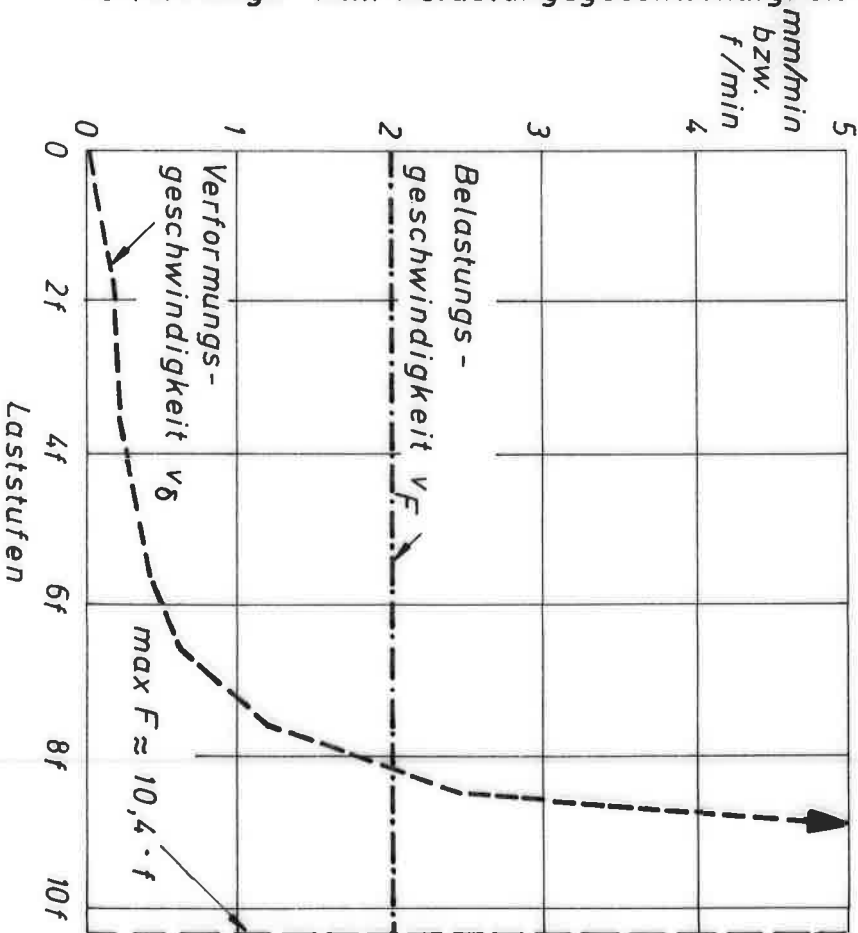
Bild 16: Zeitlicher Ablauf der Prüfungen nach Abschnitt 4.2

Verformungs - bzw. Belastungsgeschwindigkeit



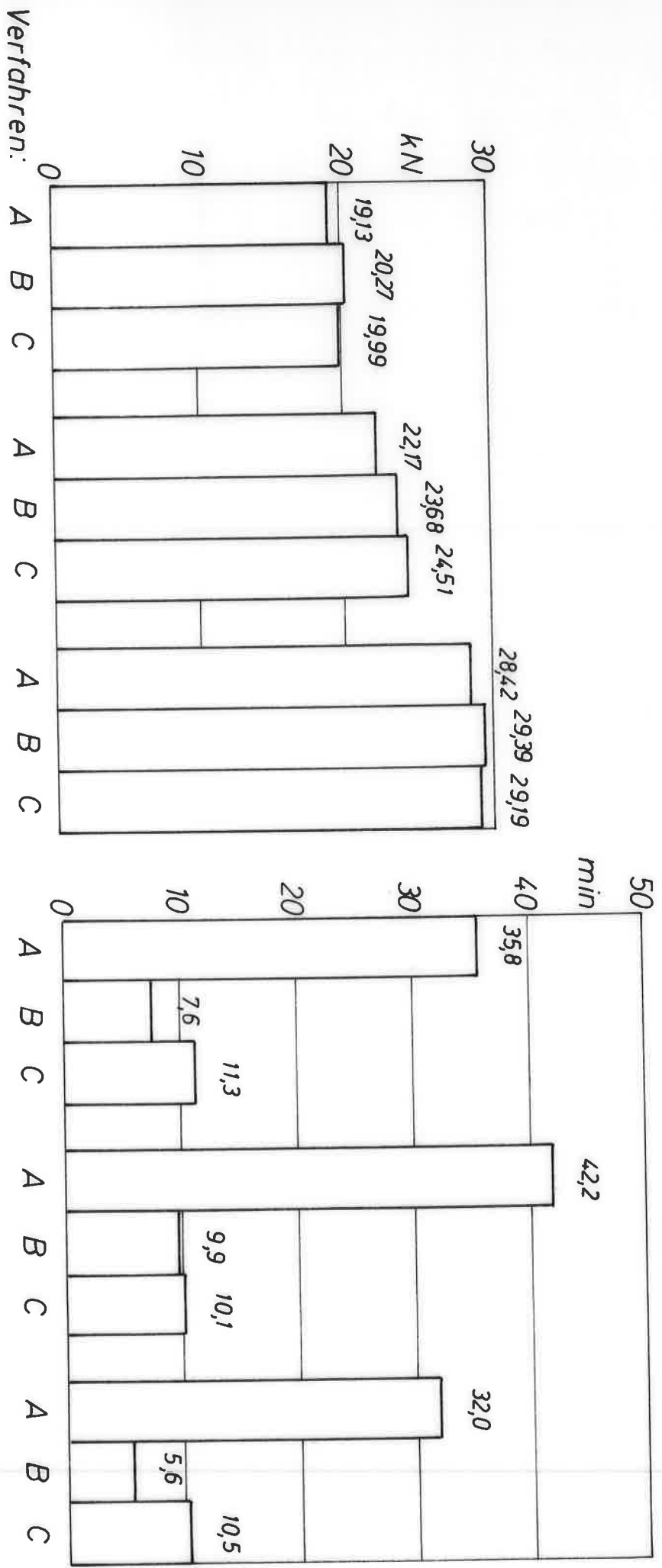
a) mechanische Prüfmaschine, gesteuerte Verformungsgeschwindigkeit (Querhaupt-
geschwindigkeit v_Q)

Verformungs - bzw. Belastungsgeschwindigkeit



b) hydraulische Prüfmaschine, gesteuerte Belastungsgeschwindigkeit v_F

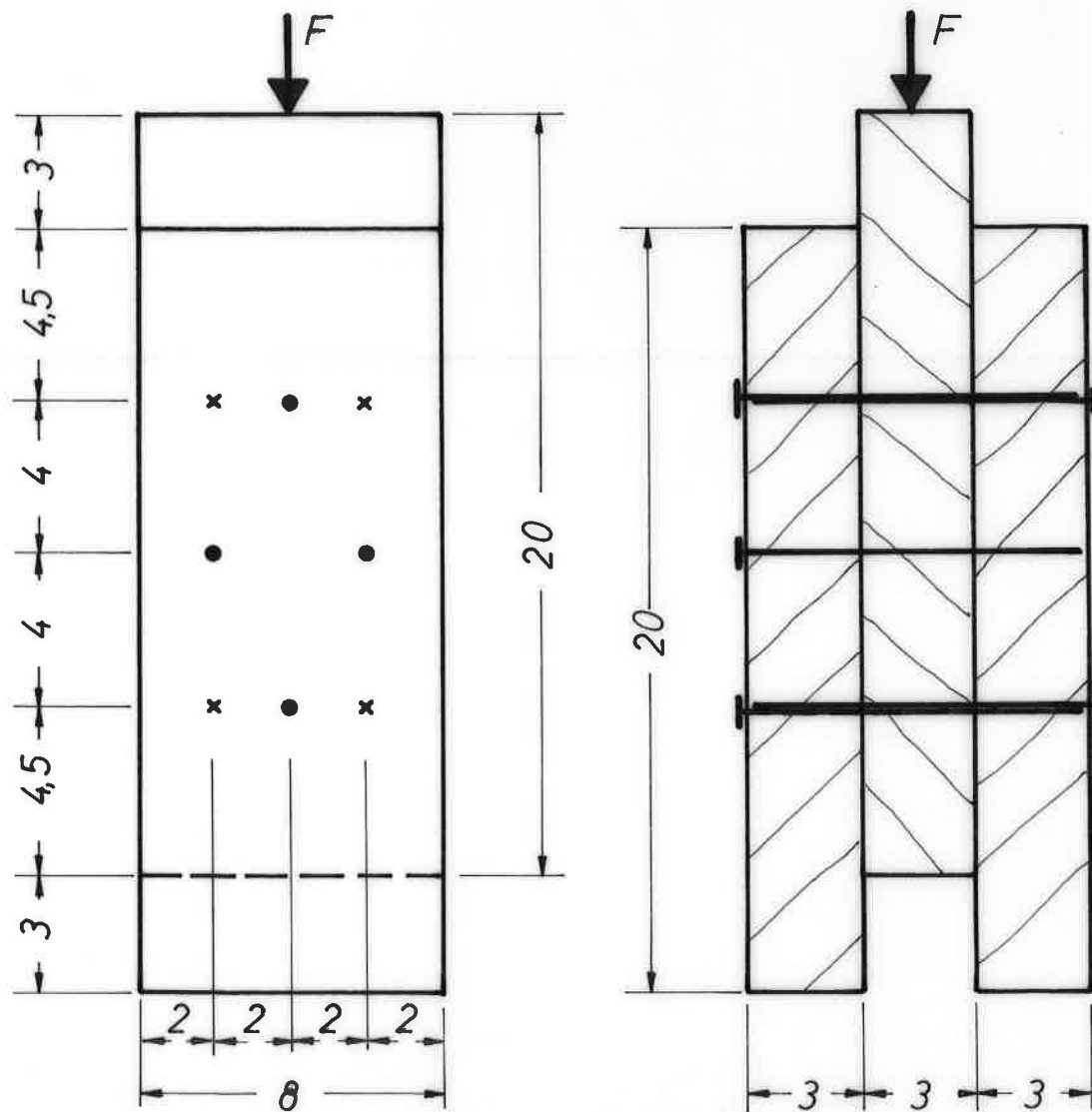
Bild 15: Vergleich zweier Prüfabläufe bei unterschiedlicher Steuerung der Prüfmaschinen. Verbindungsmittel: Nagelplatten; Scherkörper



- a) Vergleich der Höchstlasten max F
- b) Vergleich der gesamten Versuchsdauer

Bild 13:

Hauptversuche mit Zugscherkörpern, geprüft nach 3 verschiedenen Verfahren



alle Maße in cm

$M = 1 : 2$

Bild 1: Nagel-Druckscherkörper für Vorversuche mit acht verschiedenen Prüfverfahren; 8 zweischnittige Nägel 34x90 DIN 1151

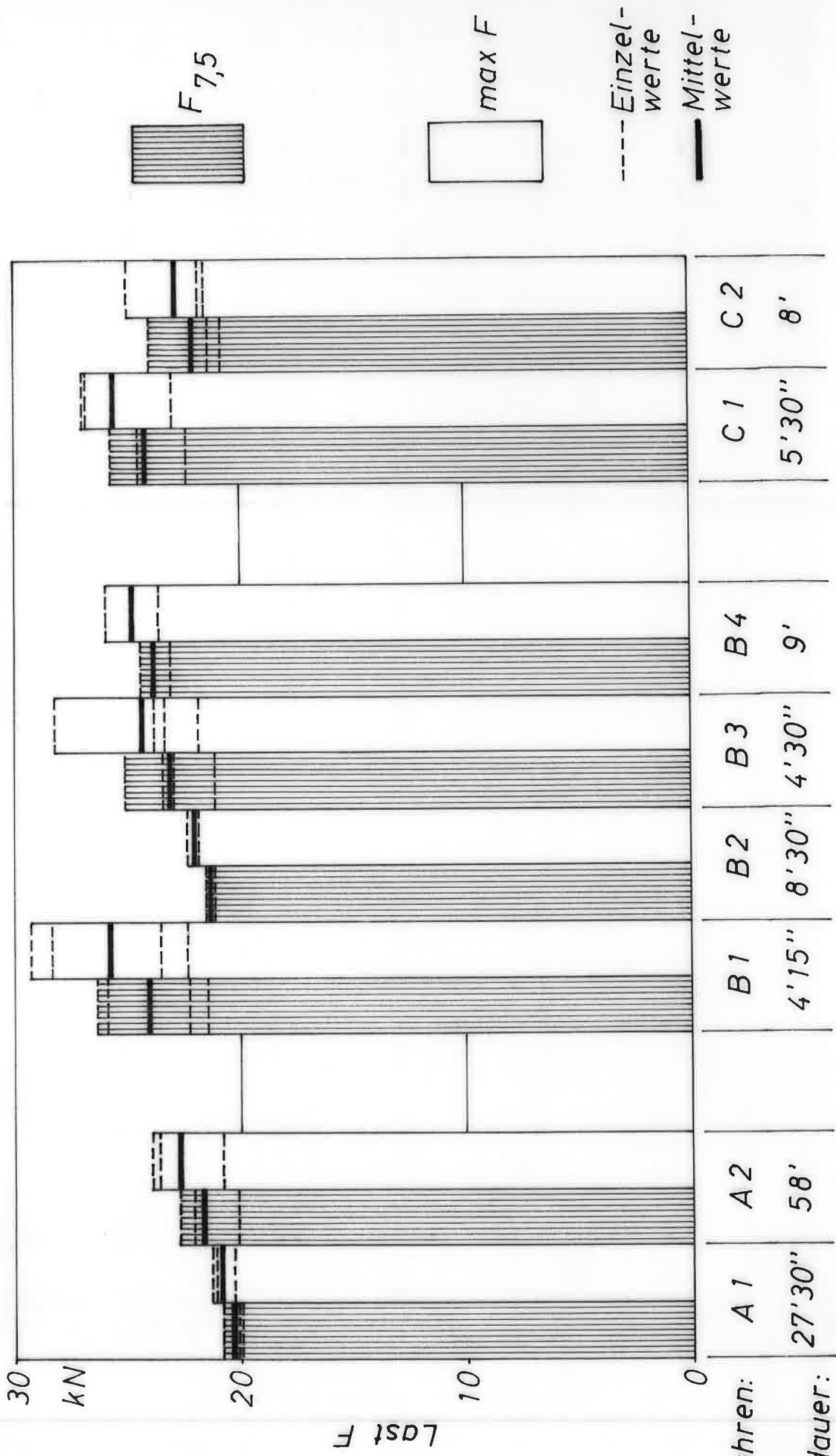


Bild 2: Vorversuche mit Nageldruckscherkörpern; Lasten $F_{7,5}$ bei 7,5 mm Verschiebung, Höchstlasten $\max F$ und mittlere Versuchsdauer

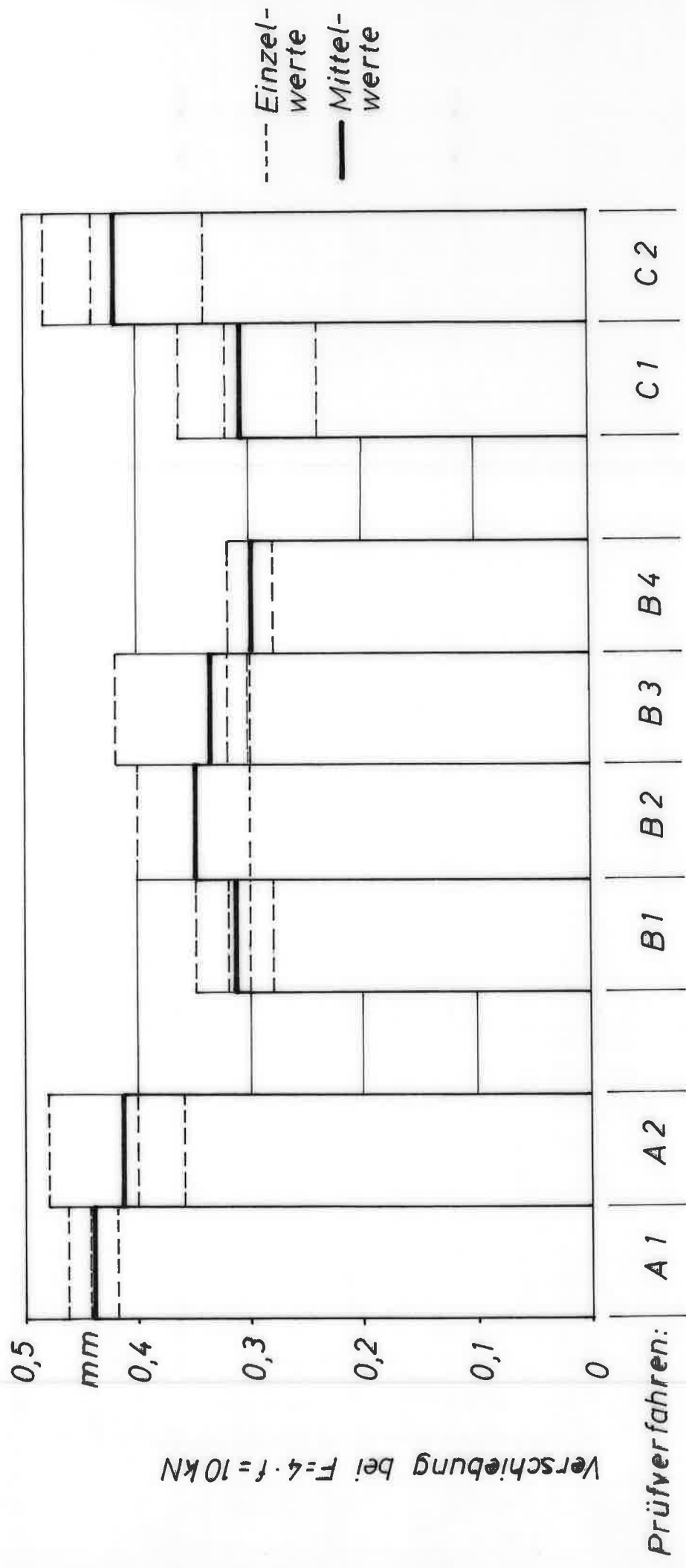


Bild 3: Vorversuche mit Nageldruckscherkörpern;
 Verschiebungen bei $F = 4 \cdot f = 10 \text{ kN}$

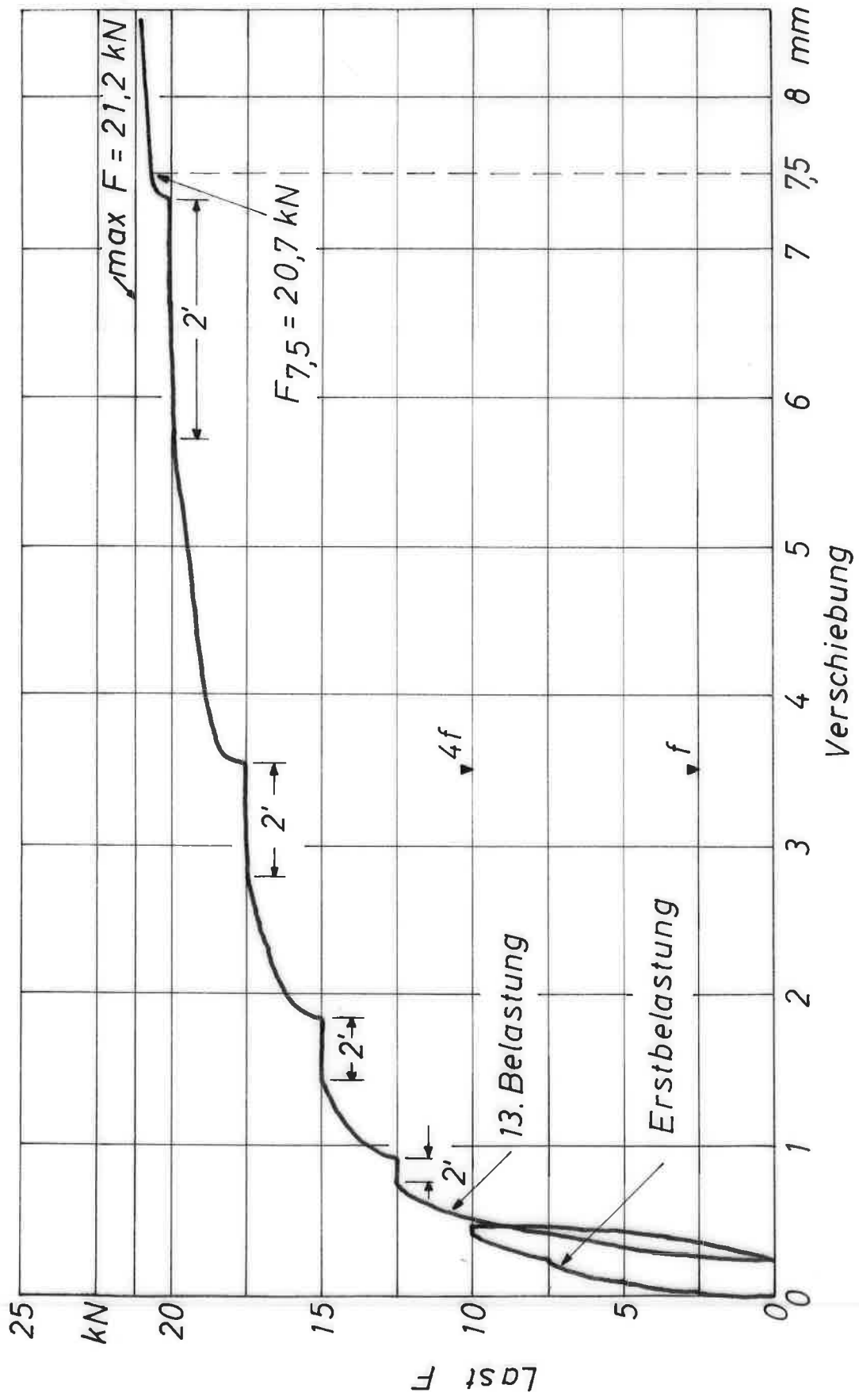


Bild 4: Last - Verschiebungs - Diagramm für Prüfverfahren A1

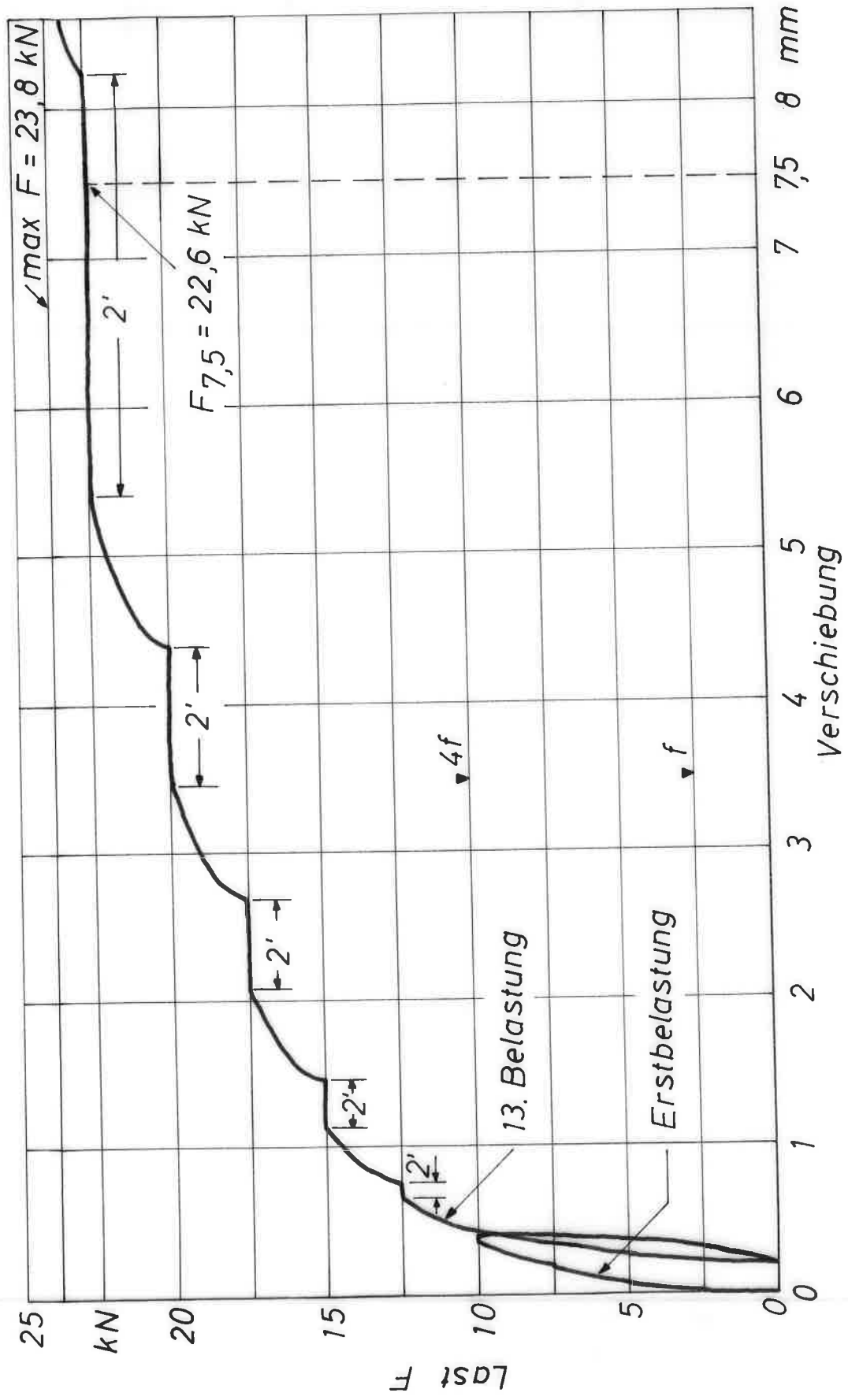


Bild 5: Last - Verschiebungs - Diagramm für Prüfverfahren A2

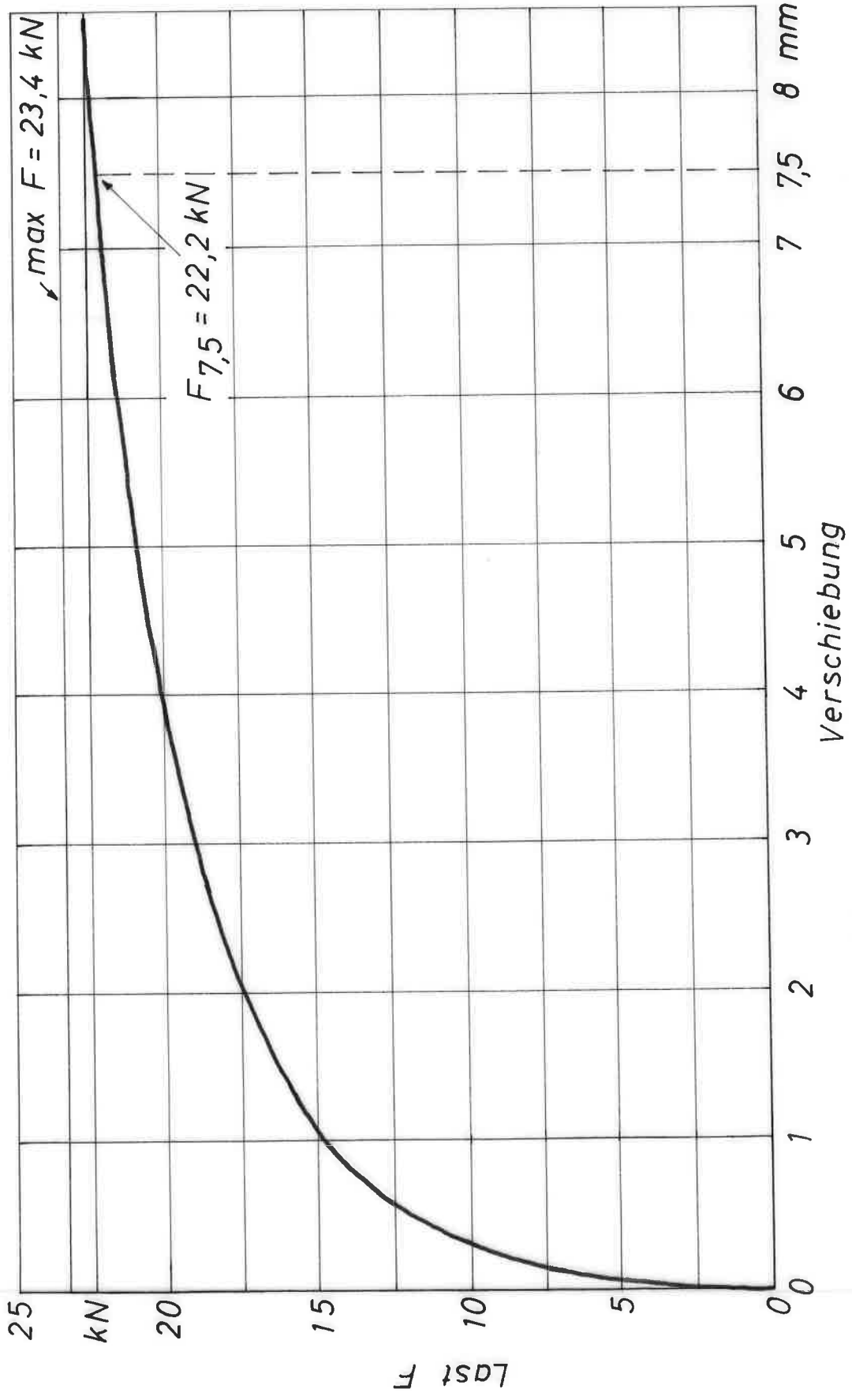


Bild 6: Last - Verschiebungs - Diagramm für Prüfverfahren B1

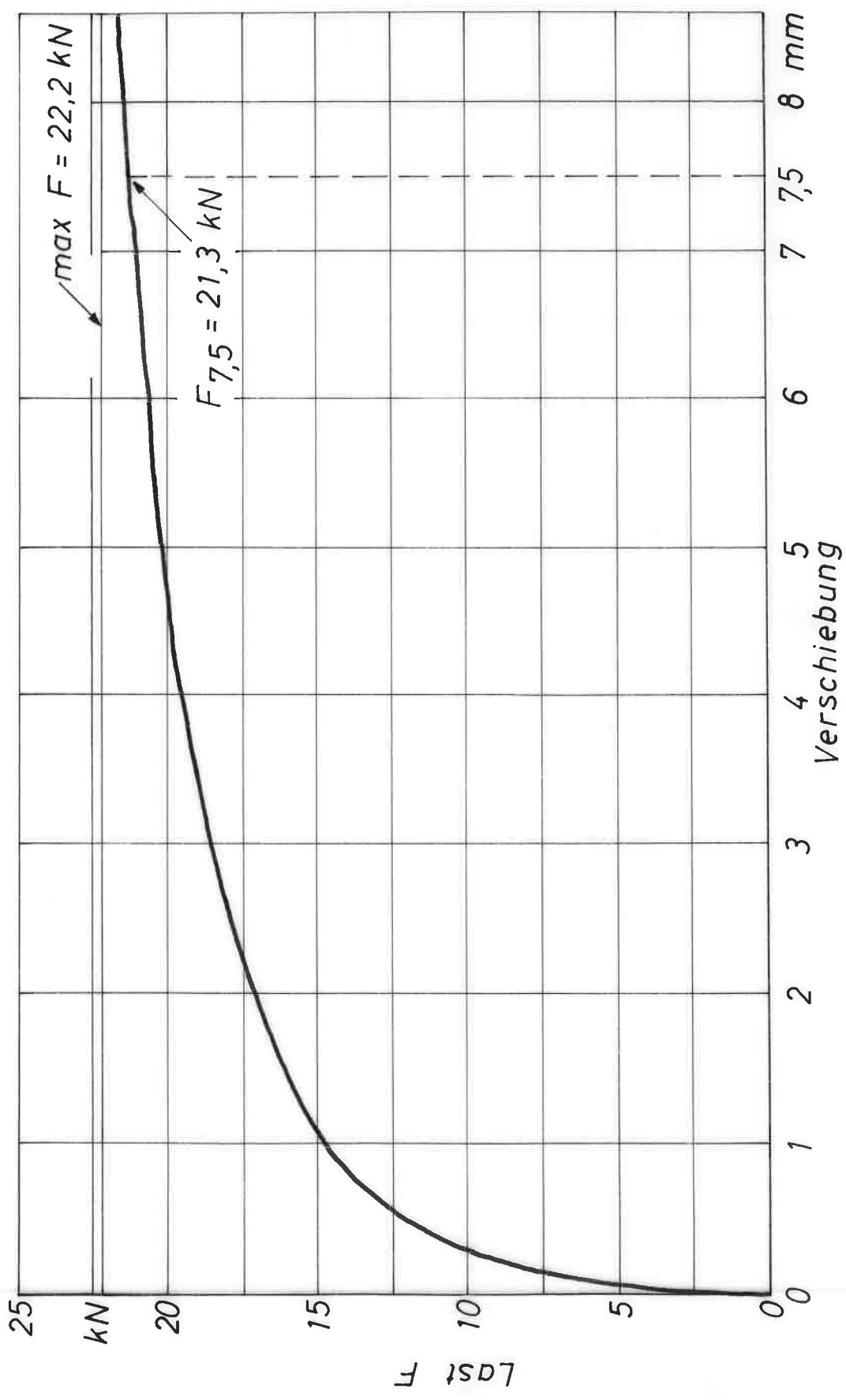


Bild 7: Last - Verschiebungs - Diagramm für Prüfverfahren B2

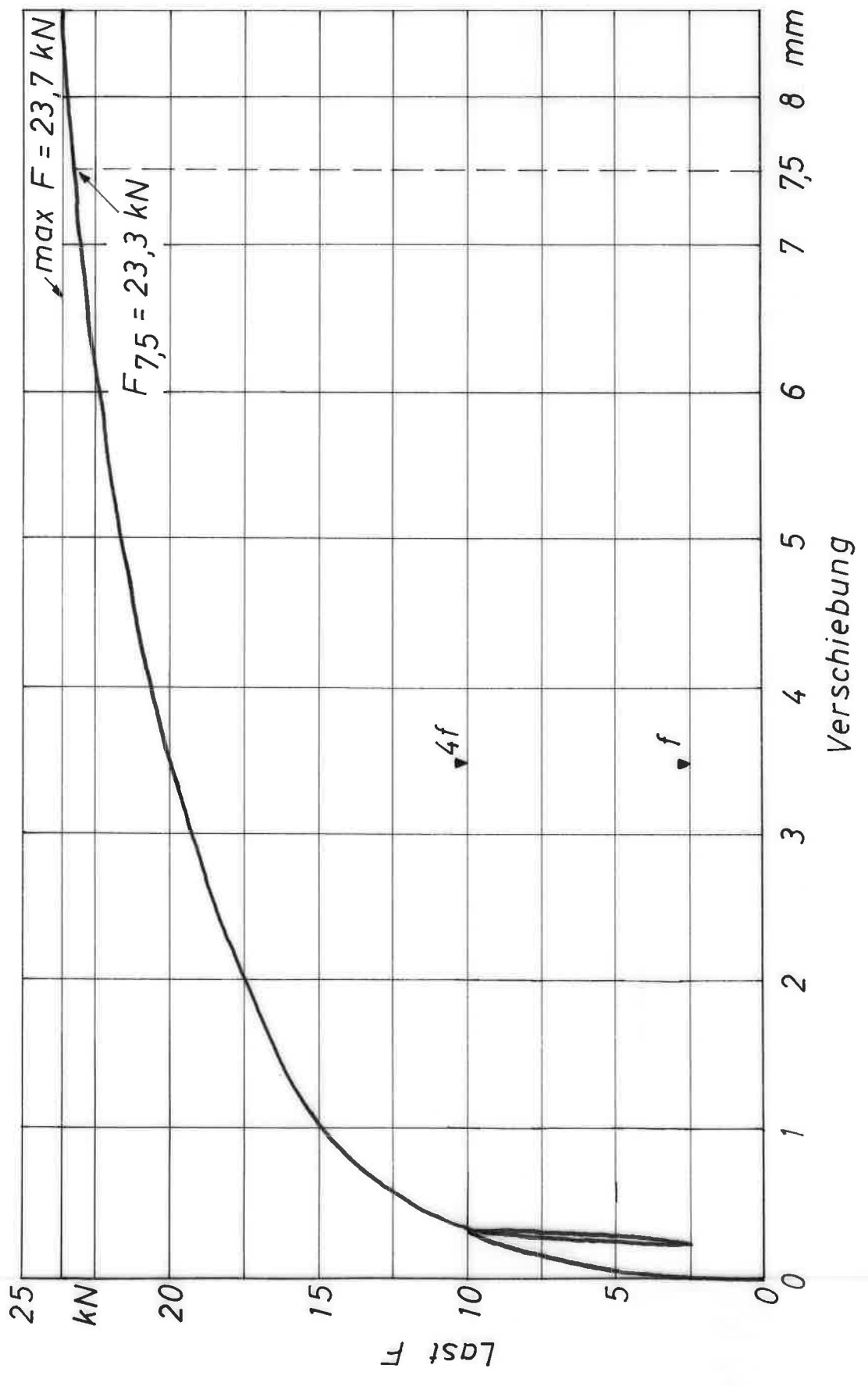


Bild 8: Last - Verschiebungs - Diagramm für Prüfverfahren B3

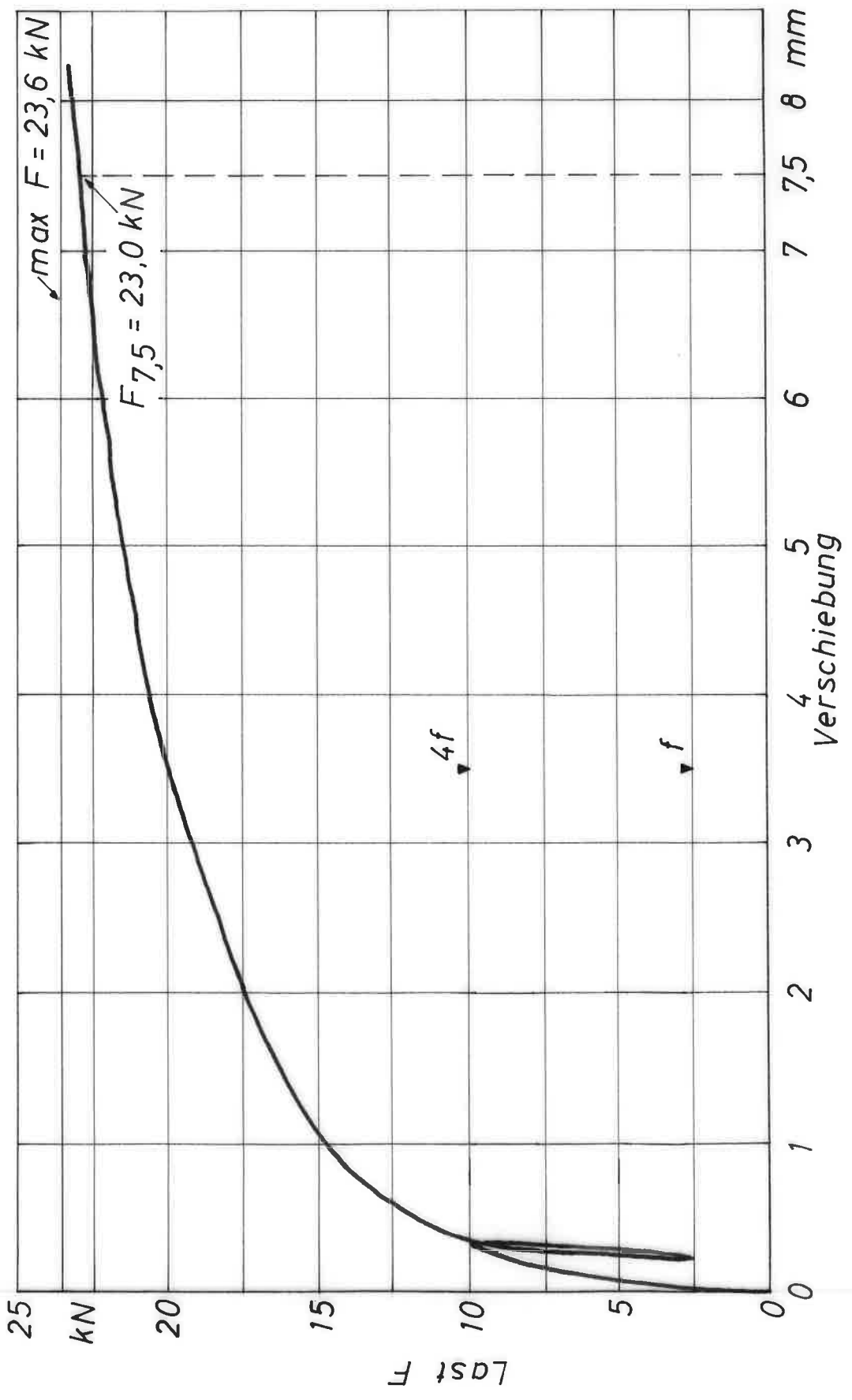


Bild 9: Last - Verschiebungs - Diagramm für Prüfverfahren B4

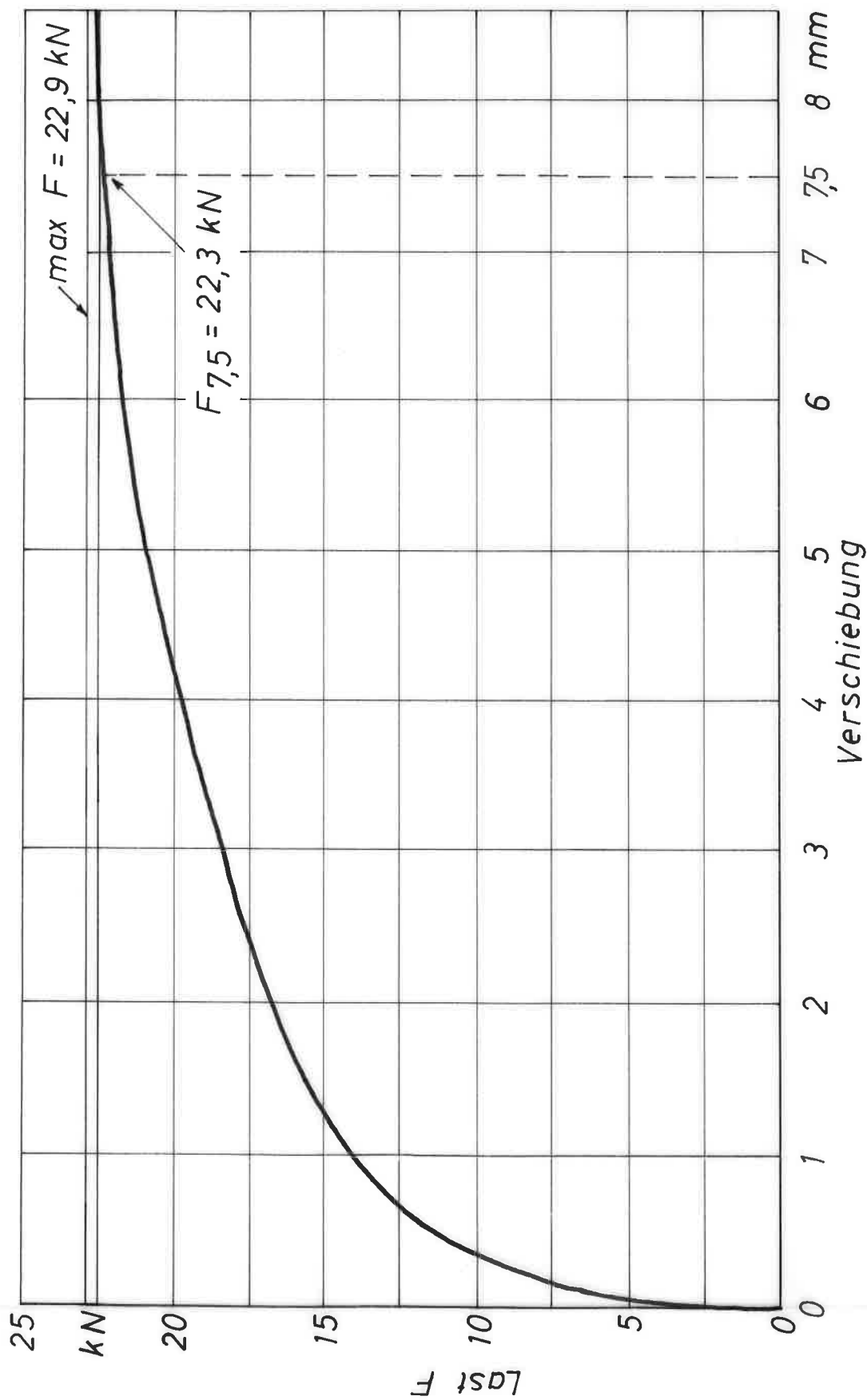


Bild 10: Last - Verschiebungs - Diagramm für Prüfverfahren C1

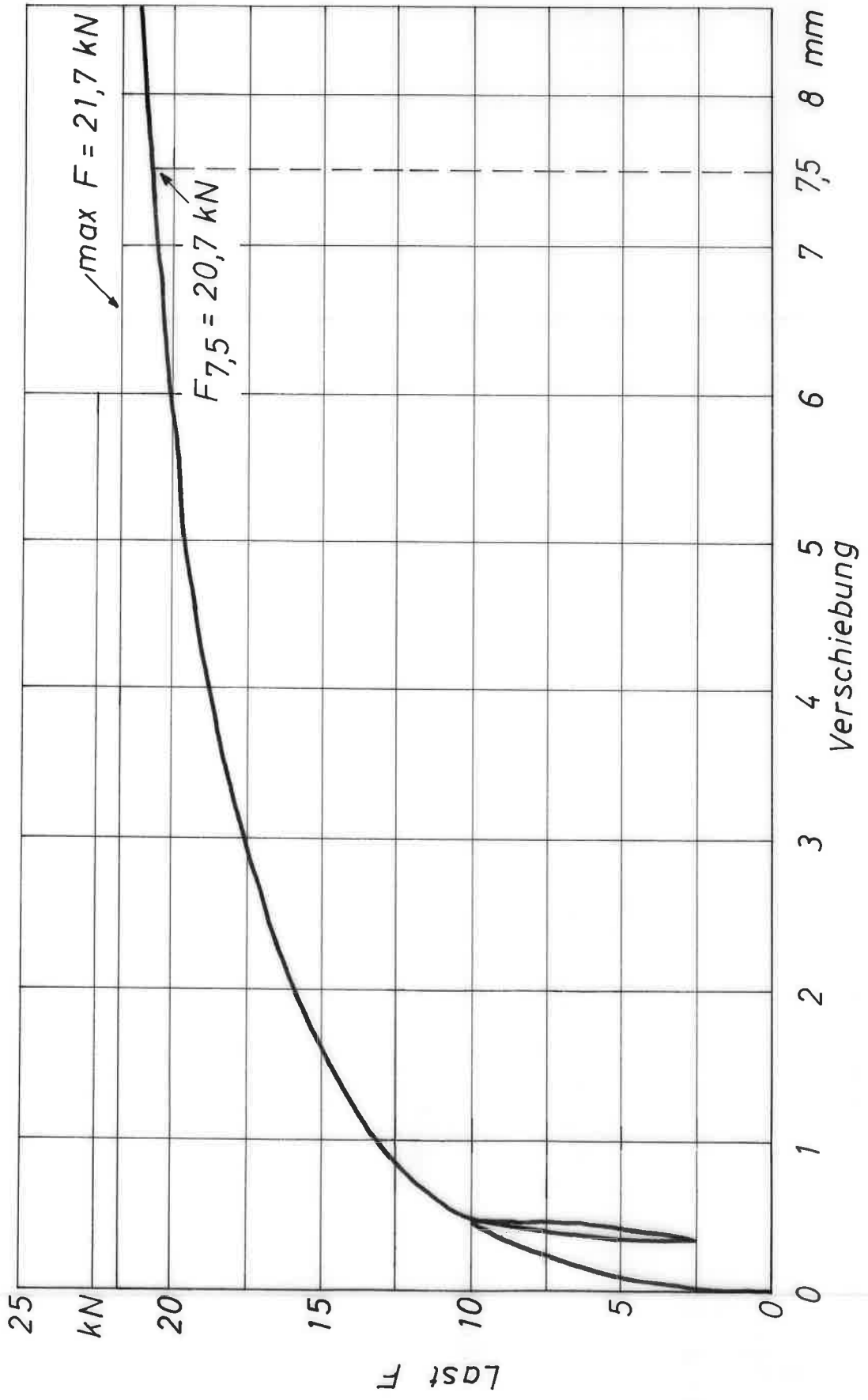
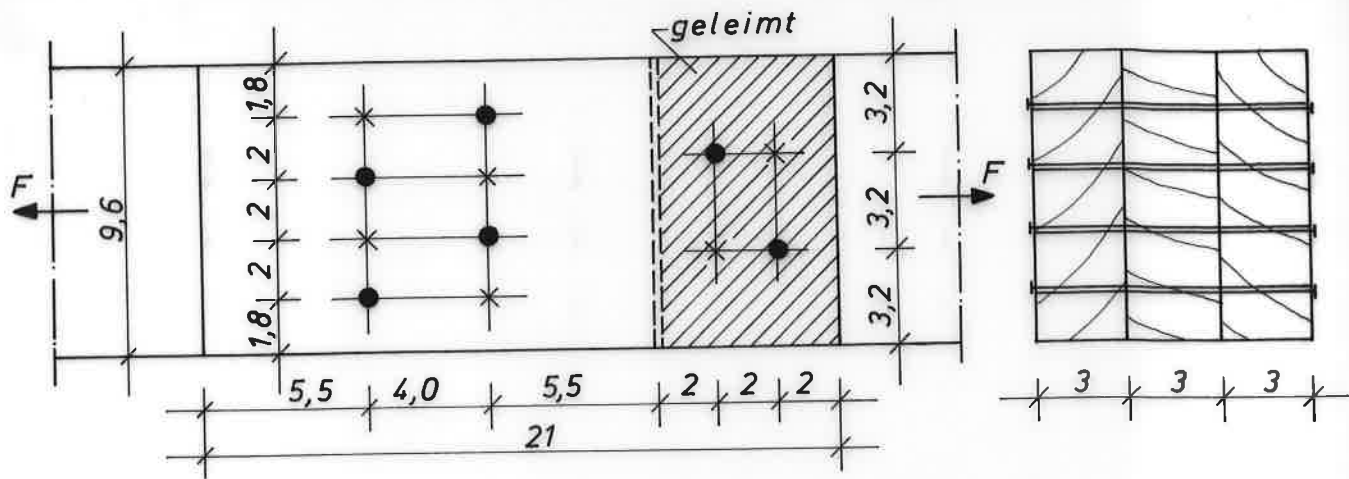
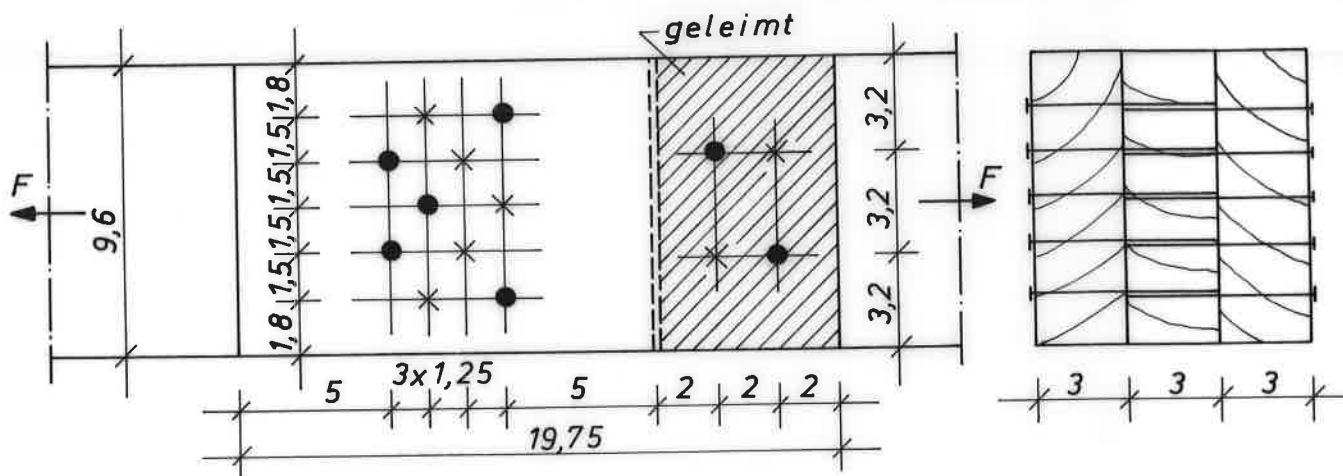


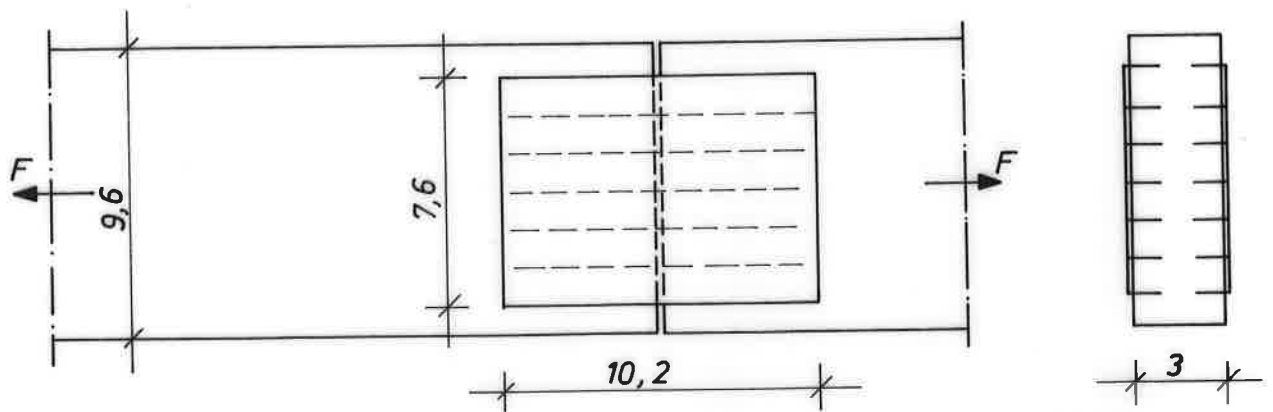
Bild 11: Last - Verschiebungs - Diagramm für Prüfverfahren C2



a) Reihe N: runde Drahtnägel 34 x 90 DIN 1151



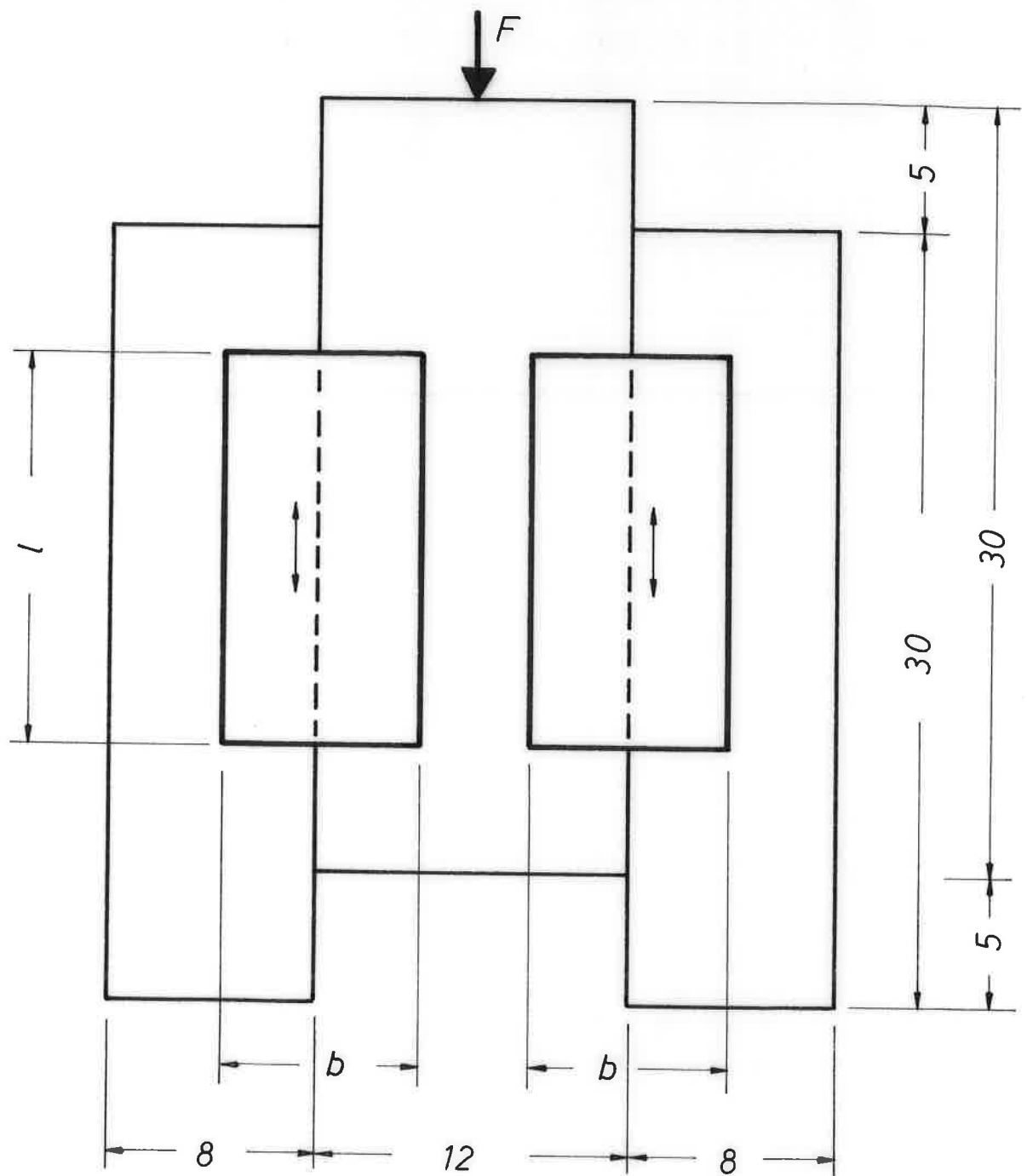
b) Reihe HS: Halbrund-Holzschrauben 5 x 60 DIN 96



c) Reihe NP: Nagelplatten $b/l=76/102$

alle Maße in cm
M=1:2,5

Bild 12: Zugscherkörper für Hauptversuche nach drei Prüfverfahren (Abschnitt 4.1)

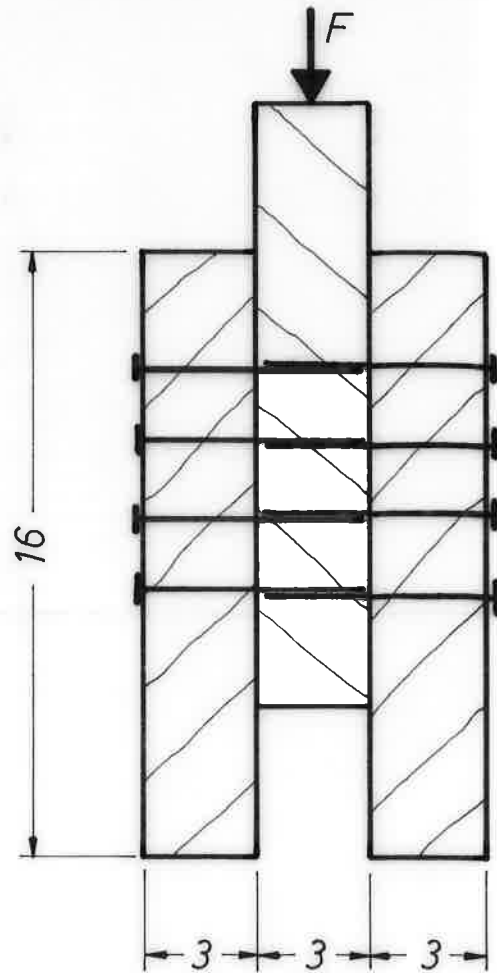
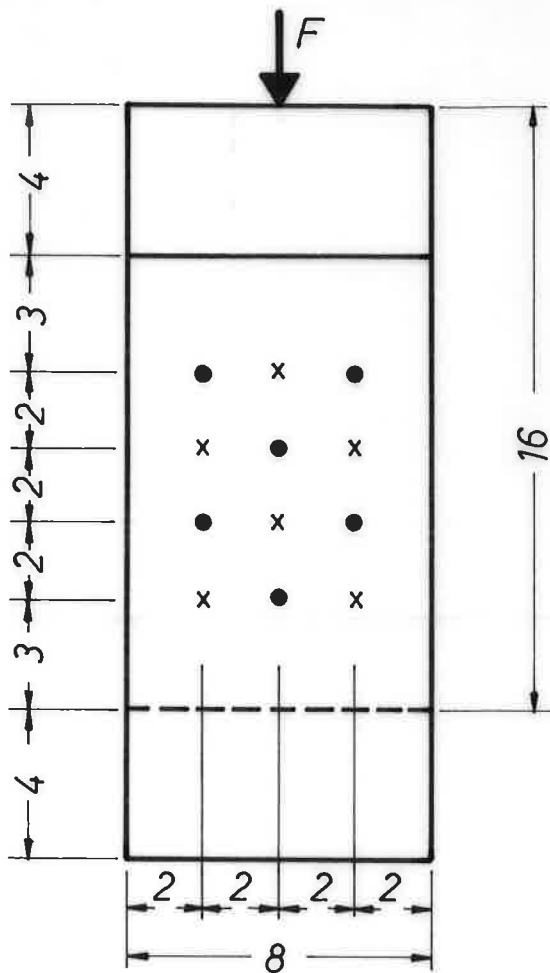


alle Maße in cm

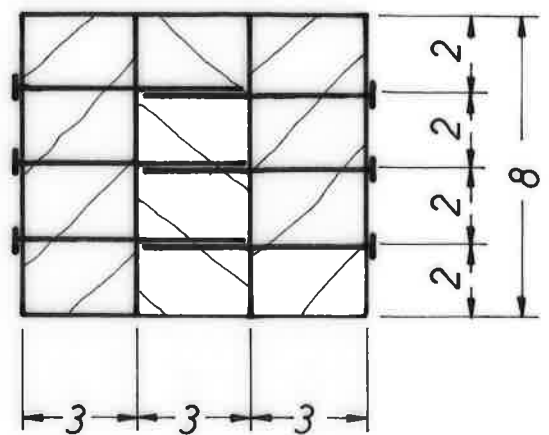
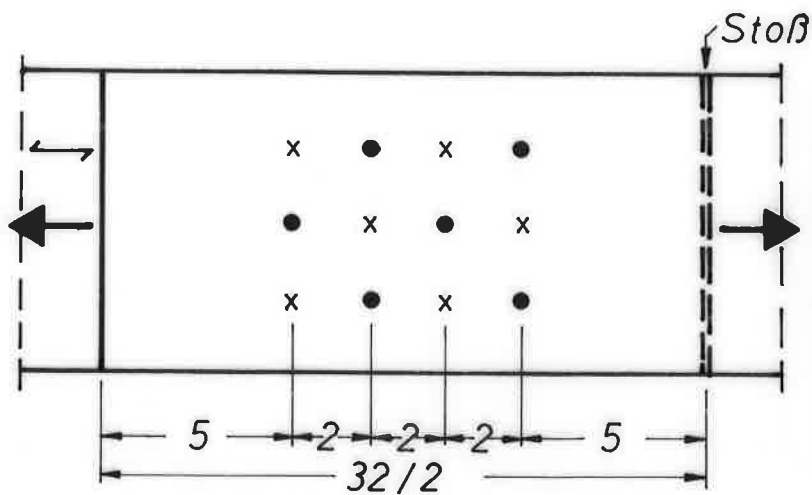
$M = 1:2,5$

Bild 14: Scherkörper mit Nagelplatten

$$b/l = 76,2 / 152,4 \text{ mm}$$



a) Druckscherkörper

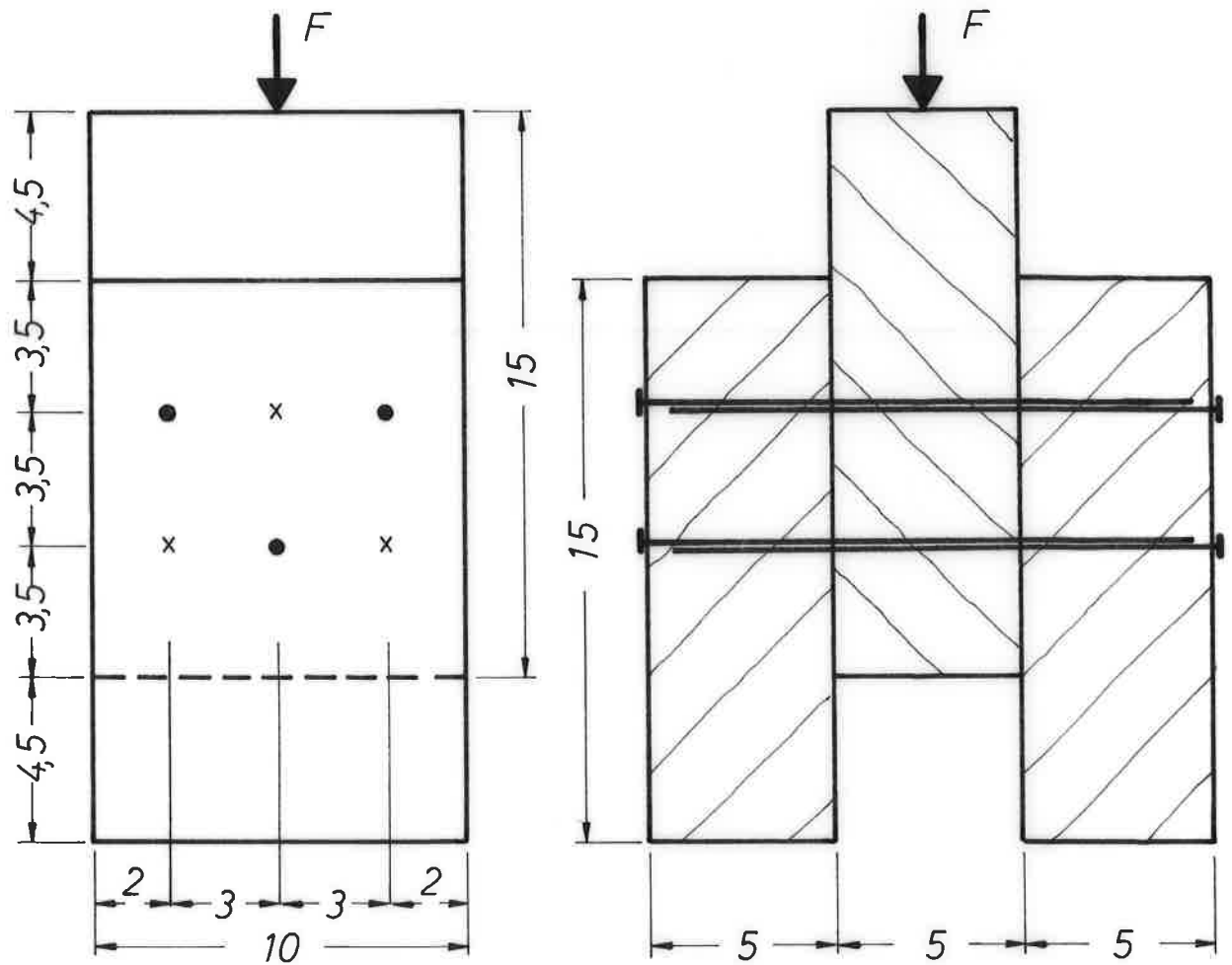


b) Zugscherkörper

alle Maße in cm

$M = 1 : 2$

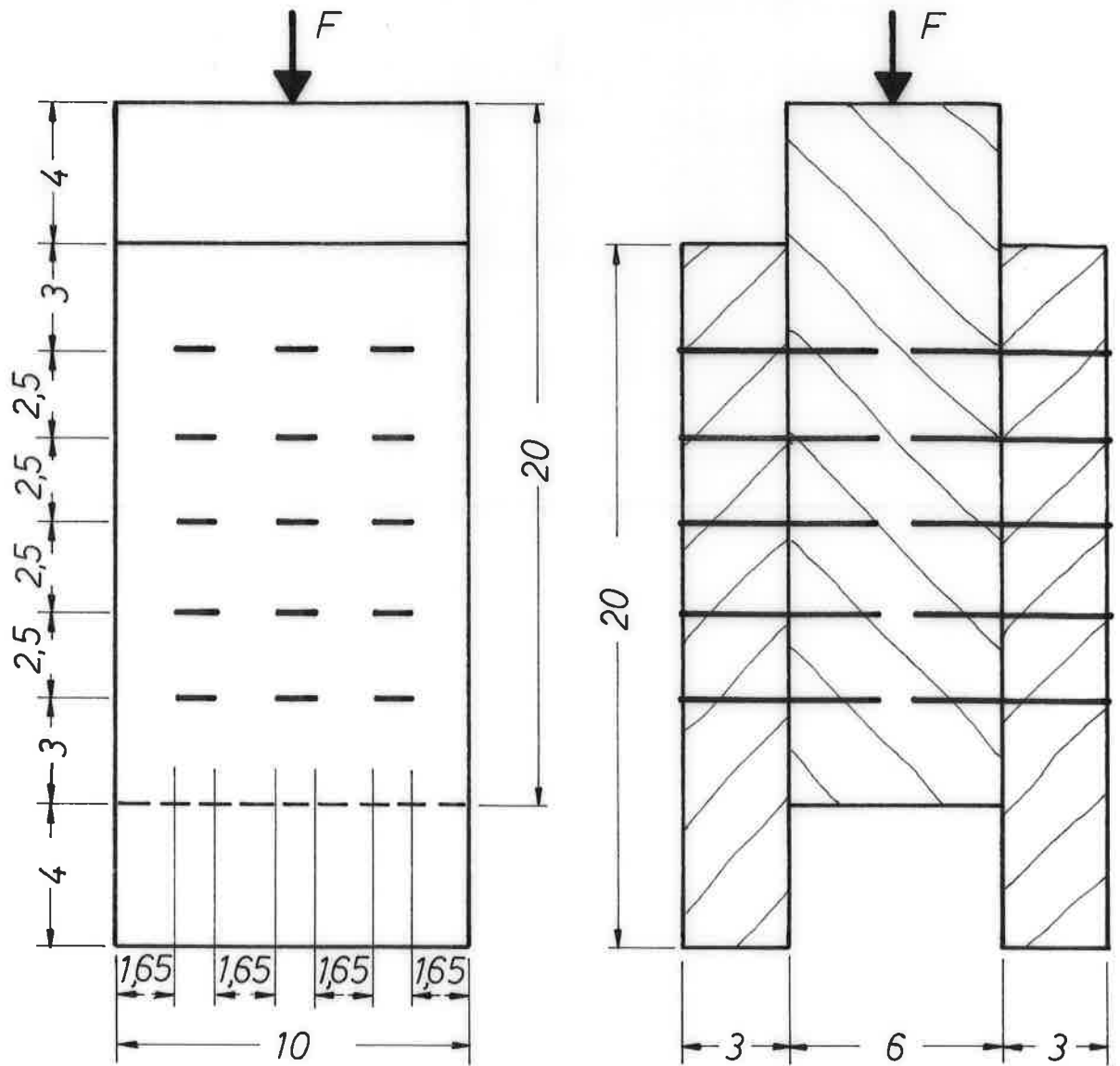
Bild 18: Versuchskörper für Reihe Na und NaZ, runde Drahtnägel 25x60 DIN 1151, einschnittig



Vorbohrung der Nagellöcher mit 4,7 mm

alle Maße in cm
 $M = 1 : 2$

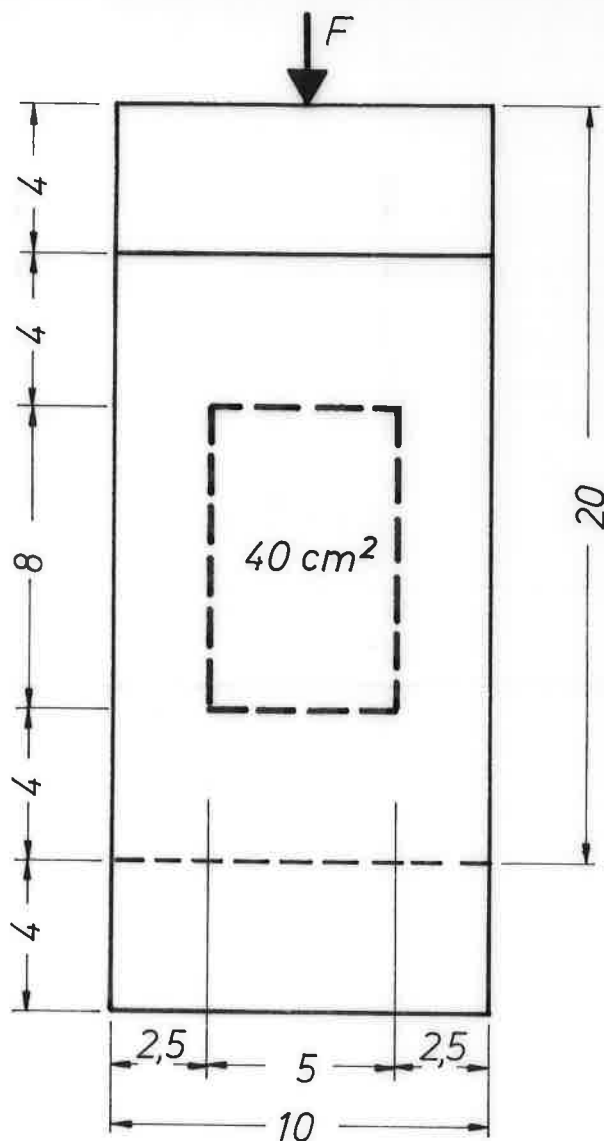
Bild 19: Versuchskörper für Reihe Nb, runde Drahtnägel 55 x 145 DIN 1151, zwei-schnittig mit vorgebohrten Nagellöchern



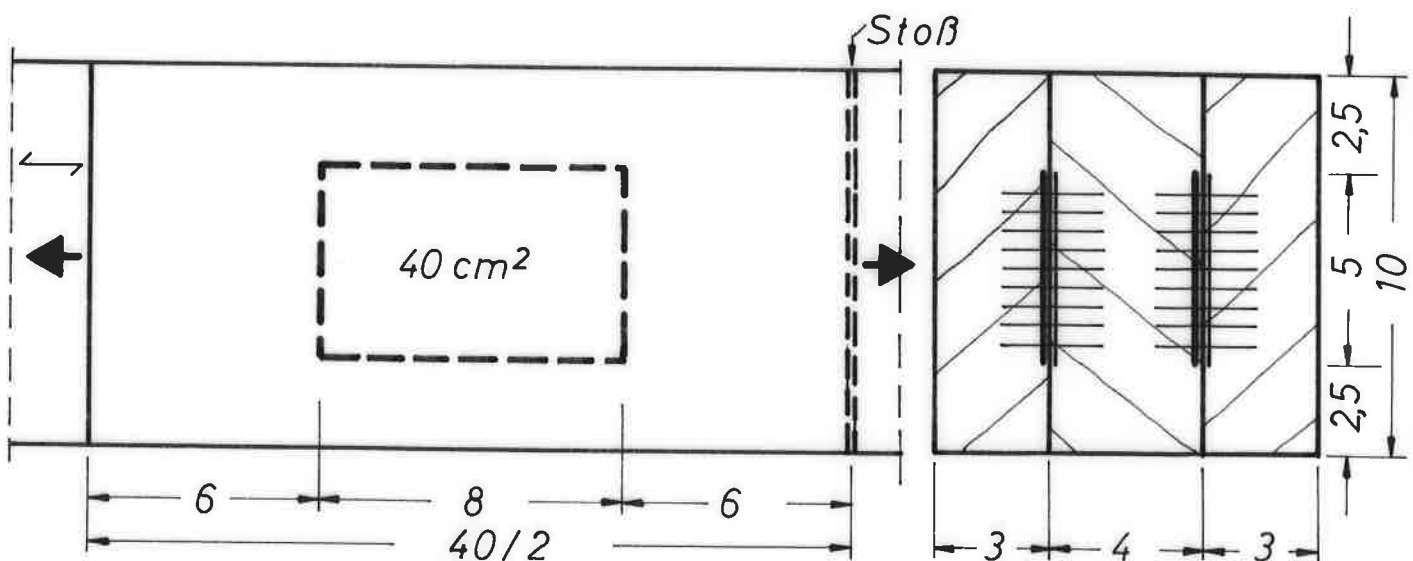
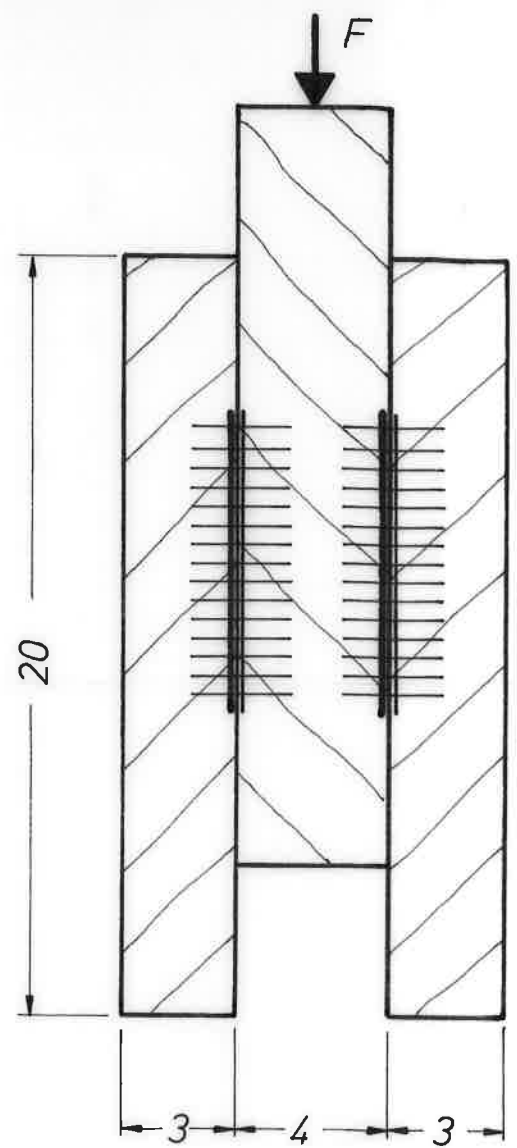
alle Maße in cm

$M = 1 : 2$

Bild 20: Versuchskörper für Reihe K,
Klammern, 56mm lang, einschnittig



a) Druckscherkörper



b) Zugscherkörper

alle Maße in cm
 $M = 1 : 2$

Bild 21: Versuchskörper für Reihe M und MZ,
 MENIG - Nagelplatten 5 x 8 cm

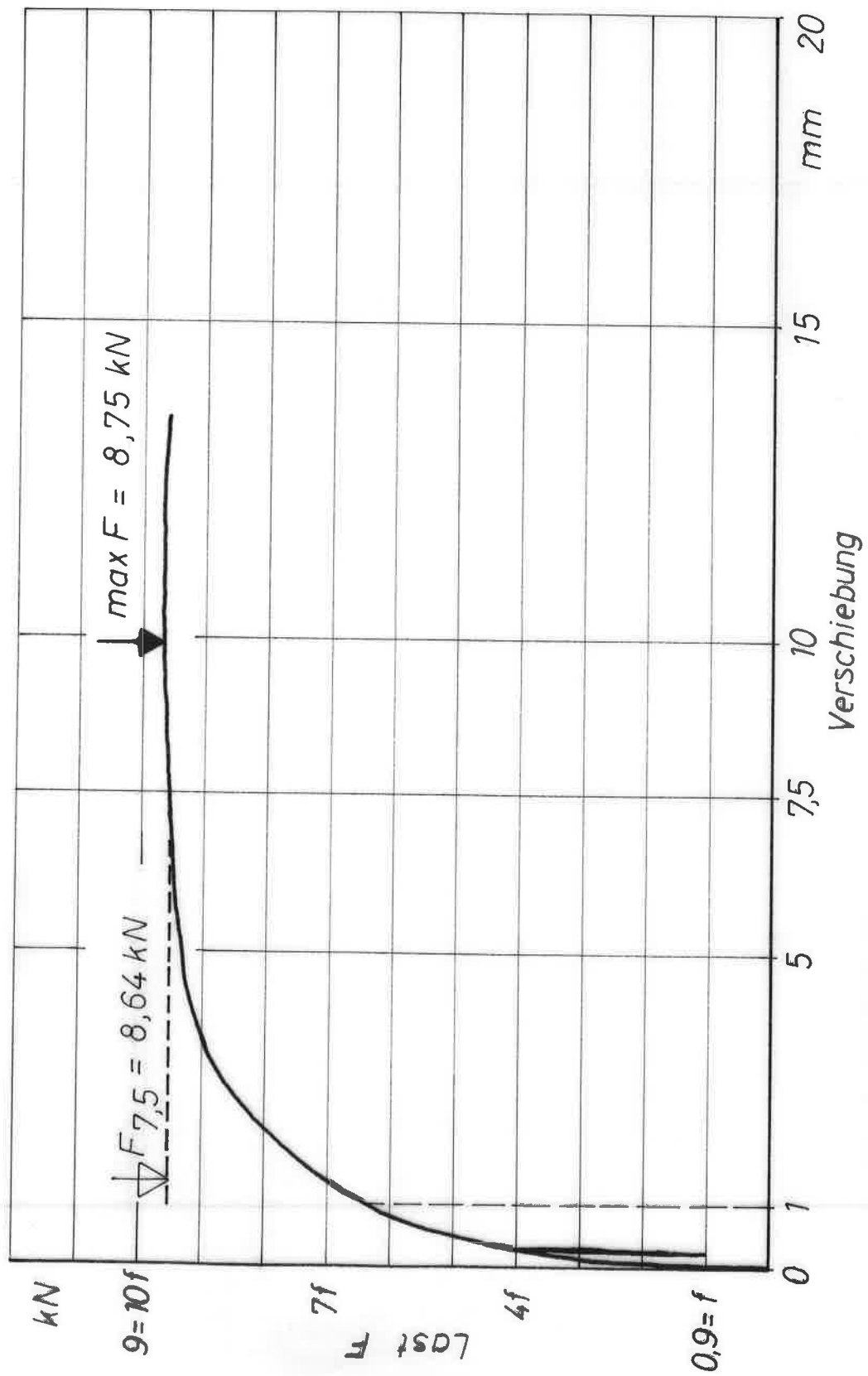


Bild 22: Last-Verschiebungs-Diagramm, Hauptversuch der Reihe Na

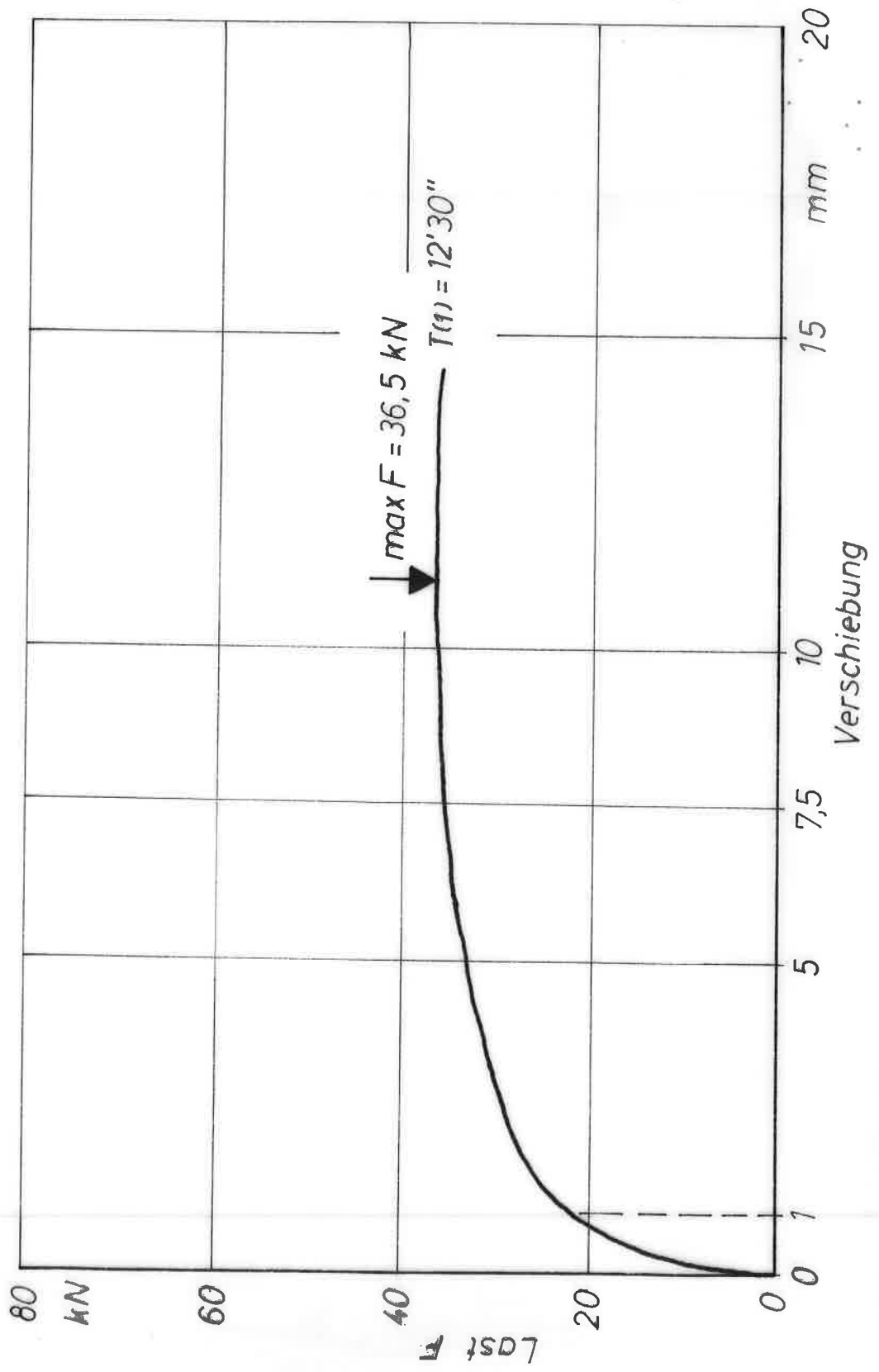


Bild 23: Last-Verschiebungs-Diagramm; 1. Vorversuch Nb

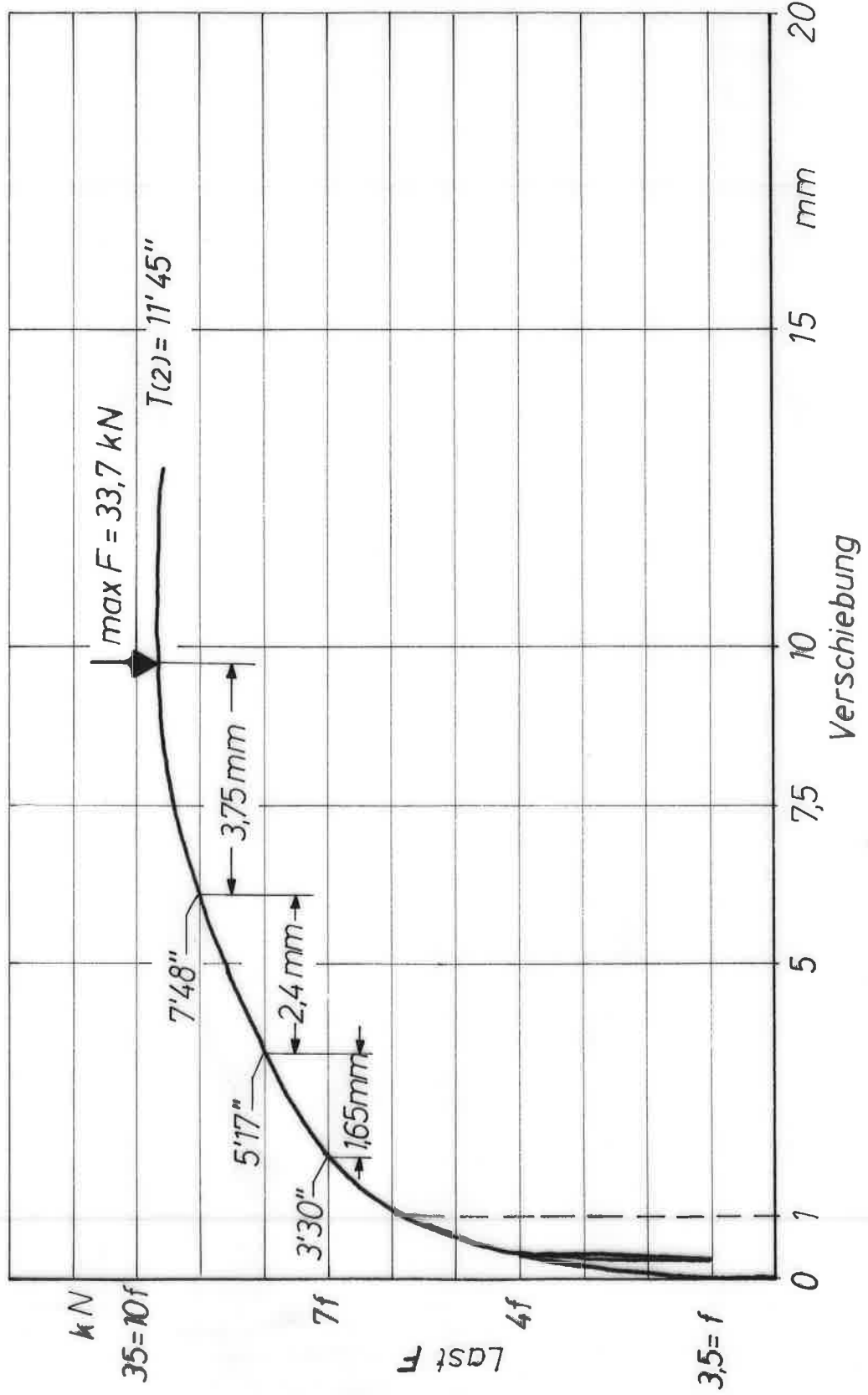


Bild 24: Last - Verschiebungs - Diagramm; 2. Vorversuch Nb

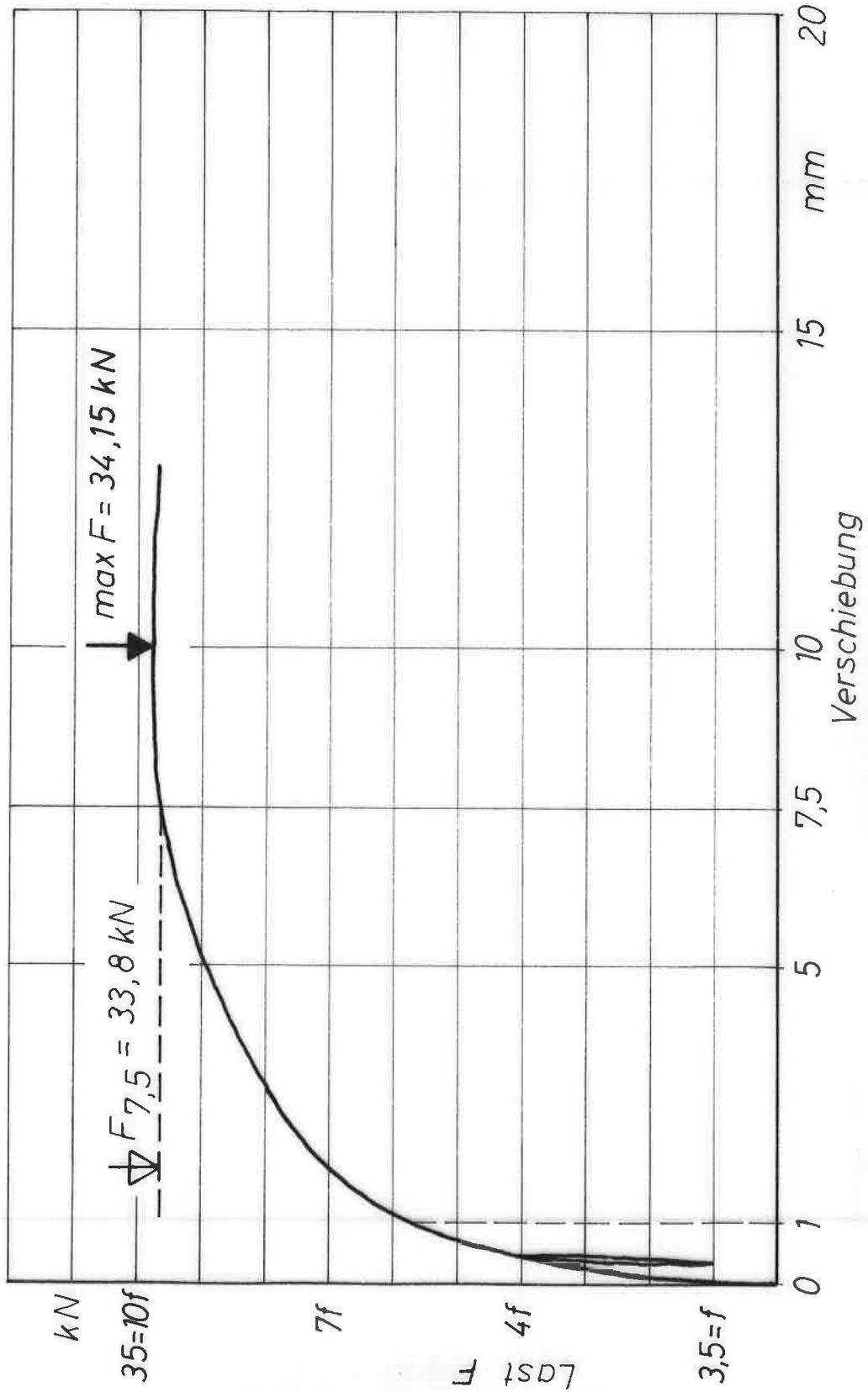


Bild 25: Last-Verschiebungs-Diagramm; Hauptversuch der Reihe Nb

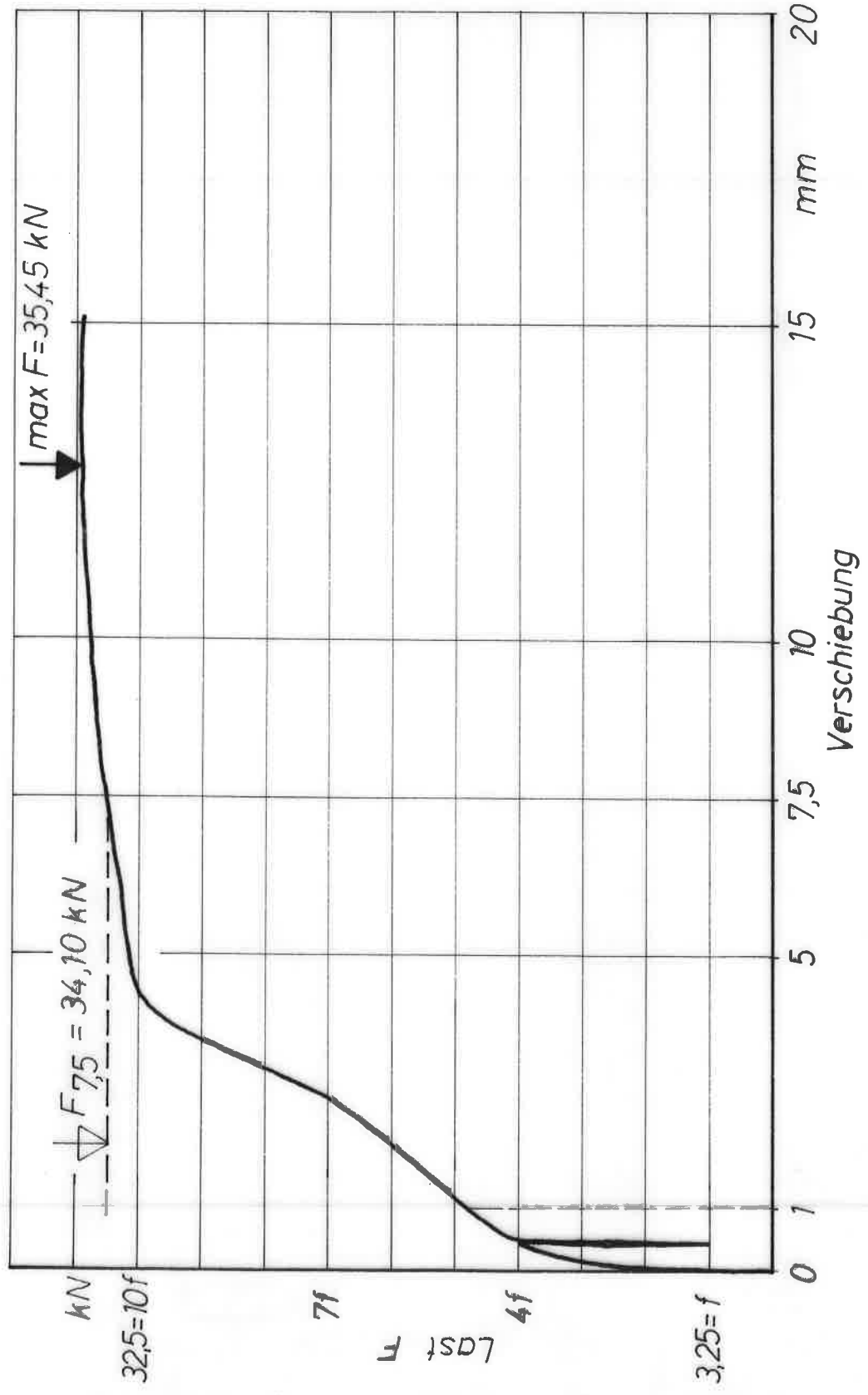


Bild 26: Last-Verschiebungs-Diagramm, Hauptversuch der Reihe K

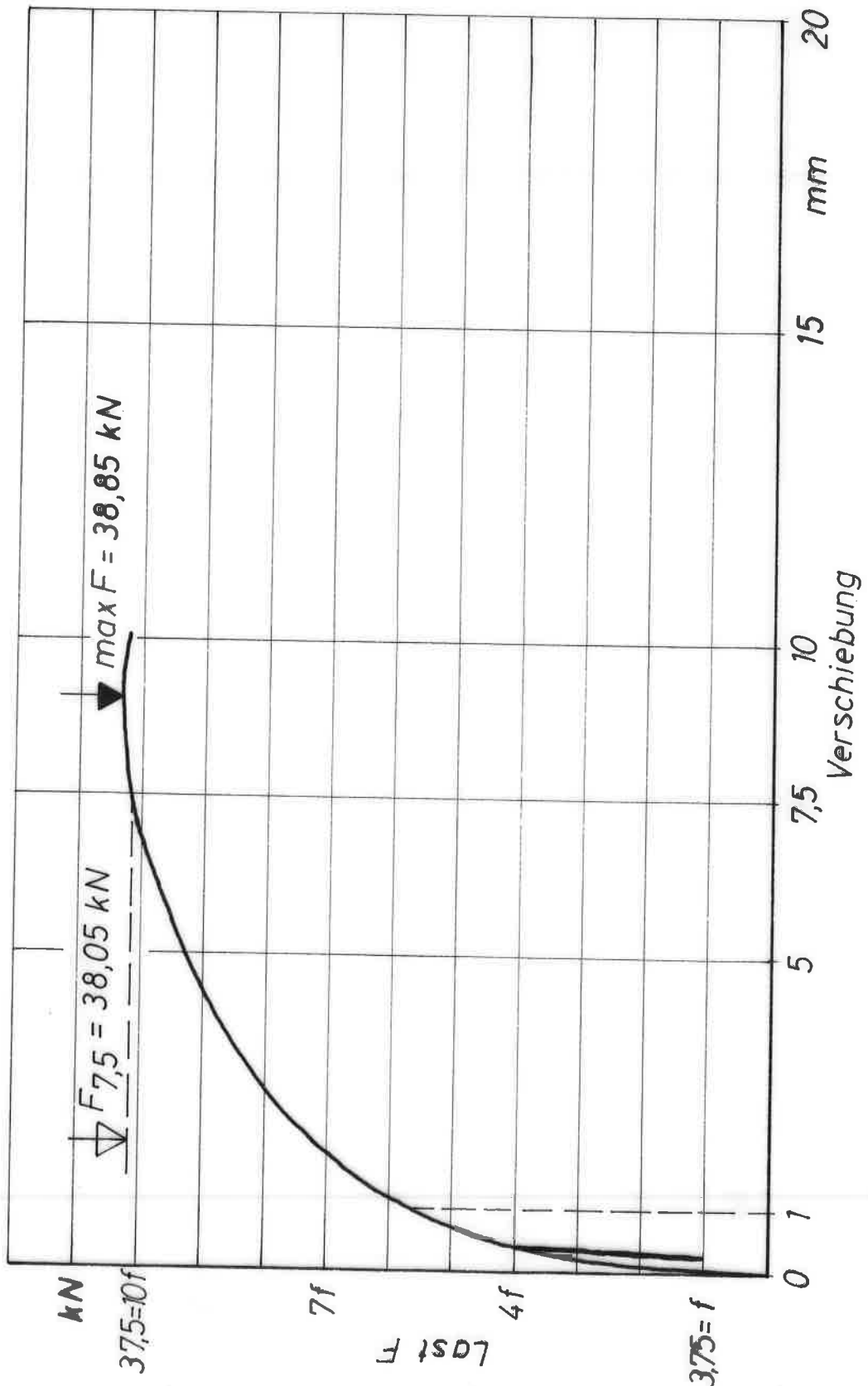


Bild 27: Last-Verschiebungs-Diagramm, Hauptversuch der Reihe M

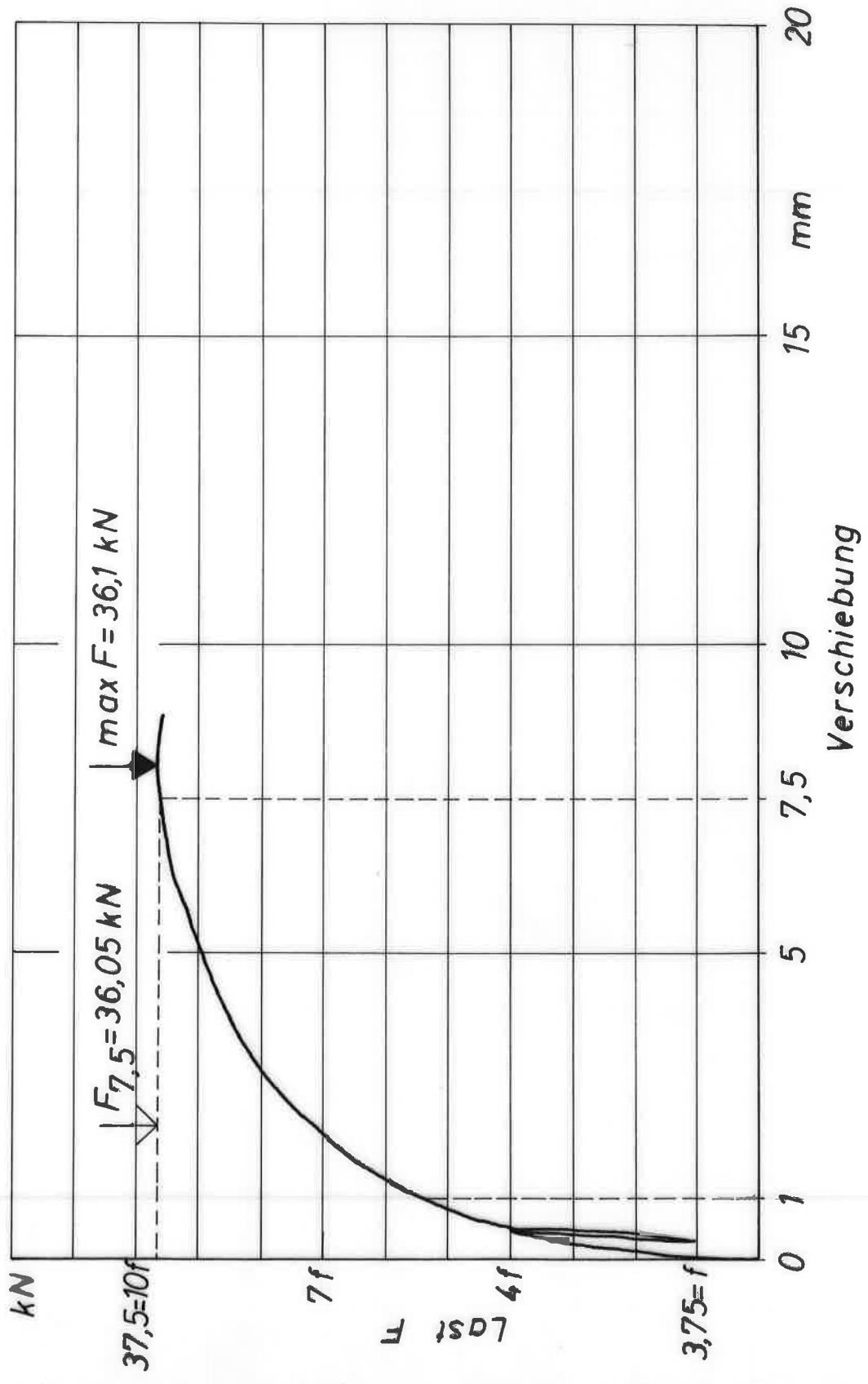


Bild 28: Last-Verschiebungsdiagramm, Hauptversuch der Reihe MZ

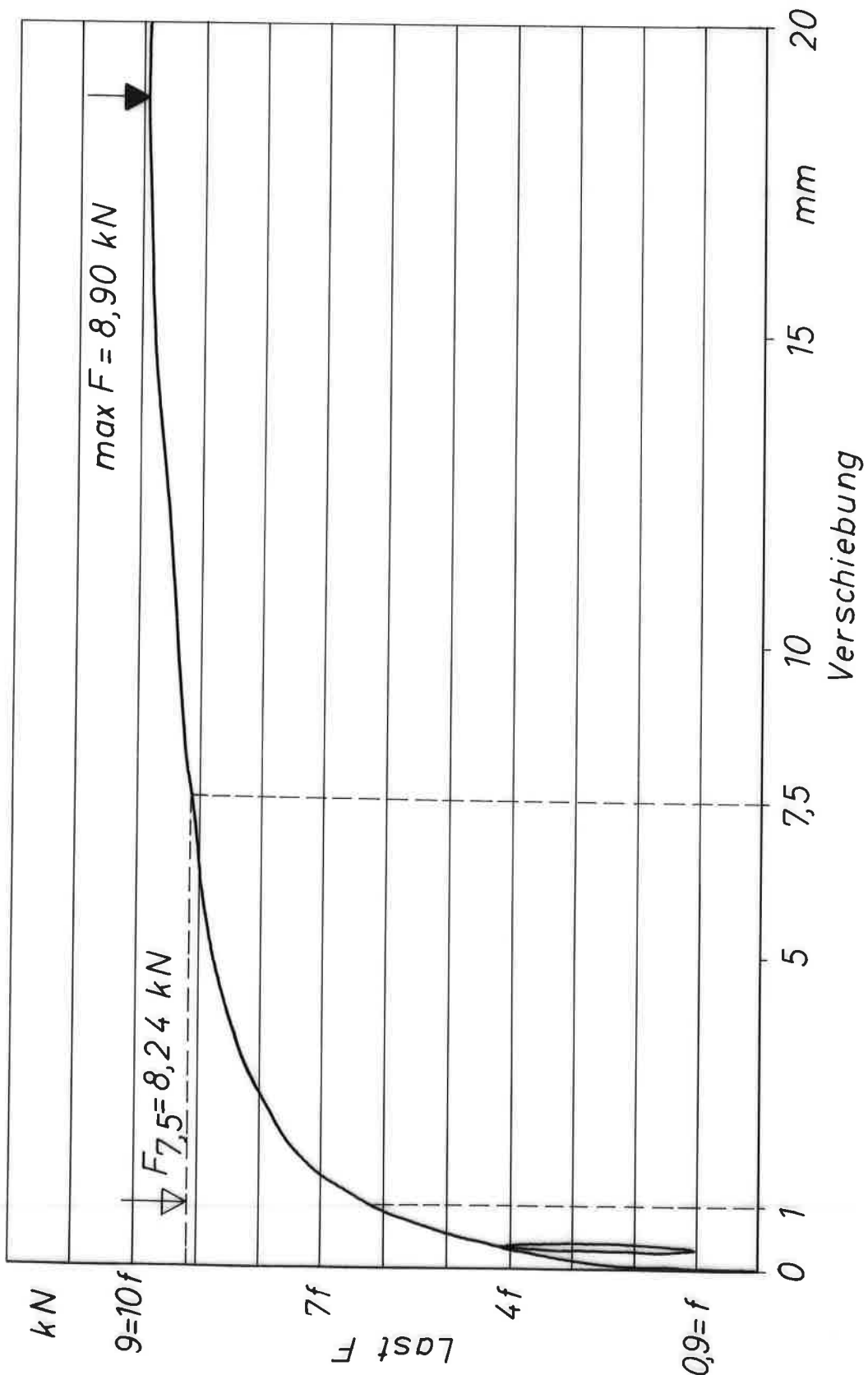


Bild 30: Last-Verschiebungsdiagramm, Vergleichsversuch der Reihe Na

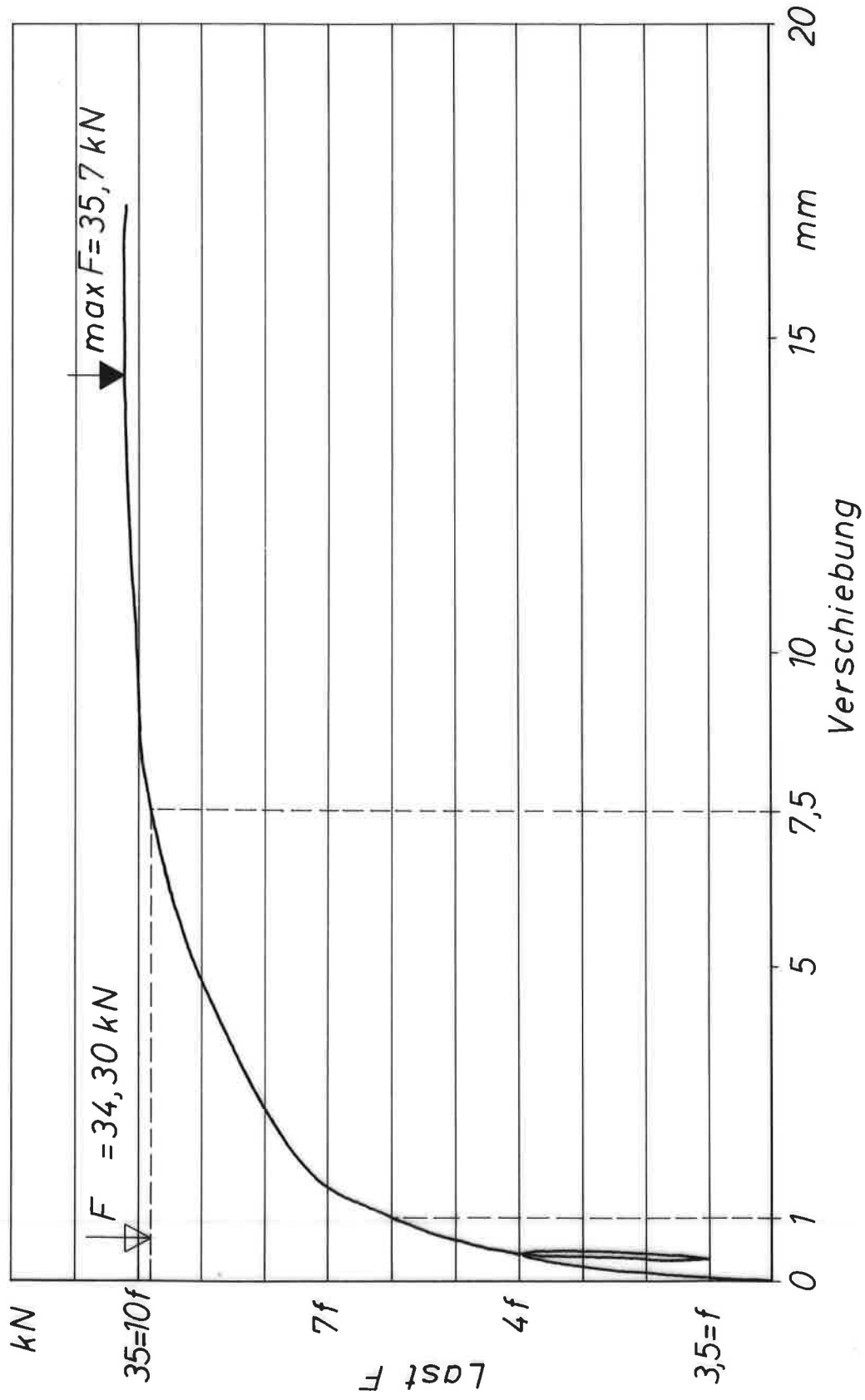


Bild 31: Last - Verschiebungsdiagramm, Vergleichsversuch der Reihe Nb

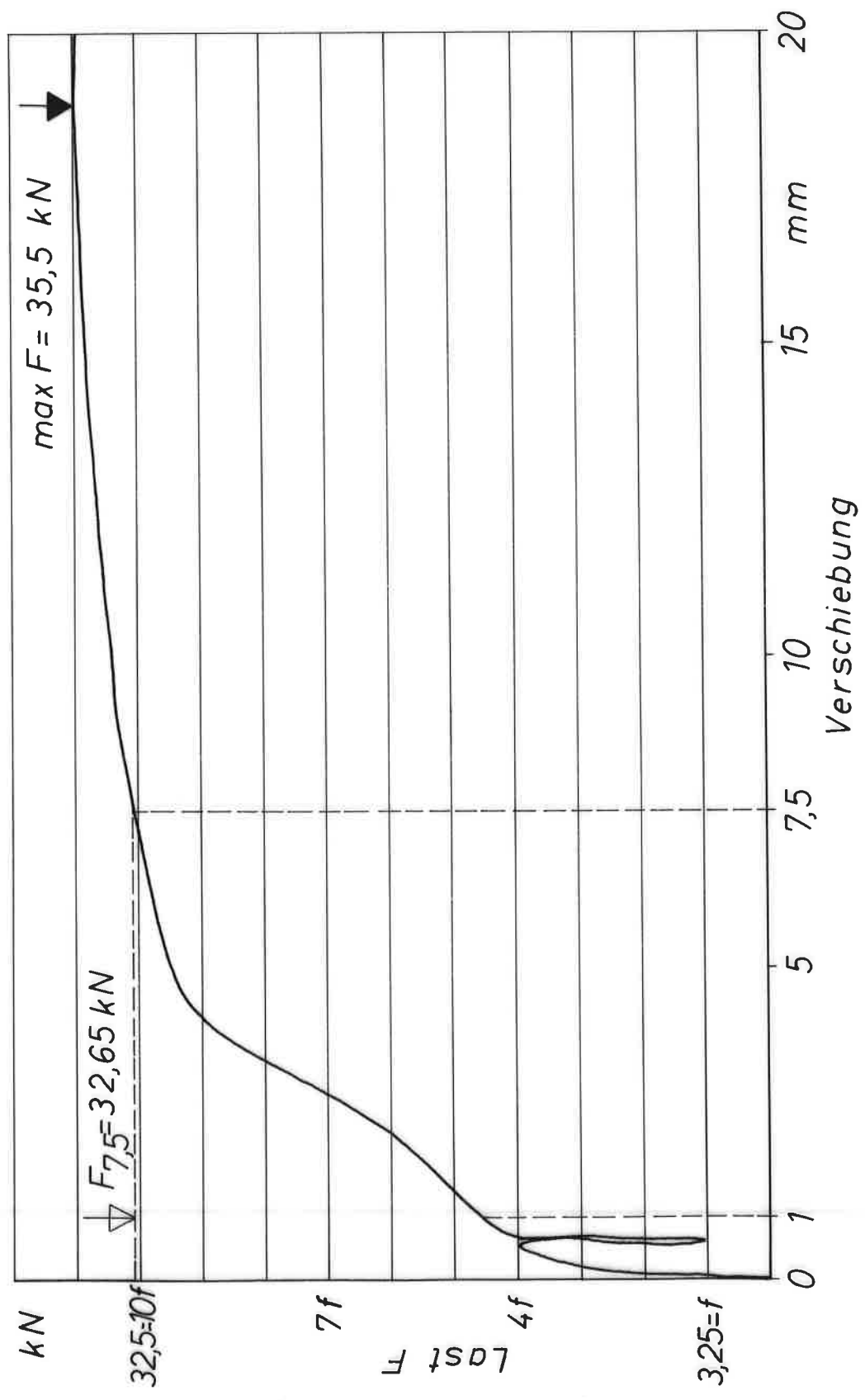


Bild 32: Last-Verschiebungsdiagramm, Vergleichsversuch der Reihe K

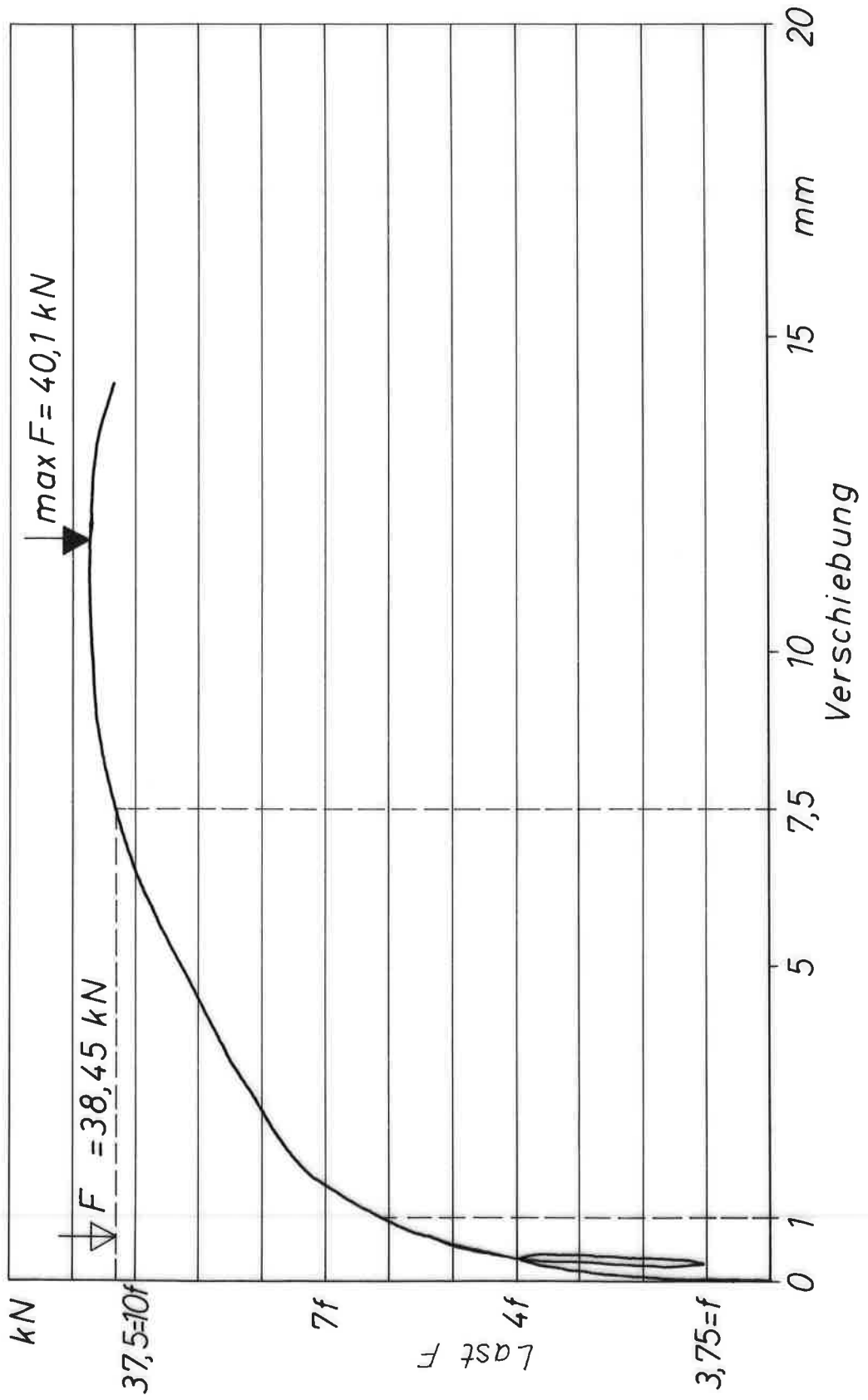


Bild 33: Last-Verschiebungsdiagramm, Vergleichsversuch der Reihe M

| Versuchs- körper | Prüfverfahren A | | | | Prüfverfahren B | | | | Prüfverfahren C | | | | |
|---------------------|--|----------------------|-----------------------------|--|--|----------------------|-----------------------------|--|--|----------------------|--------------------------------|-----------------------------|--|
| | Verschiebungen bei 4 · f (mm) | bei max F (mm) | Höchstlast max F (kN) | gesamte Versuchs- dauer (min) | Verschiebungen bei 4 · f (mm) | bei max F (mm) | Höchstlast max F (kN) | gesamte Versuchs- dauer (min) | Verschiebungen bei 4 · f (mm) | bei max F (mm) | v_Q bei 7 · f (mm/min) | Höchstlast max F (kN) | gesamte Versuchs- dauer (min) |
| N 1 | 0,40 | 11,9 | 18,44 | 36,0 | 0,40 | 12,8 | 19,52 | 6,75 | 0,30 | 13,5 | 2,15 | 19,42 | 11,43 |
| N 2 | 0,30 | 11,5 | 20,11 | 38,0 | 0,35 | 13,4 | 20,80 | 6,58 | 0,30 | 11,8 | 1,82 | 20,40 | 11,73 |
| N 3 | 0,30 | 10,9 | 19,82 | 35,0 | 0,40 | 13,0 | 20,80 | 6,17 | 0,35 | 12,6 | 1,94 | 20,50 | 12,00 |
| N 4 | 0,25 | 11,4 | 19,03 | 35,0 | 0,40 | 14,2 | 20,11 | 10,15 | 0,30 | 12,0 | 2,04 | 20,31 | 11,83 |
| N 5 | 0,40 | 12,1 | 18,25 | 35,0 | 0,40 | 13,5 | 20,11 | 8,53 | 0,40 | 12,0 | 3,14 | 19,33 | 9,27 |
| Mittel : | <u>0,33</u> | <u>11,6</u> | <u>19,13</u> | <u>35,8</u> | <u>0,39</u> | <u>13,4</u> | <u>20,27</u> | <u>7,64</u> | <u>0,33</u> | <u>12,4</u> | <u>2,2</u> | <u>19,99</u> | <u>11,25</u> |
| s | 0,07 | 0,5 | 0,82 | 1,3 | 0,02 | 0,5 | 0,54 | 1,67 | 0,04 | 0,7 | 0,5 | 0,57 | 1,13 |

s = Standardabweichung

v_Q = Querschnittsgeschwindigkeit

Table 1: Ergebnisse der Hauptversuche mit Zugshekörpern Reihe N;
runde Drahtnägel 30x90 DIN 1151; f = 2000 N; Prüfverfahren
nach Abschnitt 4.1.2

| Versuchs- körper | Prüfverfahren A | | | | Prüfverfahren B | | | | Prüfverfahren C | | | | | |
|---------------------|--------------------------------------|-----------------------------|--|--------------------------------------|-----------------------------|--|--------------------------------------|-----------------------------|--|--------------------------------------|-----------------------------|--|--------------------------------------|-----------------------------|
| | Verschiebungen bei 4·f (mm) | Höchstlast max F (kN) | gesamte Versuchs- dauer (min) | Verschiebungen bei 4·f (mm) | Höchstlast max F (kN) | gesamte Versuchs- dauer (min) | Verschiebungen bei 4·f (mm) | Höchstlast max F (kN) | gesamte Versuchs- dauer (min) | Verschiebungen bei 4·f (mm) | Höchstlast max F (kN) | gesamte Versuchs- dauer (min) | Verschiebungen bei 4·f (mm) | Höchstlast max F (kN) |
| HS 1 | 0,40 | 22,17 | 45 | 0,45 | 23,94 | 9,83 | 0,55 | 26,29 | 9,55 | 0,55 | 26,29 | 4,17 | 26,29 | 9,55 |
| HS 2 | 0,40 | 22,86 | 42 | 0,55 | 23,45 | 11,25 | 0,50 | 23,35 | 10,00 | 0,50 | 23,35 | 2,65 | 23,35 | 10,00 |
| HS 3 | 0,40 | 21,58 | 42 | 0,45 | 23,35 | 9,63 | 0,50 | 23,54 | 9,73 | 0,50 | 23,54 | 3,27 | 23,54 | 9,73 |
| HS 4 | 0,40 | 22,37 | 42 | 0,45 | 24,33 | 10,42 | 0,65 | 22,86 | 9,90 | 0,65 | 22,86 | 3,26 | 22,86 | 9,90 |
| HS 5 | 0,45 | 21,88 | 40 | 0,55 | 23,35 | 8,47 | 0,45 | 26,49 | 11,48 | 0,45 | 26,49 | 2,58 | 26,49 | 11,48 |
| Mittel : | <u>0,41</u> | <u>22,17</u> | <u>42,2</u> | <u>0,49</u> | <u>23,68</u> | <u>9,92</u> | <u>0,53</u> | <u>24,51</u> | <u>10,13</u> | <u>0,53</u> | <u>24,51</u> | <u>3,2</u> | <u>24,51</u> | <u>10,13</u> |
| s | 0,02 | 0,49 | 1,8 | 0,05 | 0,44 | 1,03 | 0,08 | 1,74 | 0,77 | 0,08 | 1,74 | 0,6 | 1,74 | 0,77 |

s = Standardabweichung

v_Q = Querschnittsgeschwindigkeit

Tabelle 2: Ergebnisse der Hauptversuche mit Zugskörpern Reihe HS;
Halbrund-Holzschrauben 5x60 DIN 96; f=2000N; Prüfverfahren
nach Abschnitt 4.1.2

| Versuchs- körper | Prüfverfahren A | | | | Prüfverfahren B | | | | Prüfverfahren C | | | | |
|---------------------|--|----------------------|-----------------------------|--|--|-------------|-----------------------------|--|--|----------------------|-----------------------------------|-----------------------------|--|
| | Verschiebungen bei 4 · f (mm) | | Höchstlast max F (kN) | gesamte Versuchs- dauer (min) | Verschiebungen bei 4 · f (mm) | | Höchstlast max F (kN) | gesamte Versuchs- dauer (min) | Verschiebungen bei 4 · f (mm) | | v_Q bei 7 · f (mm/min) | Höchstlast max F (kN) | gesamte Versuchs- dauer (min) |
| | bei max F (mm) | bei max F (mm) | | bei max F (mm) | bei max F (mm) | | bei max F (mm) | bei max F (mm) | bei max F (mm) | bei max F (mm) | | bei max F (mm) | bei max F (mm) |
| NP 1 | 0,08 | 1,25 | 29,04 | 35,7 | 0,08 | 1,05 | 30,31 | 6,33 | 0,08 | 1,42 | 0,97 | 28,74 | 10,03 |
| NP 2 | 0,09 | 1,56 | 28,84 | 35,3 | 0,08 | 1,55 | 30,02 | 5,50 | 0,09 | 1,83 | 1,00 | 29,63 | 11,37 |
| NP 3 | 0,10 | 1,55 | 28,30 | 29,1 | 0,08 | 1,40 | 28,84 | 5,20 | 0,09 | 1,39 | 1,05 | 29,04 | 10,65 |
| NP 4 | 0,09 | 1,50 | 28,94 | 30,0 | 0,09 | 1,70 | 29,63 | 5,50 | 0,08 | 1,70 | 0,93 | 29,14 | 11,12 |
| NP 5 | 0,08 | 1,23 | 26,98 | 30,1 | 0,09 | 1,25 | 28,15 | 5,67 | 0,08 | 1,25 | 1,15 | 26,39 | 9,40 |
| Mittel : | <u>0,09</u> | <u>1,42</u> | <u>28,42</u> | <u>32,0</u> | <u>0,08</u> | <u>1,39</u> | <u>29,39</u> | <u>5,64</u> | <u>0,08</u> | <u>1,52</u> | <u>1,02</u> | <u>29,19</u> | <u>10,51</u> |
| s | 0,01 | 0,16 | 0,85 | 3,2 | 0,01 | 0,25 | 0,89 | 0,42 | 0,01 | 0,24 | 0,08 | 0,34 | 0,81 |

s = Standardabweichung

v_Q = Quertauptgeschwindigkeit

Table 3: Ergebnisse der Hauptversuche mit Zugscherkörpern Reihe NP;
Nagelplatten $b/l = 76/102$ mm; $f = 2500$ N; Prüfverfahren nach

Abschnitt 4.1.2

| Last- stufe | Zeit T_{ges} sec | Verformung s_{ges} mm | Last- bereich | Zeit- verbrauch ΔT sec | Verformungs- zunahme ΔS mm | mittlere Verformungsgeschw. am Querkörper v_Q mm/min | mittlere Verformungsgeschw. am Versuchskör. v_s mm/min | mittlere Belastungsgesch. v_F f/min |
|--------------------|--------------------------|-------------------------------|------------------|---|--|---|---|--|
| 0 | 0 | 0 | 0 → f | 30 | 0,06 | 1,0 | 0,12 | 2,00 |
| f | 30 | 0,06 | f → 2f | 16 | 0,08 | 1,0 | 0,30 | 3,75 |
| 2f | 46 | 0,14 | 2f → 3f | 15 | 0,09 | 1,0 | 0,36 | 4,00 |
| 3f | 61 | 0,23 | 3f → 4f | 15 | 0,11 | 1,0 | 0,44 | 4,00 |
| 4f | 76 | 0,34 | 4f → f | 34 | - 0,15 | - 1,0 | - 0,26 | - 5,30 |
| f | 110 | 0,19 | f → 4f | 35 | 0,15 | 1,0 | 0,26 | 5,14 |
| 4f | 145 | 0,34 | 4f → 5f | 17 | 0,13 | 1,0 | 0,46 | 3,53 |
| 5f | 162 | 0,47 | 5f → 6f | 20 | 0,20 | 1,0 | 0,60 | 3,00 |
| 6f | 182 | 0,67 | 6f → 7f | 29 | 0,31 | 1,0 | 0,64 | 2,07 |
| 7f | 211 | 0,98 | 7f → 8f | 30 | 0,56 | 1,5 | 1,12 | 2,00 |
| 8f | 241 | 1,54 | 8f → 9f | 50 | 1,49 | 2,0 | 1,79 | 1,20 |
| 9f | 291 | 3,03 | | | | | | |
| maxF ¹⁾ | 424 | 7,07 | 9f → maxF | 133 | 4,04 | 2,0 | 1,82 | 0,45 |

1) maxF = 9,9 · f (Mittel aus 3 Versuchen); f = 7000 N

Tabelle 4: Zeitlicher Ablauf der Versuche nach Abschnitt 4.2, mechanische Prüfmaschine (alle Werte sind Mittelwerte aus drei Einzelversuchen)

| Last- stufe | Zeit T_{ges} sec | Verformung s_{ges} mm | Last- bereich | Zeit- verbrauch ΔT sec | Verformungs- zunahme Δs mm | mittlere Verformungsgeschw am Versuchskörper v_s mm/min | mittlere Belastungsgesch. v_F f/min |
|--------------------|--------------------------|-------------------------------|------------------|---|--|--|--|
| 0 | 0 | 0 | 0 → f | 30 | 0,03 | 0,06 | 2,0 |
| f | 30 | 0,03 | f → 2f | 30 | 0,08 | 0,16 | 2,0 |
| 2f | 60 | 0,11 | 2f → 3f | 30 | 0,09 | 0,18 | 2,0 |
| 3f | 90 | 0,20 | 3f → 4f | 30 | 0,11 | 0,22 | 2,0 |
| 4f | 120 | 0,31 | 4f → f | 90 | -0,13 | -0,26 | 2,0 |
| f | 210 | 0,18 | f → 4f | 90 | 0,13 | 0,26 | 2,0 |
| 4f | 300 | 0,31 | 4f → 5f | 30 | 0,16 | 0,32 | 2,0 |
| 5f | 330 | 0,47 | 5f → 6f | 30 | 0,20 | 0,40 | 2,0 |
| 6f | 360 | 0,67 | 6f → 7f | 30 | 0,30 | 0,60 | 2,0 |
| 7f | 390 | 0,97 | 7f → 8f | 30 | 0,56 | 1,12 | 2,0 |
| 8f | 420 | 1,53 | 8f → 9f | 30 | 1,24 | 2,48 | 2,0 |
| 9f | 450 | 2,77 | | | | | |
| maxF ¹⁾ | 493 | 9,92 | 9f → maxF | 43 | 7,15 | 9,98 | 2,0 |

1) maxF = 10,4 · f (Mittel aus 3 Versuchen); f = 7000 N

Tabelle 5: Zeitlicher Ablauf der Versuche nach Abschnitt 4.2,
hydraulische Prüfmaschine (alle Werte sind Mittelwerte
aus drei Einzelversuchen)

Verbindungsmittel: runde Drahtnägel 25x60, Reihe Na

1. Vorversuch: $\max F_{(1)} = 8750 \text{ N}$ $T_{(1)} = 12,08 \text{ Minuten}$

$\max \delta = 10,5 \text{ mm}$ $f = 900 \text{ N}$

2. Vorversuch: $\max F_{(2)} = 8450 \text{ N}$ $T_{(2)} = 10,18 \text{ Minuten}$

Zeitbedarf für Zwischenentlastung $4f \rightarrow f \rightarrow 4f$

$\Delta t = 0,62 \text{ Minuten}$

| Zeit in Minuten | | | Verschiebung in mm | | | v_s |
|-----------------|-------|------------|--------------------|------|-----------------|--------------------|
| t_7 | 2,63 | Δt | δ_7 | 1,65 | $\Delta \delta$ | mm/min |
| | | 0,97 | | | 0,90 | 0,93 |
| t_8 | 3,60 | | δ_8 | 2,55 | | |
| | | 1,68 | | | 1,60 | 0,95 |
| t_9 | 5,28 | | δ_9 | 4,15 | | |
| | | 4,90 | | | 4,85 | 0,99 |
| t_{10} | | | δ_{10} | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| $T_{(2)}$ | 10,18 | | $\max \delta$ | 9,00 | | |
| | | | | | | $\bar{v}_s = 0,96$ |

$$v_{Q(H)}' = \frac{\max \delta - \delta_7}{10 - t_7} \cdot \frac{v_{Q(V)}}{\bar{v}_s} = \frac{9,0 - 1,65}{10 - 2,63} \cdot \frac{1}{0,96}$$

$$= 1,04 \text{ mm/min, gewählt } v_{Q(H)}' = 1,0 \text{ mm/min}$$

Hauptversuche: $f = 900 \text{ N}$

| Nr. | $F_{7,5}$ N | $\max F$ N | $\max \delta$ mm | $T_{(H)}$ min |
|---------|----------------|---------------|---------------------|------------------|
| 1 | 8640 | 8750 | 9,90 | 10,97 |
| 2 | 8100 | 8100 | 8,80 | 9,92 |
| 3 | 8200 | 8250 | 8,50 | 9,83 |
| Mittel: | 8310 | 8370 | 9,07 | 10,24 |

Tabelle 6: Versuchsergebnisse nach vorgeschlagenem Prüfverfahren

| Nr. | $F_{7,5}$ N | $\max F$ N | $\max \delta$ mm | $T_{(H)}$ min |
|---------|----------------|---------------|---------------------|------------------|
| 1 | <u>7 700</u> | 7 800 | 8,90 | 10,15 |
| 2 | 8 450 | <u>8 450</u> | 7,40 | 8,50 |
| 3 | <u>8 420</u> | 8 580 | 10,70 | 10,55 |
| Mittel: | <u>8 190</u> | 8 300 | 9,00 | 9,73 |

Vorversuche aus Reihe Na übernommen

Tabelle 7: Versuchsergebnisse der Hauptversuche mit Zugscherkörpern der Reihe NaZ

$v_{Q(H)} = 2 \text{ mm/min}$; $f = 900 \text{ N}$

Verbindungsmittel: runde Drahtnägel 55 x 145, Reihe Nb

1. Vorversuch: $\max F_{(1)} = 36\,400 \text{ N}$ $T_{(1)} = 12,53 \text{ Minuten}$

$\max \delta = 11,2 \text{ mm}$ $f = 3\,500 \text{ N}$

2. Vorversuch: $\max F_{(2)} = 33\,700 \text{ N}$ $T_{(2)} = 11,75 \text{ Minuten}$

Zeitbedarf für Zwischenentlastung $4f \rightarrow f \rightarrow 4f$

$\Delta t = 0,68 \text{ Minuten}$

| Zeit in Minuten | | | Verschiebung in mm | | | v_s |
|-----------------|-------|------------|--------------------|------|-----------------|--------------------|
| t_7 | 3,50 | Δt | δ_7 | 1,90 | $\Delta \delta$ | mm/min |
| | | 1,78 | | | 1,65 | 0,93 |
| t_8 | 5,28 | 2,52 | δ_8 | 3,55 | 2,40 | 0,95 |
| t_9 | 7,80 | 3,95 | δ_9 | 5,95 | 3,75 | 0,95 |
| t_{10} | | | δ_{10} | | | |
| | | | | | | |
| $T_{(2)}$ | 11,75 | | $\max \delta$ | 9,70 | | |
| | | | | | | $\bar{v}_s = 0,94$ |

$$v_{Q(H)}^i = \frac{\max \delta - \delta_7}{10 - t_7} \cdot \frac{v_{Q(V)}}{\bar{v}_s} = \frac{9,70 - 1,90}{10 - 3,50} \cdot \frac{1}{0,94}$$

$$= 1,28 \text{ mm/min, gewählt } v_{Q(H)}^i = 1,5 \text{ mm/min}$$

Hauptversuche: $f = 3\,500 \text{ N}$

| Nr. | $F_{7,5}$ N | $\max F$ N | $\max \delta$ mm | $T_{(H)}$ min |
|---------|----------------|---------------|---------------------|------------------|
| 1 | 33 800 | 34 150 | 10,00 | 8,97 |
| 2 | 35 550 | 36 750 | 10,50 | 9,18 |
| 3 | 34 850 | 35 200 | 8,20 | 7,93 |
| Mittel: | 34 730 | 35 400 | 9,60 | 8,69 |

Tabelle 8 : Versuchsergebnisse nach vorgeschlagenem Prüfverfahren

Verbindungsmittel: Klammer, 56 mm lang, 1,83 mm \emptyset , Reihe K

1. Vorversuch: $\max F_{(1)} = 33\,500\text{ N}$ $T_{(1)} = 11,08\text{ Minuten}$

$\max \delta = 10,0\text{ mm}$ $f = 3000\text{ N}$

2. Vorversuch: $\max F_{(2)} = 33\,250\text{ N}$ $T_{(2)} = 12,03\text{ Minuten}$

Zeitbedarf für Zwischenentlastung $4f \rightarrow f \rightarrow 4f$

$\Delta t = 0,63\text{ Minuten}$

| Zeit in Minuten | | Verschiebung in mm | | | v_s | |
|-----------------|-------|--------------------|---------------|-------|-----------------|--------------------|
| t_7 | 3,97 | Δt | δ_7 | 2,55 | $\Delta \delta$ | mm/min |
| | | 0,55 | | | 0,50 | 0,91 |
| t_8 | 4,52 | | δ_8 | 3,05 | | |
| | | 0,53 | | | 0,45 | 0,85 |
| t_9 | 5,05 | | δ_9 | 3,50 | | |
| | | 0,57 | | | 0,50 | 0,88 |
| t_{10} | 5,62 | | δ_{10} | 4,00 | | |
| | | 3,95 | | | 3,70 | 0,94 |
| t_{11} | 9,57 | | δ_{11} | 7,70 | | |
| | | 2,46 | | | 2,30 | 0,93 |
| $T_{(2)}$ | 12,03 | | $\max \delta$ | 10,00 | | |
| | | | | | | $\bar{v}_s = 0,90$ |

$$v'_{Q(H)} = \frac{\max \delta - \delta_7}{10 - t_7} \cdot \frac{v_{Q(V)}}{\bar{v}_s} = \frac{10 - 2,55}{10 - 3,97} \cdot \frac{1}{0,90}$$

$$= 1,37\text{ mm/min, gewählt } v'_{Q(H)} = 1,50\text{ mm/min}$$

Hauptversuche: $f = 3250\text{ N}$ (korrigierter Wert)

| Nr. | $F_{7,5}$ N | $\max F$ N | $\max \delta$ mm | $T_{(H)}$ min |
|---------|----------------|---------------|---------------------|------------------|
| 1 | 34 100 | 35 450 | 12,80 | 10,98 |
| 2 | 33 950 | 34 150 | 10,70 | 9,67 |
| 3 | 35 100 | 35 700 | 12,30 | 10,50 |
| Mittel: | 34 380 | 35 100 | 11,90 | 10,38 |

Tabelle 9 : Versuchsergebnisse nach vorgeschlagenem Prüfverfahren

Verbindungsmittel: MENIG-Nagelplatten 5/8 cm, Reihe M

1. Vorversuch: $\max F_{(1)} = 27\,800\text{ N}$ $T_{(1)} = 10,63\text{ Minuten}$

$\max \delta = 9,70\text{ mm}$ $f = 2500\text{ N}$

2. Vorversuch: $\max F_{(2)} = 36\,150\text{ N}$ $T_{(2)} = 13,47\text{ Minuten}$

Zeitbedarf für Zwischenentlastung $4f \rightarrow f \rightarrow 4f$

$\Delta t = 0,83\text{ Minuten}$

| Zeit in Minuten | | | Verschiebung in mm | | | v_s |
|-----------------|-------|------------|--------------------|-------|------------|--------------------|
| t_7 | 2,80 | Δt | s_7 | 0,95 | Δs | mm/min |
| | | 0,45 | | | 0,40 | 0,89 |
| t_8 | 3,25 | | s_8 | 1,35 | | |
| | | 0,53 | | | 0,50 | 0,94 |
| t_9 | 3,78 | | s_9 | 1,85 | | |
| | | 0,82 | | | 0,75 | 0,91 |
| t_{10} | 4,60 | | s_{10} | 2,60 | | |
| | | 2,52 | | | 2,40 | 0,95 |
| t_{12} | 7,12 | | s_{12} | 5,00 | | |
| | | 3,76 | | | 3,70 | 0,98 |
| t_{14} | 10,88 | | s_{14} | 8,70 | | |
| | | 2,59 | | | 2,50 | 0,97 |
| $T_{(2)}$ | 13,47 | | $\max \delta$ | 11,20 | | |
| | | | | | | $\bar{v}_s = 0,94$ |

$$v_{Q(H)}^I = \frac{\max \delta - s_7}{10 - t_7} \cdot \frac{v_{Q(V)}}{\bar{v}_s} = \frac{11,20 - 0,95}{10 - 2,80} \cdot \frac{1}{0,94}$$

$$= 1,51\text{ mm/min, gewählt } v_{Q(H)}^I = 1,50\text{ mm/min}$$

Hauptversuche: $f = 3750\text{ N}$

| Nr. | $F_{7,5}$ N | $\max F$ N | $\max \delta$ mm | $T_{(H)}$ min |
|---------|----------------|---------------|---------------------|------------------|
| 1 | 38 650 | 39 400 | 9,10 | 8,30 |
| 2 | 38 600 | 38 800 | 8,30 | 7,87 |
| 3 | 38 050 | 38 850 | 9,00 | 8,08 |
| Mittel: | 38 430 | 39 020 | 8,80 | 8,08 |

Tabelle 10: Versuchsergebnisse nach vorgeschlagenem Prüfverfahren

| Nr. | $F_{7,5}$ N | max F N | max S mm | $T_{(H)}$ min |
|---------|----------------|------------|-------------|------------------|
| 1 | 40 200 | 40 250 | 7,55 | 9,58 |
| 2 | 36 050 | 36 100 | 8,00 | 9,77 |
| 3 | 39 400 | 39 750 | 8,35 | 9,92 |
| Mittel: | 38 550 | 38 700 | 8,00 | 9,76 |

Vorversuche aus Reihe M übernommen

Tabelle 11: Versuchsergebnisse der Hauptversuche mit Zugscherkörpern der Reihe MZ

$$v_{Q(H)} = 2 \text{ mm/min}; v'_{Q(H)} = 3 \text{ mm/min}; f = 3750 \text{ N}$$