

CROSSFLÄCHIGE QUERANSCHLÜESSE BEI BRETTSCHICHTHOLZ

VAF 137

Lehrstuhl für
Ingenieurholzbau u. Baukonstruktionen
Universität (TH) Karlsruhe
Prof. Dr.-Ing. K. Arntz

Großflächige Queranschlüsse bei Brettschichtholz

Untersuchungen

durchgeführt im Auftrag der Entwicklungsgemeinschaft

Holzbau in der DGfH

von

Karl Möhler und Reinhard Lautenschläger

Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen

Universität Karlsruhe (TH)

Lehrstuhl für Ingenieurholzbau

und Baukonstruktionen

Universität Karlsruhe

Univ.-Prof. Dr.-Ing. H. J. Bläß

1978

I n h a l t

- 1 Einleitung
- 2 Rechnerische Untersuchungen über die Verteilung der Verbindungsmittellasten und der Querspannung im Brettschichtholz über den Anschlußbereich
 - 2.1 Allgemeine Angaben
 - 2.2 Annahmen für die Rechnung
 - 2.3 Ergebnisse der Hauptreihen
- 3 Versuche zur Ermittlung von Größe und Verlauf der Querverformungen im meist beanspruchten Bereich
- 4 Versuche zur Ermittlung des Einflusses geometrischer Größen von querbeanspruchten Anschlüssen
 - 4.1 Randabstand vom belasteten Trägerrand (Reihe A)
 - 4.2 Verhältnis Anschlußhöhe zu Randabstand (Reihe B)
 - 4.3 Längsabstand zweier in einer Reihe liegender Verbindungsmittel (Reihe C)
- 5 Versuche zur Ermittlung des Einflusses des querbeanspruchten Volumens auf die Querspannungsfestigkeit von Brettschichtholz aus Fichte
- 6 Versuche mit Stabdübel-Queranschlüssen bei Brettschichtholz
- 7 Versuche mit Anschlüssen mittels eingeleimter Gewindestähle oder Maschinenschrauben
 - 7.1 Ausführungsgrundlagen
 - 7.2 Versuche mit Verbundankern System Upat und Buchholz
 - 7.3 Großversuche mit durch eingeleimte Schrauben verstärkte Auflager- bzw. Krafteinleitungsbereiche
 - 7.3.1 Versuchsreihe 1
 - 7.3.2 Versuchsreihe 2
- 8 Folgerungen aus den Versuchsergebnissen

Großflächige Queranschlüsse bei Brettschichtholz

1 Einleitung

Brettschichtträger werden heute mit Höhen von mehr als 2 m hergestellt. Dabei sind oft für den Anschluß von Stützen, Aufhängungen und dergl. Anschlüsse senkrecht zur Faserrichtung des Brettschichtholzes erforderlich, die sich unter Umständen über die ganze Trägerhöhe erstrecken. Auch bei weitgespannten Fachwerkträgern mit Gurten aus Brettschichtholz kommt der Quer- oder Schräganschluß mit mehreren hintereinander liegenden Dübeln, meist Stabdübeln, zur Anwendung. Die Bemessungsangaben der DIN 1052, Teil 2 für Dübel besonderer Bauart, gehen ebenso wie die Festlegungen in Teil I über Dübelverbindungen, Stabdübelverbindungen und auch Nagelverbindungen davon aus, daß bei Quer- oder Schräganschlüssen nur Anschlüsse an Vollhölzern mit 1 oder 2 hintereinander liegenden Dübeln oder wenigen Nägeln ausgeführt werden. Die Verbindungsmittel liegen dabei in der Mitte oder sind praktisch gleichmäßig auf die ganze Höhe des querbeanspruchten Vollholzes verteilt. Die Bemessung von großflächigen Querverbindungen ist bisher in den Bemessungsgrundlagen nicht erfaßt, auch nicht diejenigen Fälle, bei denen die quer zur Faserrichtung beanspruchten Verbindungsmittel nur in Stabteilflächen untergebracht sind und damit je nach der Krafrichtung Querspannungen hervorrufen. Aufgabe dieses Forschungsvorhabens war es daher, unter besonderer Berücksichtigung der Beanspruchungsverhältnisse in den Verbindungsmitteln und im Brettschichtholz (Querdruk- und Querspannung) die Grundlagen für eine tragsichere Bemessung von großflächigen Queranschlüssen aufgrund von theoretischen Untersuchungen und praxisnahen Versuchen zu schaffen und Hinweise für die sachgemäße Anordnung und Bemessung der Verbindungsmittel in querbeanspruchten Holzbau- teilen zu geben.

2 Rechnerische Untersuchungen über die Verteilung der Verbindungsmittellasten und der Querspannungen im Brettschichtholz über den Anschlußbereich

2.1 Allgemeine Angaben

Bei Queranschlüssen mittels nachgiebiger Verbindungsmittel wie Nägel, Stabdübel oder Dübel besonderer Bauart ist, wie aus Schadensfällen und Bruchversuchen hervorgeht, die Höhe der aufnehmbaren, quer zur Längsachse von Brettschichtholz angreifenden Lasten je nach der Anordnung der Verbindungsmittel in Bezug auf die Höhe des querbelasteten Holzes auch von den auftretenden Querspannungen abhängig. Die Größe der das Versagen auslösenden Querspannung wird von der Höhe der Verbindungsmittelbelastung und dem Ort des Lastangriffes in Bezug auf die Trägerhöhe sowie dem zur Aufnahme der Quersugkräfte verfügbaren Querschnitt beeinflußt werden. Zur rechnerischen Ermittlung der Verteilung der Verbindungsmittelkräfte auf eine Anschlußreihe und der dabei im Brettschichtholz auftretenden Querspannungen wurde ein Rechenprogramm nach der Methode der "Finiten Elemente" unter Berücksichtigung der Anisotropie des Holzes ausgearbeitet und hiernach die Einflüsse der Belastungsanordnungen auf die auftretenden Spannungszustände in Querrichtung und die Verteilung der Verbindungsmittellasten untersucht.

2.2 Annahmen für die Rechnung

Den rechnerischen Untersuchungen wurde ein 100 cm hoher Brettschichträger der Gkl I von 10 cm Breite zugrunde gelegt, der als Durchlaufträger über 2 gleiche Felder von 15 m Spannweite über der Zwischenstütze durch das zulässige Moment von $zul M = 233 \text{ kNm}$ und die zulässige Querkraft $zul Q = 80 \text{ kN}$ belastet werden soll. Die Stützkraft $B = 2 \cdot zul Q$ soll beidseits der Längssymmetrieachse über seitliche Laschen durch über jeweils 25 cm Laschenbreite wirkende Verbindungsmittel in den Träger eingeleitet werden (Bild 1).

Für das Brettschichtholz wurden folgende Materialkennwerte zugrunde gelegt:

$$E_{II} = 11\,000 \text{ N/mm}^2, \quad E_{\perp} = 200 \text{ N/mm}^2 \quad G = 500 \text{ N/mm}^2.$$

(Der gegenüber DIN 1052, Teil 1 geringere Wert von E_{\perp} wurde in zahlreichen Versuchen ermittelt).

Für die Verbindungsmittel wurde der Verschiebungsmodul für die Reihen 1 - 7 mit $C = 750 \text{ N/mm}$ angenommen. Vergleichsweise wurden auch C-Werte von 1500 und 3000 N/mm , für Geka-Dübel von 15000 N/mm eingesetzt. Die Elementgrößen wurden im Lasteinleitungsbereich mit $5 \times 5 = 25 \text{ cm}^2$ Fläche gewählt, während nach dem Trägerinnern zu ab 15 cm vom Laschenrand Elemente $5 \times 10 \text{ cm}$ verwendet wurden. Das Programm lieferte für jeden Elementmittelpunkt die Spannungen in 2 Richtungen (ebener Spannungszustand y/z -Ebene). Die Spannungsverteilung in x -Richtung (über die Trägerbreite b) wird als konstant vorausgesetzt. Neben den Querspannungen wurde für jedes Verbindungselement der Lastanteil in Elementmitte ausgedrückt.

2.3 Ergebnisse der Hauptreihen

In 6 Nebenreihen wurden die Querspannungsverteilung und die Lastverteilung ermittelt, wobei die Zahl der Verbindungselemente und ihr Abstand variiert wurden. Dabei ergab sich, daß eine vollflächige Anordnung der Verbindungsmittel, gleichmäßig verteilt auf die ganze Trägerhöhe, keine Querspannungen verursacht. Mit zunehmenden Abständen zwischen den Verbindungsmitteln treten Querspannungen im Holz auf, die größere Werte aber nur dann erreichen, wenn die Verbindungsmittel nur einen Teil der Trägerhöhe erfassen und unsymmetrisch in Bezug auf die Trägerachse so angeordnet sind, daß die größere Zahl, in Kraftrichtung betrachtet, diesseits der Trägerachse liegt (Bild 2 und 3). Bezüglich der Lastverteilung wurde festgestellt, daß die dem Laschenrand zur Feldmitte hin benachbarten Verbindungsmittel höher belastet werden als die der

Stützenachse zu gelegenen Anschlußmittel. In Anschlußrichtung gesehen traten keine wesentlichen Unterschiede in der Lasthöhe der einzelnen Verbindungselemente auf. Die Hauptreihen umfaßten Untersuchungen über den Einfluß der Laschendicke, des Verschiebungsmoduls der Verbindungsmittel und der ungleichmäßigen Anordnung der Verbindungsmittel über die Trägerhöhe in Bezug auf die Trägerachse. Während Laschendicke und Verschiebungsmodul bei gleicher Verbindungsmittelanordnung nur einen geringen Einfluß auf Lastverteilung und Höhe der Querspannungen erkennen läßt, ist die Anordnung der Verbindungsmittel in Bezug auf die Symmetrieachse des Trägers von ausschlaggebender Bedeutung. Die größten Querspannungen treten dann auf, wenn die Verbindungsmittel auf der dem belasteten Trägerrand benachbarten Trägerhälfte liegen (Bild 4). Bei Anschlußstrecken, die sich über die gesamte Trägerhöhe erstrecken oder vorwiegend an den unbelasteten Trägerrand anschließen, treten geringere Querbeanspruchungen auf, wobei in Krafrichtung gesehen, Flächenelemente unterschiedlicher Querbeanspruchung unmittelbar aufeinander folgen können. Die aus den rechnerischen Untersuchungen gewonnenen Erkenntnisse wurden der Durchführung von Versuchen zugrundegelegt, um Größe und Verlauf der Querverformungen sowie die aufnehmbaren Querlasten bei in Trägerlängs- und Querrichtung verschiedener Anordnung der Verbindungsmittel festzustellen.

3 Versuche zur Ermittlung von Größe und Verlauf der Querverformungen im meist beanspruchten Bereich

Durch Vorversuche sollte geklärt werden, wie die Querdehnungen des Holzes bei querbeanspruchten Verbindungsmitteln entlang der am meisten beanspruchten Faser verlaufen. Zu diesem Zwecke wurden mit 2 induktiven Wegaufnehmern die Querverformungen Δl bei einzelnen Laststufen gemessen. Als Verbindungsmittel wurden in einer Reihe 5 Nägel 38/100 im Abstand von 19 mm in vorgebohrte Nagel-löcher eingeschlagen. Die Meßlänge l betrug einheitlich 19 mm.

Die Kraft-Querdehnungsdiagramme wurden mit XY-Schreibern aufgezeichnet. Um möglichst viele Versuchspunkte für die Anordnung der Nägel in den verschiedenen Rißlinien zu erhalten, wurden die Versuche nur bis zu einer Kraft F merklich unterhalb der Bruchgrenze gefahren, anschließend entlastet und die Wegaufnehmer um 38 mm in Längsrichtung des Trägers versetzt, so daß sich insgesamt 7 Versuchspunkte für einen einzelnen Versuch ergaben. Die Verformungsgeschwindigkeit betrug einheitlich 1 mm/min, die Verbindungsmittelbreite W (außer bei Versuch 8) konstant 7,6 cm. Insgesamt umfaßte das Programm 8 Versuche, wobei bei den Versuchen 1-5 jeweils 5 Nägel 38/100 in einer Reihe ($a = 2,8$ cm), beim Versuch 6 je 5 Nägel 38/100 in 2 Reihen ($a = 4,7$ cm) und beim Versuch 8 1 Stabdübel \varnothing 8 mm ($a = 2,8$ cm) angeordnet waren. Die Ausbildung von Körper 7 entsprach den Körpern 1-5, nur betrug $a = 4,7$ cm. Versuchsaufbau und Auswertung der Vorversuche sind in Bild 5 und Tabelle 1 ersichtlich. Bei Steigerung der Belastung bis zum Bruch wurden an 2 Meßstellen die Kraft-Rißaufweitungen mitgeschrieben (Bild 6, 8 und 9).

In Bild 7 und 10 ist der typische Verlauf der Querverformung entlang der Rißlinie X-X in Abhängigkeit von der Verbindungsmittelbreite W angegeben. Als Rißlinie ist dabei die im Abstand a vom beanspruchten Rand verlaufende Längsfaser des Holzes zu verstehen, entlang der die VM-Reihe im Holz angeschlossen ist (siehe Bild 5).

Die Versuche haben ergeben, daß die größte Querverformung, die identisch mit der größten Querkzugspannung ist, immer in der Mitte der Verbindungsmittelbreite W ($\hat{=}$ bei Meßstelle M4) auftrat und relativ schnell in Längsrichtung des Trägers abnahm. Außerhalb etwa der 3-fachen Verbindungsmittelbreite W war die Querverformung praktisch null (siehe Bild 7 und 10), d.h. außerhalb dieses Bereiches kann das Holz nicht mehr zur Übertragung von Querlasten herangezogen werden. Die Querverformung bei gleichen Versuchen schwankte selbst bei konstanter Kraft F sehr stark, was auf die großen Streuungen des Holzes bzgl. der Querfestigkeit ganz allge-

mein zurückzuführen ist. Außer den Bruchkräften max F mit den zugehörigen Querverformungen bei Meßstelle M4 sind in Tabelle 1 die maximalen Kräfte für jeden Versuch angegeben, bis zu denen die Querverformungen gerade noch linear verliefen. Sie betragen etwa 60-80 % der erzielten Höchstkräfte max F. Der Bruch erfolgte dadurch, daß nach Überschreitung von max F_{linear} die Querverformung rasch zunahm und bei max F entlang der VM-Reihe ein Durchriß in Längsrichtung des Holzes auftrat. Aus den Versuchswerten wurde eine empirische Formel zur Bestimmung der Querverformung Δl abgeleitet und der Beziehung, die Barrett, Foschi und Fox für "Griplam Nailed Connections" errechnet haben, auf Bild 7 und 10 gegenüber gestellt. Die Formel kann ganz allgemein mit $\Delta l = \Delta l_0 \cdot e^{-1,5(x/W)^2}$ angegeben werden, wobei Δl_0 die Querverformung an der Stelle $x = 0$ bedeutet. Die Übereinstimmung der aus Versuchswerten ermittelten Formel stimmt relativ gut mit den tatsächlichen Meßwerten überein.

4 Versuche zur Ermittlung des Einflusses geometrischer Größen von querbeanspruchten Anschlüssen

Vorbemerkung: Für alle Reihen (A, B, C) wurden gehobelte Fichtenhölzer mit einer Holzdicke von $b = 4$ cm verwendet, die im Lasteinleitungsbereich fehlerfrei waren. Als Versuchsvorrichtung wurde ein Stahlbügel entsprechend Bild 5 verwendet, der in beiden Richtungen im 1,9 cm-Raster ($5 d_n$) mit Bohrungen von $\varnothing 3,3$ mm versehen war. Da es sich bei den Vorversuchen gezeigt hatte, daß die aufnehmbare Kraft nicht von der Lasteinleitungsstelle (End- oder Mittenaufleger) abhängt, wurden die Versuche nur im Mittenbereich durchgeführt (entsprechend den Vorversuchen bei Körper 7 und 8). Die Versuche wurden mit einer Belastungsgeschwindigkeit von etwa 3000 N/min kontinuierlich bis zum Bruch gefahren. Die Holzfeuchtigkeit lag bei allen Versuchen zwischen $u = 11$ % und $u = 13$ %, die Stützweiten betragen 70-90 cm. Als Bruchursache konnte man bei allen Versuchen eine Überschreitung der Querkzugfestigkeit des Holzes feststellen, wobei bei allen Körpern der Bruch schlagartig (ohne sichtbare Vorankündigung durch Verformungszunahmen oder

Knistern) erfolgte und der Riß jeweils entlang der am meisten beanspruchten Faser auftrat (= Ort der größten Querzugbeanspruchung). Der Einfluß der Rohdichte auf die Höcstkraft $\max F$ wurde nicht festgestellt.

4.1 Randabstand vom belasteten Trägerrand (Reihe A)

Um eine Aussage über die aufnehmbare Anschlußkraft in Abhängigkeit des Verbindungsmittelabstandes a vom Trägerrand machen zu können, wurde bei diesen Versuchen das Verhältnis a/H (a = Abstand der Nagelrißlinie vom beanspruchten Rand, H = Trägerhöhe) variiert. Für jedes Verhältnis a/H wurden 3 Versuche durchgeführt. Bei jedem Versuch wurden in einer Reihe 5 Drahtnägeln ϕ 3,8 mm nach DIN 1151 verwendet, die in vorgebohrte Löcher ($d_B = 0,85 \cdot d_n$) eingeschlagen wurden. In Bild 11 ist die Abhängigkeit der Bruchlast $\max F$ vom Verhältnis a/H angegeben. Wegen allzu großer Verformungen der Nägel bei Anordnung über der Trägermitte wurden die Versuche bei einem Verhältnis von $a/H = 0,58$ (Reihe A 5) abgebrochen. Es zeigte sich deutlich, daß mit größer werdendem Verhältnis a/H die Anschlußkräfte zunehmen. Erst wenn die Nagelreihe über der Trägermitte ($a/H > 0,5$) liegt, stieg die Bruchsicherheit über $\sqrt{2,75}$. In Tabelle 2 sind die einzelnen Versuchswerte und die Sicherheiten im Vergleich zu den zulässigen Werten nach DIN 1052 sowie die Holzeigenschaften zusammengestellt.

4.2 Verhältnis Anschlußhöhe zu Randabstand (Reihe B)

Bei dieser Reihe wurden mehrere Nagelreihen mit je 5 Nägeln 38/100 pro Reihe auf der Fläche $D \cdot W$ angeordnet und der Einfluß des Verhältnisses D/a auf die erzielbare Tragkraft untersucht (a = Abstand der Nagelrißlinie vom beanspruchten Rand, D = Höhe der VM-Ansichtsfläche). Dadurch sollte ein Vergleich mit Reihe A ermöglicht werden, um festzustellen, in welchem Maße sich die Bruchkraft der Verbindung bei gleichem a/H aber verschiedenem Verhältnis D/a vergrößert. Die Auswertung der Reihe B ist aus Tabelle 3 ersichtlich; die Abhängigkeit der Bruchlast $\max F$ vom Verhältnis D/a in Bild 12 dar-

gestellt. Desweiteren gibt Tabelle 4 einen Vergleich zwischen Reihe A und Reihe B, der zeigt, daß die aufnehmbare Anschlußkraft eines Queranschlusses hauptsächlich von a/H (Reihe A) abhängt. Jedes Verhältnis $D/a > 0$ (Reihe B) ergibt im Mittel eine etwa 1,48-fache Erhöhung der Anschlußkraft bei konstantem Verhältnis a/H , unabhängig von der Anzahl der Nägel im Gesamtanschluß.

4.3 Längsabstand zweier in einer Reihe liegender Verbindungsmittel (Reihe C)

Bei den Reihen C1 bis C5 wurden stets zwei Nägel mit einem Abstand von $a = 2,8$ cm vom beanspruchten Rand angeordnet, während bei Reihe C6 der Stabdübel $\varnothing 8$ mm einen Abstand von $3,5 \cdot d = 2,8$ cm hatte. Variiert wurden bei diesen Versuchen ausschließlich die Verbindungsmittelabstände e der beiden Nägel in Stufen von $5 \cdot d_n$ in Faserlängsrichtung (Reihe C1 bis C4). In Bild 13 ist die Lastanordnung, sowie die Abhängigkeit der Mittelwerte aus 3 Versuchen vom Verhältnis e/d_n angegeben. Es ist aus diesen Versuchen erkennbar, daß mit zunehmendem VM-Abstand e längs der Faser die aufnehmbaren Höchstkräfte zunahmten. Dies ist damit zu erklären, daß die auftretenden Querverformungen bzw. Querkzugspannungen sich mit zunehmendem Abstand e auf eine längere Strecke entlang der am meisten beanspruchten Faser verteilen. Aus den Vorversuchen wurde bereits deutlich, daß die Verbindungsmittelbreite W (bei Reihe C entspricht $e = W$) von entscheidender Bedeutung für den Maximalwert eines Anschlusses quer zur Faser ist.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß nach den Untersuchungen bei den Reihen A, B und C die Höchstkräfte eines Queranschlusses, bei dem der Bruch infolge Überschreitung der Querkzugfestigkeit des Holzes ausgelöst wird, vom Höhenverhältnis a/H , vom Geometriefaktor D/a und von der Verbindungsmittelbreite W abhängig sind. Inwieweit die Abhängigkeit der Querkzugfestigkeit vom querbelasteten Volumen V eine Rolle spielt, wird in Abschnitt 5 behandelt.

5 Versuche zur Ermittlung des Einflusses des querbeanspruchten Volumens auf die Querkzugfestigkeit von Brettschichtholz aus Fichte

Amerikanische Untersuchungen (Barrett [6]) an Querkzugproben aus Douglas-Fir Brettschichtholz ergaben, dass die Querkzugfestigkeit $B_{Z\perp}$ eines querbeanspruchten Prismas aus Brettschichtholz vom Volumen V abhängig ist. Um den Einfluß des querbeanspruchten Volumens bei Brettschichtholz aus Fichte zu ermitteln, wurden 6 Versuchsreihen mit jeweils ca. 10 Einzelprobekörpern (bei Reihe 1 waren es 20 Körper) mit verschiedenem Querschnitt und von 90 bis 4116 cm³ anwachsendem Volumen durchgeführt. Es wurden nur diejenigen Werte statistisch ausgewertet, bei denen der Bruch außerhalb des Lasteinleitungsbereiches erfolgte. Das Ergebnis ist in Tabelle 6 zusammengestellt. Die Abhängigkeit von $B_{Z\perp}$ vom Volumen V (Regressionsgeraden aus Mittelwert und 5% - Fraktile) ist in Bild 14 für die untersuchten Brettschichtholzproben aus Fichte und die in [6] für Douglas Fir Brettschichtholz mitgeteilten Ergebnisse aufgetragen. Es zeigte sich, dass bei einem Volumen über 1000 cm³ die Streuung der Einzelwerte geringer war als bei den kleinen Probekörpern.

Außer den Festigkeiten $B_{Z\perp}$ wurde noch an 11 Proben der $E_{Z\perp}$ -Modul mit der in Bild 15 dargestellten Versuchsvorrichtung ermittelt, wobei bei den Proben mit 42 cm Höhe eine Meßlänge von 30 cm, bei den Proben mit 21 cm Höhe eine Meßlänge von 10 cm angewendet wurde. Die E -Werte schwankten zwischen $E_{Z\perp} = 136,7 \text{ N/mm}^2$ und $291,5 \text{ N/mm}^2$, wobei der Mittelwert $224,2 \text{ N/mm}^2$ betrug. Die festgestellten Werte lagen damit überwiegend unter dem in DIN 1052, Teil 1 angegebenen Rechenwert von 300 N/mm^2 , was auch bereits bei anderen Untersuchungen mit Brettschichtholz aus europäischer Fichte festgestellt worden war. !

6 Versuche mit Stabdübel-Queranschlüssen bei Brettschichtholz

In 2 Großversuchen mit Queranschlüssen von zweiteiligen Stützen mit $2 \times 14,5/64 \text{ cm}$ Querschnitt an einen Träger aus 3 Einzelquer-

schnitten 14,5/160 cm wurde das Verformungs- und Tragverhalten der mittels Stabdübel hergestellten Queranschlüsse überprüft. Der Versuchskörper bestand aus dem 7,20 m langen Träger, an dessen beiden Enden die Stützen mit 4-schnittigen Stabdübeln \varnothing 24 mm angeschlossen waren. Belastungs- und Meßanordnung sowie der Stützenanschluß A gehen aus Bild 16 hervor. Bei diesem Anschluß waren 16 Stabdübel mit 4 Paßschrauben \varnothing 24 mm angeordnet, die praktisch gleichmäßig über die Trägerhöhe verteilt waren. Der Abstand vom belasteten Rand betrug etwa 15 cm (ca.6d). Die zulässige Belastung der 20 Verbindungsmittel berechnet sich nach DIN 1052, Abs. 11.2.8 zu

$$\text{zul } N_{St} = (2 \cdot 33 \cdot 24^2 + 51 \cdot 24^2) \cdot 20 \cdot 0,75 = 1010,9 \text{ kN.}$$

Für den Trägerquerschnitt ergibt sich eine zulässige Querkraft von 560 kN. Bei Belastung in Stufen von 140 kN mit Zwischenentlastungen mußte der 1. Versuch bei einer Last von 1526 kN = 1,5 · zul N_{St} abgebrochen werden. Die zugehörigen Last-Verschiebungslinien gehen aus Bild 17 hervor. Man erkennt, daß die Verschiebungen zwischen Stütze und Träger bei zul N_{St} im Mittel etwa 1,5 mm betragen. Zur Ermittlung der Traglast wurde der Anschluß A als Einzelkörper nach Bild 18 belastet. Dabei zeigte sich bei $F = 3060$ kN in der obersten Stabdübelreihe der erste Querkzugriß. Der Bruch trat bei 3300 kN, also der 3,26 fachen zulässigen Belastung auf. Das zugehörige Verschiebungsdiagramm zeigt, daß die Verschiebungen noch weitgehend geradlinig erfolgen.

Der Anschluß B, bei dem beim 1. Versuch die 4 Paßschrauben stark angezogen waren, so daß im unteren Lastbereich etwas geringere Verschiebungen auftraten, wurde nach Ausbau der 4 Paßschrauben nur mit 16 Stabdübeln dem Bruchversuch unterworfen. Die zulässige Last der Stabdübel ergibt sich somit zu 808,7 kN. Hier wurden bei 3050 kN die ersten Querkzugrisse sichtbar, der Bruch trat bei 3080 kN auf, so daß hier eine 3,81 fache Sicherheit erreicht wurde. Die Versuche mit den geprüften Großanschlüssen haben gezeigt, daß bei Verteilung der Anschlußmittel über die Trägerhöhe ein Querauf-

reißen des Holzes erst dann sichtbar wird, wenn die Bruchlast des Verbindungsmittels durch Überschreiten der Lochleibungsfestigkeit des Holzes unter dem Verbindungsmittel erreicht wird. Daß diese Zerstörungserscheinungen zuerst an den äußersten Anschlußmitteln auftraten, war zu erwarten. Die beiden Großversuche können auch als Bestätigung der Rechnung nach 2 angesehen werden, die ergeben hat, daß die Querkzugspannungen bei über die Trägerhöhe reichenden Anschlußflächen verhältnismäßig gering und für die Tragkraft von untergeordneter Bedeutung sind.

7 Versuche mit Anschlüssen mittels eingeleimter Gewindestähle oder Maschinenschrauben

7.1 Ausführungsgrundlagen

Quer zur Faserrichtung des Holzes angreifende Kräfte können als Zug- oder Druckkräfte auch mittels eingeleimter Gewindestähle oder Schrauben in Kanthölzer, Balken oder Brettschichtträger eingeleitet werden. Bei Krafteinleitung in Schaftrichtung wird, wie aus früher durchgeführten Einzelversuchen hervorgeht, die Tragfestigkeit in erster Linie von der Haftfestigkeit in der Berührungsfläche Kleber/Holz und der Druckfestigkeit des Gewindequerschnitts oder seiner Zugfestigkeit abhängen. In diesem Falle würde die Quetschgrenze oder die Streckgrenze des Stahlquerschnittes maßgebend sein, d.h. das Erreichen der zulässigen Höchstlast wäre durch die zulässige Stahlspannung festgelegt. Man muß allerdings beachten, daß bei ungenügender Bettung des Schaftes in einem zu schwachen Holz auch ein frühzeitiges Versagen durch Ausknicken des zu schlanken Schaftes möglich wäre. Bei Druckeinleitung muß natürlich auch ausreichende Holzfläche für die Aufnahme der entstehenden Querdruckkräfte vorhanden sein, während quer wirkende Anschlußkräfte eine entsprechende Verankerung im Holz unter Vermeidung reiner Querkzugspannung erfordern. Durch die nachstehend mitgeteilten Versuchsergebnisse wurden grundlegende Belastungswerte festgestellt und für Querdruck-Anschlüsse auch anhand von Großversuchen das Verhalten derartiger Konstruktionen überprüft. Hiernach erscheint es möglich,

eingeleimte Gewindestangen und Stahlschrauben nicht nur auf Abscheren wie z.B. Stabdübel sowohl längs als auch quer zur Faser-richtung des Holzes zu beanspruchen, sondern dieses Verbindungsmittel auch zur unmittelbaren Einleitung senkrecht zur Faser gerichteter Kräfte anzuwenden, vornehmlich von Druckkräften, wie es bei Trägersauflagern der Fall ist.

7.2 Versuche mit Verbundankern System Upat und Buchholz

Das Einkleben von Verbundankern aus Gewindestählen ist im Massivbau nach dem System Upat bekannt und wird dort seit längerem zur Aufnahme von Ankerkräften parallel oder senkrecht zur Wandfläche angewendet. Nach diesem System werden Gewindestähle mit Hilfe eines Kunstharzmittels, bestehend aus Reaktionsharz, Härter und Quarzsand bzw. Glasteilchen in einem Bohrloch verankert, dessen Durchmesser 2 mm größer als der Gewindeaußendurchmesser des zu verankernden Stahlbolzens ist. Die Mörtelbestandteile befinden sich in einer Glasampulle, die in das auf die erforderliche Tiefe gebohrte und vor dem Einsetzen gesäuberte Bohrloch eingeführt werden. Anschließend wird der zu verankernde Gewindestahl, der an der Spitze eine Schneide besitzt, mit einer Schlagbohrmaschine verbunden, in das Bohrloch eingeführt und bis zur vorgeschriebenen Tiefe eingetrieben, wobei die Ampulle zerstört wird und eine intensive Vermischung aller Mörtelbestandteile stattfindet. Die Aushärtung findet dann kurzzeitig statt, wobei es zu einer innigen Verbindung zwischen Gewindeoberfläche, Kunstharzmörtel und Holz kommt. Beim System Buchholz sind die Gewindestähle mit einem Härter-Quarzsandgemisch beschichtet. Das Harz wird in dosierter Menge in das Bohrloch eingegossen und sodann die Gewindestähle mittels Bohrmaschine oder von Hand eingedreht, um eine gute Vermischung der Kunstharzmörtelbestandteile zu erreichen.

Die Belastung der Anker darf bei beiden Systemen erst nach einer gewissen Aushärtezeit erfolgen, die von der Temperatur im Bohrloch abhängt.

Mit Gewindestählen, die nach beiden Systemen in Brettschichtholz aus Fichte eingebracht wurden, wurden Versuche mit Beanspruchung auf Druck und auf Zug in Stabachse und auf Abscheren durchgeführt.

Die Gewindestähle wiesen Vickershärten von 1620 bis 2590 N/mm² auf, das verwendete Brettschichtholz entsprach mit einer Rohdichte von 0,41 bis 0,50 g/cm³ bei 13 % Holzfeuchtigkeit und einer mittleren Holzdruckfestigkeit von 36 N/mm² der für die Prüfung von Holzverbindungen anzustrebenden Güte. Bei Beanspruchung in Längsrichtung der Gewindestähle wurden Druck- und Zugversuche nach Bild 19 und Bild 20 durchgeführt, wobei die Gewindestähle senkrecht zur Faserrichtung eingeleimt waren. Bohrloch- ϕ und Verankerungslängen gehen aus nachstehender Übersicht hervor.

Nenn- ϕ	Bohrloch- ϕ D mm	Verankerungslänge t mm	freie Länge l mm
M 12	14	110	50
M 16	18	125	65

Bei beiden Versuchsreihen wurden je 3 Körper mit M 12 und M 16 geprüft. Zusätzlich wurden mit 3 weiteren Körpern mit M 12, die aus normal klimatisiertem Brettschichtholz hergestellt waren, vor der Lastaufbringung Wechsellagerungen nach nachstehender Reihenfolge durchgeführt:

- 14 Tage Lagerung bei ca. 22° C und 96 % rel. Luftfeuchte
- 7 Tage Lagerung bei ca. 50° C und 30 % rel. Luftfeuchte
- 19 Tage Lagerung bei ca. 20° C und 65 % rel. Luftfeuchte

Bei allen Versuchen wurden die Kraft-Weg-Diagramme mittel XY-Schreiber aufgezeichnet.

Die Ergebnisse dieser Versuche sind in Tabelle 7 und 8 zusammengestellt. Neben den Einzel- und Mittelwerten der maximalen Ankerkraft max F und max Z sind außerdem die zugehörigen rechnerischen Haftspannungen

$$\tau_F = \frac{\max F}{\pi \cdot D \cdot t} \quad \text{mit} \quad t = \text{Verankerungslänge}$$

$$\tau_Z = \frac{\max Z}{\pi \cdot D \cdot t} \quad D = \text{Bohrlochdurchmesser}$$

angegeben, wobei eine gleichmäßige Spannungsverteilung über die Haftlänge angenommen wurde. Bei der Auswertung der Versuche nach dem System Upat wurden die Haftspannungen außer mit der Sollhaft-

länge t zusätzlich noch mit den tatsächlich vorhandenen Haftlängen t' ermittelt, da es sich beim Freilegen der Verbundflächen zeigte, daß der Gewindestahl nicht über die gesamte Sollhaftlänge mit dem Holz vermörtelt war, da ein Teil des Klebers in das Holz eingedrungen und somit das Bohrloch nicht bis zur Holzaußenkante gefüllt war. Bei nahezu allen Körpern trat der Bruch durch Versagen der Verbindung zwischen Polyesterharzmörtel und Holzoberfläche ein. Bezogen auf die wirkliche Haftlänge ist die erreichte Haftspannung bei beiden Systemen praktisch gleich, wobei ein Unterschied zwischen Druck- und Zugrichtung der quer zur Faser wirkenden Normalkraft nicht festgestellt werden konnte. Der Einfluß einer Klimawechsellaagerung, bei der die Feuchtigkeit des Holzes nach Bild 21 verlief, hat nur beim System Buchholz zu einer geringfügigen Abminderung der Haftspannung gegenüber Normalklima geführt. Bei einer vollflächigen Vermörtelung erscheinen beide Verankerungssysteme für die Aufnahme von Druck- und Zugkräften in der Längsrichtung der Stäbe und quer zur Faserrichtung des Holzes geeignet, wobei Haftfestigkeiten von mindestens 6 N/mm^2 erwartet werden können.

Die Versuche mit Kraftangriff senkrecht zur Gewindestabachse zeigten, daß sich hierbei die eingeleimte Rundstähle praktisch wie einschnittige Stabdübel verhielten, deren Tragfähigkeit durch die Lochleibungsfestigkeit des Holzes begrenzt wird. Hierbei ist aber nicht der Nenndurchmesser des Stabes, sondern der Bohrlochdurchmesser maßgebend, da die Mörtelmantelhülle eine höhere Druckfestigkeit als das Holz aufweist. Die Grenzlast wird allerdings infolge der Biegebeanspruchung des Gewindestahles dann unter dem für Stabdübel maßgebenden Wert liegen, wenn die Lastangriffsstelle einen größeren Abstand von der Holzoberkante hat.

7.3 Großversuche mit durch eingeleimte Schrauben verstärkte Auflager- bzw. Krafteinleitungsbereiche

Durch praxisnahe Großversuche wurde das Verformungs- und Tragverhalten von Trägersauflagern und Lasteinleitungsstellen untersucht, bei denen eingeleimte Schrauben angeordnet waren. Diese waren so in Brettschichtholz eingeleimt, daß die Lasteinleitung über den

Schraubenkopf erfolgte, so daß das gegen Querdruck empfindliche Holz selbst nicht unmittelbar belastet wurde. Dadurch sollte eine konzentrierte Lasteinleitung erreicht und die üblicherweise erforderliche Auflagerfläche reduziert werden.

7.3.1 Versuchsreihe 1.

Für die Versuchsreihe 1 standen 2 Versuchsträger nach Bild 22 zur Verfügung, bei denen am Auflager A und symmetrisch zur Trägermitte 2 Schrauben M 36 in Bohrungen $\varnothing 38$ mm auf die Gewindelänge von 60 cm mittels Epoxyharz eingeleimt waren. Die Schraubenköpfe waren nach Bild 23 verstärkt. Bei den Versuchen wurden im ersten Versuchsdurchgang die Lasten über 2 Prüfcylinder in die Schrauben C und D eingeleitet und der Schraubenkopf A auf einer Stahlplatte aufgelagert. Bei einer Belastungsgeschwindigkeit von 50 kN/min wurden die Verschiebungen zwischen Holzoberfläche und Schraubenkopf bei A, C und D alle 20 kN automatisch registriert. Die Last-Verschiebungslinie beim Versuch mit Träger 2 ist für die 3 Schrauben in Bild 24 aufgezeichnet. Die 3 Linien verlaufen praktisch gleich und weisen bei einer maximalen Kraft von 300 kN Werte von ca. 0,5 mm auf. Bei dieser Belastung betrug die rechnerische Haftspannung am Bohrlochumfang $\tau_H = 300\ 000/\pi \cdot 38 \cdot 600 = 4,19$ N/mm². Beim Versuch 1 (Träger 1) mußte wegen Überschreitens der Querdruckfestigkeit des Holzes unter dem Flächenlager B bei max F = 326 kN abgebrochen werden. Bei Träger 2, dessen Auflager B durch seitlich mittels Stabdübel angeschlossene Stahllaschen verstärkt war (siehe Bild 25), trat bei max F = 300 kN ca. 27 cm oberhalb des Auflagers A infolge einer Fehlleimung ein Fugenriß auf, so daß die Last nicht bis zu einer unmittelbaren Zerstörung im eingeleimten Bereich gesteigert werden konnte. Da bei C und D bei beiden Trägern keine Beschädigungen zu erkennen waren, wurden zur Ermittlung der wirklichen Verbundfestigkeit die eingeleimten Schrauben C und D in Einzelversuchen nach Bild 26 belastet, wobei die Träger jeweils auf nahezu die ganze Fläche aufgelagert wurden. Der jeweils unter der belasteten Schraube frei bleibende Teil von 30 cm Länge sollte gegebenenfalls das Durchstanzen der Schraube durch den Trägerquerschnitt ermöglichen. Zur Feststellung der zwischen Holz und Stahl auftre-

tenden Verschiebungen wurden über die Schraubenlänge 3 Meßstellen angeordnet, die die Verschiebungen am Kopf, in der Mitte und am Schraubenende erfassen sollten. Bei den insgesamt durchgeführten 4 Versuchen wurden folgende Höchstlasten erreicht:

529 kN 433 kN 485 kN 480 kN, Mittelwert: 482 kN .

Dieser Wert ergibt eine rechnerische Haftspannung am Bohrlochumfang von $6,73 \text{ N/mm}^2$. Als Bruchursache wurde überwiegend ein örtliches Ausknicken des Schraubenschaftes festgestellt oder ein Schiefstellen der Stahlplatte im Lasteinleitungsbereich, während der Verbund zwischen Holz und der Kleberschicht noch intakt war. Wie aus einem der 4 aufgenommenen Kraft-Verschiebungsdiagramme der 3 Meßquerschnitte hervorgeht (siehe Bild 27), konnte auch in Schraubenlängsmittle praktisch keine Verschiebung zwischen den beiden Teilen festgestellt werden, während bei der Lasteinleitung und am Gewindeende, bedingt durch die Querbeanspruchung das Holz deutliche Unterschiede auftraten. Eine Feststellung der Stahlfestigkeitswerte anhand von Probestäben, die aus den unverformten Teilen der Schrauben herausgearbeitet wurden, ergab im Zugversuch eine mittlere Streckgrenze von 284 N/mm^2 , eine Zugfestigkeit von 375 N/mm^2 und eine Bruchdehnung σ_{10} von 24,8 %. Die ausgeprägte Streckgrenze des Schraubenstahles bestätigte die Vermutung, daß die Höchstlast durch Überschreiten dieser Grenze im Gewindeteil verursacht war, da bei der erreichten mittleren Höchstlast von 482 kN die rechnerischen Spannungen im Kernquerschnitt mit 647 N/mm^2 und im Gewinde-Vollquerschnitt mit 474 N/mm^2 die Festigkeitswerte des Stahles weit überschreiten. Die hohe Tragkraft der Verbindung zwischen Stahl und Holz kann daher nur durch das Mittragen der Leimhülle und des unter dem verbreiterten Schraubenkopf quer beanspruchten Holzes verursacht worden sein; ausschlaggebend für das Versagen war dann schließlich das Plastizieren des Schraubenschaftes. Wenn ungünstigerweise das Erreichen der Streckgrenze im Kernquerschnitt als Versagenslast angenommen wird, dann hätte die Traglast mindestens mit $\max F = 284 \cdot 745 = 211,58 \text{ kN}$ erwartet werden können, gegenüber der nach den unter 7.2 beschriebenen Versuchen wäre bei einer Haftfestigkeit von 6 N/mm^2 für den Holz-Leim-Verbund eine Last von 429,8 kN zu erwarten gewesen.

7.3.2 Versuchsreihe 2

Zwei weitere Großversuche wurden mit einem Brettschichträger 18/190/360 cm durchgeführt, in dessen im Grundriß abgeschrägte Enden ebenfalls Schrauben ϕ 36 mm mit 800 mm und mit 1000 mm Länge eingeleimt waren. Dabei wurde aber mit einem Bohrloch-Durchmesser von 34 mm (also 2 mm kleiner als der Gewinde-Außendurchmesser) vorgebohrt und als Kleber der für die Holzleimung übliche Resorcinleim verwendet. In Achsmittle der Schrauben betrug die Querschnittsbreite ca. 14 cm.

Bei den Versuchen mit den beiden Auflagerenden A und B wurden folgende Maximalkräfte erreicht: (Außerdem ist die Schraubenkraft bei 1,5 mm Verschiebung angegeben)

Auflager A (80 cm Schraubenlänge) max A = 509 kN, $A_{1,5} = 285$ kN
Auflager B (100 cm Schraubenlänge) max B \cong 489 kN, $B_{1,5} = 460$ kN.

(Der Versuch für Auflager B mußte wegen Versagens der Lasteinleitungs-Konstruktion frühzeitig abgebrochen werden).

Das Versagen trat bei A durch plastisches Ausknicken der Schraube auf, bei B waren noch keine Versagenserscheinungen festzustellen. An den Außenflächen des Brettschichträgers waren im Auflagerbereich A bei 304 kN, bei B bei 420 kN erste in Faserlängsrichtung verlaufende Holzrisse sichtbar geworden, die auf ein beginnendes Ausknicken der Schraube hindeuteten.

Die rechnerischen Haftspannungen τ_H in der Schraubenumfangsfläche sowie die Stahlspannungen σ_{St} im Kernquerschnitt unter max A (max B) betragen:

	Schraube A	Schraube B	
Haftspannung τ_H :	5,63	4,32	N/mm ²
Stahlspannung σ_{St} :	683	656	N/mm ²

Da die Schraube B nicht bis zur Versagenslast belastet werden konnte, kann nicht mit Sicherheit gesagt werden, ob die größere Einleimlänge die Tragfähigkeit gegenüber der Schraube A erhöht hätte. An den gemessenen Verschiebungen ist allerdings eine höhere Wirksamkeit zu erkennen, die den Beginn des Ausknickens, der bei A

unter 304 kN, entsprechend einer Stahlspannung von 408 N/mm^2 , auftrat, verursachte. Dieser Versagensbeginn wurde allerdings infolge der allseitigen Stützung des Schraubenschaftes durch das umgebende Holz wesentlich über die Streckgrenze des Schraubenstahles hinausgehoben. Die Versuche haben gezeigt, daß bei größeren Einleimungslängen nicht die Haftfestigkeit der Schraube im Holz, sondern das Versagen des Gewindestahles im Holz die erreichbare Tragkraft einer derartigen Verbindung bestimmt. Dabei liegt die rechnerische Stahlspannung wesentlich über der Stahlzugfestigkeit und der Beginn des Versagens auch oberhalb der sich aus dem Produkt Streckgrenze mal Kernquerschnitt ergebenden Lastgrenze.

8 Folgerungen aus den Versuchsergebnissen

Bei den vorstehend beschriebenen Untersuchungen wurden Kräfte senkrecht zur Faserrichtung des Holzes eingeleitet, wie es bei Queranschlüssen bei Vollholz- und Brettschichtträgern oder auch bei Fachwerken der Fall ist. Hierbei wird auch die Auflagerverstärkung als Queranschluß betrachtet. Es hat sich gezeigt, daß für die aufnehmbare Höchstkraft eines Queranschlusses dann die Tragfähigkeit des Verbindungsmittels selbst nicht mehr ausschlaggebend ist, wenn das Holz durch Querkzugspannungen beansprucht wird, die seine verhältnismäßig geringe Querkzugfestigkeit überschreiten. Querkzugspannungen werden dann verursacht, wenn die Verbindungsmittel, die das Holz in der Regel auf Lochleibung beanspruchen, bei Zuganschlüssen in der der Zugkraft benachbarten Trägerhälfte liegen. Werden die Verbindungsmittel bei Druckanschlüssen in der in Kraftrichtung gesehen abgelegenen Trägerhälfte untergebracht, so entstehen auch hier Querkzugspannungen, die bei unmittelbarem Kontaktanschluß oder beim Anschluß in der der Krafttrichtung nächstliegenden Trägerhälfte vermieden werden können. Auch über die ganze Trägerhöhe reichende Anschlüsse sind günstig, da in diesem Falle die entstehenden Querkzugspannungen auf der ungünstigen Seite klein bleiben, da sie durch Umlagerung in den Querdruckbereich verlagert werden. Nach den bisherigen Untersuchungen, wie sie auch weitgehend durch die Rechenmodelle nach Abschnitt 2 bestätigt wurden, sind bei

großflächigen Queranschlüssen folgende Punkte zu beachten:

1. Bei Nagelanschlüssen mit größeren Durchmessern sollte das Entstehen von Spaltrissen durch das Vorbohren der Nagel-löcher vermieden werden.
2. Der Abstand der Verbindungsmittel in Faserlängsrichtung sollte möglichst groß, mindestens aber gleich dem vorgeschrie-benen Mindestabstand $e_{||}$ gewählt werden.
3. Der Abstand a der vom belasteten Rand am weitesten abliegenden Verbindungsmittel sollte im Verhältnis zur Trägerhöhe H mög-lichst groß gewählt werden.
4. Soweit bei einem Flächenanschluß der für das Entstehen von Querzugspannungen ungünstige Trägerbereich in Anspruch genom-men werden muß, ist die Anschlußhöhe D möglichst klein zu halten.

Nach den durchgeführten Versuchsauswertungen der Abschnitte 3, 4 und 5 und einer Reihe weiterer Versuche an Querzugkörpern mit Nagel-platten kann für einen Anschluß nach Bild 28 mit $a/H \leq 0,6$ außer den üblichen Nachweisen nach DIN 1052 für die Belastbarkeit der Verbindungsmittel der zusätzliche Nachweis für die maximal zulässige Kraft $zul F$ im Hinblick auf die Querzugfestigkeit des Holzes nach nachstehender Formel geführt werden:

$$zul F = 6,5 \cdot V^{-0,21} \cdot A \cdot f(a/H) \cdot f(D/a) / 10 \quad (\text{kN})$$

Hierin bedeuten:

- $V = h_1 \cdot w \cdot n \cdot s \quad (\text{cm}^3)$ (querbeanspruchtes Volumen)
 $A = w \cdot n \cdot s \quad (\text{cm}^2)$ (querbeanspruchter Querschnitt)
 $f(a/H)$ Geometriefaktor nach Tabelle 9
 $f(D/a)$ Geometriefaktor der Fläche (1,00 für $D/a = 0$,
1,48 für $D/a > 0$)
 h_1 Abstand der obersten Verbindungsmittelreihe vom unbe-lasteten Rand (cm)
 D Höhe der Anschlußfläche.
 s Wirkungstiefe des Verbindungsmittels (cm)
 n Zahl der Anschlußseiten ($n = 1$ einseitiger,
 $n = 2$ zweiseitiger Anschluß)

In Tabelle 9 ist der Geometriefaktor f (a/h) in Abhängigkeit von a/h angegeben. Ermittelt wurde $zul F$ aus den Versuchswerten der Reihe A sowie aus der Abhängigkeit des kritischen Volumens "V" von der Querkzugfestigkeit des Holzes. Da das Bestimmtheitsmaß der Regressionsgeraden für die Mittelwerte ($r^2 = 0,88$) größer als für die 5 %-Fraktile ($r^2 = 0,81$) war, wurde als Sicherheit $\sqrt{v} = \frac{6,5}{3,4} \cdot 3 = 5,74$ gegenüber den Mittelwerten gewählt. Diese hohe Sicherheit sollte auch wegen des noch ungeklärten Dauerstandverhaltens derartiger Verbindungen zugrundegelegt werden. Für Anschlüsse, deren Verbindungsmittel größtenteils oberhalb der Systemmittellinie ($a/h > 0,6$) angeordnet sind, liegen gesicherte Erkenntnisse über deren Nachweis noch nicht vor. Nach den bisherigen Erfahrungen und den Großversuchen nach Abschnitt 6 müßte jedoch eine Bemessung gemäß DIN 1052 für den Standsicherheitsnachweis eines derartigen Queranschlusses ausreichend sein. Bei Verbindungen, die ohne Vorbohren des Querholzes hergestellt werden, (z.B. Anschlüsse mit Nägeln oder mit Nagelplatten) sollte $zul F$ im Hinblick auf die erhöhte Spaltgefahr des Holzes auf die Hälfte reduziert werden. Die Richtigkeit dieser Reduzierung von $zul F$ auf die Hälfte wurde durch viele Nagelplattenversuche, die als Querkzugkörper hergestellt waren, bestätigt. Für solche Verbindungen kann die zulässige Zugkraft $zul F$ für $0 < a/h < 1$ unter Zuhilfenahme der Tabelle 9 angegeben werden. Eingeleimte Schrauben erscheinen bei einer vollflächigen Verklebung für den Ingenieurholzbau geeignet. Bei Beanspruchung in Schaft-richtung können Haftfestigkeiten von mindestens 6 N/mm^2 erwartet werden. Dies würde bedeuten, daß bei 3-facher Sicherheit die zulässige Ausziehungskraft berechnet werden könnte nach der Formel

$$zul Z_H = \frac{\pi}{2} \cdot 6 \cdot d \cdot t = 6,28 \cdot d \cdot t \quad (\text{N})$$

mit d = Bohrlochdurchmesser und t = wirksame Haftlänge in mm. Dabei darf aber die zulässige Stahlspannung im Kernquerschnitt des Gewindestahls oder der Schrauben nicht überschritten werden.

$$zul Z_{St} = zul \sigma_{St} \cdot A_{Kern} \approx zul \sigma_{St} \cdot \pi \cdot 0,7 \frac{d^2}{4}$$

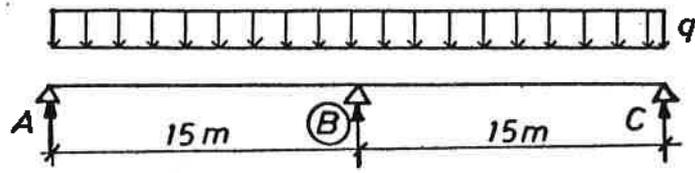
Bei Verwendung von Schraubenstahl St 37 wird mit $\text{zul } \sigma_{\text{St}} = 140 \text{ N/mm}^2$ und $\text{zul } \tau_{\text{H}} = 2 \text{ N/mm}^2$ die Mindest-Einleimlänge

$$\underline{\text{min } t = 12,25 \cdot d}$$

wenn der Bohrlochdurchmesser gleich dem Gewindeaußendurchmesser gesetzt wird.

10 Schrifttum

- [1] Möhler, K.: Untersuchungen über genagelte Stahlblech-Holzverbindungen.
Berichte aus der Bauforschung, Heft 24 (1962), S. 37 - 51
- [2] J. Ehlbeck u.a.: Neuere Forschungsarbeiten und Versuche im Ingenieurholzbau.
Bauen mit Holz, Heft 6 (1972), S. 298 - 317
- [3] Foschi O. und J. Langworth: Analysis and Design of Giplam Nailed Connections.
Journal of the Structural Division (1975), S. 2537 - 2556
- [4] Barrett J.D., R.O. Foschi and S.P. Fox: Perpendicular-to-Grain-Strength of Douglas-Fir.
Canadian Journal of Civil Engineering, Nr. 1 (1975),
Pages 50 - 57
- [5] Madsen B.: Duration of Load Tests for Wood in Tension Perpendicular to Grain-Structural
Research Series, Report No. 7 (1972)
- [6] Barrett J.D.: Effect of Size on Tension Perpendicular-to-Grain Strength of Douglas-Fir
Wood and Fiber, Vol. 6, No. 2 (1974), Pages 126 - 143



System des Durchlaufträgers

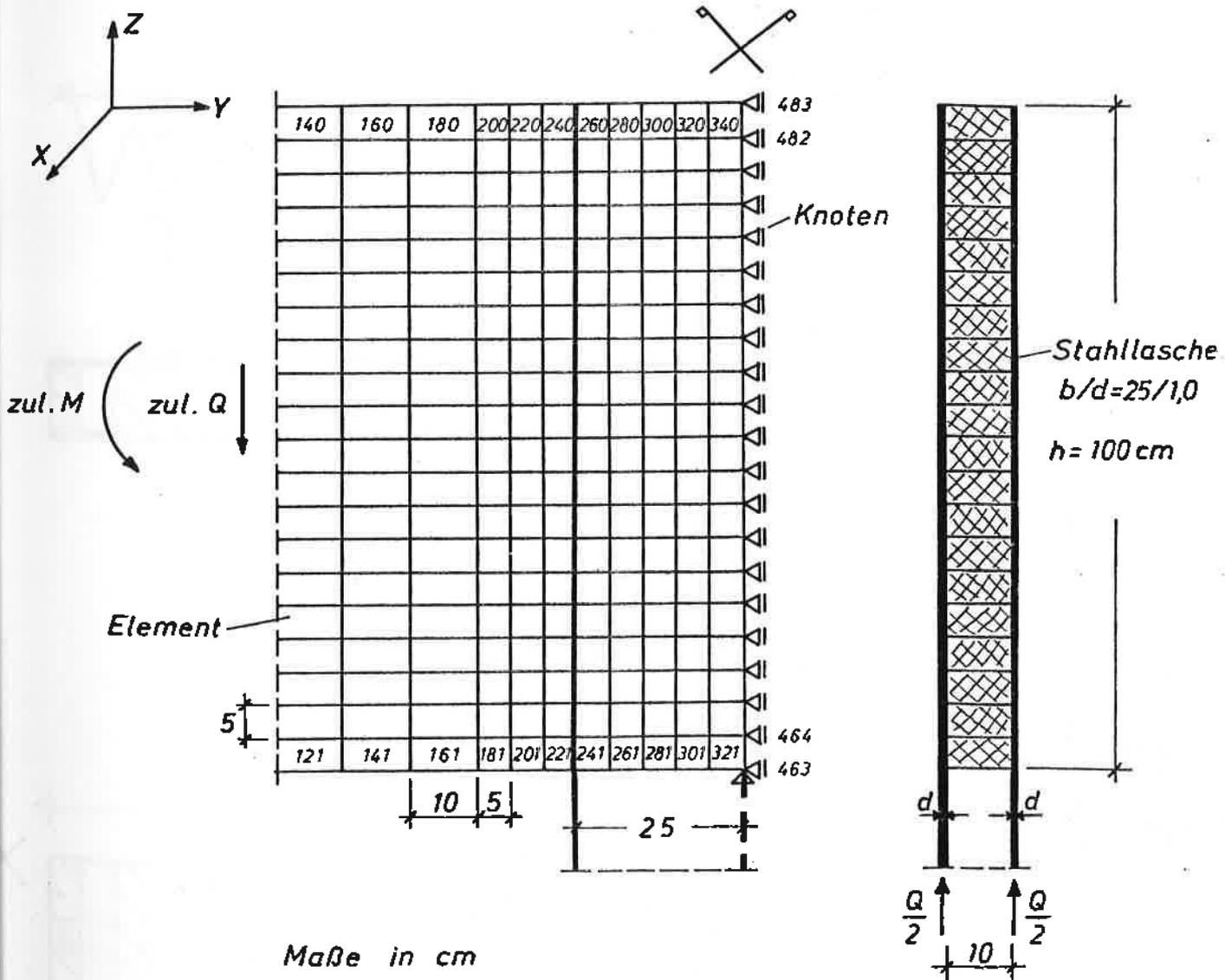


Bild 1 : Detail (B) mit Einteilung der „Finiten Elemente“ im Holzträger

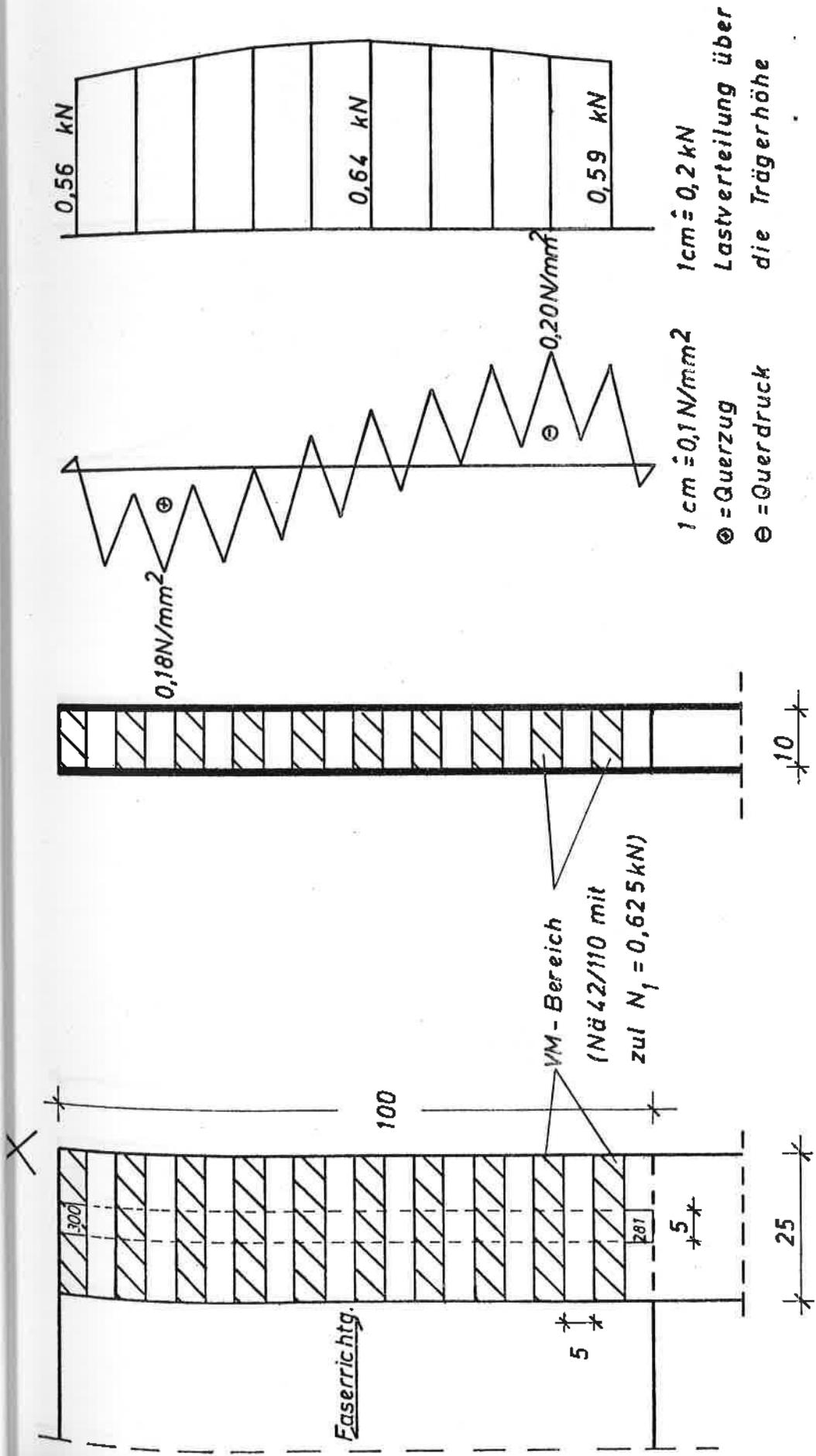


Bild 2 : Verteilung der Querspannungen und der Verbindungsmittellasten über die Trägerhöhe bei Trägertyp 1 (Elementreihe 281 - 300)

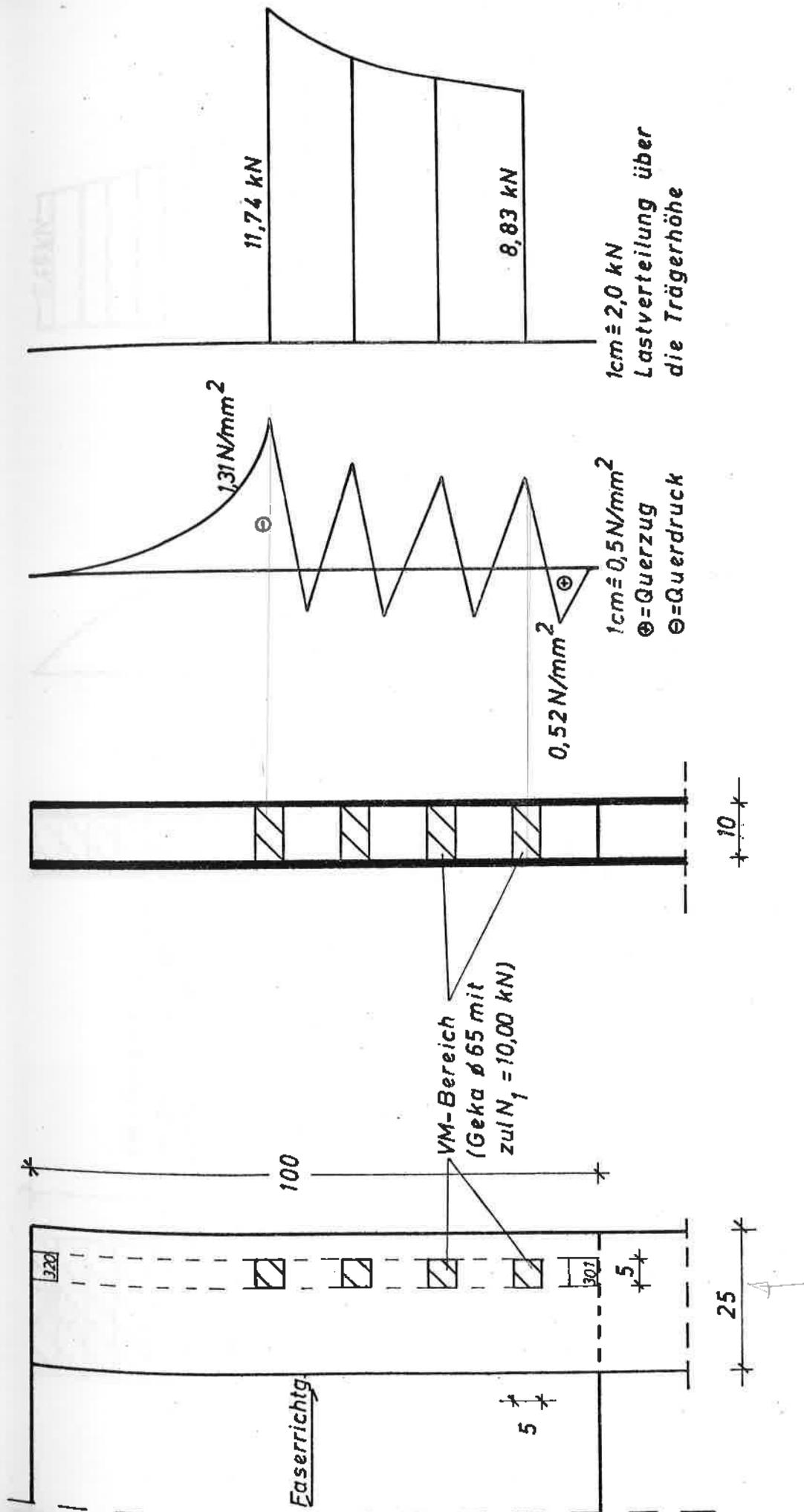


Bild 3 : Verteilung der Querspannungen und der Lasten über die Trägerhöhe bei Trägertyp 2 (Elementreihe 301 - 320)

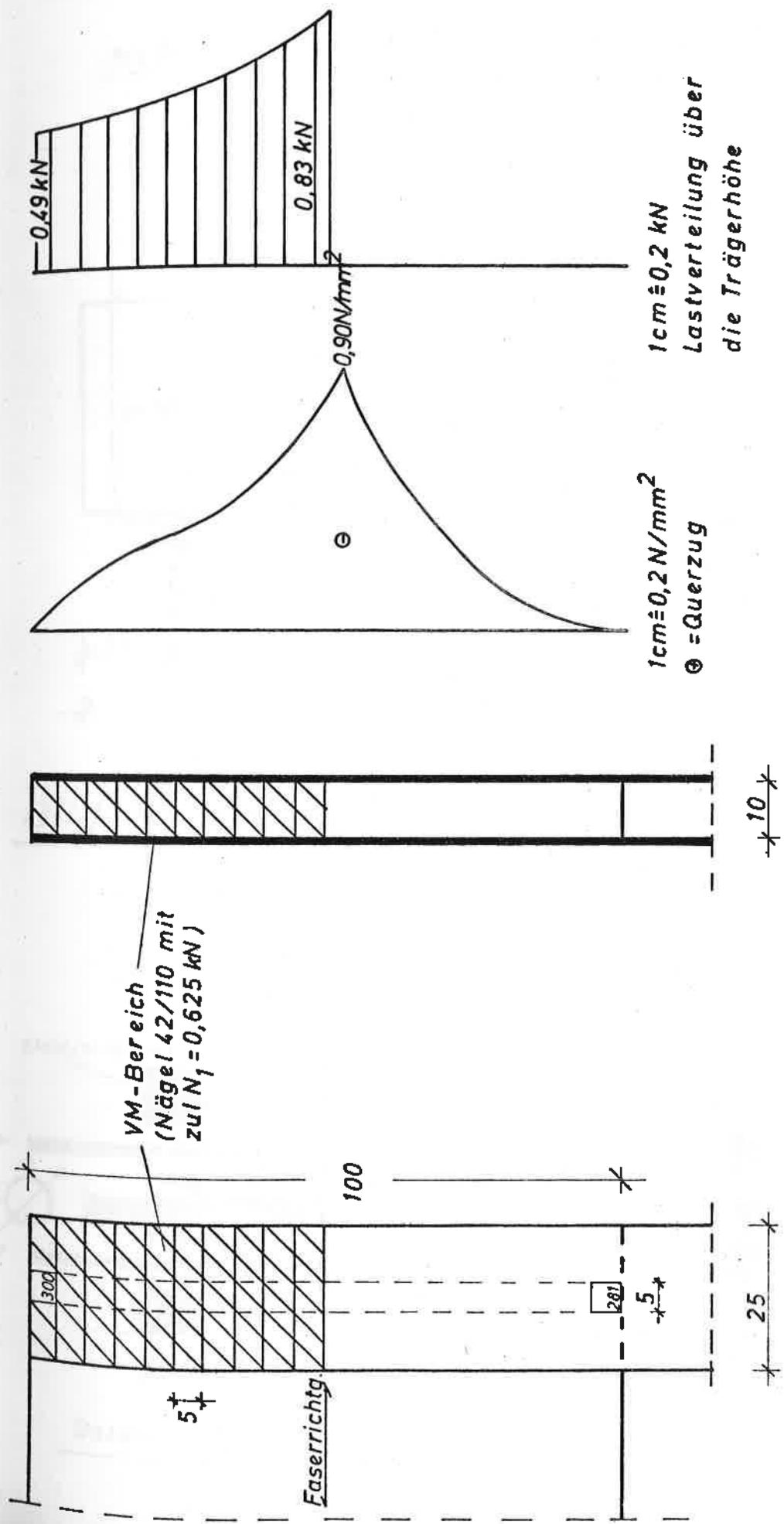


Bild 4 : Verteilung der Querspannungen und der Lasten über die Trägerhöhe bei Trägertyp 3 (Elementreihe 281-300)

Maße in cm

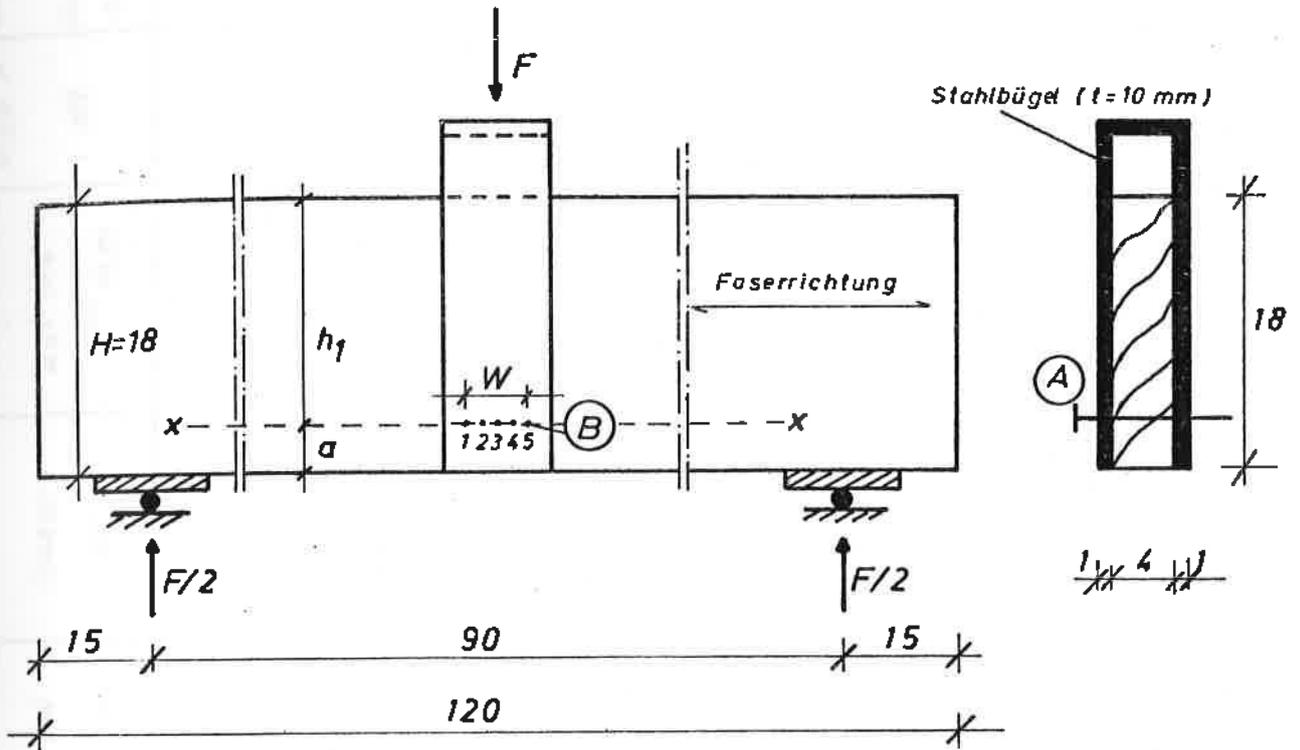
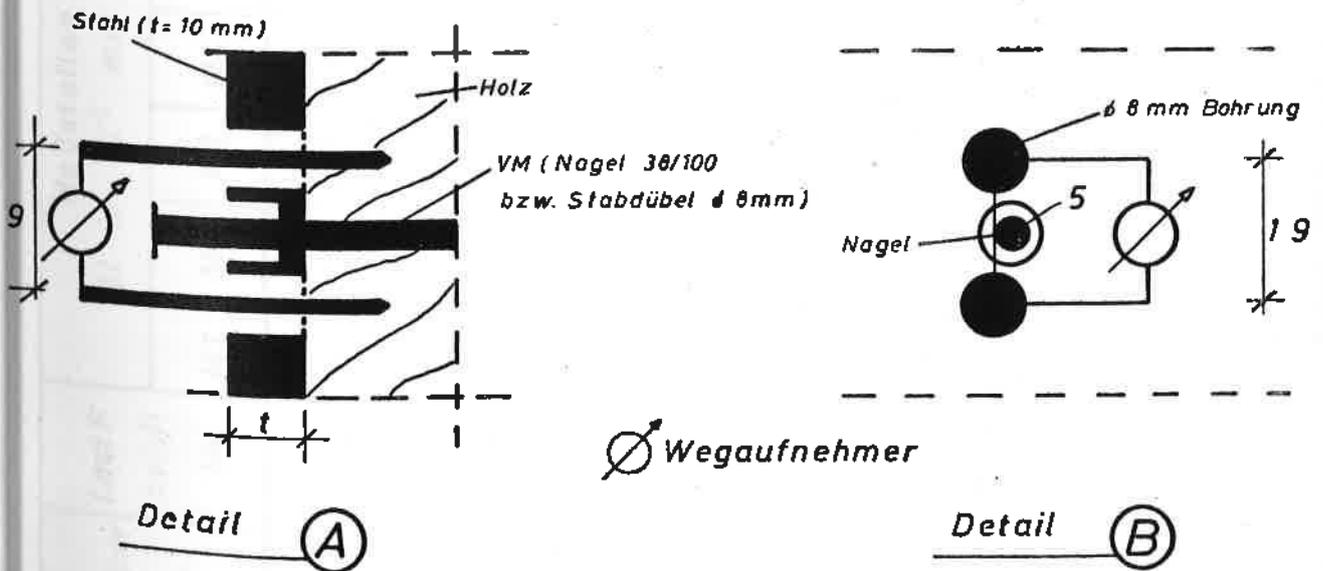


Bild 5 : Versuchsaufbau der Körper 7 und 8 bei den Vorversuchen und Meßanordnung



Körper Nr.	Last F bei Δl kN	Meßstellen Δl in 10^{-1} mm							max Δl (linear) bei M4 10^{-1} mm	max F linear kN	max Δl (Bruch) bei M4 10^{-1} mm	max F kN	E=End- auflager M=Mitten- auflager
		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7					
1	6,50	—	—	0,6	2,4	—	—	—	11,40	> 30	17,05	E	
2	6,50	—	—	0,7	2,8	—	—	4,5	8,90	30	16,40	E	
3	6,50	—	—	1,7	3,9	—	—	5,5	7,80	36	12,55	E	
4	5,20	0,0	0,6	—	3,2	1,8	0,6	8,6	13,00	35	16,85	E	
5	5,20	0,9	1,9	4,4	5,5	4,4	1,2	bei M3=13,8 bei M5=10,3	bei M3=11,4 bei M5=10,9	bei M3=24 bei M5=26	16,45	E	
6	6,50	0,8	1,4	2,9	5,8	5,0	2,4	11,3	13,00	—	27,00	E	
7	5,20	1,2	2,0	7,1	10,5	6,1	1,0	—	—	~ 45	10,65	M	
8	3,90	0,0	0,4	1,0	6,9	0,5	0,0	6,9	3,90	26	5,20	M	

Tabelle 1 : Auswertung der Vorversuche

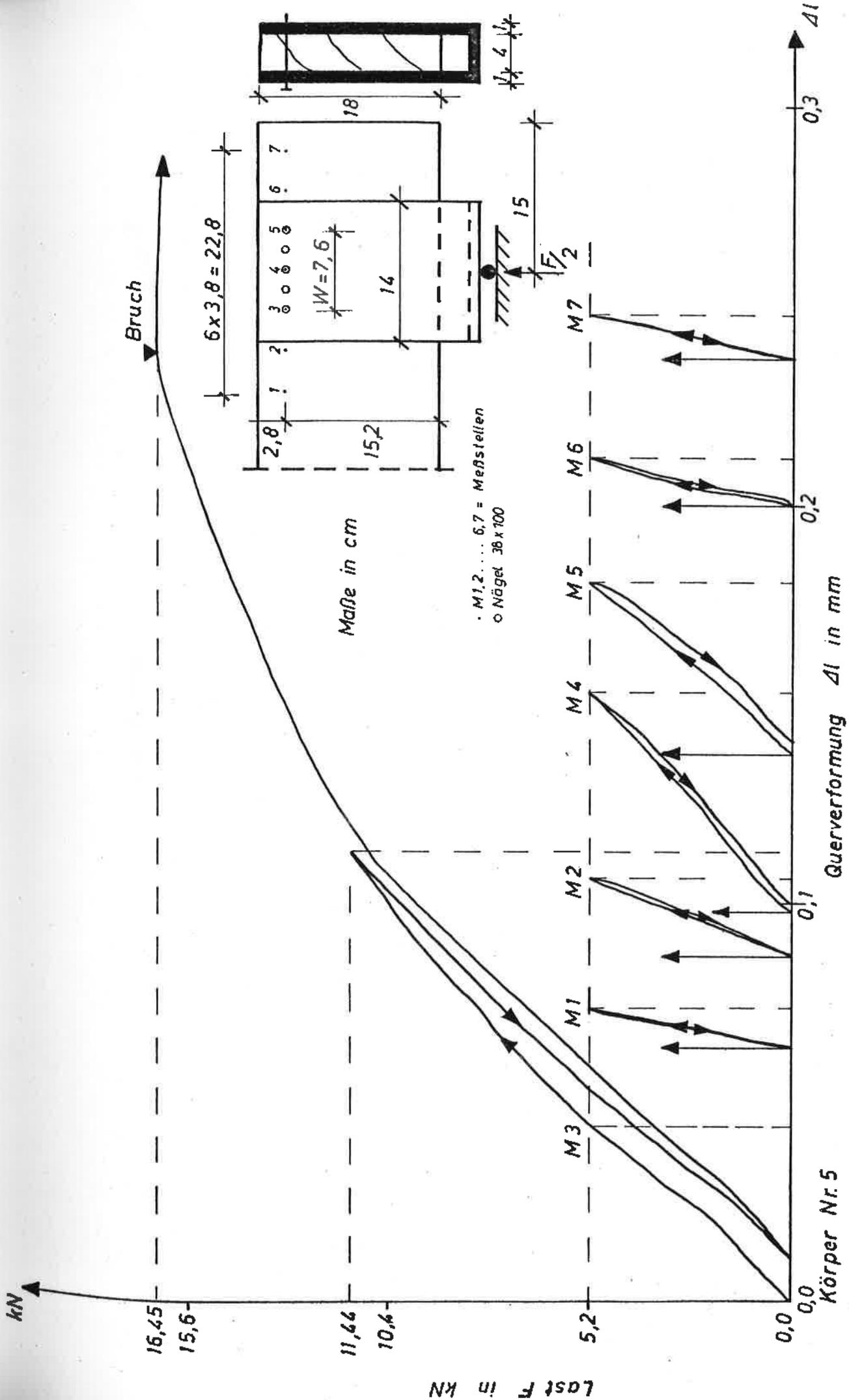


Bild 6 : Abhängigkeit der Querverformung Δl an verschiedenen Meßstellen von der Last F (Meßlänge $l = 19$ mm)

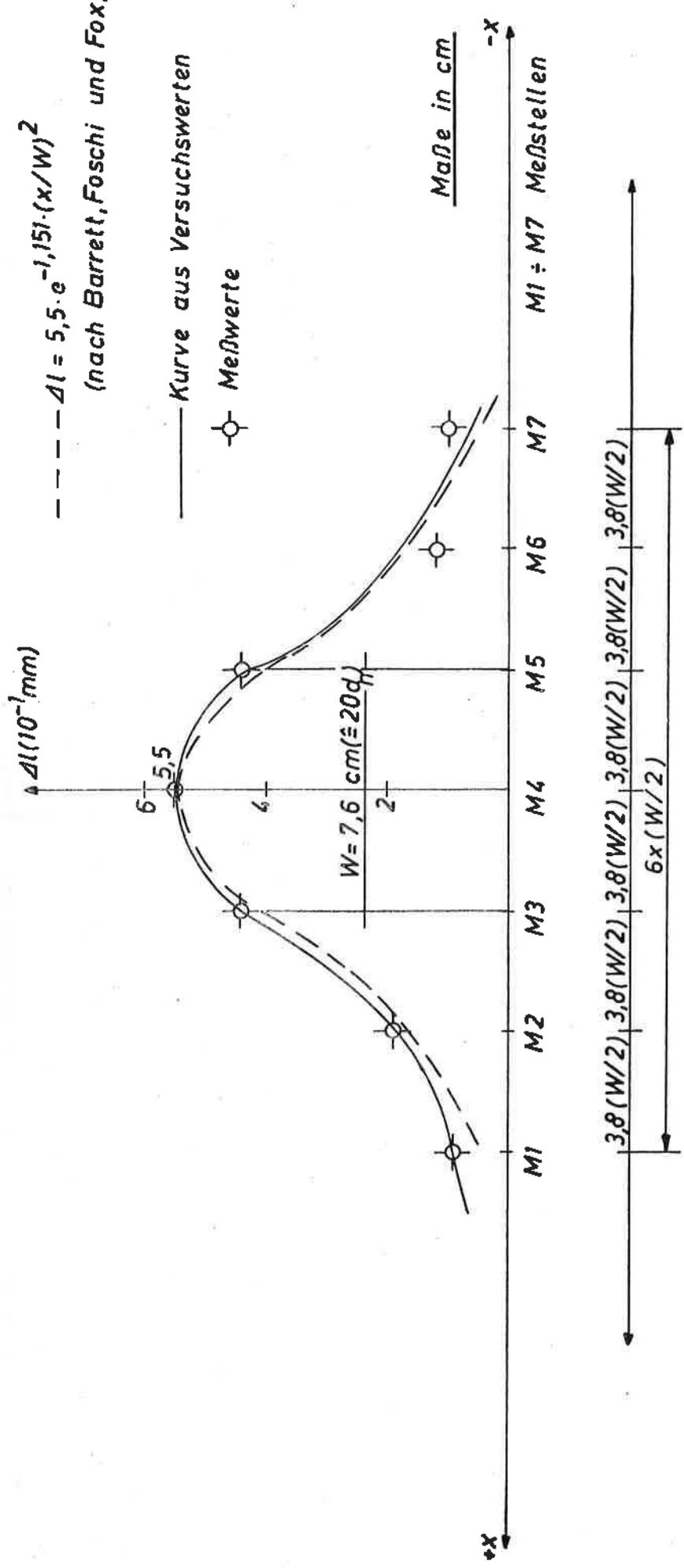
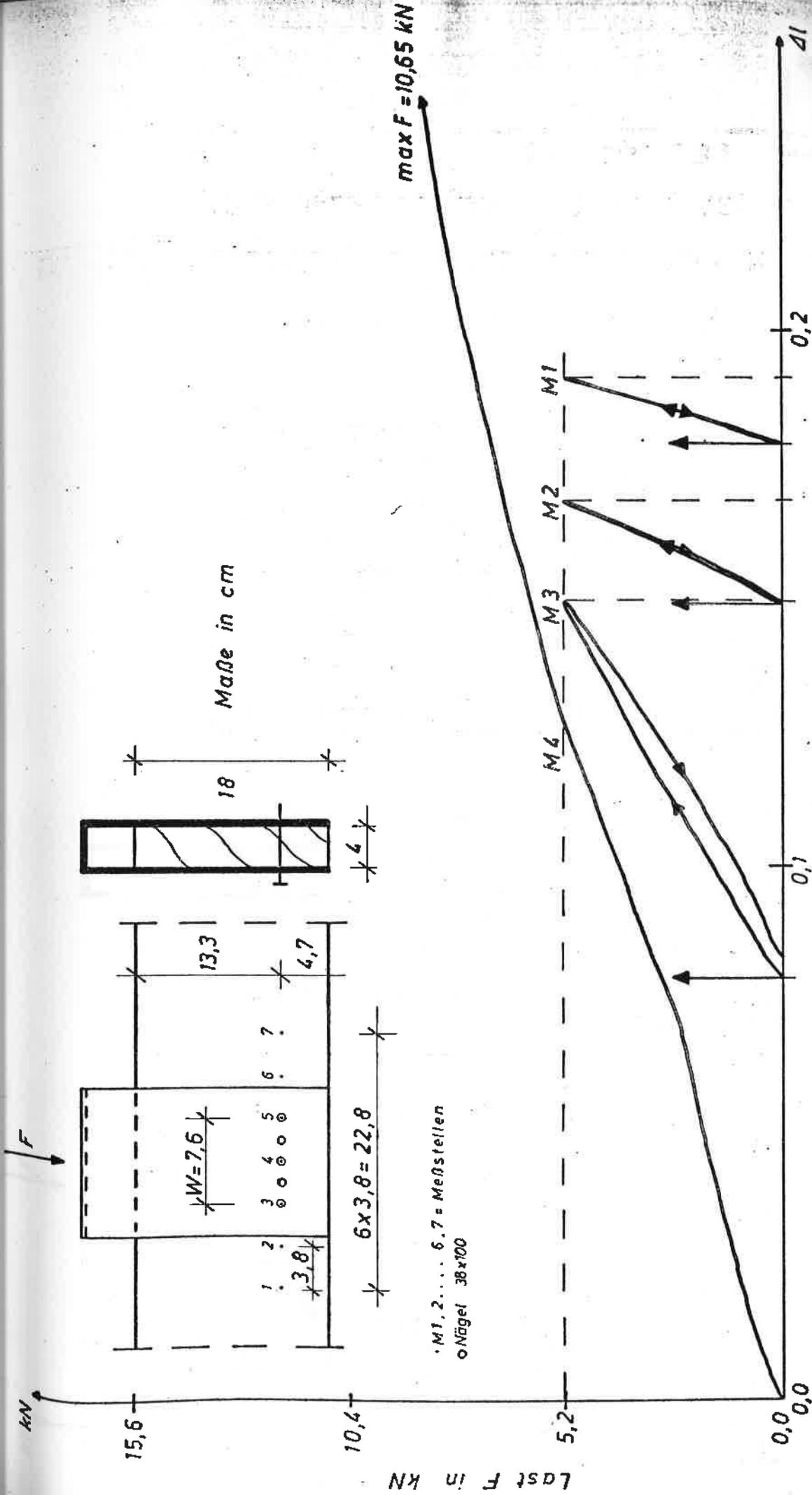


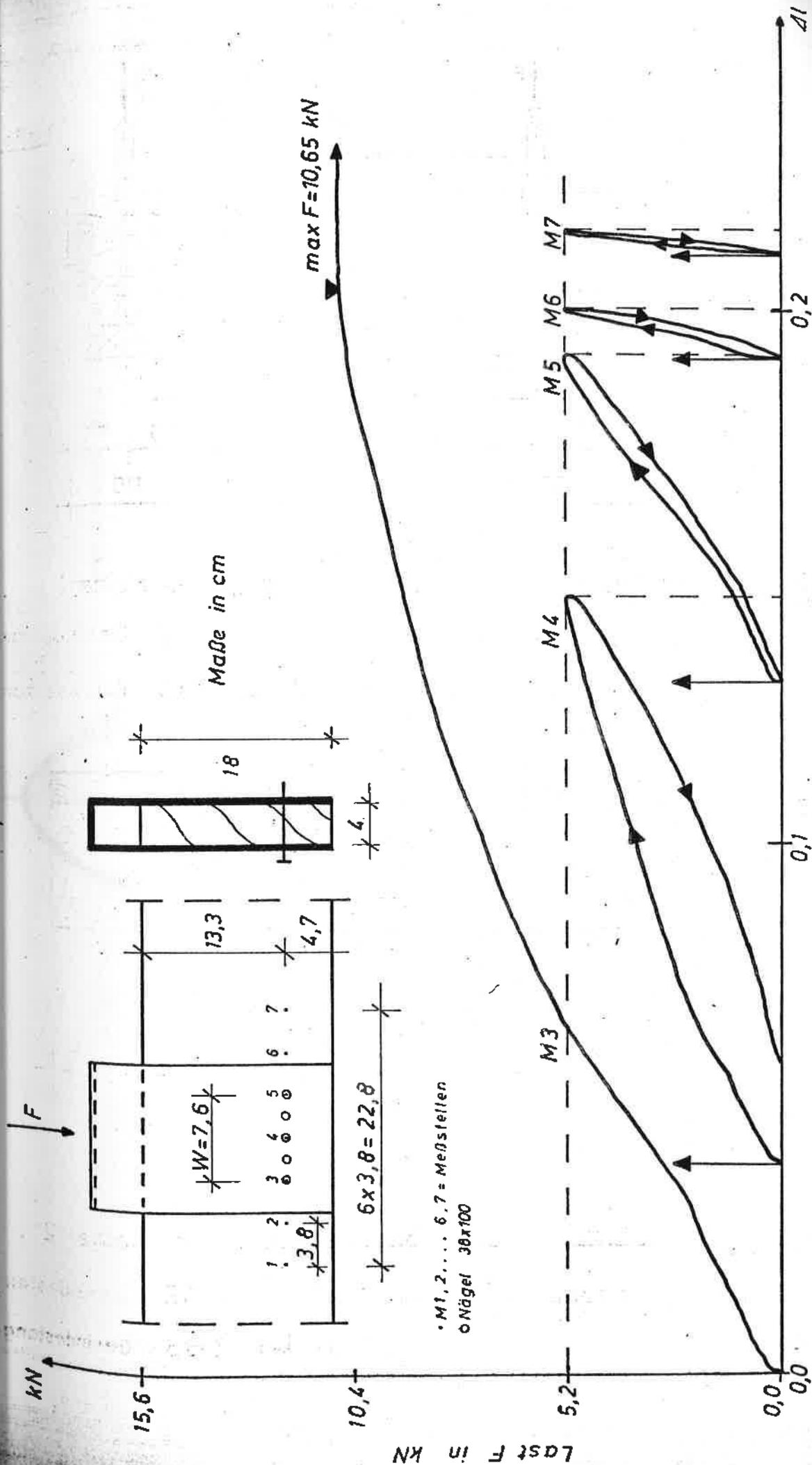
Bild 7: Querverformung Δl entlang der Risslinie $x-x$ bei Körper 5



Körper Nr. 7

Querverformung Δl in mm

Bild 8 : Abhängigkeit der Querverformung Δl an den Meßstellen 1 bis 4 von der Last F (Meßlänge $l = 19 \text{ mm}$)

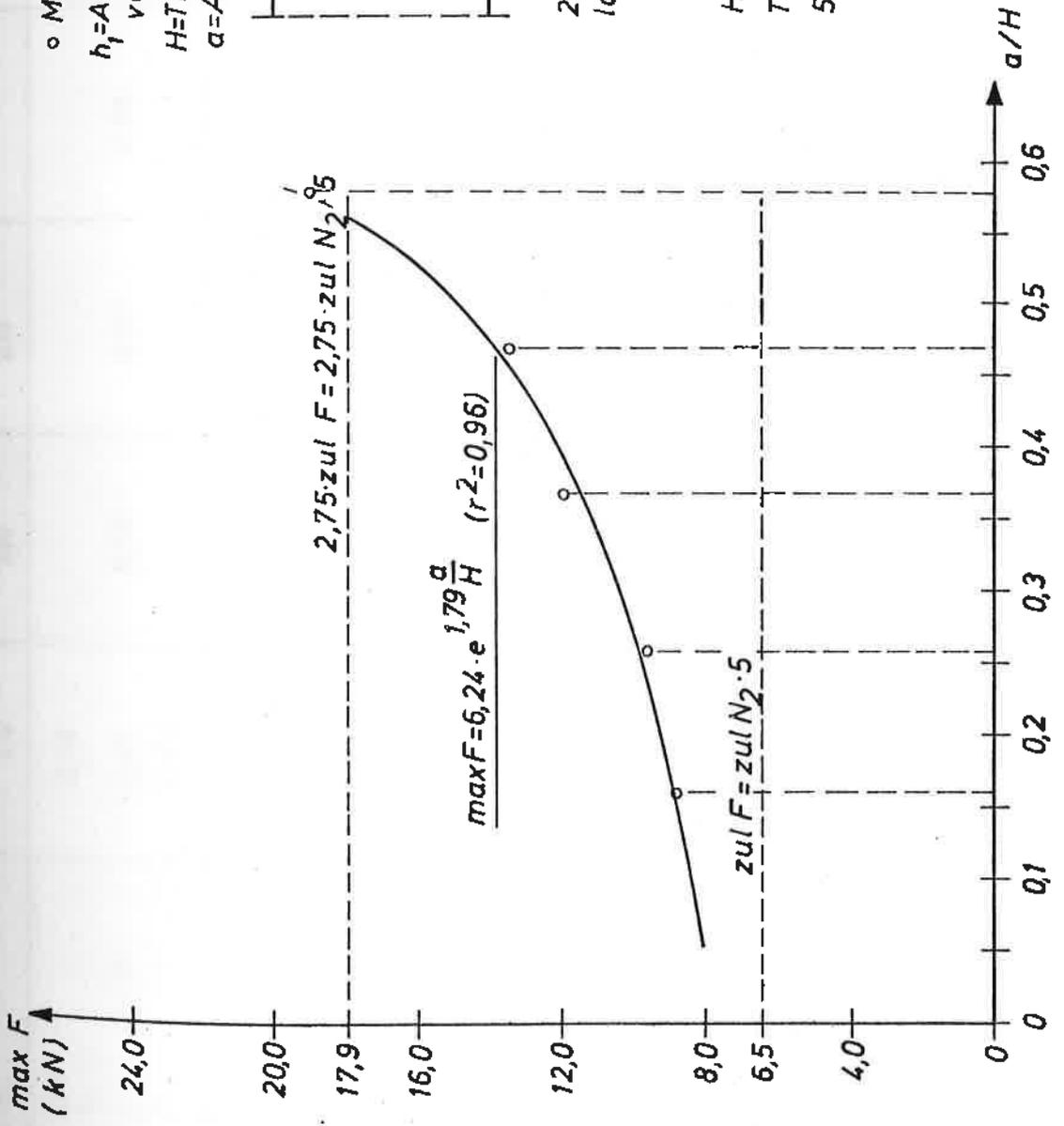


• M1, 2, ... 6, 7 = Meßstellen
 ○ Nägel 38x100

Körper Nr.7

Querverformung Δl in mm

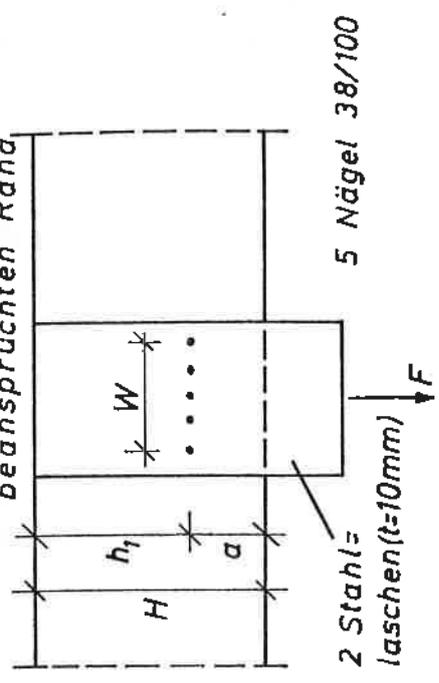
Bild 9: Abhängigkeit der Querverformung Δl an den Meßstellen 3 bis 7 von der Last F (Meßlänge $l = 19 \text{ mm}$)



o Mittel aus 3 Versuchen.
 h_1 = Abstand der Nagelrißlinie vom unbeanspruchten Rand

H = Trägerhöhe

a = Abstand der Nagelrißlinie vom beanspruchten Rand



Holzdicke: $b = 4 \text{ cm}$

Trägerhöhe: $H = 18 \text{ cm}$

5 Nägel 38/100 pro Nagelrißlinie

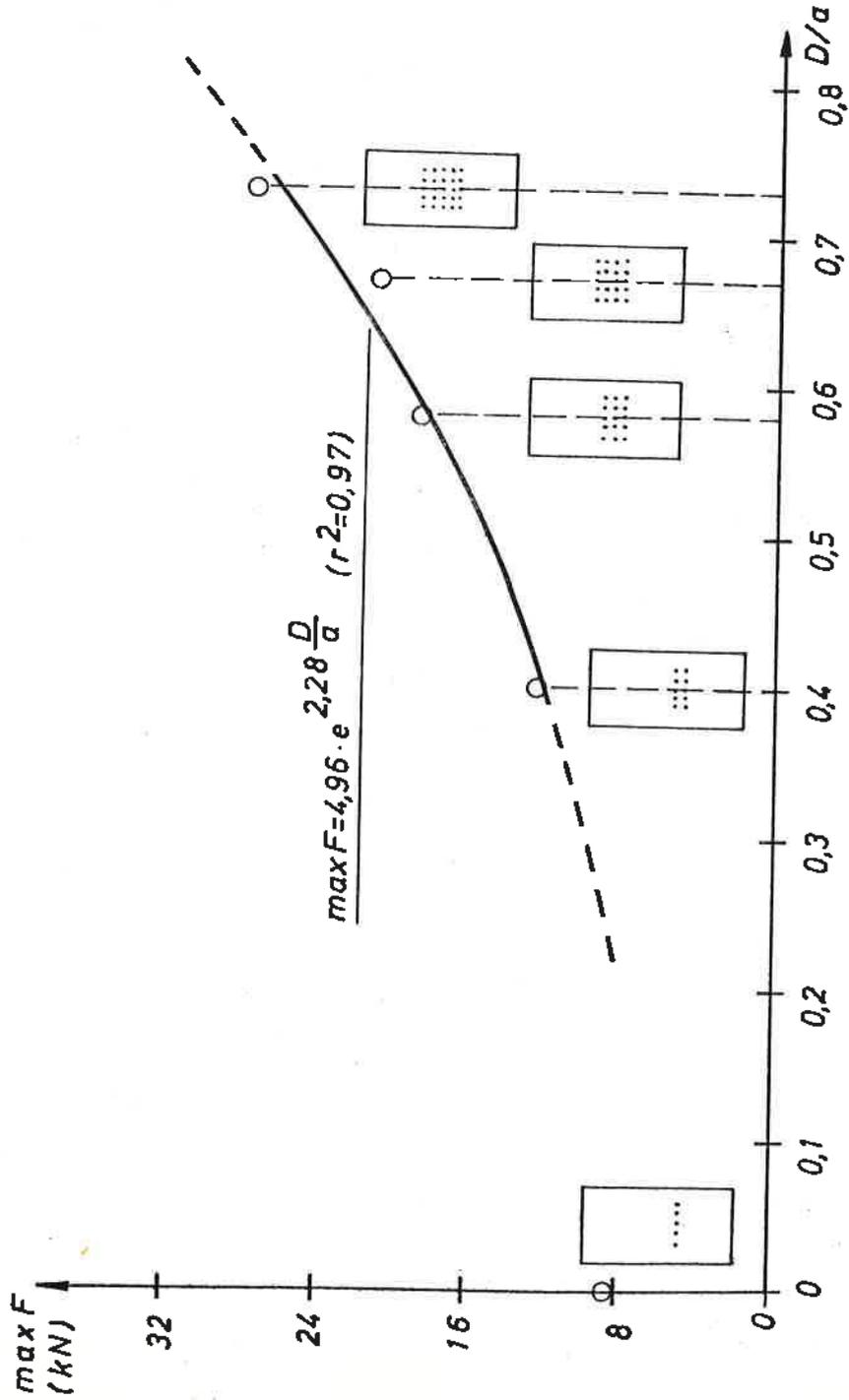
Bild 11 : Abhängigkeit der Bruchlast $\max F$ vom Verhältnis a/H (Reihe A)

Reihe	a/H	Bruchlast		Standardabweichung kN	v = $\frac{\text{vorh N}}{\text{zul N}}$	Druckfestigkeit (σ_{D15}) N/mm ²	Rohdichte ρ g/cm ³
		Einzelwert kN	Mittelwert kN				
A1	0,16	8,18	8,78	0,97	1,35	43,1	0,49
		8,25					
		9,90					
A2	0,26	9,62	9,56 (11,04)	0,08 (2,56)	1,47	41,4	0,47
		(14,00)					
		9,50					
A3	0,37	12,35	11,93	0,40	1,84	39,5	0,46
		11,55					
		11,90					
A4	0,47	13,90	13,40	0,87	2,06	42,2	0,51
		13,90					
		12,40					
A5	0,58	15,00	18,90	3,54	2,91	41,4	0,52
		21,90					
		19,80					
						41,5	0,52
						42,7	0,52

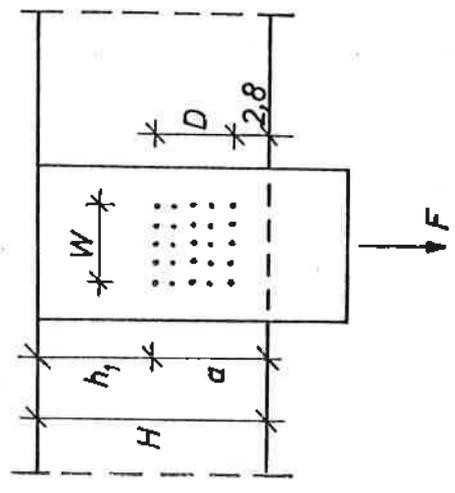
Die Werte in () wurden beim Mittel nicht berücksichtigt

Tabelle 2 : Auswertung der Reihe A1 ÷ A5

○ Mittel aus drei Versuchen



a = Abstand der Nagelrißlinie vom beanspruchten Rand
 h_1 = Abstand der obersten Nagelreihe vom unbeanspruchten Rand
 D = Höhe der VM - Ansichtsfläche



Holzdicke $b = 4 \text{ cm}$
 Trägerhöhe $H = 18 \text{ cm}$
 Verbindungsmittelbreite: $W = 7,6 \text{ cm}$
 5 Nägel 38/100 pro Nagelrißlinie

Bild 12: Abhängigkeit der Bruchlast $\max F$ vom Verhältnis D/a (Reihe B)

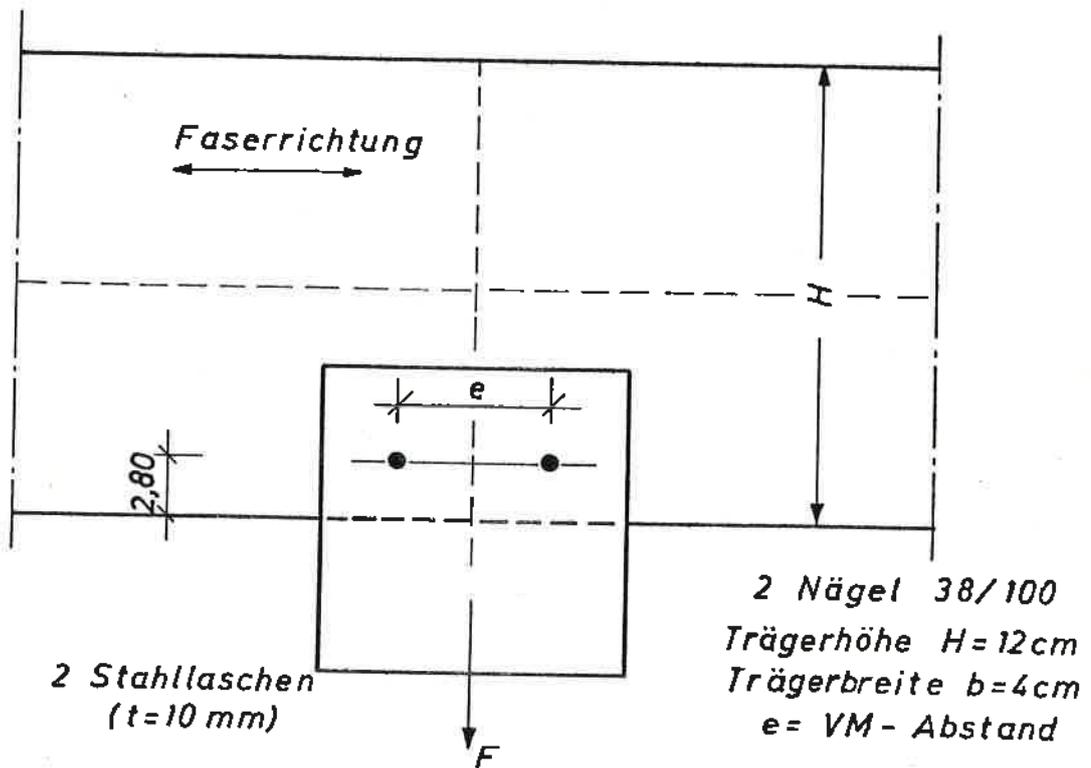
Reihe	D/a	Anzahl der Verbindungsstellen (Nägel 38/100)	Anzahl der Reihen	Bruchlast		Standardabweichung kN	$\gamma = \frac{\text{vorh N}}{\text{zul N}}$	Druckfestigkeit (σ_{D15}) N/mm ²	Rohdichte ρ g/cm ³
				Einzelwert kN	Mittelwert kN				
B1	0,40	10	2	12,2	12,47	0,23	0,96	36,0	0,44
				12,6					
				12,6					
B2	0,58	15	3	22,8	18,87	3,90	0,97	42,8	0,62
				15,0					
				18,8					
B3	0,67	20	4	25,5	21,13	4,86	0,81	37,1	0,43
				22,0					
				15,9					
B4	0,73	25	5	25,7	27,83	3,19	0,86	42,3	0,52
				31,5					
				26,3					

Tabelle 3 : Auswertung der Reihe B1-B4

Reihe <i>n</i> =Anzahl der Nägel	<i>a</i> / <i>H</i>	<i>D</i> / <i>a</i>	Mittelwert der Bruchlast kN	Faktor $f\left(\frac{B_i}{A_{i+1}}\right)$	Mittel $f\left(\frac{B_i}{A_{i+1}}\right)$
B 1 <i>n</i> =10	0,26	0,40	12,47	1,30	1,48 (<i>s_T</i> = 0,13)
A 2 <i>n</i> =5		0	9,56		
B 2 <i>n</i> =15	0,37	0,58	18,87	1,58	
A 3 <i>n</i> =5		0	11,93		
B 3 <i>n</i> =20	0,47	0,67	21,13	1,58	
A 4 <i>n</i> =5		0	13,40		
B 4 <i>n</i> =25	0,58	0,73	27,83	1,47	
A 5 <i>n</i> =5		0	18,90		
A 1 <i>n</i> =5	0,16	0	8,78	—	

Tabelle 4 : Vergleich der Versuchsreihen A und B

a) Aufbau bei Reihe C



b) Versuchswerte

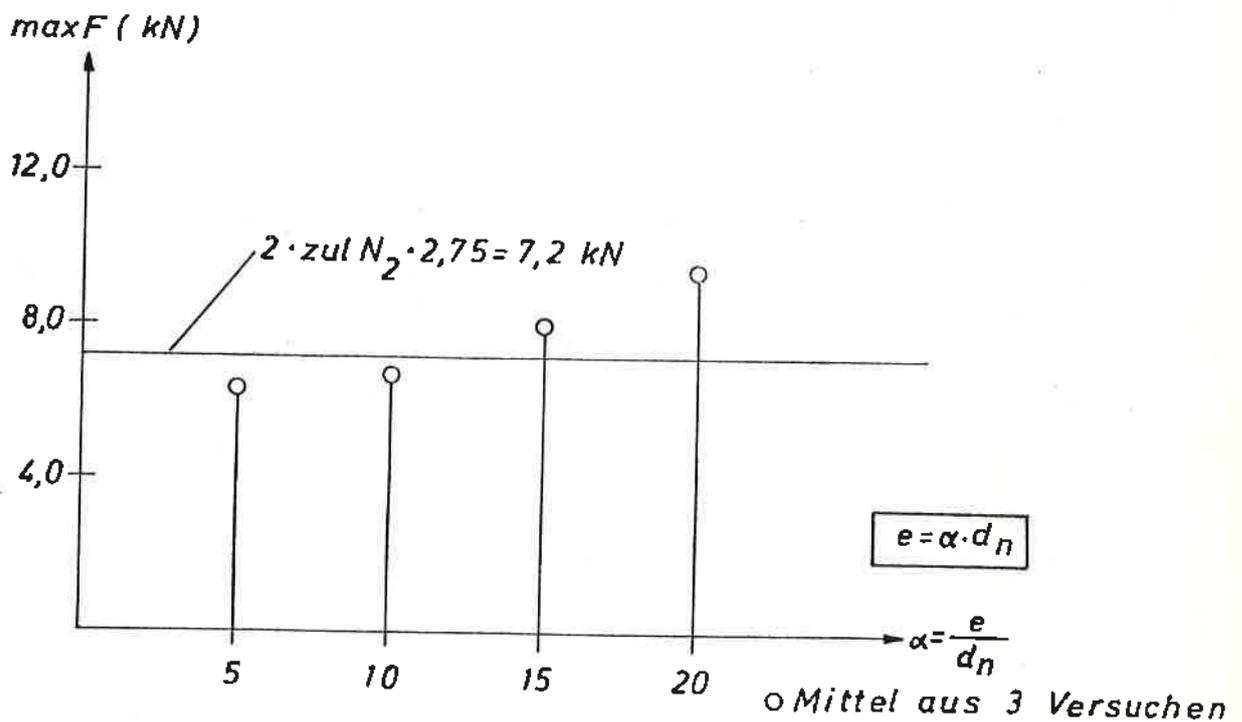


Bild 13 : Einfluß des Längsabstandes e bei Querbelastung (Reihe C)

Reihe	VM - Abstand e cm	Bruchlast		Standard= abweichung kN	$v = \frac{\text{vorh N}}{\text{zul N}}$	Druckfestigk (σ_{D15}) N/mm ²	Rohdichte S g/cm ³
		Einzelwert kN	Mittelwert kN				
C1	7,60(20d _n)	8,40	9,53	1,03	3,67	40,7	0,58
		9,80					
		10,40					
C2	5,70(15d _n)	7,80	8,07	0,38	3,10	35,4	0,42
		8,50					
		7,90					
C3	3,80(10d _n)	6,76	6,80	0,12	2,62	38,9	0,48
		6,94					
		6,71					
C4	1,90(5d _n)	6,40	6,42	0,68	2,47	38,8	0,47
		7,10					
		5,75					
C5	∞ 1 Nagel 38/100	8,35	6,95	1,26	5,35	36,1	0,52
		6,60					
		5,90					
C6	∞ 1 Stabdübel ∅8 mm	6,65	6,05	0,69	2,37	39,4	0,45
		6,20					
		5,30					

Tabelle 5: Auswertung der Reihe C1 ÷ C6

Reihe	Anzahl der Proben	Breite b cm	Dicke d cm	Höhe h cm	Fläche A cm ²	Volumen V cm ³	mittl. Festigk. β_{zL} N/mm ²	Standardabweichung N/mm ²	5% Fraktile N/mm ²	Rohdichte ρ g/cm ³
1	19	2,6	3,1	10,2	8,1	90	2,96	0,60	1,91	0,44
2	8	3	3	21	9	189	1,94	0,32	1,34	
3	10	4	7	21	28	588	1,55	0,29	1,01	
4	8	7	7	21	49	1029	1,81	0,09	1,64	
5	5	7	7	42	49	2058	1,22	0,10	1,01	
6	7	7	14	42	98	4116	1,28	0,17	0,95	

Tabelle 6 : Auswertung der Querkzugversuche

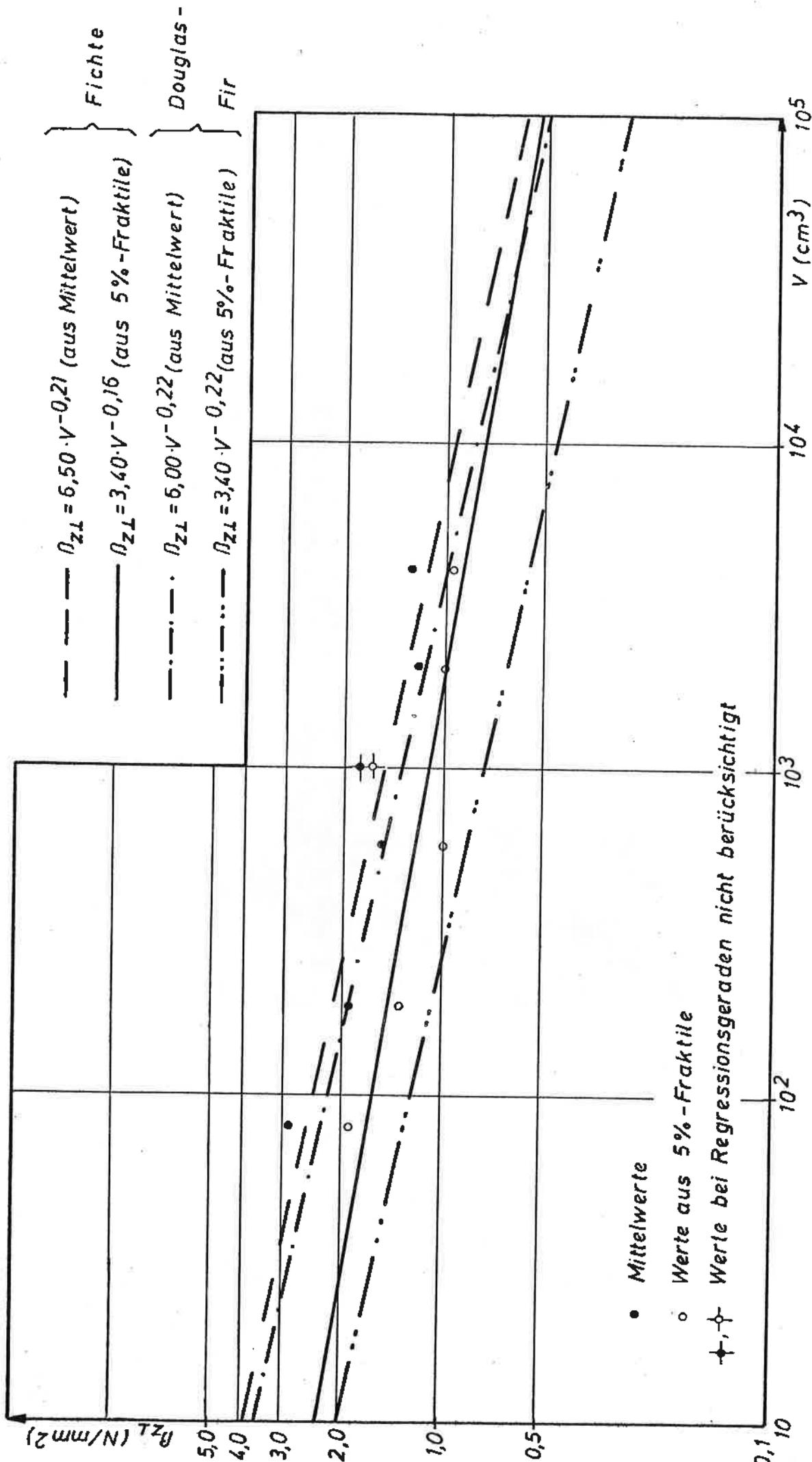


Bild 14: Abhängigkeit der Querkzugfestigkeit β_{zL} vom Volumen "V" bei Douglas Fir nach (6) und Brettschichtholz aus Fichte

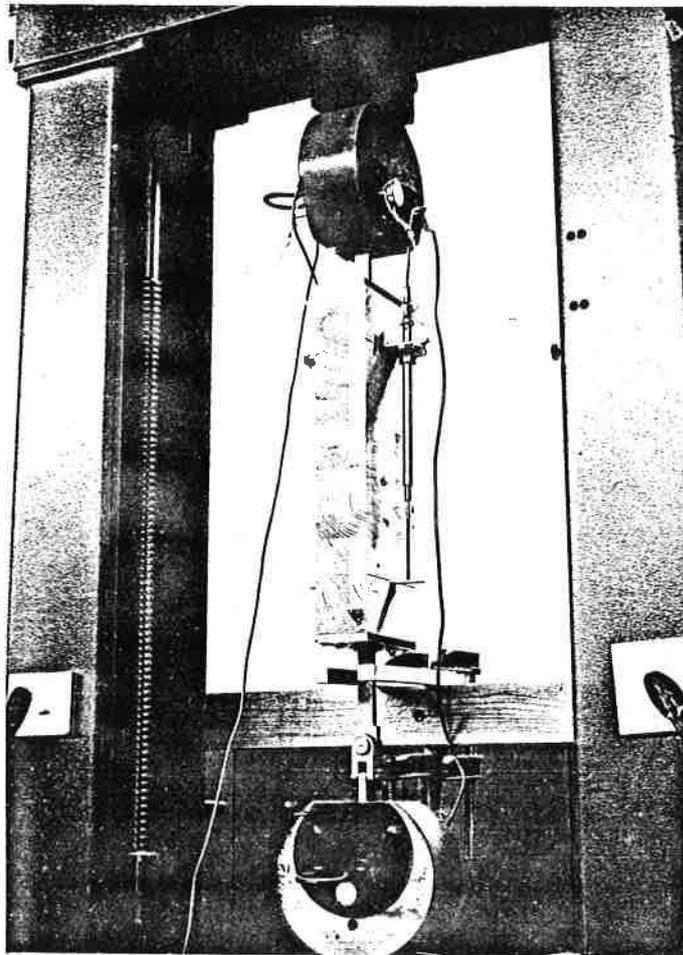


Bild 15 : Versuchsvorrichtung der Querkzugproben zur Ermittlung des E_{\perp} -Moduls

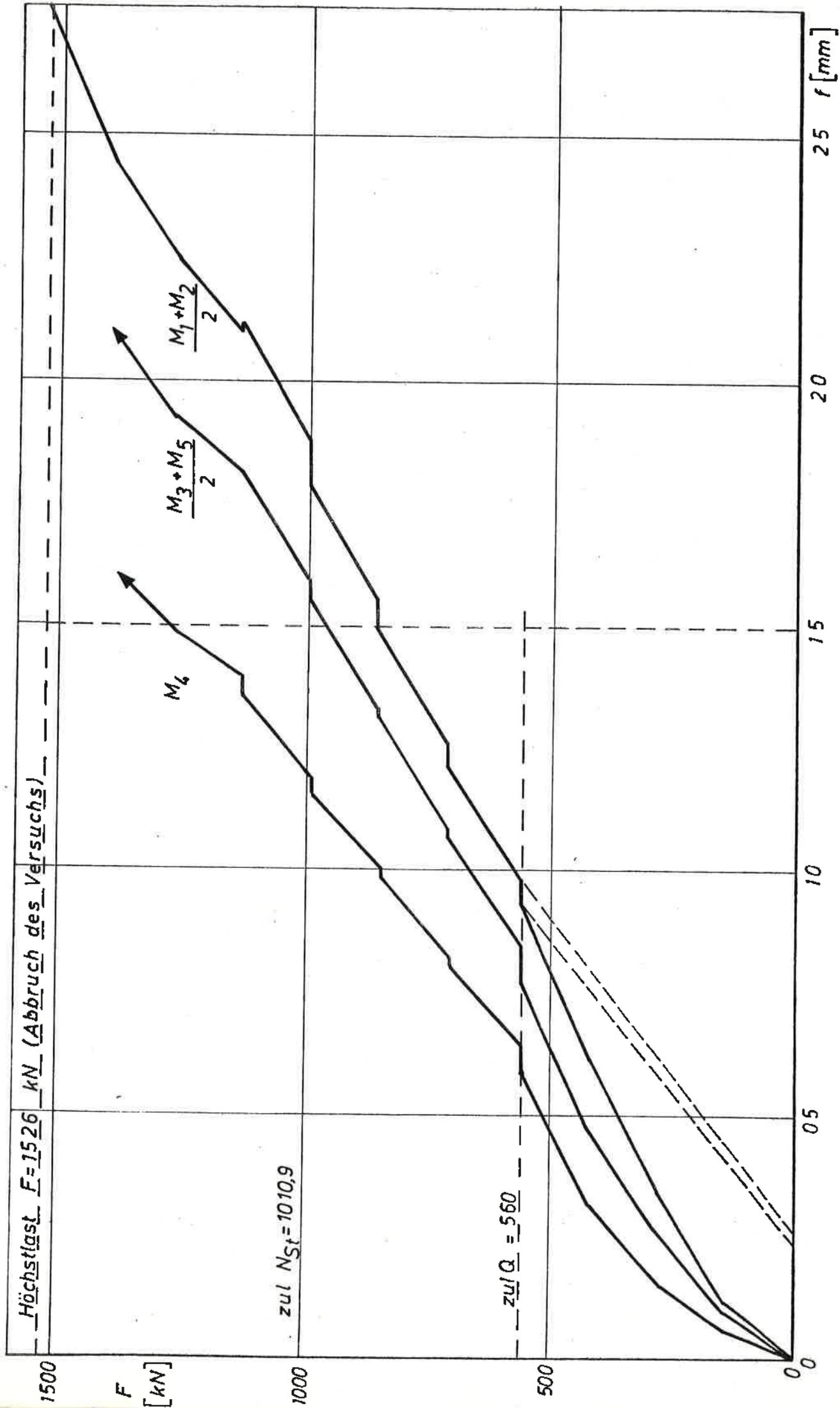


Bild 17: Last-Verschiebungslinie - Anschluß A

Bruchversuch: Höchstlast $\max F = 3300 \text{ kN}$

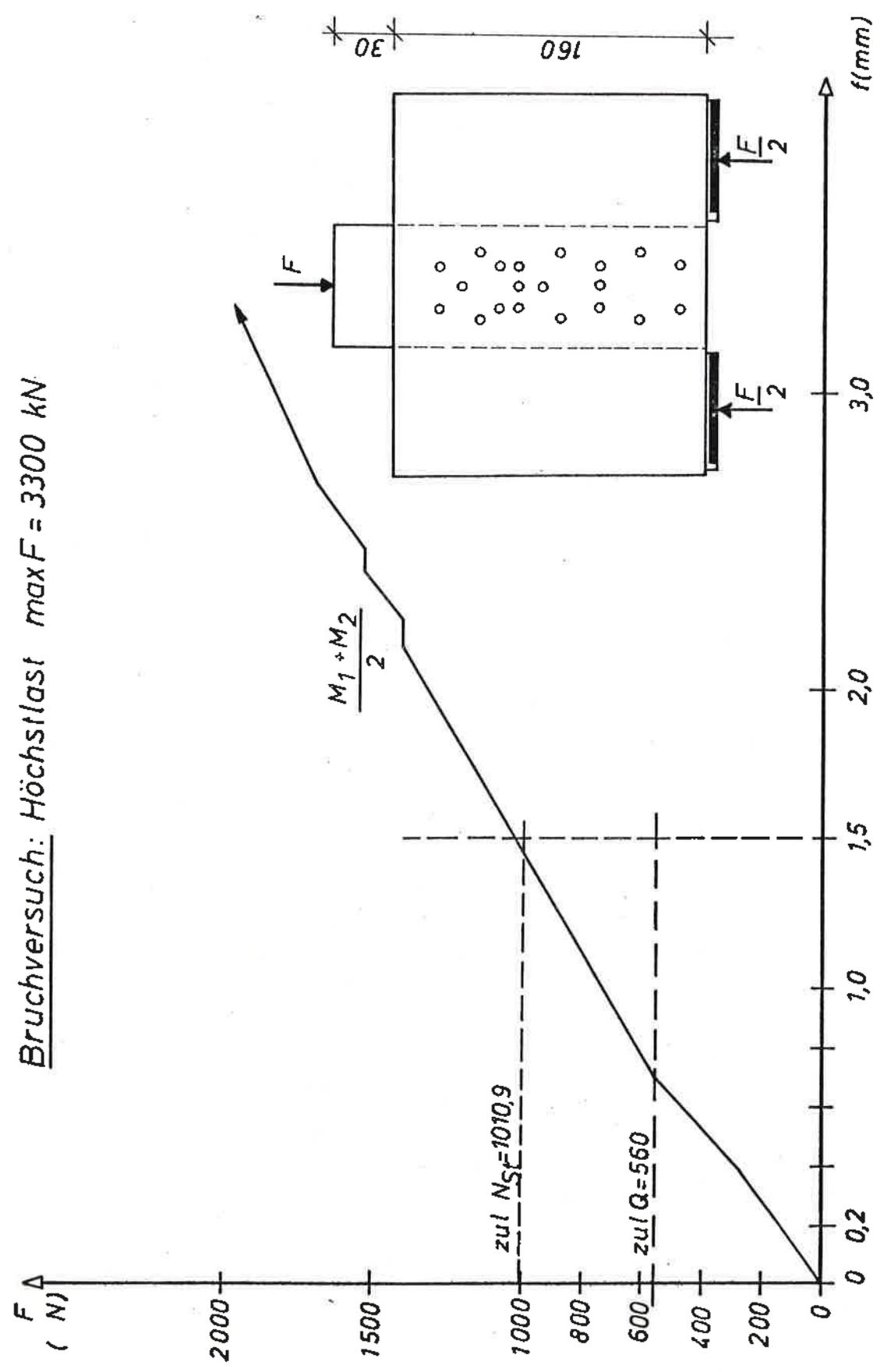


Bild 18: Lastverschiebungslinie des Druckscherkörpers

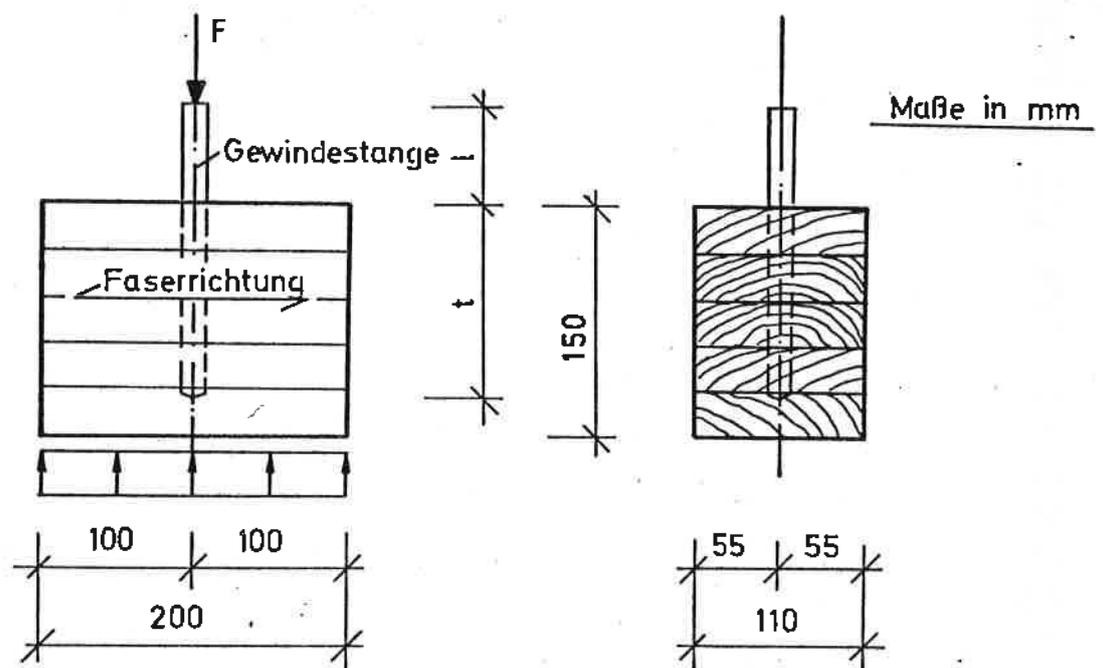


Bild 19 : Ausbildung der Versuchskörper der Reihe 1

Körperbezeichnungen: 1A1 bis 1A6 Gewindestange M 12

1B1 bis 1B3 Gewindestange M 16

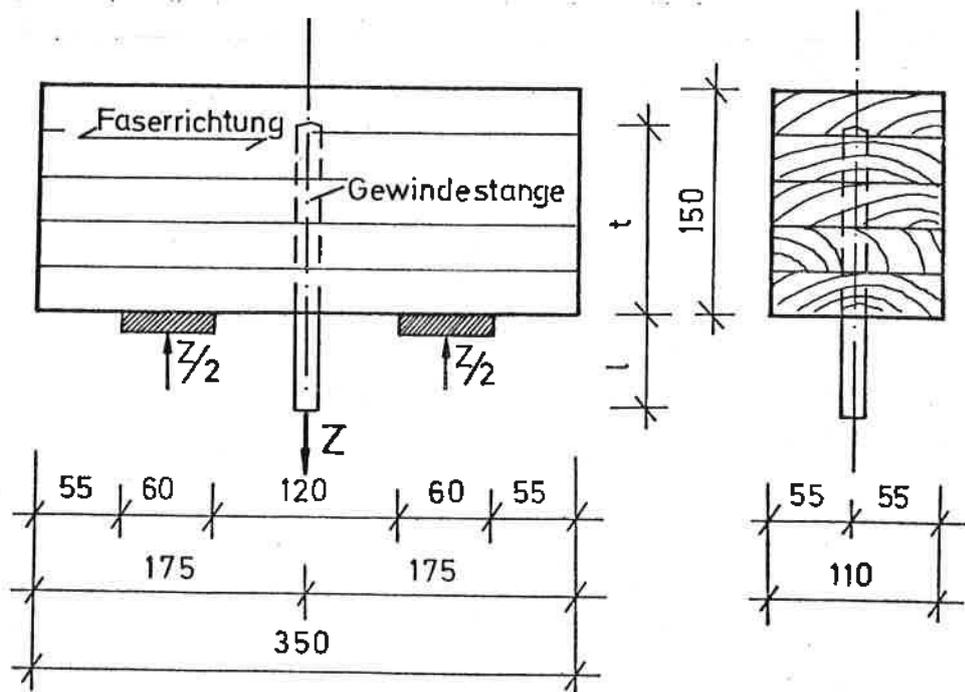


Bild 20 : Ausbildung der Versuchskörper der Reihe 2

Körperbezeichnungen: 2A1 bis 2A6 Gewindestange M 12

2B1 bis 2B3 Gewindestange M 16

Körper Nr.	Anker-system	Gewinde-stange	Prüfung nach Lagerung im	maximale Ankerkraft max. F.		tatsächl. Haftlänge mm	rechnerische Haftspannung in N/mm ²			
				Einzelwert kN	Mittelwert kN		Einzelwert berechnet mit		Mittelwert berechnet mit	
							t	t'	t	t'
1A 1	Upat	M12	Normal-klima	28,3	30,8	95	5,85	6,77	6,36	7,44
1A 2				30,0		90	6,20	7,58		
1A 3				34,0		97	7,03	7,97		
1A 1	Buchholz	M12	Normal-klima	43,0	37,5	110	8,89	8,89	7,74	7,74
1A 2				34,7		110	7,17	7,17		
1A 3				34,7		110	7,17	7,17		
1A 4	Upat	M12	Wechsel-klima	43,0	36,0	98	8,89	9,98	7,44	8,68
1A 5				31,0		93	6,41	7,58		
1A 6				34,0		91	7,03	8,49		
1A 4	Buchholz	M12	Wechsel-klima	30,7	33,3	110	6,35	6,35	6,89	6,89
1A 5				34,3		110	7,09	7,09		
1A 6				35,0		110	7,23	7,23		
1B 1	Upat	M16	Normal-klima	36,3	45,7	99	5,14	6,48	6,47	7,48
1B 2				55,4		110	7,84	8,91		
1B 3				45,4		114	6,42	7,04		
1B 1	Buchholz	M16	Normal-klima	49,2	57,4	125	6,96	6,96	8,12	8,12
1B 2				59,6		125	8,43	8,43		
1B 3				63,3		125	8,96	8,96		

t = Sollhaftlänge , t' = wirksame Haftlänge.

Tabella 7: Ergebnisse der Versuchsreihe 1 (Druck \perp zur Faserrichtung)

Körper Nr.	Anker-system	Gewinde-stange	Prüfung nach Lagerung im	maximale Ankerkraft		tatsächl. Haftlänge	rechnerische Haftspannung in N/mm ²			
				Einzelwert kN	Mittelwert kN		Einzelwert berechnet mit		Mittelwert berechnet mit	
							t	t'		t
2 A 1	Upat	M12	Normal-klima	36,5	33,0	105	7,54	7,90	6,83	7,75
2 A 2				34,4		95	7,11	8,23		
2 A 3				28,2		90	5,83	7,12		
2 A 1	Buchholz	M12	Normal-klima	36,7	39,0	110	7,59	7,59	8,05	8,05
2 A 2				40,5		110	8,37	8,37		
2 A 3				39,7		110	8,21	8,21		
2 A 4	Upat	M12	Wechsel-klima	35,7	34,7	95	7,38	8,54	7,17	8,52
2 A 5				33,7		93	6,97	8,24		
2 A 6				34,7		90	7,17	8,77		
2 A 4	Buchholz	M12	Wechsel-klima	35,8	35,5	110	7,40	7,40	7,34	7,34
2 A 5				35,2		110	7,28	7,28		
2 A 6				(18,0) *		110	(3,72)	(3,72)		
2 B 1	Upat	M16	Normal-klima	46,0	46,2	115	6,51	7,07	6,54	7,39
2 B 2				37,1		100	5,25	6,56		
2 B 3				55,6		115	7,87	8,55		
2 B 1	Buchholz	M16	Normal-klima	60,0	61,4	125	8,49	8,49	8,68	8,68
2 B 2				58,5		125	8,28	8,28		
2 B 3				65,6		125	9,28	9,28		

t = Sollhaftlänge , t' = wirksame Haftlänge. *) Fehlvermörtelung

Tabella 8 : Ergebnisse der Versuchsreihe 2 (Zug L zur Faserrichtung)

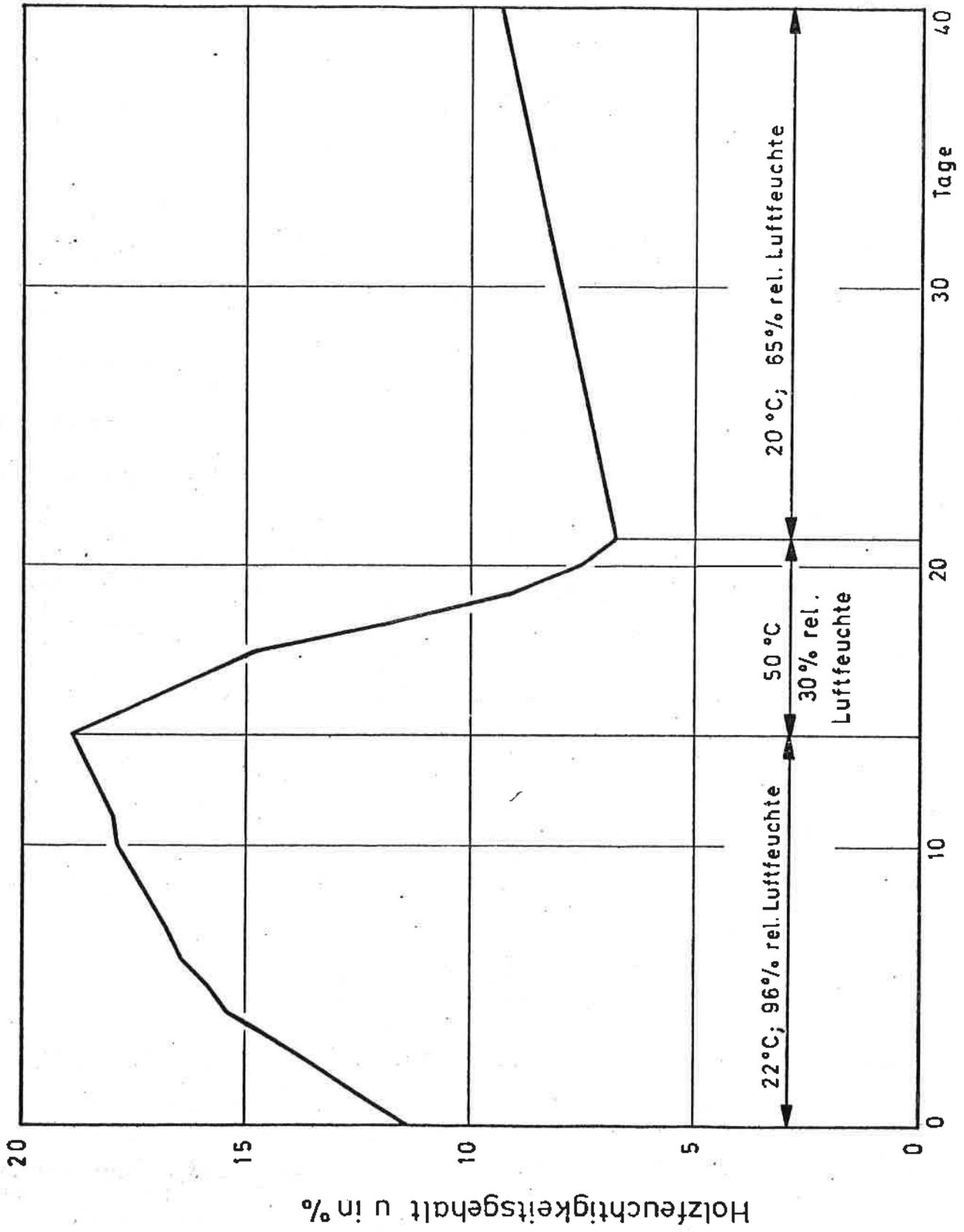


Bild 21: Mittlerer Feuchtigkeitsgehalt der Körper beim Klimawechsel

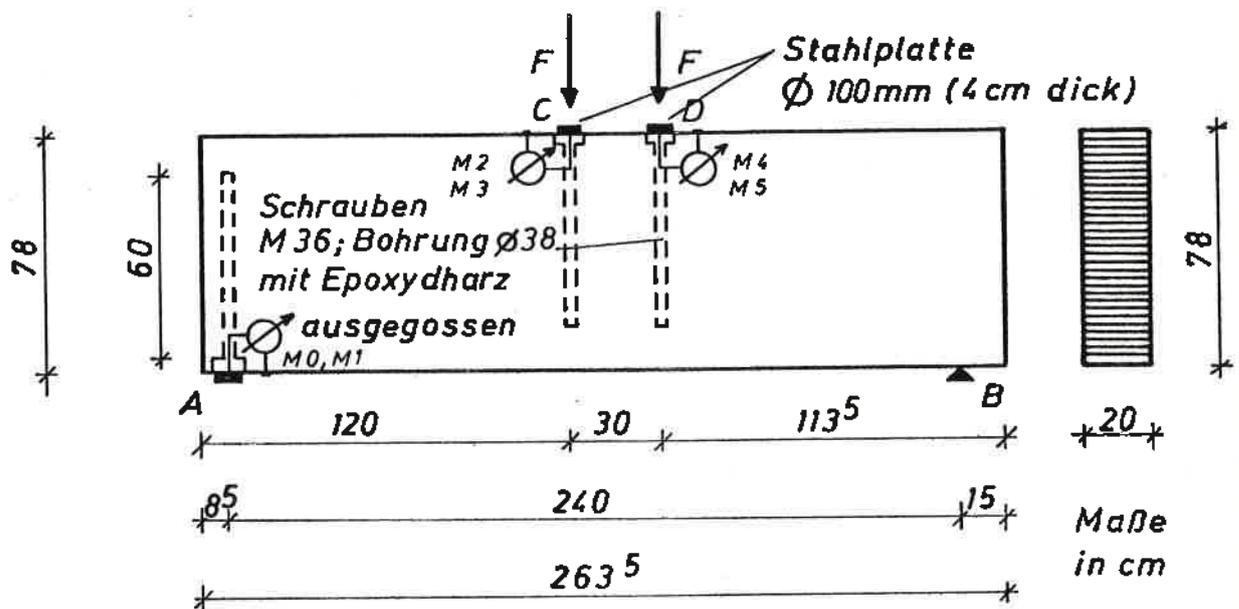


Bild 22: Versuchsträger mit eingeleimten Schrauben

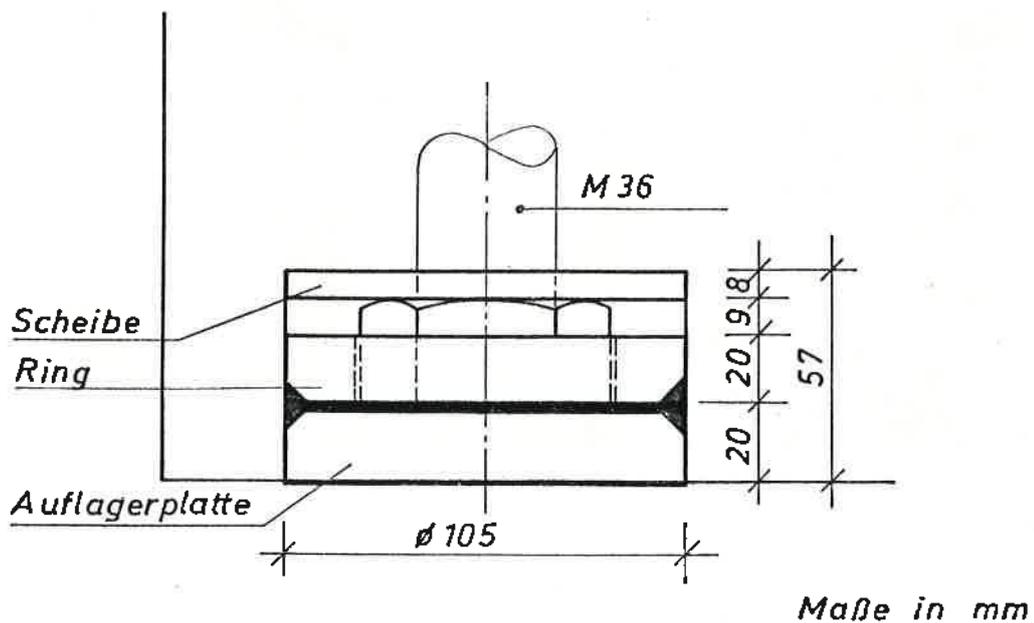


Bild 23: Vergrößerung des Schraubenkopfes

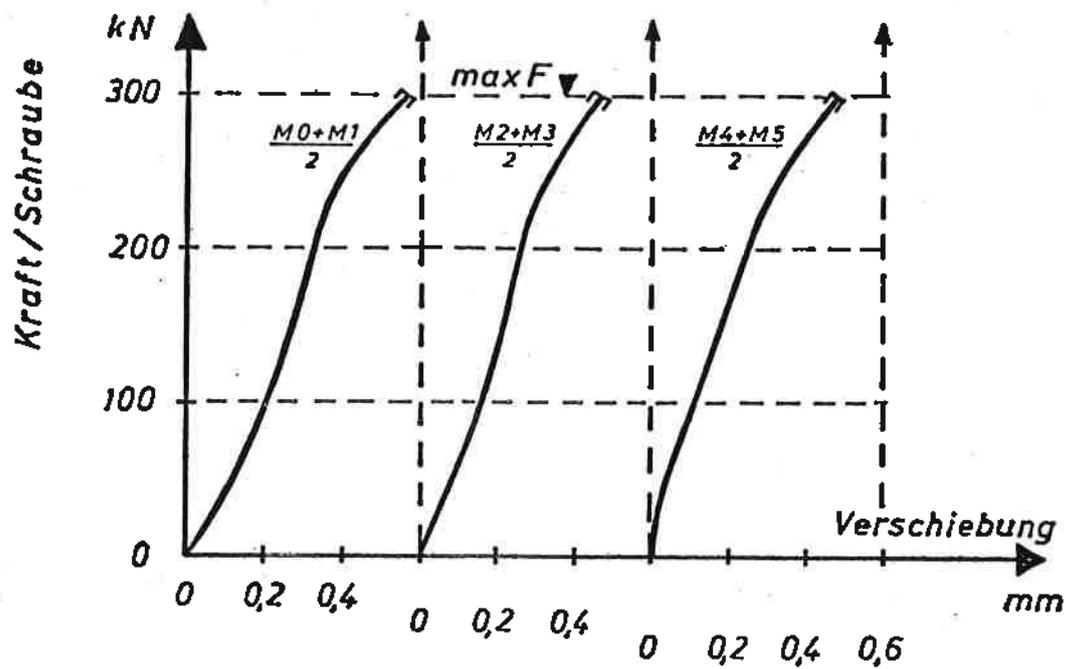


Bild 24 : Lastverschiebungsdiagramm der eingeleimten Schrauben (Versuch 2)

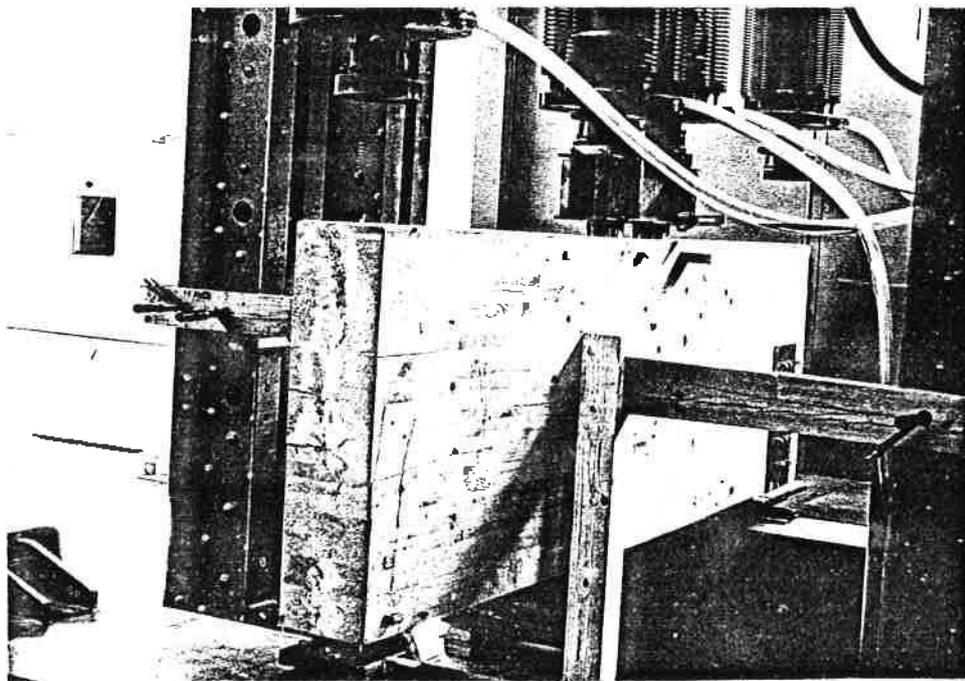


Bild 25 : Trägeraufbau und Lasteinleitung bei den eingeleimten Schrauben (Träger 2)

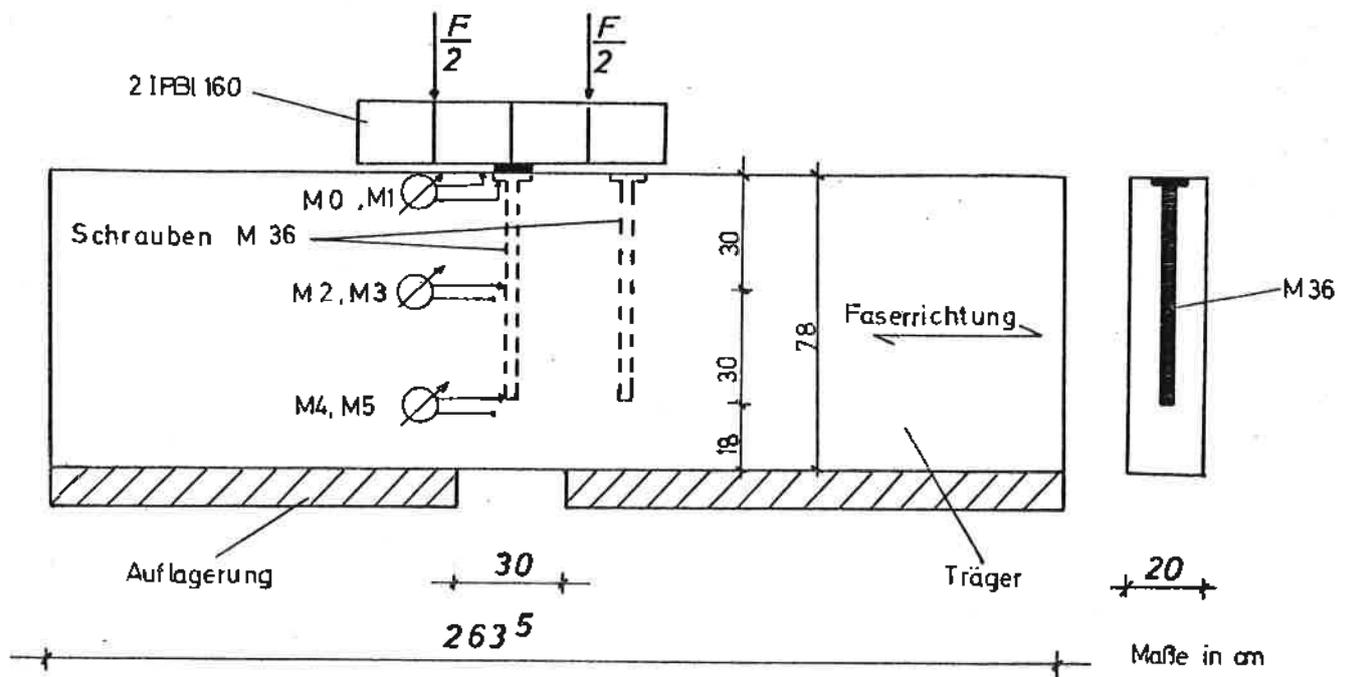


Bild 26. Versuchsaufbau und Anordnung der Meßstellen bei den Scherkörpern

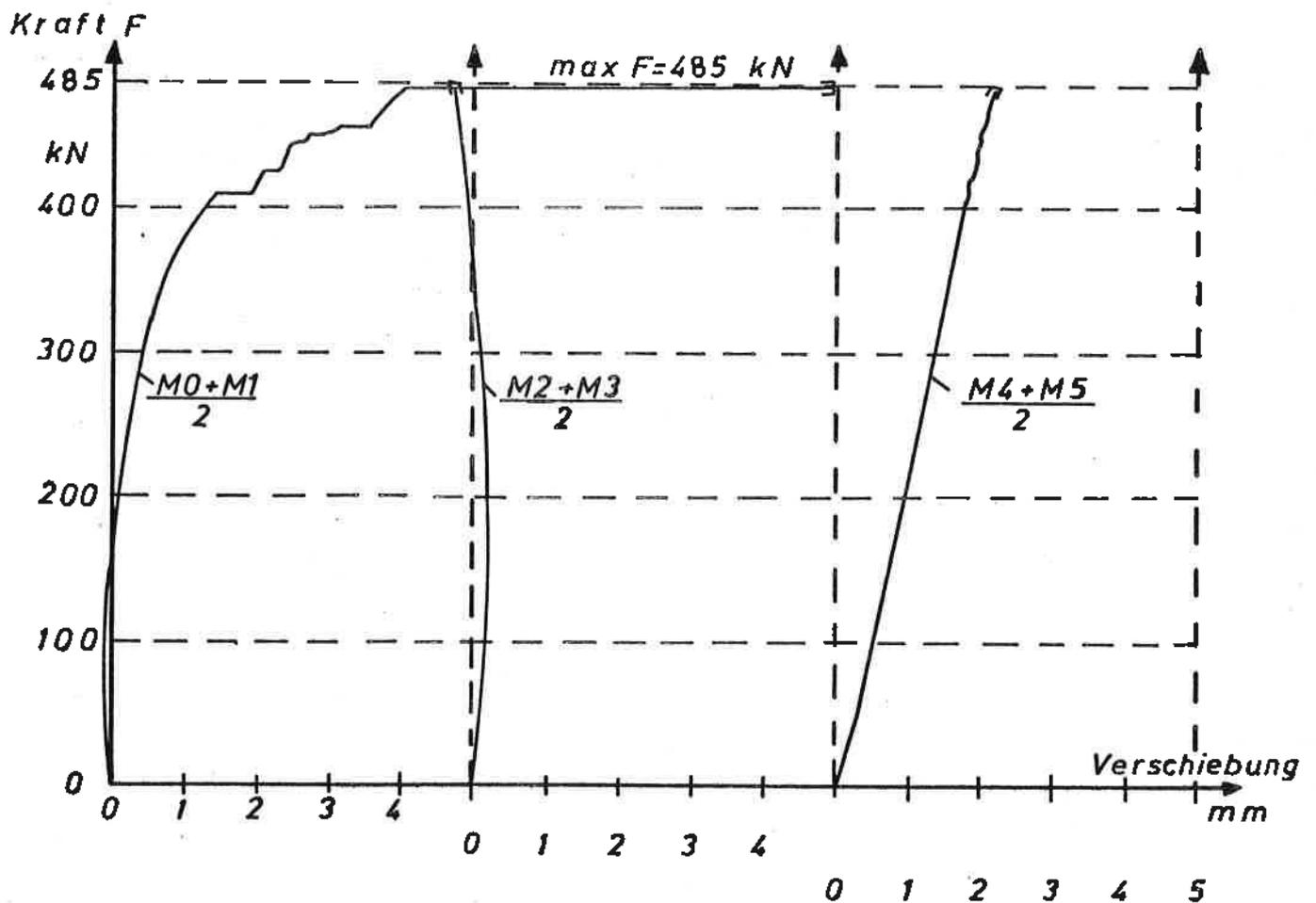


Bild 27. Kraft-Verschiebungsdiagramm der Meßstellen M0 bis M5

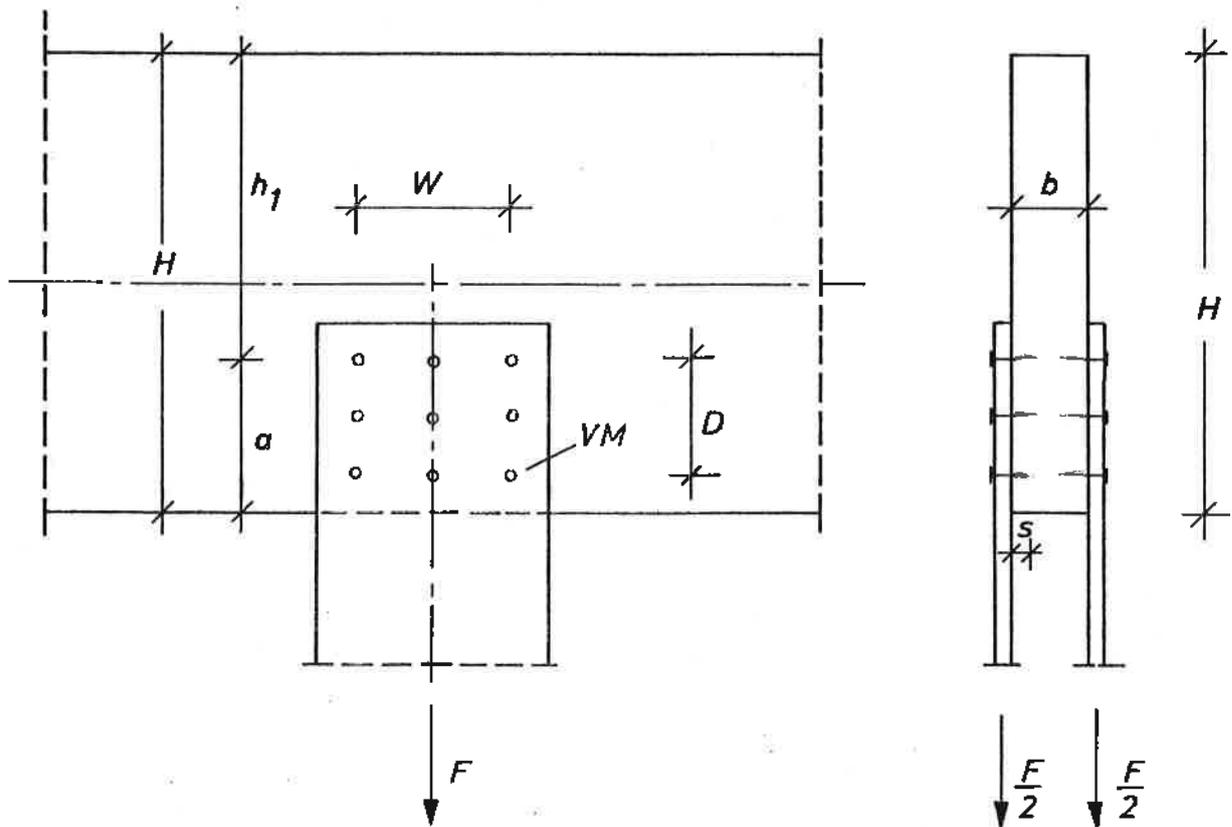


Bild 28 : Geometrische Größen bei einem Queranschluß

a/H	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$f(a/H)$	0,22	0,26	0,31	0,37	0,45	0,54	0,65	0,77	0,93	1,12
Werte $f(a/H)$ abgeleitet aus Reihe A						Werte (a/H) abgeleitet aus „Journal of the Structural Divison“				

Tabelle 9 : Geometriefaktor $f(a/H)$ bei Queranschlüssen