

ERMITTLUNG FEHLENDER FESTIGKEITSWERTE
VON BUCHENFURNIERPLATTEN

von

Jürgen Ehlbeck und François Colling

Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine
Abt. Ingenieurholzbau
Universität Fridericiana Karlsruhe
o.Prof.Dr.-Ing. Jürgen Ehlbeck

1983

V O R W O R T

Diese Arbeit entstand in den Jahren 1982/83 im Auftrage der Entwicklungsgemeinschaft Holzbau (EGH) in der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung e.V. (DGfH) mit finanzieller Unterstützung der Centralen Marketing Gesellschaft der Deutschen Agrarwirtschaft (CMA). Die Firmen Agepan Holzwerkstoffe KG in Heusweiler, Blomberger Holzindustrie in Blomberg und Adolf Buddenberg GmbH in Bad Driburg stellten das für die Versuche benötigte Plattenmaterial kostenlos zur Verfügung.

Planung, Durchführung und Auswertung der Untersuchungen lagen in den Händen von Herrn Dipl.-Ing. François Colling. Die sorgfältige Herstellung der Versuchseinrichtung und der Versuchskörper, sowie deren gewissenhafte Prüfung besorgten die Herren Harald Heck, Gerhard Köhler und Günter Rüd. Herr cand.-ing. Jean-Marie Bichler half bei der Auswertung und zeichnerischen Darstellung der Ergebnisse.

Allen Beteiligten sei für die Mitarbeit gedankt.

Jürgen Ehlbeck

I N H A L T

1	Ziel der Forschungsarbeit	1
2	Versuchsumfang	2
3	Wahl der Prüfkörperformen	3
3.1	Große Scherproben	3
3.2	Kleine Scherproben	5
4	Versuchs- und Meßeinrichtungen	6
4.1	Große Scherproben	6
4.1.1	Versuchseinrichtung zur Bestimmung der Scherfestigkeit τ	6
4.1.2	Meßeinrichtung zur Bestimmung des Schubmoduls G	7
4.2	Kleine Scherproben	9
5	Versuchsmaterial	10
6	Versuchsdurchführung und Brucherscheinungen	12
6.1	Große Scherproben	12
6.2	Kleine Scherproben	12
7	Ergebnisse der Versuche	13
7.1	Große Scherproben.	13
7.1.1	Schubmodul G	13
7.1.2	Scherfestigkeit τ	14
7.2	Kleine Scherproben; Scherfestigkeit τ	14
8	Auswertung der Versuche	16
9	Zusammenfassung	19
10	Schrifttum	21

1 Ziel der Forschungsarbeit

Bau-Furniersperrholz aus Buche (BFU-BU) nach DIN 68 705 Teil 5, Ausgabe Oktober 1980, besitzt elastomechanische Eigenschaften, die höher sind als die entsprechenden Werte für Bau-Furniersperrholz nach DIN 68 705 Teil 3, Ausgabe Febr. 1980. Ein besonderer Vorteil dieses Werkstoffes liegt für das Bauwesen in seiner hohen Scherfestigkeit rechtwinklig zur Plattenebene. Daher eignen sich Bau-Furniersperrholzplatten aus Buche besonders als Knotenplatten jeder Art, als Stege von hochbeanspruchten Steg- und Kastenträgern oder als Verstärkungen an Ausklinkungen, Durchbrüchen oder Rahmenecken von Brettschichtträgern.

Die hohen Festigkeitswerte für diese Beanspruchungsart sind in keiner Güte- oder Bemessungsnorm erfaßt, so daß z.Z. eine Bemessung mit niedrigeren Werten vorzunehmen ist (siehe DIN 1052 Teil 1, Ausgabe Oktober 1969), wenn nicht der Weg über eine Zulassung im Einzelfall aufgrund besonderer Prüfungen beschritten wird.

Ziel dieses Vorhabens war es, durch umfangreiche Prüfungen kleiner und großer Prüfkörper statistisch gesichertes Zahlenmaterial zu erhalten, um daraus zulässige Spannungen für das Abscheren rechtwinklig zur Plattenebene ableiten zu können. Durch eine Aufnahme in die einschlägigen Baunormen ist dann eine verbesserte und allgemeine Anwendbarkeit ermöglicht.

2 Versuchsumfang

Ursprünglich war vorgesehen, aus der Produktion sechs deutscher Plattenhersteller insgesamt 18 BFU-BU-Plattentypen mit Dicken zwischen 10 und 40 mm zu untersuchen. Hierdurch sollte gewährleistet werden, daß das Versuchsmaterial einen repräsentativen Querschnitt der derzeitigen Produktion in der Bundesrepublik Deutschland darstellt. Es stellte sich jedoch heraus, daß z.Z. nur drei Hersteller Bau-Furniersperrholz aus Buche mit überwachten Gütemerkmalen nach DIN 68 705 Teil 5 produzieren. Lieferschwierigkeiten erforderten daher eine Reduzierung des Versuchsumfanges auf insgesamt 72 Versuche an großen Prüfkörpern aus 12 verschiedenen Plattentypen. Von jeder Firma wurden vier Plattentypen aus den Dickenbereichen 10 bis 15 mm, 16 bis 25 mm, 26 bis 35 mm und 36 bis 40 mm bezogen. Es wurden somit je Plattentyp und Firma sechs Versuchskörper geprüft.

Bei jedem dieser 72 Versuche wurden neben der Ermittlung der Tragfähigkeit zusätzliche Dehnungsmessungen vorgenommen, um daraus die Schubmoduln der Platten zu ermitteln.

Vergleichsweise wurden außerdem insgesamt 96 Scherversuche an kleinen Probekörpern durchgeführt, um den Einfluß von Probengröße, Probenform und Prüfverfahren zu untersuchen.

3 Wahl der Prüfkörperformen

3.1 Große Scherproben

Die Versuche sollten in Anlehnung an die Prüfeempfehlung der "International Union of Testing and Research Laboratories for Research and Testing (RILEM)" über die Prüfung von Sperrholz in Bauteilgröße für die Anwendung in tragenden Konstruktionen [1] durchgeführt werden. Prüfkörper und Versuchsanordnung dieser Empfehlung sind in den Bildern 1 und 2 dargestellt. Bei diesem Prüfverfahren wird die Scherfestigkeit in einem Zugversuch ermittelt, bei dem die Kolbenkraft der Prüfmaschine über Gelenke, Stahllaschen und Abstandshalter umgelenkt wird, so daß am Versuchskörper nur noch Druckkräfte angreifen (siehe Bild 3).

Die Schubspannung τ in der Sperrholzplatte berechnet sich nach folgender Gleichung:

$$\tau = \frac{F_K}{L_S \cdot t} = \frac{F_K}{600 \cdot t} \quad (1)$$

Darin ist L_S = Probenlänge, t = Probendicke und F_K = Kolbenkraft. Die in den seitlichen Laschen auftretende Scherspannung τ_L ergibt sich zu

$$\tau_L = \frac{F_K \cdot \operatorname{tg} 14^\circ}{2 \cdot B \cdot D} \approx \frac{F_K}{8 \cdot B \cdot D} \quad (2)$$

oder mit (1)

$$\tau_L = \frac{600 \cdot t}{8 \cdot B \cdot D} \cdot \tau \quad (3)$$

Dabei ist B = Laschenbreite, D = Laschendicke .

Bei Versuchen von MÖHLER/EHLBECK [2] mit kleinen Scherproben ermittelte man für Buchen-Furnierplatten eine Scherfestigkeit von mehr als 20 N/mm^2 , so daß bis zum Bruch der Versuchskörper bei einer Plattendicke von $t = 40 \text{ mm}$ mit einer Kolbenkraft F_K von bis zu 480 kN gerechnet werden mußte. Bei dieser Kraft beträgt die rechnerische Scherspannung in den Laschen ($B \times D = 115 \times 35 \text{ mm}$) bereits $\tau_L \approx 15 \text{ N/mm}^2$. Auch bei einer Vergrößerung des Laschenquerschnittes auf $B \times D = 150 \times 50 \text{ mm}$ ($\tau_L \approx 8 \text{ N/mm}^2$) konnte bei dicken Platten nicht ausgeschlossen werden, daß die Laschen versagen, bevor es zu einem Scherbruch in der Platte kommt. Außerdem ist Nadelholz ein im Vergleich zu den BFU-BU-Platten relativ weiches Material, das durch größere Verformungen an den Krafteinleitungsstellen das Tragverhalten der zu prüfenden Platte beeinflussen könnte. Die Möglichkeit der Verwendung von Stahllaschen, wie sie in der RILEM-Empfehlung angedeutet wird, scheidet wegen zu großen Arbeitsaufwandes aus.

Diese Betrachtungen führten dazu, die seitlichen Laschen ebenfalls aus BFU-BU-Platten herzustellen. Bei einer Breite $B = 150 \text{ mm}$ und einer Dicke $D =$ Plattendicke t ergibt sich die Scherspannung in der Lasche nach Gl. (3) zu

$$\tau_L = 0,5 \cdot T .$$

Entnimmt man das Material für die Laschen der gleichen Platte wie das eigentliche Prüfstück, so war zu erwarten, daß ein vorzeitiges Versagen der Laschen nicht auftritt.

Der Versuchskörper nach der RILEM-Empfehlung nach Bild 1 wurde daher etwas abgeändert. Der bei den Versuchen verwendete Prüfkörper ist in Bild 4 dargestellt.

3.2 Kleine Scherproben

Zusätzlich wurden Versuche mit kleinen Scherkörpern durchgeführt, um den Einfluß der Prüfverfahren und der Probengröße auf die Scherfestigkeit festzustellen.

Hierbei wurden die in [2] beschriebenen Probenformen verwendet, um auch einen Vergleich zwischen neu ermittelten Scherfestigkeiten und schon vorhandenen Werten aus früheren Untersuchungen zu ermöglichen. Die Prüfkörperform mit den Abmessungen ist in Bild 5 dargestellt.

4 Versuchs- und Meßeinrichtungen

4.1 Große Scherproben

4.1.1 Versuchseinrichtung zur Bestimmung der Scherfestigkeit T

Bei der Dimensionierung einer Versuchsanordnung nach Bild 2 stellte sich heraus, daß Größe und Gewicht der Stahlteile eine einfache und schnelle Versuchsdurchführung erschweren würden. Die hohe Scherfestigkeit des Buchen-Furniersperrholzes und die zu untersuchenden Plattendicken erfordern so hohe Kräfte, daß die Versuchsanordnung nach der RILEM-Empfehlung für ungeeignet angesehen wurde. Diese RILEM-Versuchseinrichtung ist der Methode nach der amerikanischen Norm ASTM D 2719 [3] angepaßt und daher wahrscheinlich auf die Prüfung der geringeren Scherfestigkeiten von Baufurniersperrholz aus Nadelholz ausgerichtet. Prüfkörperform und Krafteinleitung (vgl. Bild 3) sollten aber auch bei den vorliegenden Untersuchungen möglichst beibehalten werden.

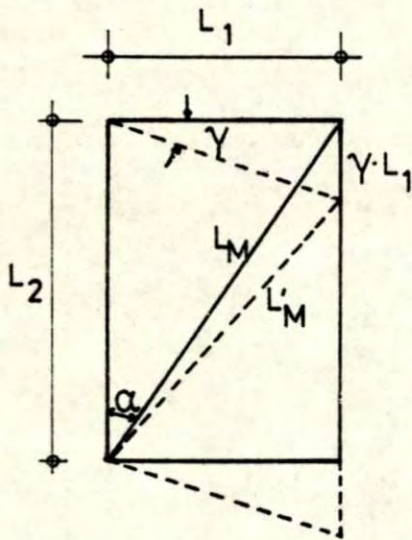
Bei der RILEM-Prüfeinrichtung haben die Stahlteile nur die Aufgabe, die Zugkraft der Prüfmaschine in Druckkräfte umzuwandeln. Es lag nahe, die hohen Kräfte unmittelbar als Druckkräfte der Prüfmaschine auf die Versuchskörper einwirken zu lassen. In Bild 6 ist die entworfene feststehende Vorrichtung dargestellt, die auch bei großen Plattendicken eine problemlose Versuchsdurchführung gestattete. Als zeitsparend erwies sich, daß beim Ein- und Ausbau nur die Versuchskörper bewegt werden mußten, während die schwere Prüfeinrichtung fest unter der Prüfmaschine stationiert war.

Die Scherfestigkeit des Prüfkörpers berechnet sich in Anlehnung an Gl. (1) und Bild 3 bei dieser Versuchseinrichtung zu:

$$\begin{aligned} T &= \frac{F_K}{L_S \cdot t} \cdot \cos 14^\circ \\ &= 0,97 \cdot \frac{F_K}{600 \cdot t} \end{aligned} \quad (4)$$

4.1.2 Meßeinrichtung zur Bestimmung des Schubmoduls G

Die Bestimmung des Schubmoduls G erfolgte in Anlehnung an die amerikanische Norm ASTM D 2719 mit einer Meßeinrichtung nach Bild 7. Auf beiden Seiten des Prüfkörpers wurde je ein induktiver Wegaufnehmer appliziert, dessen Meßlänge $L_M = 200$ mm unter einem Winkel $\alpha = 45^\circ$ zur Längsrichtung des Prüfkörpers verlief. Die Beanspruchung des Prüfkörpers durch die Prüfkraft F_K der Prüfmaschine bewirkt dann eine Verkürzung Δ_M der Meßlänge L_M .



$$\operatorname{tg} \alpha = L_1 / L_2$$

$$L_M^2 = L_1^2 + L_2^2$$

$$L_M'^2 = L_1^2 + (L_2 - \gamma \cdot L_1)^2$$

$$= L_1^2 + L_2^2 - 2\gamma L_1 L_2 + \cancel{\gamma^2 \cdot L_1^2} \approx 0$$

$$= L_M^2 \cdot \left(1 - 2\gamma \cdot \frac{\operatorname{tg} \alpha}{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha} \right)$$

$$= L_M^2 \cdot (1 - \gamma \cdot \sin 2\alpha)$$

Zwischen dem Schubwinkel γ der Platte und der Verkürzung Δ_M der Meßlänge L_M besteht folgender Zusammenhang:

$$\Delta_M = L'_M - L_M = L_M (\sqrt{1 - \gamma \cdot \sin 2\alpha} - 1). \quad (5)$$

Unter Vernachlässigung des quadratischen Termes für die Dehnung $\epsilon_M = \Delta_M / L_M$ ergibt sich der Schubwinkel γ zu:

$$\gamma = - \frac{2}{\sin 2\alpha} \cdot \frac{\Delta_M}{L_M} = T/G. \quad (6)$$

Das Minuszeichen in Gl. (6) ergibt sich, da Δ_M eine Verkürzung der Meßstrecke darstellt. Aufgelöst nach G und mit T nach Gl. (4) erhält man:

$$G = \frac{\sin 2\alpha}{2} \cdot \frac{F_K \cdot \cos 14^\circ}{L_S \cdot t} \cdot \frac{L_M}{\Delta_M}. \quad (7)$$

Mit $\alpha = 45^\circ$, $L_S = 600$ mm, $L_M = 200$ mm ergibt sich:

$$G = 0,16172 \cdot \frac{F_K}{\Delta_M \cdot t}. \quad (8)$$

Gl. (8) gilt für eine Platte unter reiner Schubbeanspruchung. Die durch die Krafteinwirkung hervorgerufenen Druckspannungen in Meßrichtung bewirken jedoch zusätzliche Stauchungen, so daß sich ein im Versuch ermittelter Wert $\Delta_{M(\text{Versuch})}$ aus einem Anteil Δ_M infolge der reinen Schubverzerrung γ und einem Anteil Δ_D infolge der Druckstauchung zusammensetzt. Ein nach Gl. (8) berechneter Schubmodul ergibt daher einen geringfügig zu kleinen Wert.

Die Größenordnung der beiden Verformungsanteile Δ_M und Δ_D wurde mit Hilfe eines FE-Programmes untersucht. Dabei ergab sich folgender Zusammenhang:

$$\Delta_{M(\text{Versuch})} \cong 1,14 \cdot \Delta_M \quad (9)$$

Aus den Gln. (7 und 9) erhält man:

$$G = 1,14 \cdot \frac{\sin 2\alpha}{2} \cdot \frac{F_K \cdot \cos 14^\circ}{L_s \cdot t} \cdot \frac{L_M}{\Delta_{M(\text{Versuch})}} \quad (10)$$

Dann wird aus Gl. (8):

$$G = 0,18436 \cdot \frac{F_K}{t \cdot \Delta_{M(\text{Versuch})}} \quad (11)$$

In ASTM D 2719 ist als Korrekturfaktor

$$\frac{\Delta_{M(\text{Versuch})}}{\Delta_M} = 1,19$$

angegeben.

4.2 Kleine Scherproben

Zur Ermittlung der Scherfestigkeit von kleinen Proben wurde die gleiche Versuchseinrichtung wie in [2] verwendet. Diese Einrichtung ist in Bild 8 dargestellt. Die Scherfestigkeit berechnet sich aus diesen Versuchen zu:

$$\tau = \frac{F_K}{2 \cdot h \cdot t} = \frac{F_K}{100 \cdot t} \quad (12)$$

5 Versuchsmaterial

Von jeder Firma, im folgenden Firma I, II und III genannt, wurde je ein Plattentyp aus den Dickenbereichen 10 bis 15 mm, 16 bis 25 mm, 26 bis 35 mm und 36 bis 40 mm untersucht. Von jedem dieser 12 Plattentypen sollten drei Originalplatten geliefert werden. Aus jeder dieser Platten sollten dann zwei Versuchskörper herausgeschnitten werden, und zwar je einer mit Faserverlauf der Deckfurniere parallel bzw. rechtwinklig zur Probenlängsrichtung (vgl. Bild 4). Da die Firma III die hierzu erforderlichen Plattengrößen aus herstellungstechnischen Gründen nicht liefern konnte, wurden die sechs Prüfkörper je Plattentyp in diesem Falle ersatzweise aus sechs verschiedenen, kleineren Originalplatten hergestellt.

Die Kennzeichnung der Prüfkörper wurde wie folgt vorgenommen:

Firma . Nenndicke . Plattennummer . Faserrichtung der Deckfurniere.

Die Faserrichtung der Deckfurniere bezüglich der Richtung der Scherkraft wurde dabei mit L ("längs") bzw. Q ("quer") gekennzeichnet. Von jeder Platte wurden an den vier Rändern Proben der Abmessungen 50 x 50 mm entnommen, die zur Bestimmung der Dicke, des Furnieraufbaues und der Holzeigenschaften herangezogen wurden.

Die Rohdichte ρ wurde nach DIN 52 374 und der Feuchtigkeitsgehalt u nach DIN 52 375 ermittelt. Die in DIN 68 705 Teil 5 gestellten Anforderungen an den Feuchtigkeitsgehalt ($5 \% \leq u \leq 15 \%$) wurden von allen Platten erfüllt.

Aus den Messungen der Furnierdicken und der gesamten Plattendicken wurden die Plattenaufbaufaktoren berechnet. Als Plattenaufbaufaktor δ wird das Verhältnis zwischen der Summe der Dicken aller Furniere, deren Faserrichtung parallel zur Faserrichtung der Deckfurniere verläuft, und der gesamten Plattendicke bezeichnet:

$$\delta = \frac{\sum t_{\parallel}}{t} \quad (13)$$

6 Versuchsdurchführung und Brucherscheinungen

6.1 Große Scherproben

Die Prüflast wurde von einem Kolben einer 400 kN-Prüfanlage aufgebracht. Die Versuchseinrichtung mit eingebautem Versuchskörper und applizierter Meßeinrichtung ist in Bild 9 dargestellt.

Bei den ersten Versuchen wurde die Prüflast kontinuierlich bis zum Bruch gesteigert. Dabei wurde auch die Stauchung Δ_M als Mittel aus den Meßwerten beider Wegaufnehmer mit Hilfe eines X-Y-Schreibers aufgezeichnet. Nach dem ersten völligen Versagen eines Prüfkörpers (siehe Bild 10) wurde der Versuchsablauf geändert, um Beschädigungen der Wegaufnehmer zu vermeiden. Nach einer Belastung bis etwa zur halben Bruchlast wurde der Versuchskörper wieder entlastet, um die Meßvorrichtung abzubauen. Anschließend erfolgte der Bruchversuch mit einer Belastungsgeschwindigkeit, die nach 3 ± 1 min. zum Bruch führte.

Versuchskörper mit typischen Bruchscherflächen enthalten die Bilder 11 bis 13.

Bei den dünnen Platten war vereinzelt ein völliges Versagen des Scherkörpers zu beobachten (siehe Bild 10 und 14).

6.2 Kleine Scherproben

Die Prüflast wurde vom Kolben einer 100 kN-Prüfmaschine aufgebracht. Die Scherprobe wurde dabei mit einer konstanten Verformungsgeschwindigkeit von 2 mm/min kontinuierlich bis zum Bruch belastet.

Typische Bruchbilder abgescherter Proben sind in Bild 15 bis 17 wiedergegeben.

7 Ergebnisse der Versuche

Die Versuchsergebnisse wurden für alle 12 untersuchten Plattentypen in den Tabellen 1 bis 12 zusammengestellt. Die Tabellen enthalten für jede Platte das arithmetische Mittel der Plattendicken auf 0,05 mm genau, die Plattenaufbaufaktoren nach Gl. (13), die Plattenfeuchten sowie die mittleren Plattenrohdichten.

Des Weiteren sind die nachstehend beschriebenen Versuchsergebnisse in diese Tabellen eingetragen.

7.1 Große Scherproben

7.1.1 Schubmodul G

Die Arbeitslinie eines Prüfkörpers, bei dem der Scherbruch innerhalb des Meßbereiches verläuft, ist in Bild 18 dargestellt. Man erkennt einen deutlich ausgeprägten linearen Verlauf bis etwa zur 0,4-fachen Höchstlast. Danach wachsen die Verformungen überproportional bis zur Höchstlast an. Tritt das Versagen außerhalb des Meßbereiches ein, so ergab sich eine typische Arbeitslinie wie in Bild 19 dargestellt. Auch hier zeigt sich eine Geradlinigkeit zwischen F_K und $\Delta_{M(\text{Versuch})}$ bis zu etwa 40 % der Höchstlast. Der Bruch trat in solchen Fällen aber mehr oder weniger unvorhergesehen ein, weil die Bruchscherfuge mit den großen Verformungen außerhalb des Meßbereiches lag.

Aus den Arbeitslinien ist ersichtlich, daß eine zulässige Scherspannung innerhalb des geradlinigen Verlaufes, d.h. etwa unterhalb der 0,4-fachen Scherfestigkeit festgelegt werden sollte. Für die Bestimmung des Schubmoduls G nach den Gln. (10 bzw. 11) wurde die Anfangssteigung der Arbeitslinien herangezogen.

In den Tabellen 1 - 12 sind die Werte für G_L und G_Q getrennt für jede Platte mit einer Genauigkeit von 5 N/mm^2 angegeben. Die Indices "L" bzw. "Q" bezeichnen die Kraft-richtung bezüglich der Faserrichtung der Deckfurniere (vgl. Abschnitt 5). Ferner wurden das Verhältnis G_Q/G_L sowie Mittelwert und Standardabweichung des Schubmoduls für jeden Plattentyp angegeben.

In Bild 20 ist der Verlauf des Schubmoduls G in Abhängigkeit von der Plattendicke t dargestellt. Dabei wurde eine Trennung nach den Herstellfirmen der Platten vorgenommen.

7.1.2 Scherfestigkeit τ

Bei allen Versuchen trat ein eindeutiges Scherversagen zwischen den Laschen ein.

Die nach Gl. (4) ermittelten Scherfestigkeiten sind in den Tabellen 1 - 12 zusammengefaßt.

Auch hier wurden die Indices "L" bzw. "Q" verwendet, um zu unterscheiden, ob die Scherfuge parallel ("L") oder rechtwinklig ("Q") zur Faserrichtung der Deckfurniere verlief.

In Bild 21 sind die Scherfestigkeiten in Abhängigkeit von der Plattendicke dargestellt. Eine Trennung der untersuchten Platten nach den drei Herstellfirmen ließ vor allem im unteren Dickenbereich deutliche Festigkeitsunterschiede erkennen. Der Einfluß der Plattendicke scheint aber gering zu sein.

7.2 Kleine Scherproben; Scherfestigkeit τ

Die Einzelergebnisse sind in den Tabellen 1 - 12 zusammenge-

faßt. Die Abhängigkeit zwischen Scherfestigkeit und Plattendicke ist in Bild 22 dargestellt. Dabei wurde wiederum eine Trennung nach den Herstellfirmen vorgenommen.

8 Auswertung der Versuche

In den Bildern 20 bis 22 sind alle Versuchswerte für den Schubmodul G und die Scherfestigkeiten τ bzw. T der kleinen bzw. großen Prüfkörper getrennt nach Herstellfirmen in Abhängigkeit von der Plattendicke t eingetragen. Die eingezeichneten Regressionsgeraden und die zugehörigen Korrelationskoeffizienten R deuten darauf hin, daß T ($R = 0,06$) und G ($R = 0,13$) konstant verlaufen, während τ ($R = 0,33$) mit wachsender Plattendicke abfällt. Diese Abhängigkeit kann wegen der großen Streuung der Versuchswerte um die Regressionsgerade jedoch nicht als gesichert gelten. Während insgesamt gesehen bei den Firmen I und II die Scherfestigkeit kleiner Proben mehr oder weniger konstant bleibt, war nur bei den dickeren Platten der Firma III ein deutlicher Abfall der Scherfestigkeit gegenüber den dünnen Platten festzustellen.

Die Streuungen der Versuchswerte nehmen mit zunehmender Plattendicke ab. Dies ist darauf zurückzuführen, daß Bau-Furniersperrholz mit zunehmender Dicke "homogener" wird. Die Wahrscheinlichkeit, daß eine außerordentlich schwache oder starke Furnierlage innerhalb einer Platte auftritt, ist bei dickeren Platten zwar größer, ihr Einfluß auf das Tragverhalten der Platte nimmt jedoch ab.

Für jede einzelne Platte wurde das Verhältnis der beiden Scherfestigkeiten τ und T zueinander berechnet und in Bild 23 dargestellt. Dabei wurde für τ bzw. T jeweils der Mittelwert aus Längs- und Querversuch verwendet.

Da bei der Scherfestigkeit τ kleiner Scherproben größere Streuungen auftraten als bei der Scherfestigkeit T großer Scherproben, sind für τ die Mittelwerte aus Längs- und Querversuch weniger zuverlässig als die zugehörigen Werte für T , wodurch die beträchtliche Streuung dieser Einzelwerte um die Regressionsgerade zu erklären ist.

Außerdem wurden sämtliche Versuchswerte eines Plattentyps zusammengefaßt und zur Bestimmung seines mittleren τ/\bar{T} -Verhältnisses herangezogen. Hierdurch erreicht man eine bessere Abschätzung für die mittleren Scherfestigkeiten τ und \bar{T} und somit auch für das Verhältnis τ/\bar{T} . Wie aus Bild 23 ersichtlich ist, passen sich diese mittleren Verhältnismerte dem Verlauf der Regressionsgerade deutlich besser an. Führt man eine Regressionsanalyse mit diesen Mittelwerten durch, so ergibt sich zwar dieselbe Regressionsgleichung, der Korrelationskoeffizient steigt aber von $R = 0,53$ auf $0,73$.

Der Einfluß der Rohdichte auf die Scherfestigkeiten und die Schubmoduln wurde untersucht. Eine Tendenz, nach der mit steigender Rohdichte die Festigkeit und der Schubmodul zunehmen, ist erkennbar. Der Rohdichtebereich insgesamt war jedoch zu gering, um zahlenmäßige Abhängigkeiten daraus herleiten zu können.

Auch der Plattenaufbaufaktor δ hat auf die absoluten Werte der Scherfestigkeiten und der Schubmoduln großer Probekörper offenbar keinen merklichen Einfluß. Die Streuung der Werte ist bereits so groß, daß ein möglicher Einfluß des Aufbaufaktors, der selbst nur zwischen $0,5$ und $0,6$ schwankte, nicht erkennbar wird. Berechnet man jedoch für jede Platte das Verhältnis τ_Q/τ_L , so ist eine Abhängigkeit vom zugehörigen Aufbaufaktor erkennbar (siehe Bild 24). Dies wurde aber nur bei den kleinen Scherkörpern deutlich, da bei den großen Scherkörpern durchweg die Scherfestigkeiten T_Q und T_L etwa gleich groß waren. Dies steht mit den unterschiedlichen Prüfverfahren bei den großen und kleinen Proben in Zusammenhang. Bei den großen Proben erfolgt der Bruch in der schwächsten Fuge des Versuchskörpers, während er bei den kleinen Proben in einer vorgegebenen Scherfläche erzwungen wird.

Zwischen Schubmodul G und Scherfestigkeit T großer Proben besteht eine recht enge Abhängigkeit, die in Bild 25 dargestellt ist. Für die Regressionsgerade wurde ein Korrelationskoeffizient von $R = 0,71$ ermittelt.

9 Zusammenfassung

An Bau-Furniersperrholzplatten BFU-BU nach DIN 68 705 Teil 5 wurden Scherversuche rechtwinklig zur Plattenebene zur Ermittlung der Schubmoduln und der Scherfestigkeiten durchgeführt. Die Platten im Dickenbereich zwischen 10 und 40 mm stammten aus drei verschiedenen Herstellwerken in der Bundesrepublik Deutschland. Die Versuche wurden an großen Versuchskörpern in Anlehnung an die RILEM-Empfehlung aus dem Jahre 1981 durchgeführt. Kleine Vergleichsproben sollten den Einfluß der Probengröße und des Prüfverfahrens im Vergleich zu früheren Untersuchungen aufzeigen. Die wesentlichen Ergebnisse sind in Tabelle 13 übersichtlich zusammengestellt.

Bei den großen Scherkörpern wurde eine mittlere Scherfestigkeit von $\bar{T} = 11,50 \text{ mm}^2$ ermittelt. Die Standardabweichung betrug $s = 1,05 \text{ N/mm}^2$ entsprechend einem Variationskoeffizienten von 9,1 %. Die Gesamtprobenzahl betrug 70. Hierbei war kein Einfluß der Plattendicke t oder des Plattenaufbaufaktors δ festzustellen.

Die mittlere Scherfestigkeit kleiner Scherproben betrug ungeachtet der Plattendicke $\bar{\tau} = 14,62 \text{ N/mm}^2$ mit einer Standardabweichung von $s = 1,52 \text{ N/mm}^2$ ($V = 10,4 \%$). Hierbei ist allerdings zu berücksichtigen, daß von den Platten der Firma III doppelt so viele Versuche durchgeführt wurden, wie von den Platten der Firmen I und II.

Die unterschiedlichen Werte für die Scherfestigkeiten \bar{T} und $\bar{\tau}$, ermittelt an großen und kleinen Proben, sind sowohl auf die Probengröße als auch auf das Prüfverfahren zurückzuführen. Während sich bei den Großversuchen die Scherbruchebeine an der schwächsten Stelle des Prüflings einstellt, wird sie bei

den kleinen Prüfkörpern von vornherein vorgegeben. Bei den großen Scherkörpern wird die gesamte Platte einer Schubbeanspruchung unterworfen, während bei den kleinen Scherproben ein Durchstanzen an vorgegebener Stelle erzwungen wird. Ein Unterschied in der Scherfestigkeit je nach Verlauf der Faserrichtung der Deckfurniere bezüglich der Kraftrichtung ("längs" oder "quer") wurde an den großen Prüfkörpern nicht festgestellt. Im Falle kleiner Proben war ein vom Plattenaufbaufaktor abhängiges Verhältnis τ_Q/τ_L feststellbar, was aber dem Prüfverfahren zuzuschreiben sein dürfte.

Für die Verwendung von mindestens fünflagigen BFU-BÜ-Platten in tragenden Konstruktionen ist eine Unterscheidung nach der Faserrichtung der Deckfurniere im Falle des Abscherens rechtwinklig zur Plattenebene daher nicht erforderlich. Die charakteristische Scherfestigkeit als 5 %-Fraktile mit einer Aussagewahrscheinlichkeit von 75 % ergibt sich unter Annahme einer Normalverteilung sämtlicher Versuchswerte ungeachtet der Plattendicken und der Herkunft der Platten zu

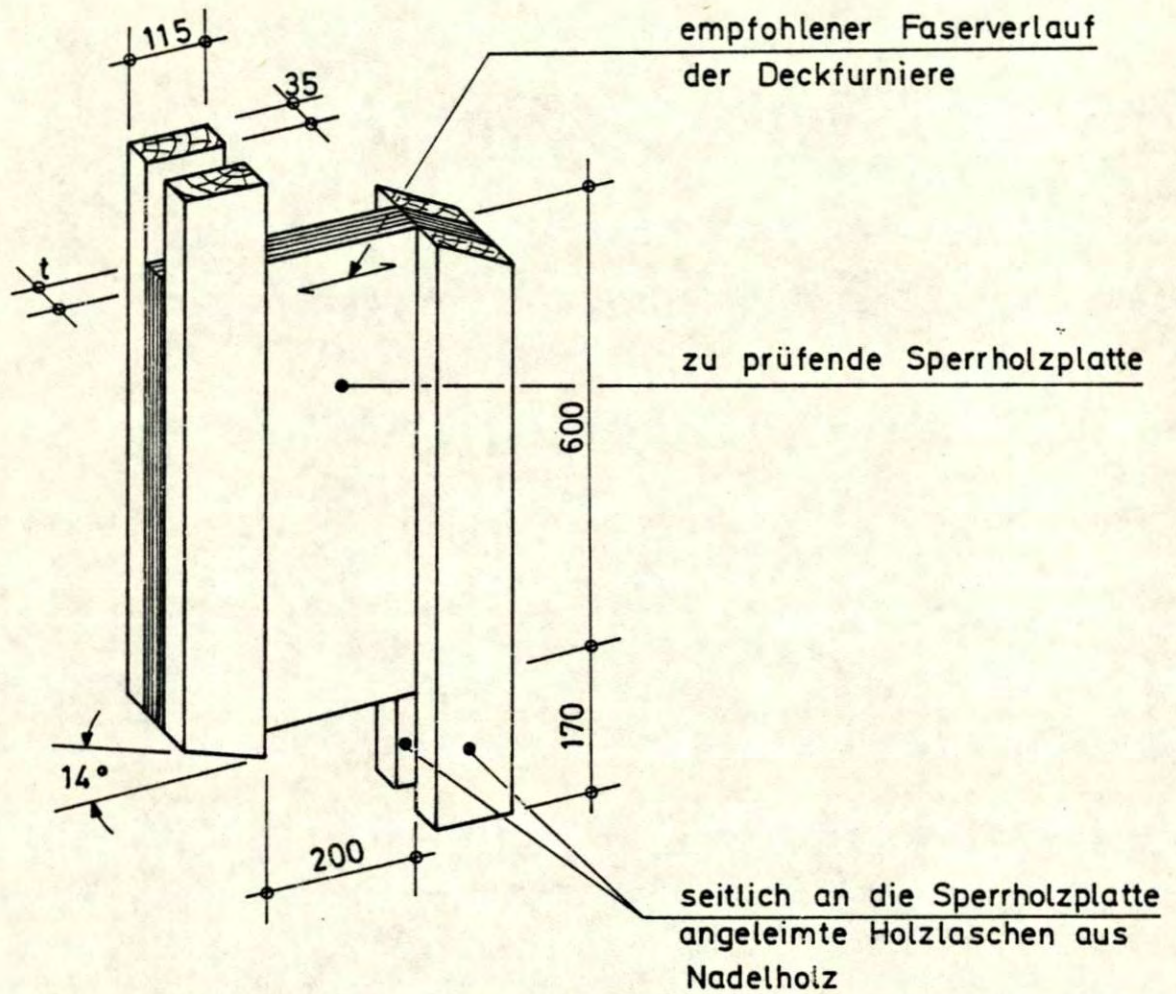
$$T_K = 11,50 - 1,78 \cdot 1,05 = 9,6 \text{ N/mm}^2.$$

Bei Qualitätskontrollen zur Überprüfung der Scherfestigkeit sollte beachtet werden, daß die Verwendung kleiner Scherproben mit erzwungener Scherfläche höhere Scherfestigkeiten liefert als die Prüfung an Proben großer Abmessungen. Bei den in dieser Untersuchung verwendeten Proben haben sich Unterschiede bis zu 30 % ergeben. Diese Abweichungen erwiesen sich jedoch als dickenabhängig und sind bei dünnen Platten größer als bei dicken.

Der Schubmodul ist für den untersuchten Dickenbereich praktisch dickenunabhängig. Er betrug im Mittel 760 N/mm^2 mit einer Standardabweichung von $76,5 \text{ N/mm}^2$ entsprechend einem Variationskoeffizienten von $10,1 \%$.

10 SCHRIFTTUM

- [1] International Union of Testing and Research Laboratories for Research and Testing (RILEM): Testing Methods for Plywood in Structural Grades for Use in Load-Bearing Structures. RILEM-Recommendation TT2. 1st Edition, August 1981.
- [2] Möhler K. und J. Ehlbeck: Kurzzeit- und Dauerstandversuche zur Ermittlung der statischen und Dauerstandfestigkeit von Bau-Furnierplatten. Berichte aus der Bauforschung Heft 92, Holzbau-Versuche V. Teil, W. Ernst u. Sohn, Berlin 1974.
- [3] American Society for Testing and Materials: Standard Methods of Testing. Plywood in Shear Through-The-Thickness. ANSI/ASTM Standard D 2719-76. Philadelphia, Penn., USA, 1976.



Maße in mm

Bild 1: Prüfkörper der RILEM-Recommendation TT2 [1]

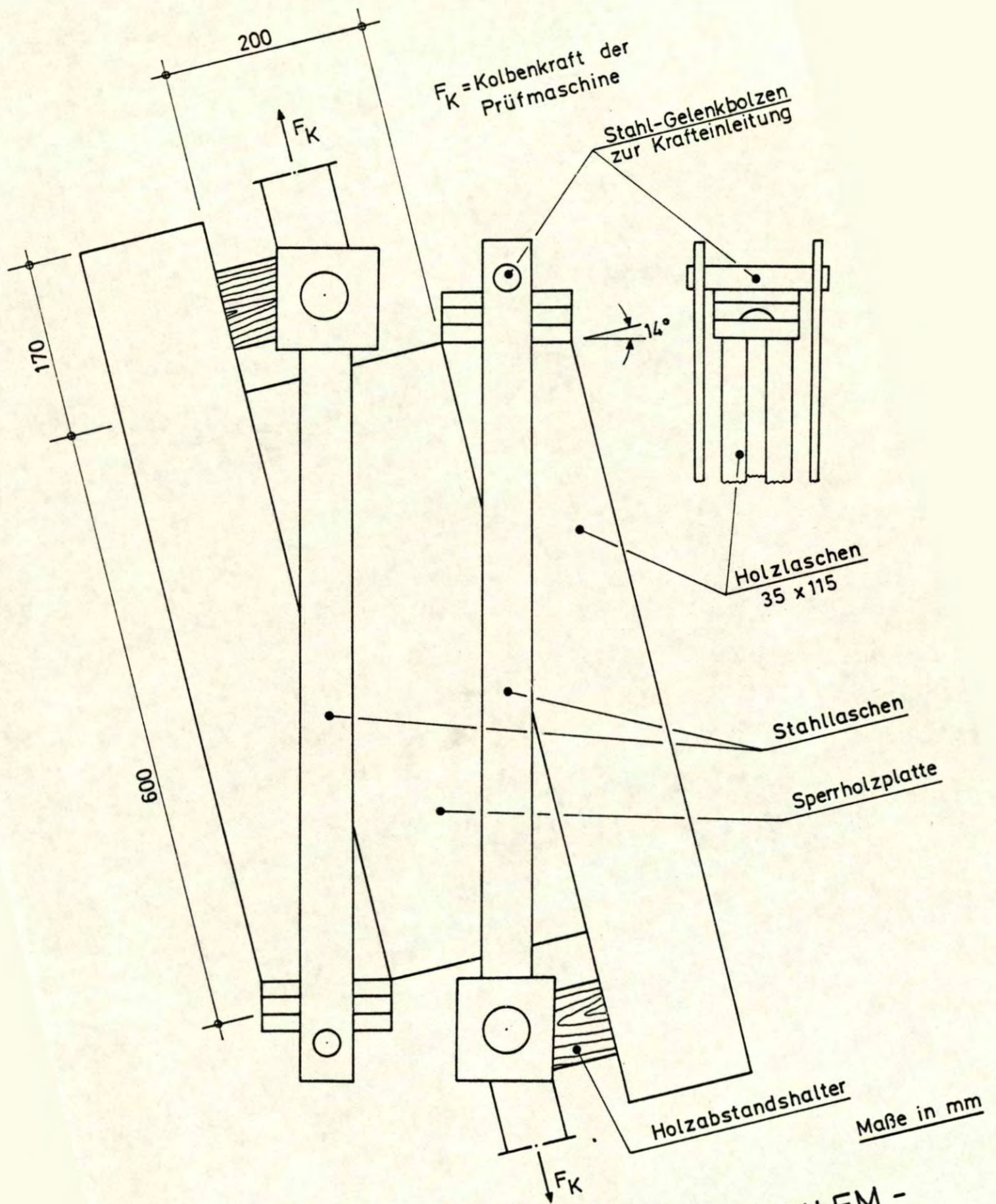


Bild 2: Versuchsanordnung nach RILEM -
Recommendation TT2 [1]

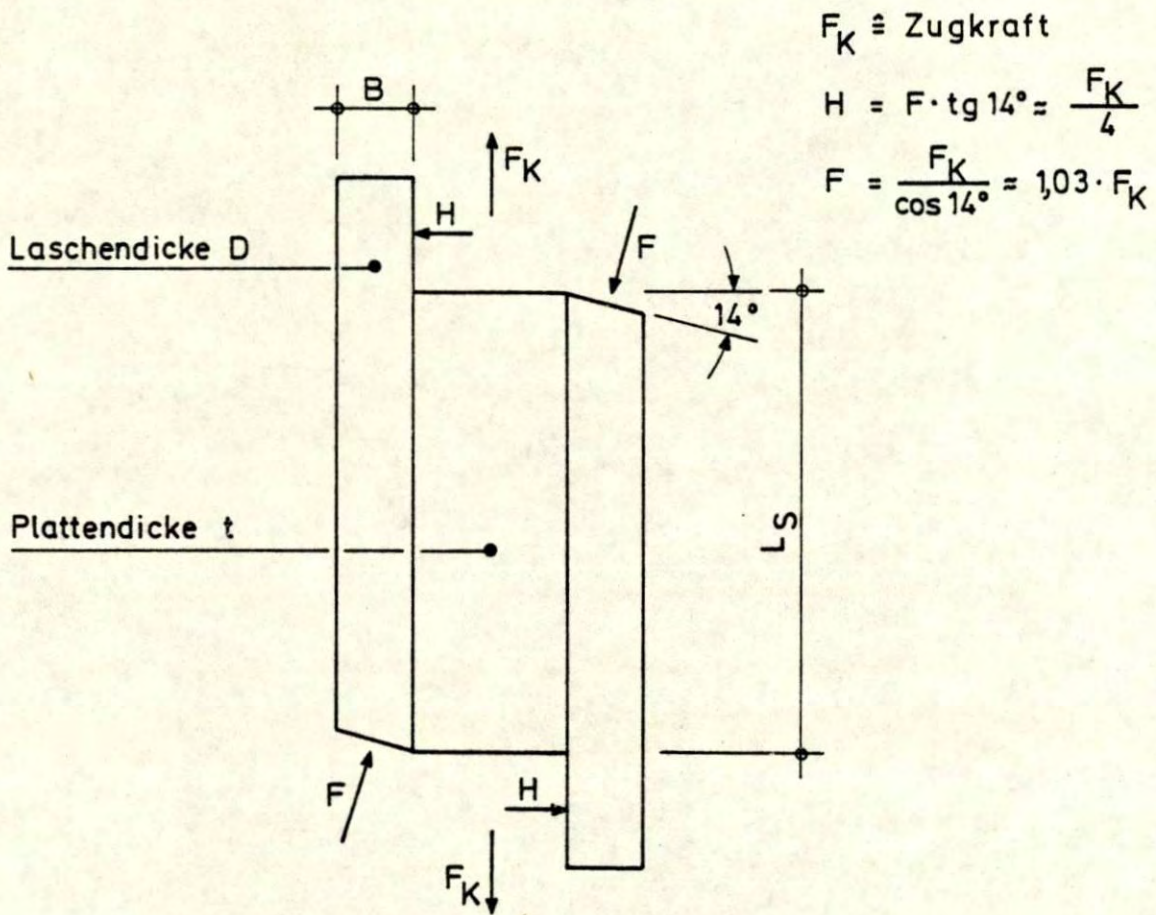


Bild 3: Krafteinwirkung auf den Versuchskörper

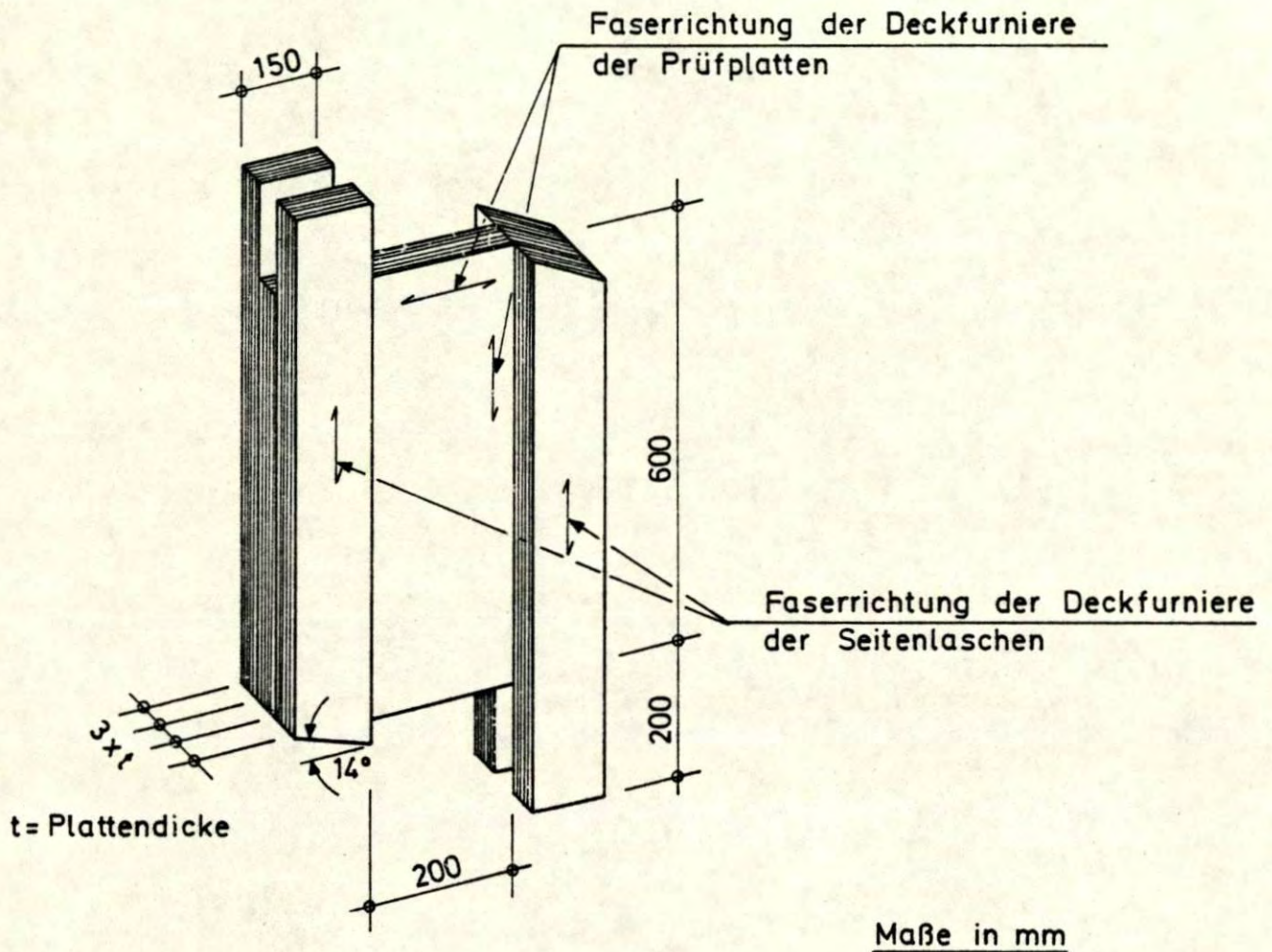
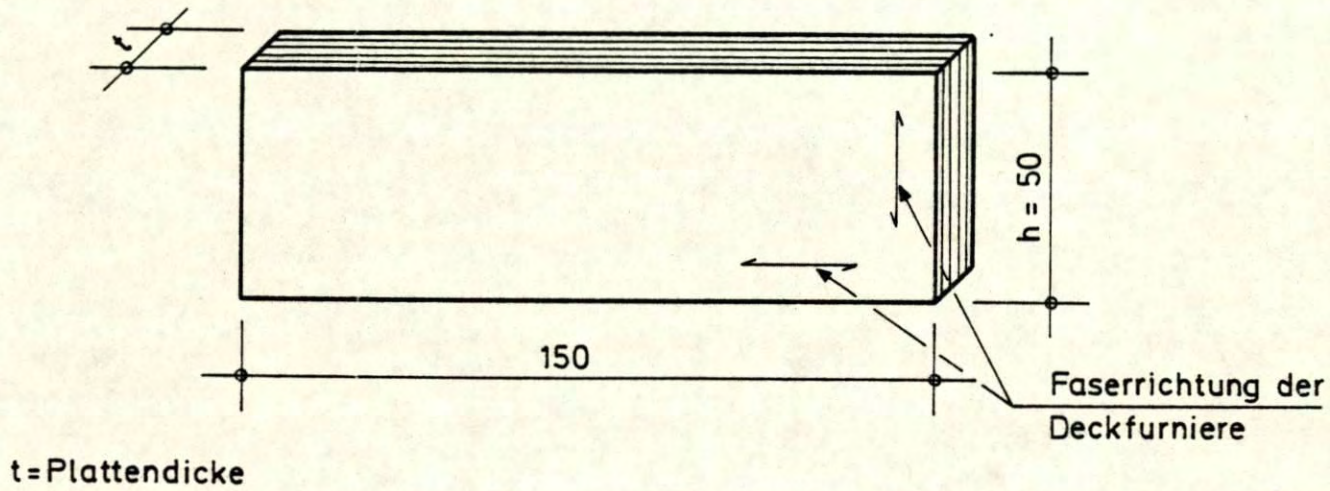


Bild 4: Gewählte Prüfkörperform zur
Bestimmung der Scherfestigkeit T



Maße in mm

Bild 5: Prüfkörperform zur Bestimmung der Scherfestigkeit τ

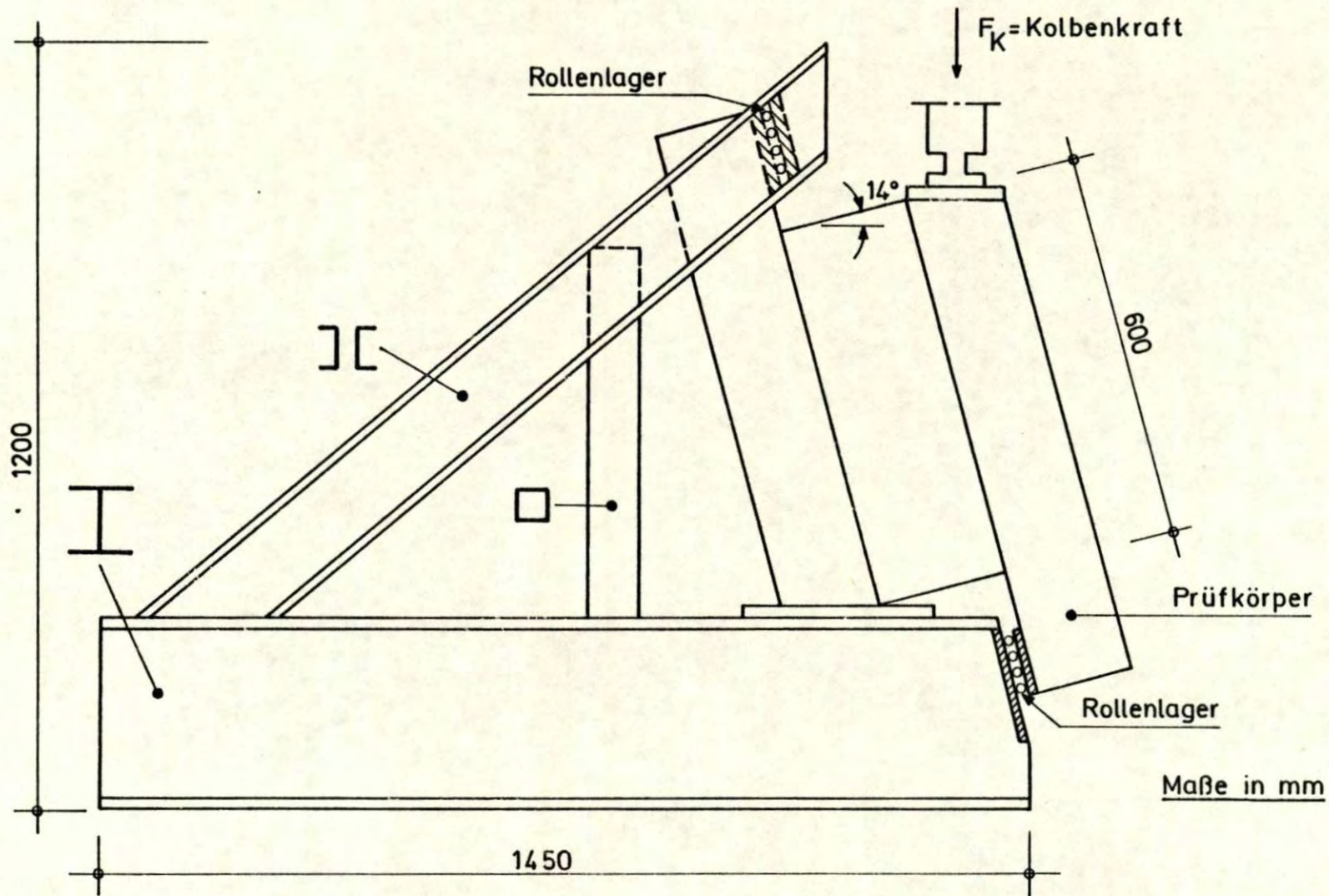


Bild 6: Versuchseinrichtung zur Ermittlung der Scherfestigkeit rechtwinklig zur Plattenebene von großen Probekörpern aus Bau-Furniersperrholz

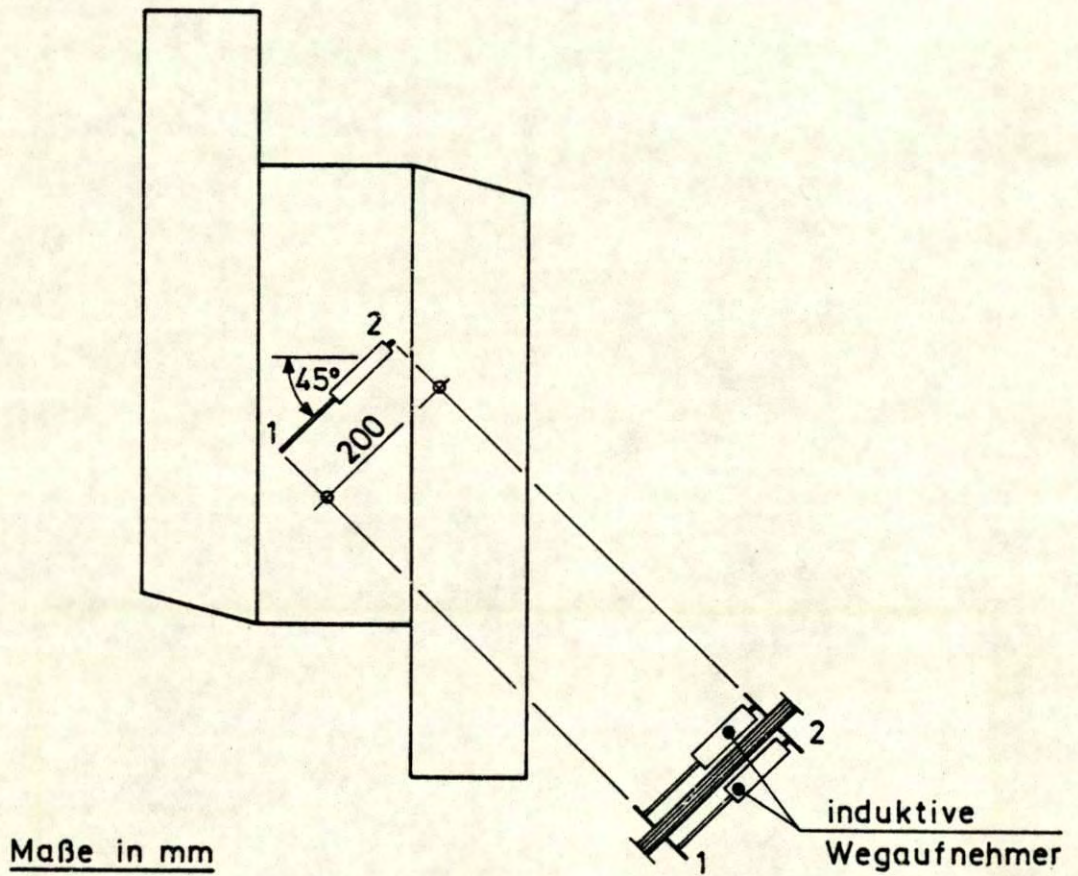


Bild 7: Meßeinrichtung zur Bestimmung
des Schubmoduls G

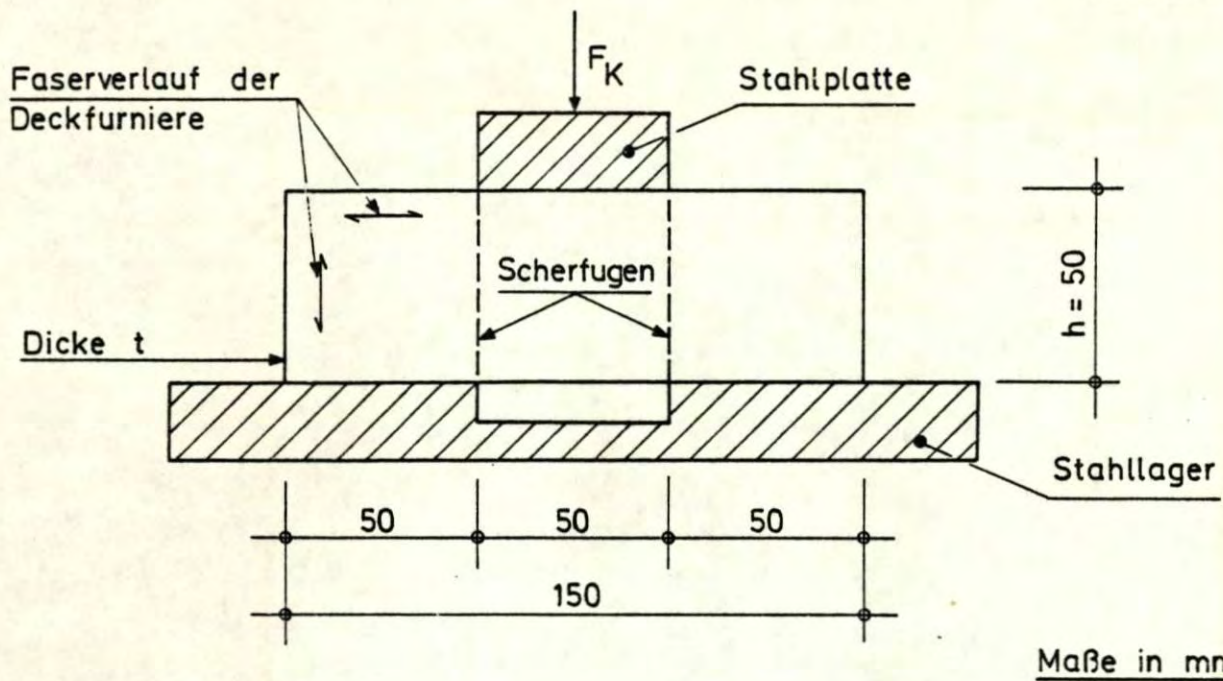


Bild 8 a: Prüfkörperform und Versuchsanordnung zur Bestimmung der Scherfestigkeit τ kleiner Scherproben (nach [21])

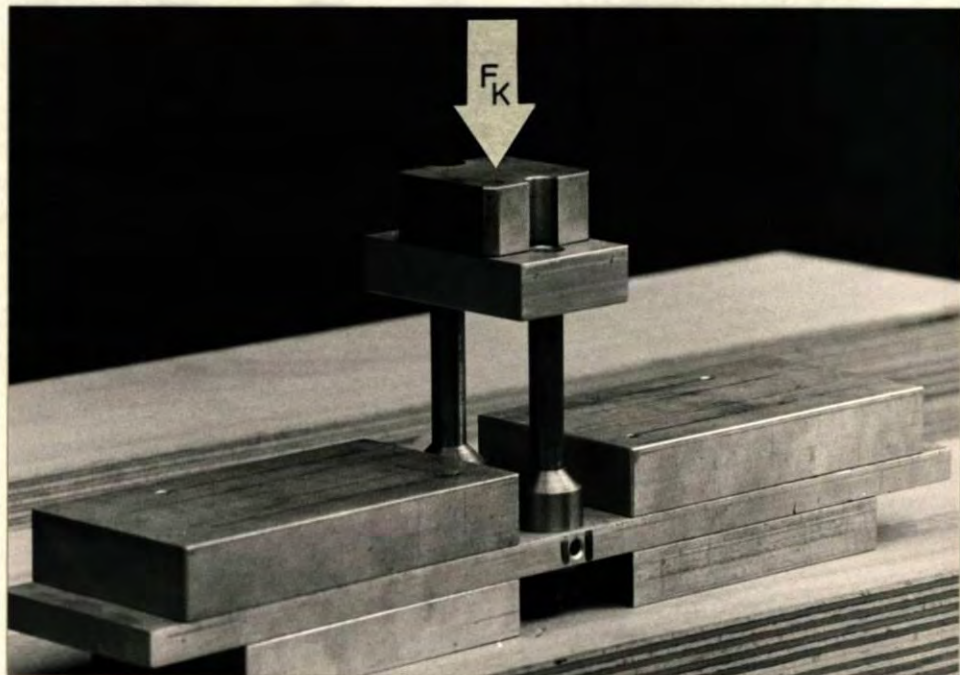


Bild 8 b: Versuchseinrichtung zur Bestimmung der Scherfestigkeit kleiner Proben

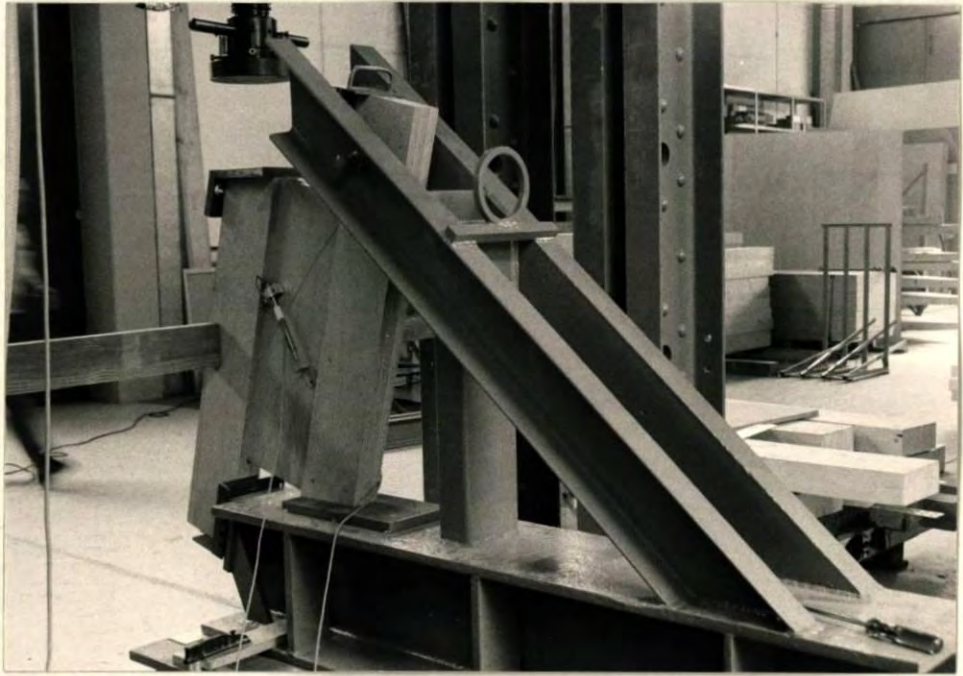


Bild 9a: Prüfeinrichtung und eingebauter Prüfkörper mit Meßeinrichtung



Bild 9b: Prüfeinrichtung und eingebauter Prüfkörper mit Meßeinrichtung

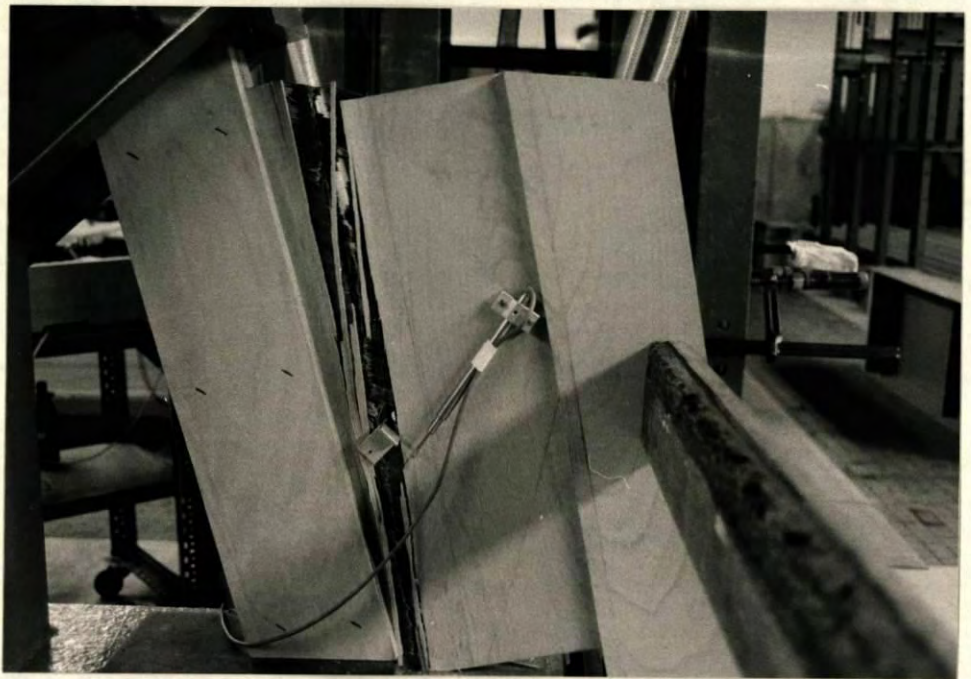


Bild 10: Bruchbild eines Prüfkörpers

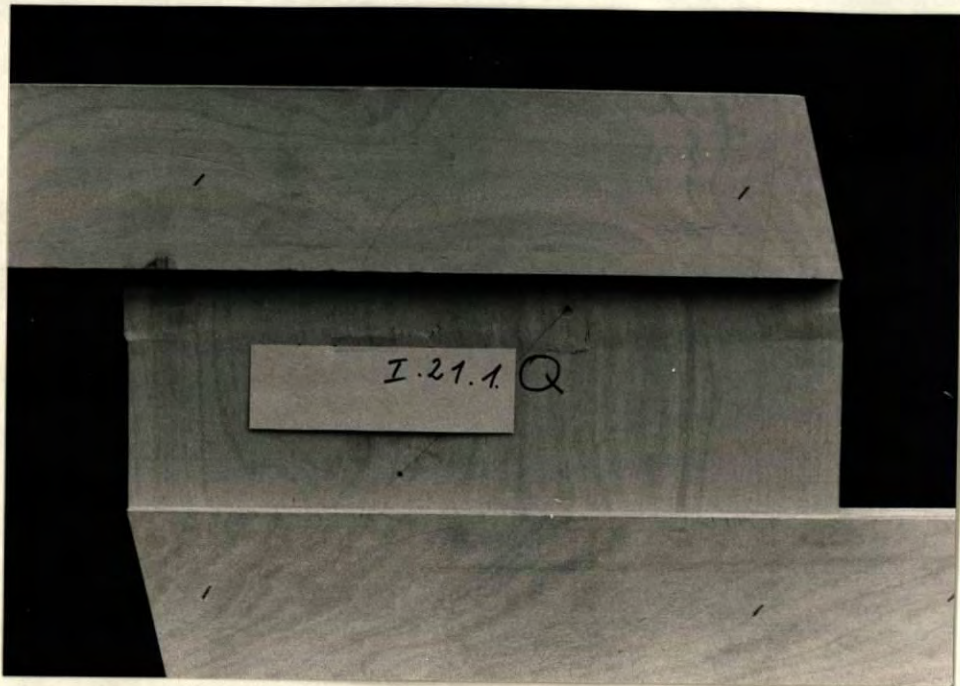


Bild 11a: Prüfkörper I.21.1.Q nach dem Bruchversuch

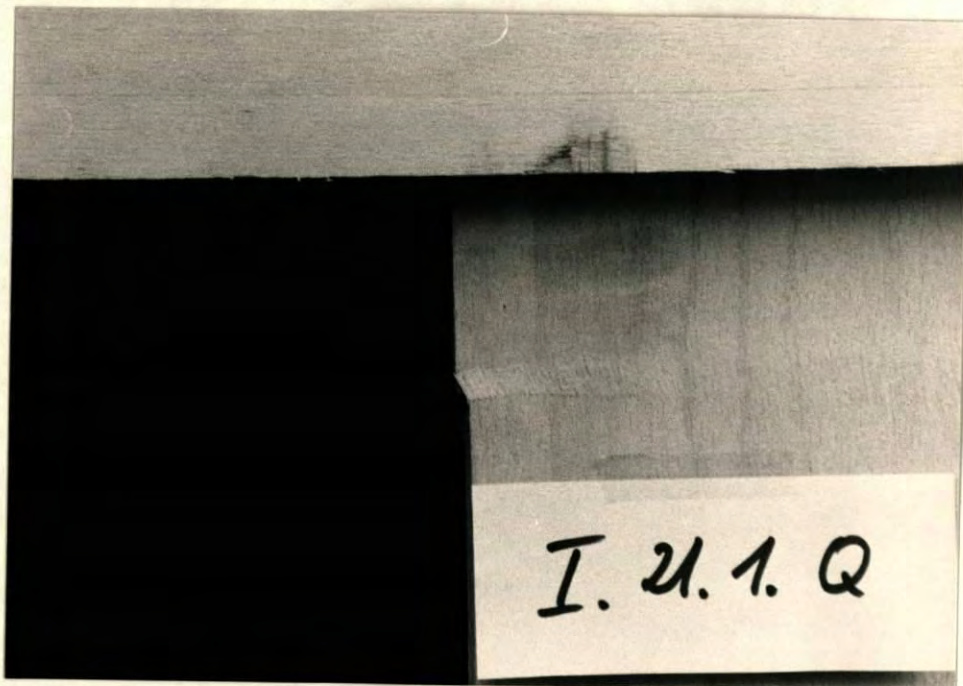


Bild 11b: Detail aus Bild 11a



Bild 12a: Versuchskörper II.15.2.Q nach dem Bruchversuch

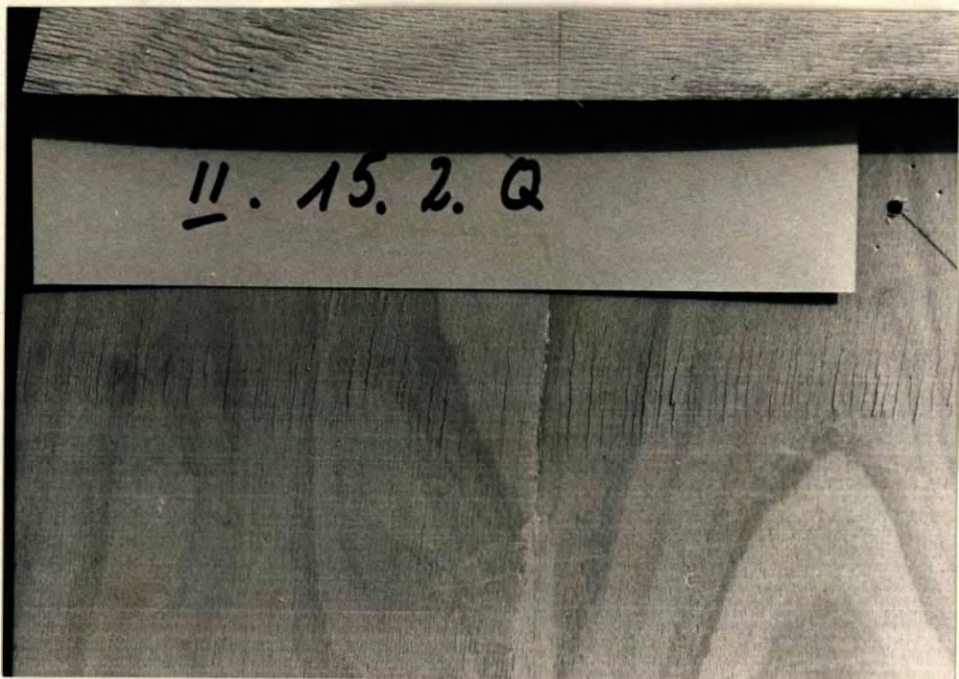


Bild 12b: Detail aus Bild 12a



Bild 13a: Versuchskörper II.40.3 L nach dem Bruchversuch

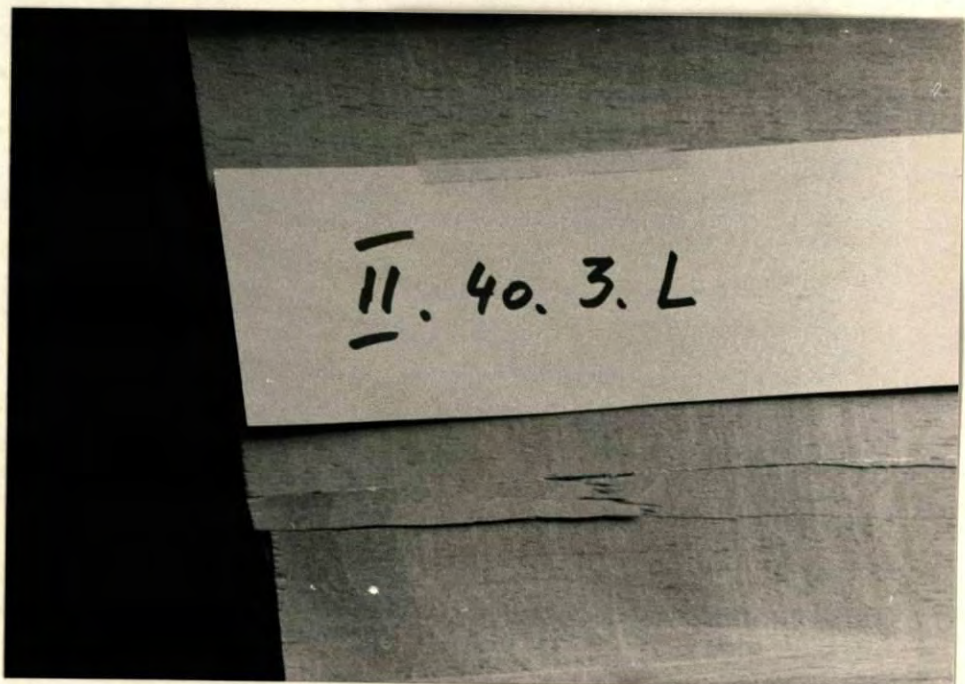


Bild 13b: Detail aus Bild 13a

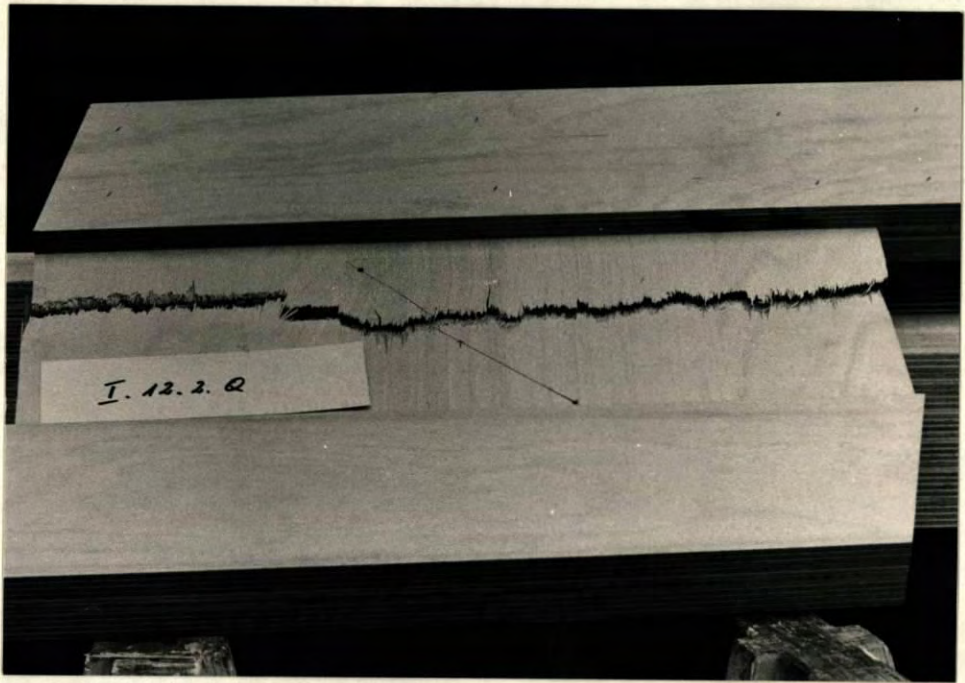


Bild 14: Versuchskörper nach völligem Versagen der Platte

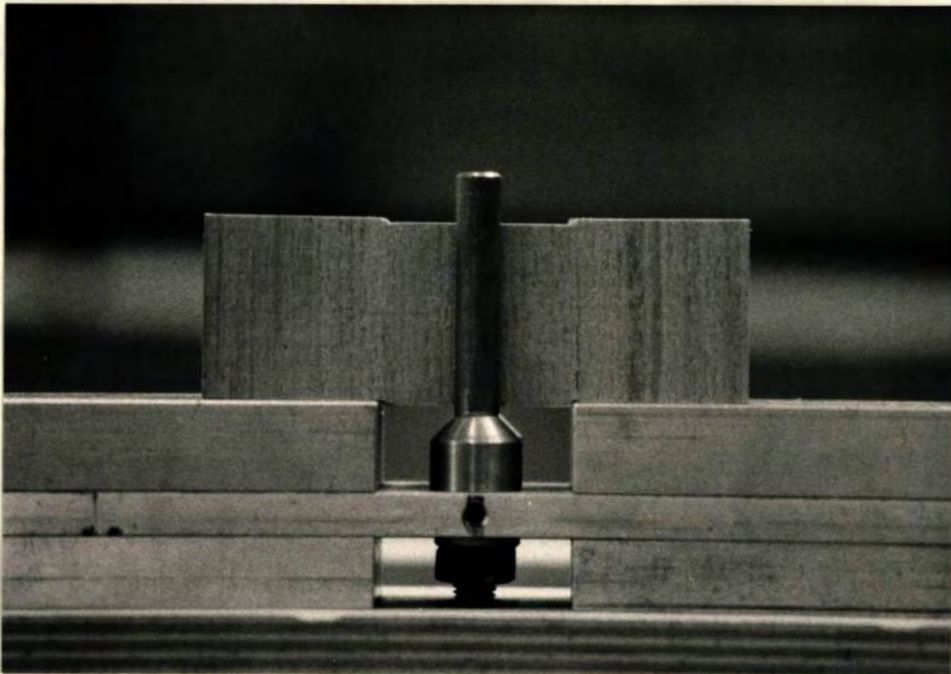


Bild 15: Versuchseinrichtung nach Bild 8 mit abgeschertem Versuchskörper

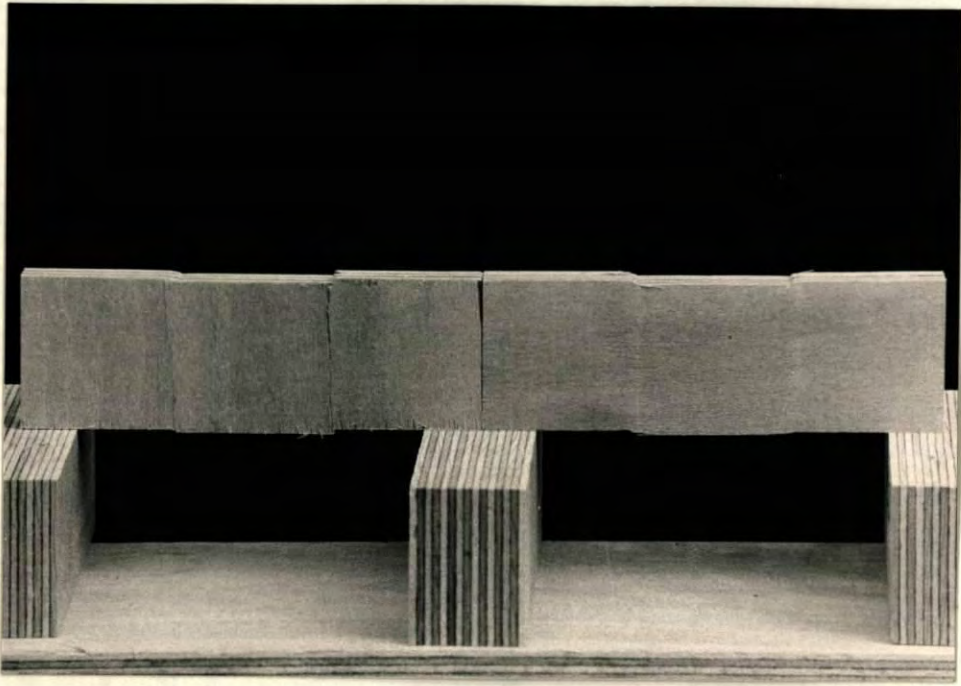


Bild 16: Bruchbilder kleiner Scherproben
(dünne Platten)

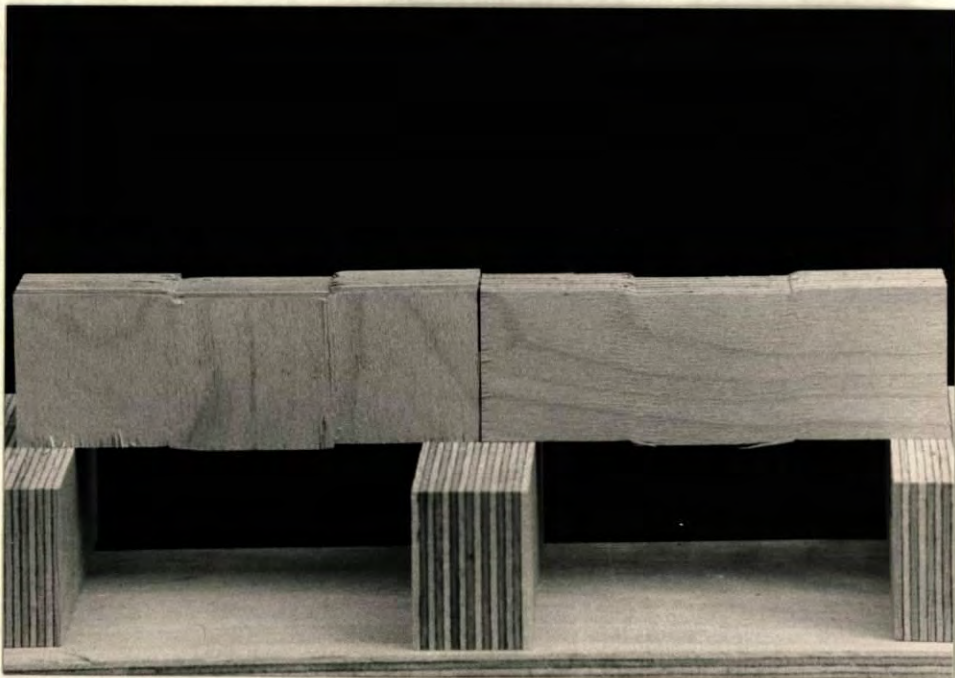


Bild 17: Bruchbilder kleiner Scherproben
(dicke Platten)

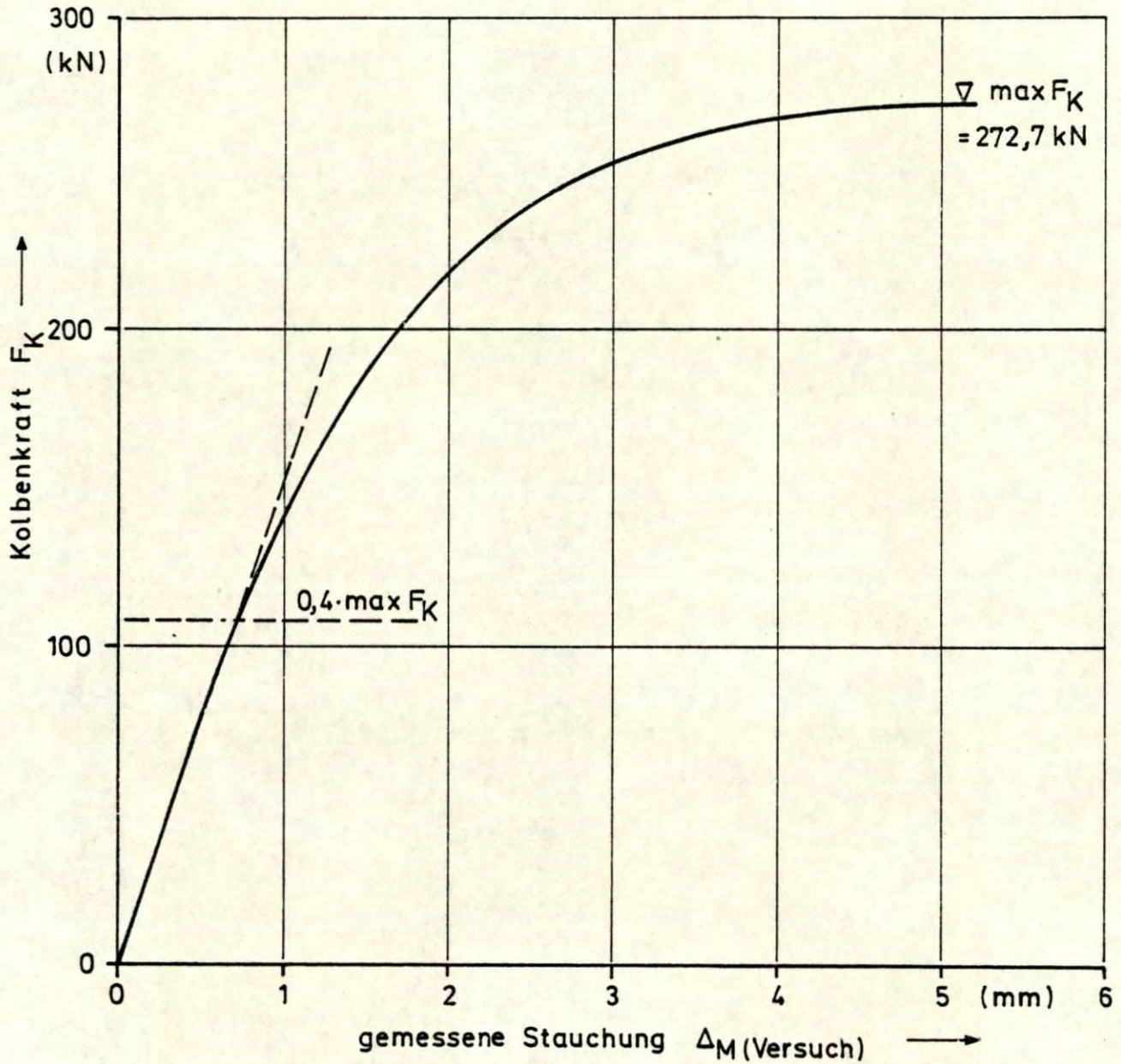


Bild 18: Arbeitslinie eines Prüfkörpers mit Scherbruch innerhalb des Meßbereiches (Versuchskörper I.40.1.L)

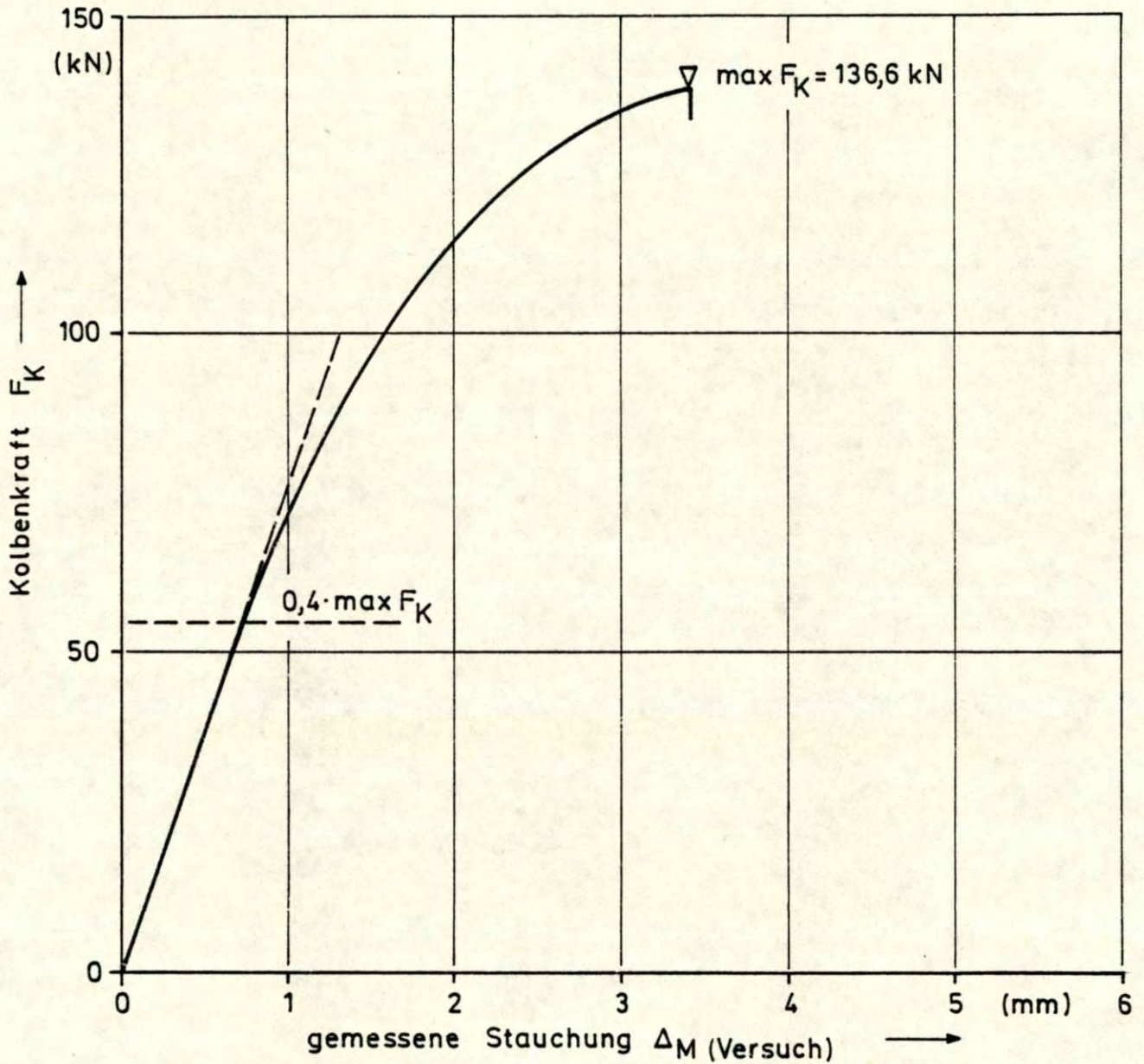


Bild 19: Arbeitslinie eines Prüfkörpers mit Scherbruch außerhalb des Meßbereiches (Versuchskörper I. 21.3.L)

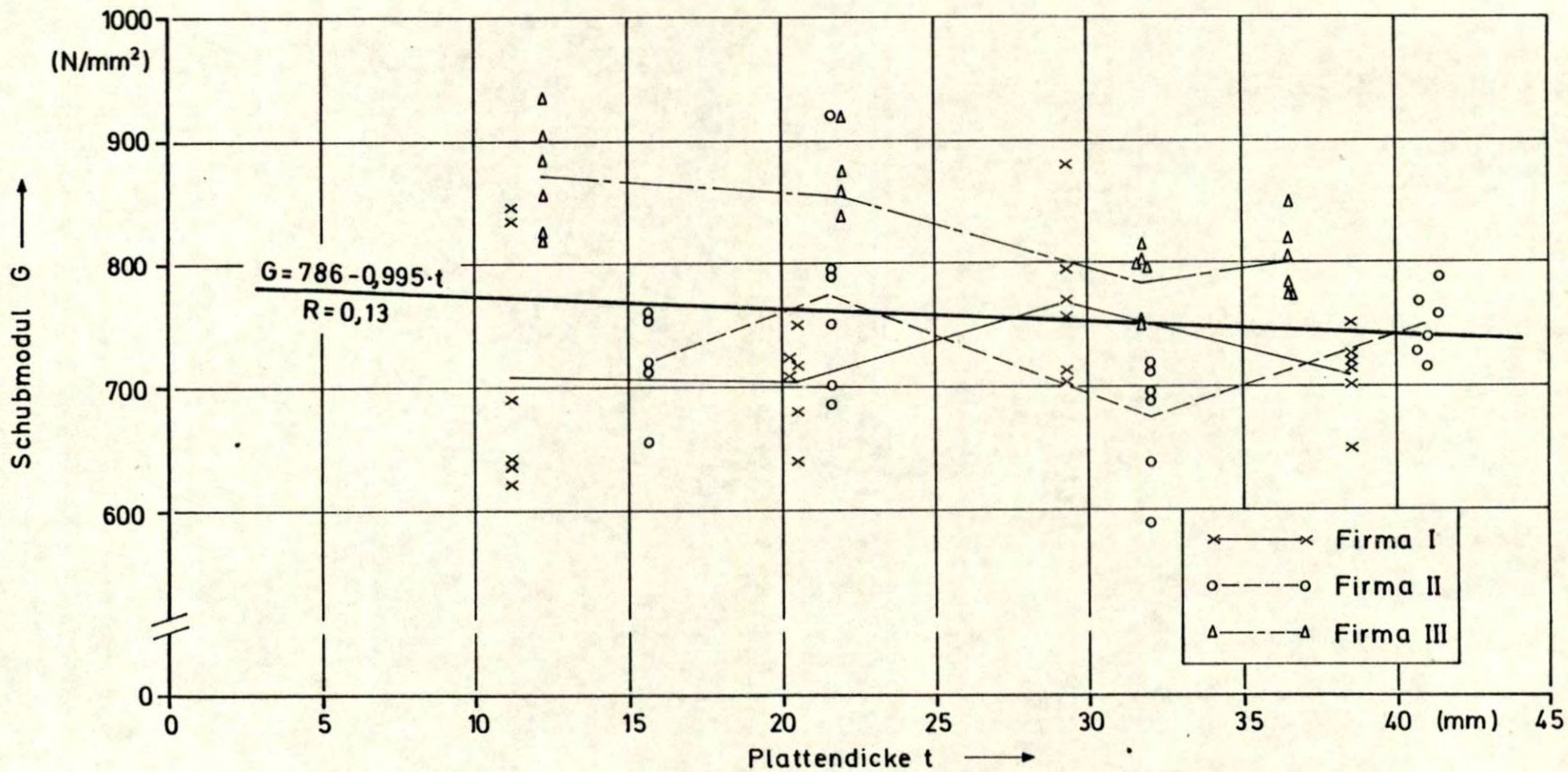


Bild 20: Schubmodul G in Abhängigkeit von der Plattendicke t

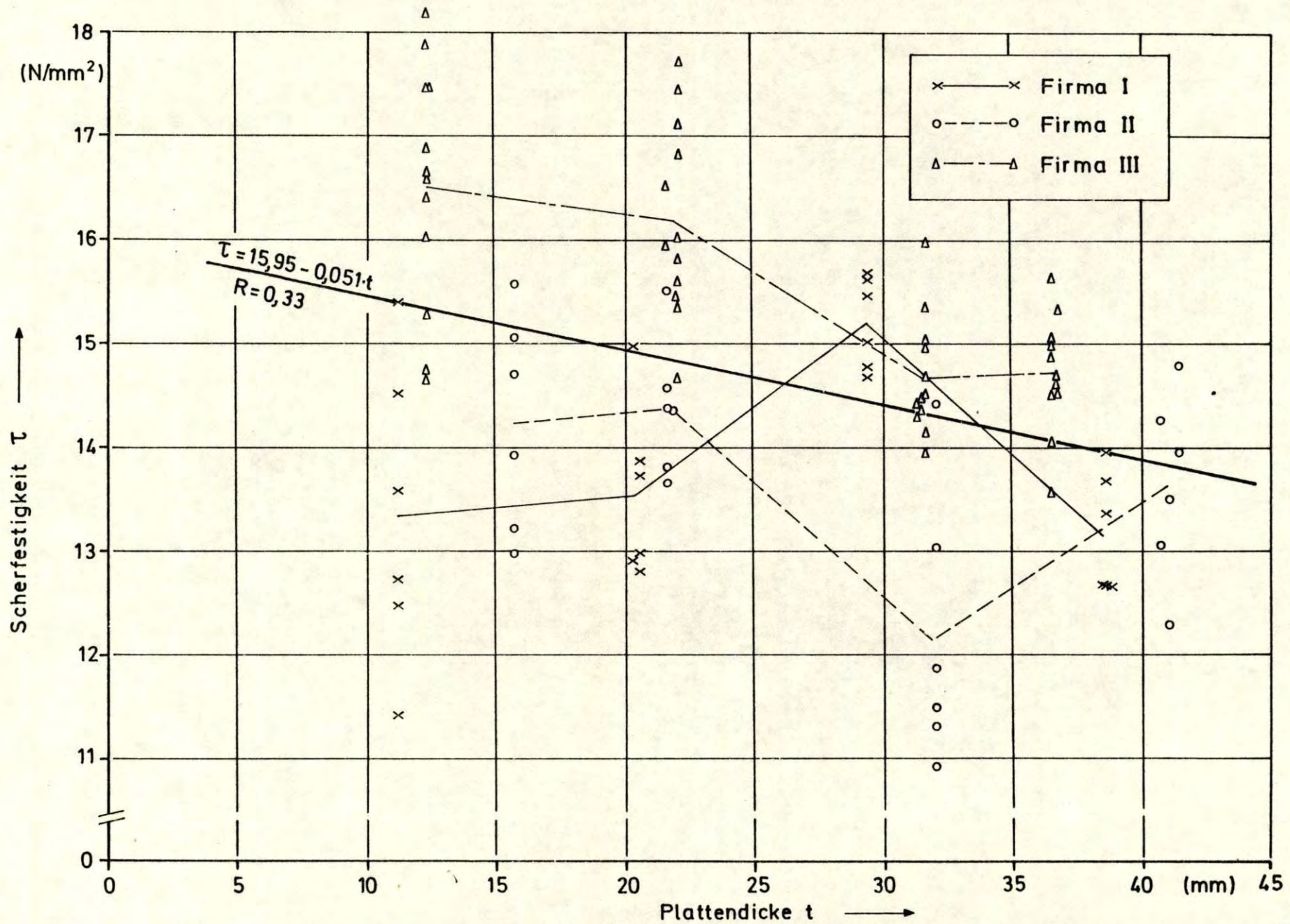


Bild 22: Scherfestigkeit τ in Abhängigkeit von der Plattendicke t
 (kleine Scherproben)

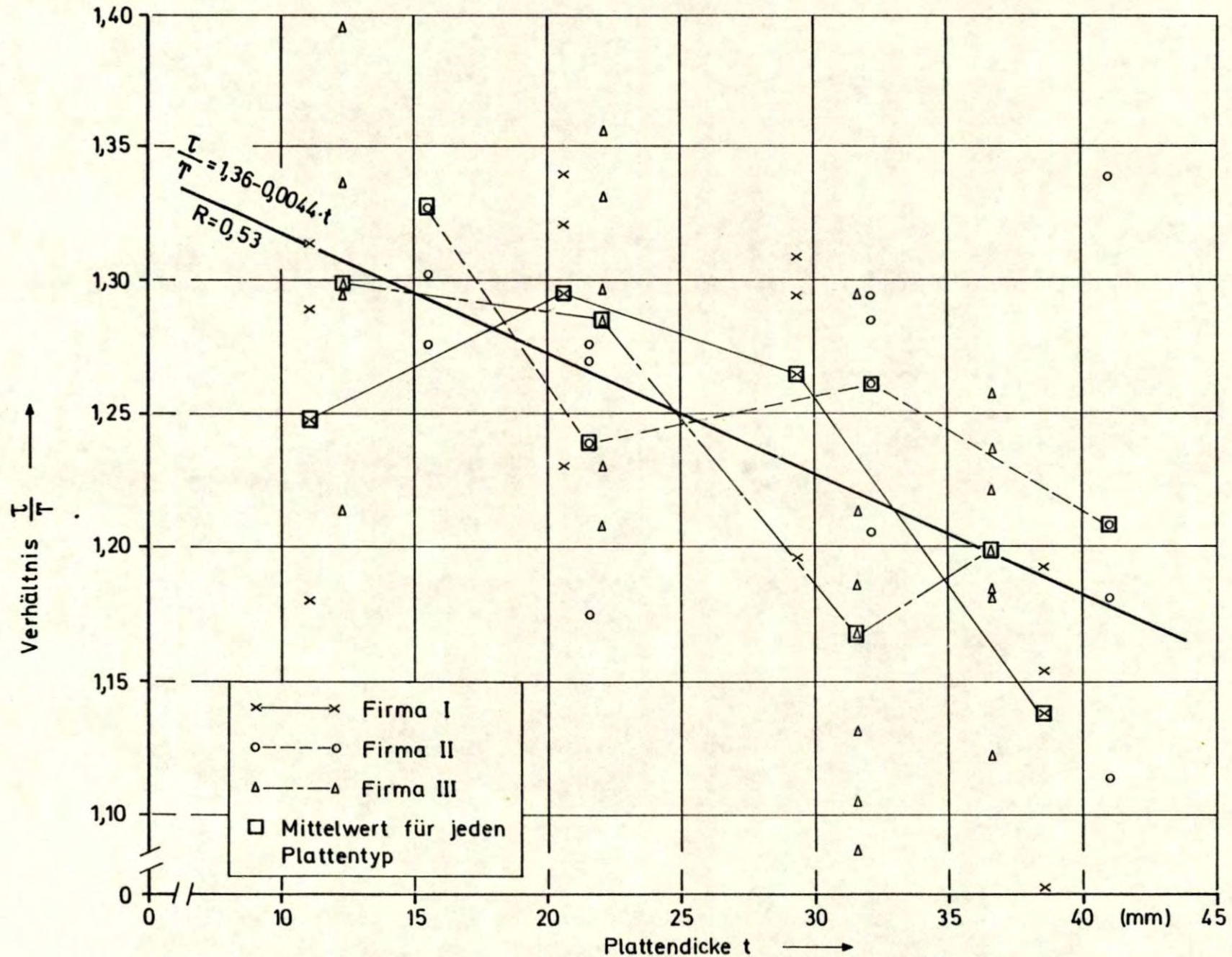


Bild 23: Verhältnis τ/T in Abhängigkeit von der Plattendicke t

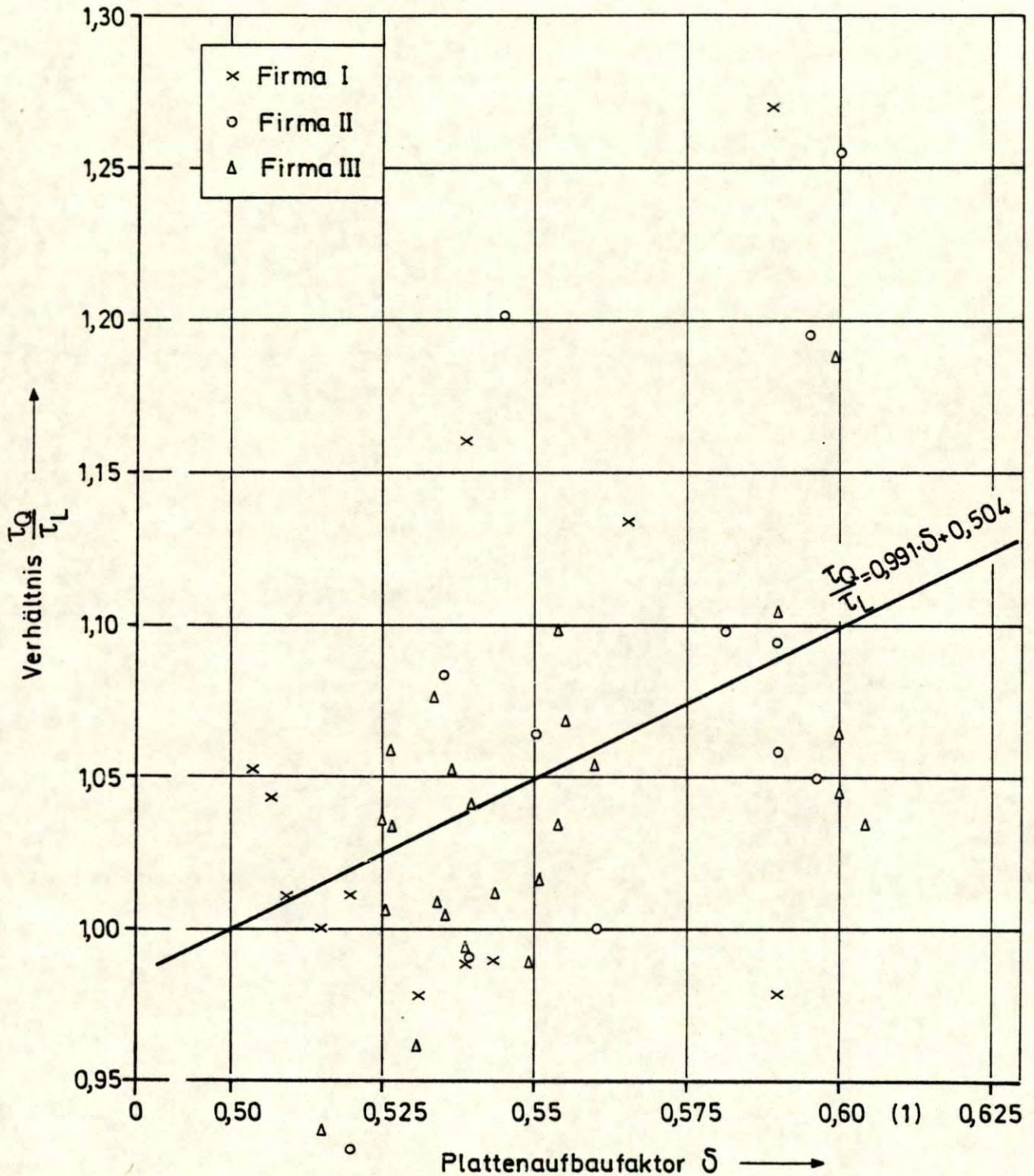


Bild 24: Verhältnis τ_Q/τ_L kleiner Scherproben in Abhängigkeit vom Plattenaufbaufaktor δ

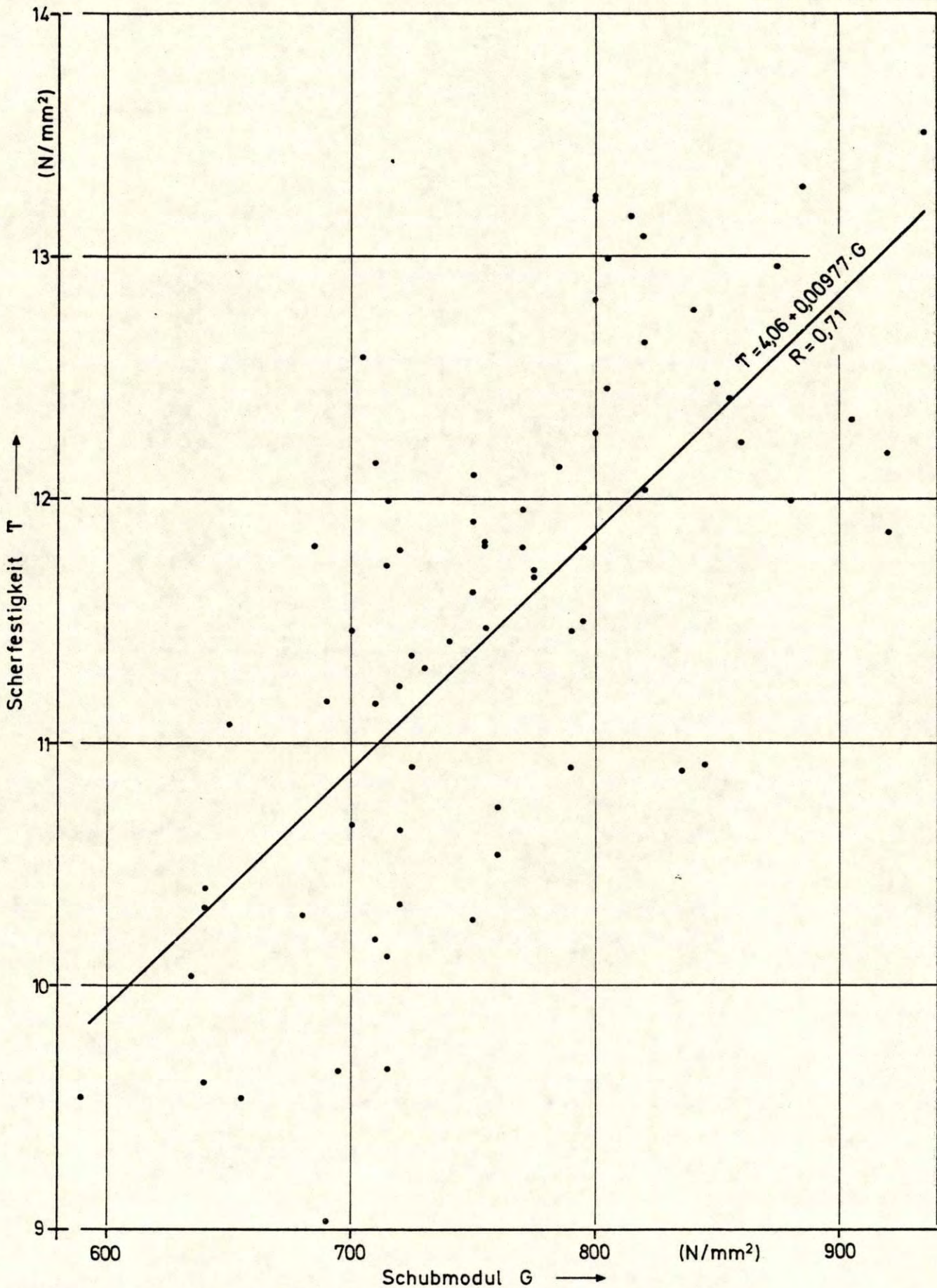


Bild 25: Scherfestigkeit T in Abhängigkeit vom Schubmodul G (große Proben)

Tabelle 1 : Materialeigenschaften und Versuchsergebnisse

Platte	Dicke t mm	Platten- aufbau- faktor δ	Feucht.- gehalt u %	Roh- dichte ρ g/cm ³	Schubmodul		Scherfestigkeit großer Scherproben		Scherfestigkeit kleiner Scherproben	
					G_L N/mm ²	G_Q N/mm ²	T_L N/mm ²	T_Q N/mm ²	τ_L N/mm ²	τ_Q N/mm ²
I.12.1	11,10	0,590	8,4	0,701	640	845	10,40	10,91	12,70	12,43
I.12.2	11,05	0,588	8,7	0,694	635	620	10,04	(8,78) ¹⁾	11,40	14,48
I.12.3	11,05	0,566	8,5	0,680	690	835	11,17	10,88	13,57	15,38
Mittelwerte \bar{x}_L, \bar{x}_Q					655	767	10,54	10,90	12,56	14,10
Verhältnis \bar{x}_Q/\bar{x}_L					1,17		1,03		1,12	
Mittelwert \bar{x}					711		10,68		13,33	
Stand.-abw. s					103		0,45		1,45	
Verhältnis τ/T					1,248					

1) Wegaufnehmer wurde zu spät abgebaut, so daß bei Wiederbelastung keine Laststeigerung mehr möglich war

Tabelle 2 : Materialeigenschaften und Versuchsergebnisse

Platte	Dicke t mm	Platten- aufbau- faktor δ	Feucht.- gehalt u %	Roh- dichte ρ g/cm ³	Schubmodul		Scherfestigkeit großer Scherproben		Scherfestigkeit kleiner Scherproben	
					G_L N/mm ²	G_Q N/mm ²	T_L N/mm ²	T_Q N/mm ²	τ_L N/mm ²	τ_Q N/mm ²
I.21.1	20,55	0,538	9,1	0,730	640	680	10,32	10,29	13,87	13,72
I.21.2	20,55	0,543	9,2	0,728	750	720	10,27	10,64	12,94	12,80
I.21.3	20,25	0,538	9,2	0,741	725	710	10,90	10,19	12,89	14,96
Mittelwerte \bar{x}_L, \bar{x}_Q					705	703	10,50	10,37	13,23	13,83
Verhältnis \bar{x}_Q/\bar{x}_L					1,00		0,99		1,04	
Mittelwert \bar{x}					704		10,44		13,53	
Stand.-abw. s					39		0,28		0,84	
Verhältnis τ/T					1,296					

Tabelle 3 : Materialeigenschaften und Versuchsergebnisse

Platte	Dicke t mm	Platten- aufbau- faktor δ	Feucht.- gehalt v %	Roh- dichte ρ g/cm ³	Schubmodul		Scherfestigkeit großer Scherproben		Scherfestigkeit kleiner Scherproben	
					G_L N/mm ²	G_Q N/mm ²	T_L N/mm ²	T_Q N/mm ²	τ_L N/mm ²	τ_Q N/mm ²
I.30.1	29,30	0,507	8,9	0,761	770	795	11,96	11,49	15,02	15,67
I.30.2	29,30	0,509	9,0	0,749	705	880	12,59	12,00	14,64	14,78
I.30.3	29,25	0,520	9,3	0,789	710	755	12,15	11,82	15,45	15,62
Mittelwerte \bar{x}_L, \bar{x}_Q					728	810	12,23	11,77	15,04	15,36
Verhältnis \bar{x}_Q/\bar{x}_L					1,11		0,96		1,02	
Mittelwert \bar{x}					769		12,00		15,20	
Stand.-abw. s					64		0,36		0,44	
Verhältnis τ/T					1,267					

Tabelle 4 : Materialeigenschaften und Versuchsergebnisse

Platte	Dicke t mm	Platten- aufbau- faktor δ	Feucht.- gehalt u %	Roh- dichte ρ g/cm ³	Schubmodul		Scherfestigkeit großer Scherproben		Scherfestigkeit kleiner Scherproben	
					G_L N/mm ²	G_Q N/mm ²	T_L N/mm ²	T_Q N/mm ²	τ_L N/mm ²	τ_Q N/mm ²
I.40.1	38,50	0,504	8,9	0,749	700	650	11,46	11,07	12,68	13,35
I.40.2	38,50	0,532	9,0	0,759	720	725	11,79	11,36	13,97	13,66
I.40.3	38,55	0,515	9,0	0,760	715	750	11,99	11,62	12,66	12,66
Mittelwerte \bar{x}_L, \bar{x}_Q					712	703	11,75	11,35	13,10	13,22
Verhältnis \bar{x}_Q/\bar{x}_L					1,00		0,97		1,01	
Mittelwert \bar{x}					710		11,55		13,16	
Stand.-abw. s					34		0,33		0,58	
Verhältnis τ/T					1,139					

Tabelle 5 : Materialeigenschaften und Versuchsergebnisse

Platte	Dicke t mm	Platten- aufbau- faktor δ	Feucht.- gehalt u %	Roh- dichte ρ g/cm ³	Schubmodul		Scherfestigkeit großer Scherproben		Scherfestigkeit kleiner Scherproben	
					G_L N/mm ²	G_Q N/mm ²	T_L N/mm ²	T_Q N/mm ²	τ_L N/mm ²	τ_Q N/mm ²
II.15.1	15,75	0,546	8,3	0,754	710	760	11,16	10,74	12,95	15,56
II.15.2	15,60	0,535	8,4	0,755	720	755	11,23	11,47	13,91	15,06
II.15.3	15,60	0,535	8,2	0,748	715	655	10,12	9,54	14,68	13,21
Mittelwerte \bar{x}_L, \bar{x}_Q					715	723	10,84	10,58	13,85	14,61
Verhältnis \bar{x}_Q/\bar{x}_L					1,01		0,98		1,05	
Mittelwert \bar{x}					719		10,71		14,23	
Stand.-abw. s					38		0,74		1,04	
Verhältnis τ/T					1,329					

Tabelle 6 : Materialeigenschaften und Versuchsergebnisse

Platte	Dicke t mm	Platten- aufbau- faktor δ	Feucht.- gehalt u %	Roh- dichte ρ g/cm ³	Schubmodul		Scherfestigkeit großer Scherproben		Scherfestigkeit kleiner Scherproben	
					G_L N/mm ²	G_Q N/mm ²	T_L N/mm ²	T_Q N/mm ²	τ_L N/mm ²	τ_Q N/mm ²
II.20.1	21,60	0,539	9,0	0,799	790	750	11,46	11,91	13,80	13,66
II.20.2	21,75	0,561	9,0	0,786	700	685	10,66	11,81	14,34	14,34
II.20.3	21,55	0,550	8,9	0,810	795	920	11,80	11,87	14,57	15,50
Mittelwerte \bar{x}_Q, \bar{x}_L					762	785	11,31	11,86	14,24	14,50
Verhältnis \bar{x}_Q/\bar{x}_L					1,03		1,05		1,02	
Mittelwert \bar{x}					773		11,59		14,37	
Stand.-abw. s					85		0,48		0,66	
Verhältnis τ/T					1,240					

Tabelle 7 : Materialeigenschaften und Versuchsergebnisse

Platte	Dicke t mm	Platten- aufbau- faktor δ	Feucht.- gehalt u %	Röh- dichte ρ g/cm ³	Schubmodul		Scherfestigkeit großer Scherproben		Scherfestigkeit kleiner Scherproben	
					G_L N/mm ²	G_Q N/mm ²	T_L N/mm ²	T_Q N/mm ²	τ_L N/mm ²	τ_Q N/mm ²
II.30.1	32,05	0,598	8,9	0,730	720	715	10,33	9,66	11,48	14,41
II.30.2	32,05	0,594	8,7	0,740	640	690	9,60	9,03	10,92	13,04
II.30.3	31,85	0,597	8,7	0,721	590	695	9,54	9,65	11,30	11,87
Mittelwerte \bar{x}_L, \bar{x}_Q					650	700	9,82	9,45	11,23	13,11
Verhältnis \bar{x}_Q/\bar{x}_L					1,08		0,96		1,17	
Mittelwert \bar{x}					675		9,64		12,17	
Stand.-abw. s					50		0,41		1,32	
					Verhältnis τ/T		1,262			

Tabelle 8 : Materialeigenschaften und Versuchsergebnisse

Platte	Dicke t mm	Platten- aufbau- faktor δ	Feucht.- gehalt u %	Roh- dichte ρ g/cm ³	Schubmodul		Scherfestigkeit großer Scherproben		Scherfestigkeit kleiner Scherproben	
					G_L N/mm ²	G_Q N/mm ²	T_L N/mm ²	T_Q N/mm ²	τ_L N/mm ²	τ_Q N/mm ²
II.40.1	41,40	0,589	9,2	0,753	760	790	10,54	10,90	13,96	14,78
II.40.2	40,65	0,588	9,1	0,745	730	770	11,31	11,80	13,04	14,27
II.40.3	41,05	0,582	9,1	0,733	740	715	11,42	11,73	12,28	13,50
Mittelwerte \bar{x}_L, \bar{x}_Q					743	758	11,09	11,48	13,09	14,18
Verhältnis \bar{x}_Q/\bar{x}_L					1,02		1,04		1,08	
Mittelwert \bar{x}					751		11,28		13,64	
Stand.-abw. s					28		0,49		0,90	
Verhältnis τ/T					1,209					

Tabelle 9 : Materialeigenschaften und Versuchsergebnisse

Platte	Dicke t mm	Platten- aufbau- faktor δ	Feucht.- gehalt u %	Roh- dichte ρ g/cm ³	Schubmodul		Scherfestigkeit großer Scherproben		Scherfestigkeit kleiner Scherproben	
					G _L N/mm ²	G _Q N/mm ²	T _L N/mm ²	T _Q N/mm ²	τ _L N/mm ²	τ _Q N/mm ²
III.12.1	12,20	0,607	7,8	0,740		885		13,29	17,46	16,39
III.12.2	12,30	0,598	7,9	0,756		820		12,04	14,72	17,48
III.12.3	12,25	0,600	7,9	0,747		905		12,33	14,61	15,27
III.12.4	12,20	0,590	8,0	0,756	935		13,51		16,64	18,36
III.12.5	12,25	0,604	8,3	0,754	825		(10,29) ¹⁾		16,00	16,57
III.12.6	12,25	0,600	8,3	0,771	855		12,42		16,82	17,88
			Mittelwerte	\bar{x}_L, \bar{x}_Q	872	870	12,97	12,55	16,04	17,60
			Verhältnis	\bar{x}_Q/\bar{x}_L	1,00		0,97		1,10	
			Mittelwert	\bar{x}	871		12,72		16,52	
			Stand.-abw.	s	46		0,64		1,20	
				Verhältnis τ/T	1,299					

¹⁾ Beim Versuch kippte der Kolben der Prüfmaschine weg

Tabelle 10 : Materialeigenschaften und Versuchsergebnisse

Platte	Dicke t mm	Platten- aufbau- faktor δ	Feucht.- gehalt u %	Roh- dichte ρ g/cm ³	Schubmodul		Scherfestigkeit großer Scherproben		Scherfestigkeit kleiner Scherproben	
					G_L N/mm ²	G_Q N/mm ²	T_L N/mm ²	T_Q N/mm ²	τ_L N/mm ²	τ_Q N/mm ²
III.21.1	21,85	0,556	8,2	0,767		840		12,78	16,02	17,12
III.21.2	22,00	0,552	8,1	0,768		875		12,96	17,45	17,73
III.21.3	21,90	0,548	8,2	0,740		860		12,24	15,80	15,62
III.21.4	21,75	0,554	8,1	0,758	920		12,19		15,95	16,51
III.21.5	21,95	0,554	8,2	0,737	820		13,09		15,35	16,86
III.21.6	21,80	0,560	8,2	0,749	805		12,46		14,68	15,46
Mittelwerte \bar{x}_Q, \bar{x}_L					848	858	12,58	12,66	15,88	16,55
Verhältnis \bar{x}_Q/\bar{x}_L					1,01		1,01		1,04	
Mittelwert \bar{x}					853		12,62		16,21	
Stand.-abw. s					41		0,38		0,93	
Verhältnis τ/T					1,284					

Tabelle 11 : Materialeigenschaften und Versuchsergebnisse

Platte	Dicke t mm	Platten- aufbau- faktor δ	Feucht.- gehalt u %	Roh- dichte ρ g/cm ³	Schubmodul		Scherfestigkeit großer Scherproben		Scherfestigkeit kleiner Scherproben	
					G _L N/mm ²	G _Q N/mm ²	T _L N/mm ²	T _Q N/mm ²	τ _L N/mm ²	τ _Q N/mm ²
III.31.1	31,65	0,539	8,8	0,766		750		12,10	15,36	15,99
III.31.2	31,80	0,527	8,8	0,760		800		12,27	14,15	14,97
III.31.3	31,75	0,543	8,6	0,773		815		13,17	14,49	14,65
III.31.4	31,45	0,536	8,5	0,765	800		13,23		14,37	14,44
III.31.5	31,80	0,533	8,6	0,773	800		12,82		13,96	15,03
III.31.6	31,20	0,534	8,7	0,771	755		11,81		14,29	14,42
Mittelwerte \bar{x}_Q, \bar{x}_L					785	788	12,62	12,51	14,44	14,92
Verhältnis \bar{x}_Q/\bar{x}_L					1,00		0,99		1,03	
Mittelwert \bar{x}					787		12,57		14,68	
Stand.-abw. s					27		0,59		0,57	
Verhältnis τ/T					1,168					

Tabelle 12 : Materialeigenschaften und Versuchsergebnisse

Platte	Dicke t mm	Platten- aufbau- faktor δ	Feucht.- gehalt u %	Roh- dichte ρ g/cm ³	Schubmodul		Scherfestigkeit großer Scherproben		Scherfestigkeit kleiner Scherproben	
					G_L N/mm ²	G_Q N/mm ²	T_L N/mm ²	T_Q N/mm ²	τ_L N/mm ²	τ_Q N/mm ²
III.36.1	36,45	0,536	9,1	0,768		850		12,48	14,87	15,64
III.36.2	36,55	0,527	8,8	0,756		775		11,71	14,50	14,99
III.36.3	36,65	0,531	8,5	0,749		820		12,65	15,33	14,68
III.36.4	36,65	0,536	8,4	0,763	805		12,99		14,62	14,52
III.36.5	36,50	0,526	8,7	0,761	785		12,13		14,96	15,07
III.36.6	36,55	0,525	9,0	0,746	775		11,68		13,57	14,06
Mittelwerte \bar{x}_Q, \bar{x}_L					788	815	12,27	12,28	14,64	14,83
Verhältnis \bar{x}_Q/\bar{x}_L					1,03		1,00		1,01	
Mittelwert \bar{x}					802		12,27		14,73	
Stand.-abw. s					30		0,53		0,55	
Verhältnis τ/T					1,200					

Tabelle 13 : Zusammenfassung der wesentlichen Ergebnisse

			Mittelwert \bar{x}	Standardabweichung s	Variationskoeffizient V
Feuchtegehalt	u	%	8,6	0,4	4,8
Rohdichte	ρ	g/cm ³	0,752	0,024	3,1
Schubmodul	G _L	N/mm ²	747	74,6	10,0
	G _Q		774	77,0	10,0
	G		760	76,5	10,1
Scherfestigkeit großer Proben	T _L	N/mm ²	11,50	1,06	9,2
	T _Q		11,50	1,06	9,2
	T		11,50	1,05	9,1
Scherfestigkeit kleiner Proben	τ_L	N/mm ²	14,27	1,51	10,0
	τ_Q		14,97	1,45	9,7
	τ		14,62	1,52	10,4