

**ENTWICKLUNG UND PRÜFUNG NEUER VERBINDUNGSMITTEL AUS HARTHOLZ,
PRESSSCHICHTHOLZ UND ÄHNLICHEN HOLZHALTIGEN WERKSTOFFEN
FÜR TRAGENDE VERBINDUNGEN IM HOLZBAU**

**Teil 3: Optimierung des Anschlußbildes und Entwicklung von
Bemessungsgrundlagen**

von

Jürgen Ehlbeck und Jürgen Kürth

Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine

Abt. Ingenieurholzbau

Universität Fridericiana Karlsruhe

Univ.-Professor Dr.-Ing. Jürgen Ehlbeck

1991

Inhaltsverzeichnis

1	Ziel des Forschungsvorhabens	1
2	Optimierung der Anschlußdichte	3
2.1	Allgemeines	3
2.2	Versuchsmaterial	3
2.3	Prüfkörper und Versuchsprogramm	4
2.4	Versuchseinrichtung und Durchführung	4
2.5	Versuchsauswertung	5
3	Bestimmung der Lochleibungsfestigkeit	7
3.1	Allgemeines	7
3.2	Versuchsmaterial	7
3.3	Prüfkörper und Versuchsprogramm	8
3.4	Versuchseinrichtung und Durchführung	8
3.5	Versuchsauswertung	9
4	Langzeitversuche	10
4.1	Allgemeines	10
4.2	Versuchsmaterial	10
4.3	Prüfkörper und Versuchsprogramm	11
4.4	Versuchseinrichtung und Durchführung	11
4.5	Versuchsauswertung	12

5	Ergänzende Versuche mit Stabdübeln aus Eiche, Buche und Bongossi	15
5.1	Allgemeines	15
5.2	Versuchsmaterial	15
5.3	Prüfkörper und Versuchsprogramm	16
5.4	Versuchseinrichtung und Durchführung	17
5.5	Versuchsauswertung	17
6	Ausblick	19
7	Zusammenfassung	20
8	Literatur	21
9	Anlagen	

Vorwort

Auf der Grundlage der ersten beiden Teile des Forschungsvorhabens, nach denen sich Stabdübel aus Kunstharzpreßholz für tragende Verbindungen von Brettschichtholzteilen in Kurzzeitversuchen als gut geeignet erwiesen haben, werden Langzeitversuche unter Dauerlast für Scherkörper mit Stabdübeln aus Kunstharzpreßholz durchgeführt. Zudem wird untersucht, ob die Dichte des Anschlußbildes zur besseren Ausnutzung des Holzes erhöht werden kann. Für den Einsatz von Knotenplatten aus Kunstharzpreßholz wird die Lochleibungsfestigkeit bestimmt.

Das Vorhaben entstand im Auftrag der Entwicklungsgemeinschaft Holzbau (EGH) in der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung (DGfH) mit finanzieller Unterstützung des Bundesministers für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau (Gesch.-Z. B I 5-80 01 88-11). Der Firma Blomberger Holzindustrie B. Hausmann GmbH & Co. KG ist für die kostenlose Bereitstellung von Versuchsmaterial zu danken.

Die Planung der Untersuchungen wurde von Herrn Dipl.-Ing. O. Eberhart begonnen. Die weitere Planung, die Durchführung der Versuche und deren Auswertung erfolgte durch Herrn Dipl.-Ing. Jürgen Kürth. Für die Herstellung der Versuchskörper sowie der Versuchsvorrichtungen und die Messungen im Labor waren die Herren G. Köhler und G. Kranz verantwortlich. Bei der Auswertung haben unsere Studenten, die Herren cand.ing. J. Bartel, cand.ing. P. Metzger, cand.ing. R. Schober, Dipl.-Ing.(FH) Hauke Sommer und Frau cand.ing. Stefanie Dietrich tatkräftig mitgewirkt.

Allen Beteiligten ist für die Mitarbeit zu danken.

Jürgen Ehlbeck

1 Ziel des Forschungsvorhabens

Mit der Weiterentwicklung des Ingenieurholzbaues ist im allgemeinen auch die Neuentwicklung wirkungsvoller Verbindungsmittel verbunden. Dies liegt zum einen an dem Bestreben, die Anschlußflächen der Verbindungen möglichst klein zu halten, zum anderen aber auch an dem Wunsch nach einer wirtschaftlichen Herstellung der Verbindungen. Im Zuge dieser Entwicklung wurde im modernen Ingenieurholzbau zunächst vor allem die Verbindungstechnik unter Heranziehung von verschiedenartigen Verbindungsmitteln aus Stahl (wie z.B. Nägel, Nagelplatten, Stahlbleche, Stahlblechformteile, Bolzen und Stabdübel) vorangetrieben. Damit sind zwangsläufig aber auch Fragen des Korrosionsschutzes, des Brandschutzes sowie der Ästhetik des Holzbaues verbunden, wodurch die Anwendung derartiger Verbindungstechniken, trotz aller statischer und konstruktiver Vorteile oft beschränkt bleiben muß oder erst durch kostensteigernde Zusatzmaßnahmen (z.B. im Brandschutz) ermöglicht wird. Auch in den Fällen, in denen man den Einfluß der magnetischen Eigenschaften ausschließen oder die Konstruktion für magnetische Wellen "durchsichtig" machen will, ist die Verwendung von nichtmetallischen Verbindungsmitteln wünschenswert.

Da die holzverarbeitende Industrie mit ursprünglich anderen Zielsetzungen hochwertige holzhaltige Werkstoffe entwickelt hat, die aber dennoch für tragende Verbindungen geeignet erscheinen, war es das Ziel dieses in mehreren Stufen durchzuführenden Forschungsvorhabens, bestehende holzhaltige und aus der Sicht der Tragfähigkeit und der Verformungskennwerte hochwertige Werkstoffe auf ihre Eignung als mechanische Verbindungsmittel zu untersuchen und aufgrund theoretischer und versuchstechnischer Arbeiten für die Bemessung und Ausführung derartiger Verbindungen entsprechende Grundlagen zu schaffen.

Im ersten Teil dieser Forschungsarbeiten wurden von EHLBECK, FREISEIS, HÄTTICH 1985 die physikalischen, im besonderen die mechanischen Eigenschaften von geeignet erscheinendem Kunstharzpreßholz untersucht.

Im zweiten Teil erforschten EHLBECK, EBERHART 1989a und 1989b das Trag- und Verformungsverhalten von mechanischen Verbindungen, bei denen die nichtmetallischen, holzhaltigen Werkstoffe als Stifte oder Stabdübel einerseits sowie als Laschen und Knotenplatten andererseits eingesetzt werden.

Im dritten Teil waren Anschlüsse mit Stabdübeln aus Kunstharzpreßholz (KPH) zu optimieren und deren Langzeitverhalten zu untersuchen. Abschließend sollten praxisorientierte Bemessungsverfahren mit den damit verbundenen Ausführungsrichtlinien entwickelt werden.

2 Optimierung der Anschlußdichte

2.1 Allgemeines

Zur Optimierung der Anschlüsse ist die Ausnutzung der Tragfähigkeit des Holzes (Lochleibung) als auch der Verbindungsmittel (Biege­widerstand) anzustreben.

Bei den im zweiten Teil des Forschungsvorhabens durchgeführten Versuchen an Druckscher- und Zugscherkörpern mit Stabdübeln aus KPH wurde für Schlankheiten $\lambda = a_m/d$ zwischen 2,0 und 5,0 stets ein Versagen des Verbindungsmittels festgestellt. Erst bei Schlankheiten unter 2,0 trat auch ein Versagen des Mittelholzes ein. Die Abstände der Stabdübel untereinander und von den Rändern wurden dabei nach den Festlegungen der DIN 1052, Teil 2 gewählt.

Um nun auch die Festigkeit des Holzes auszunutzen, wurden Versuche an zweischnittigen Druckscher- und Zugscherkörpern mit verringerten Abständen der Verbindungsmittel durchgeführt, wobei Stabdübeldurchmesser von $d = 12 \text{ mm}$ und $d = 16 \text{ mm}$ verwendet wurden. Damit ergaben sich für die Versuche Schlankheiten von 2,0 bzw. 1,5.

2.2 Versuchsmaterial

Für die Stabdübel wurde das gleiche Rundmaterial wie im zweiten Teil des Forschungsvorhabens verwendet, das von zwei verschiedenen Herstellern bezogen wurde. Die Bezeichnungen der Hersteller nach C und D entsprechen auch denen des zweiten Teiles.

Zur Herstellung der Versuchskörper wurde Brettschichtholz und Vollholz verwendet, das bis zur Gewichtskonstanz im Normalklima gelagert war. Die Holzfeuchte u wurde stichprobenweise bestimmt und lag zwischen 11 und 12,5 %. Höhere Holzfeuchten wurden nicht berücksichtigt, da schon bei den ersten Langzeitversuchen ein vorzeitiges Versagen der Stabdübel infolge zu großer Verformungen im Holz beobachtet wurde. Die Rohdichte aller Seiten- und Mittelhölzer betrug:

	Brettschichtholz:	Vollholz:
Mittelwert	424 kg/m ³	446 kg/m ³
Standardabweichung	10 kg/m ³	44 kg/m ³

2.3 Prüfkörper und Versuchsprogramm

Die Prüfkörper mit ihren Abmessungen sind in den Bildern 1 und 2 (Anlage 1 und 2) dargestellt. Die Stabdübelabstände von den Holzrändern entsprachen den Bestimmungen der DIN 1052, Teil 2, Tabelle 9. Die Abstände der Dübel untereinander wurden ausgehend von den Festlegungen der DIN 1052 verringert, und zwar zunächst in Faserrichtung von $5d$ (d =Stabdübeldurchmesser) auf $3d$ und bei weiteren Versuchen auch rechtwinklig zur Faserrichtung von $3d$ auf $2d$. Das Verhältnis Seitenholzdicke a_s zu Mittelholzdicke a_m war mit 0,75 bei allen Versuchen konstant. Das Vorbohren der Löcher erfolgte mit dem Nenndurchmesser der Stifte. Damit entsprachen die Versuchskörper bis auf die Stabdübelabstände denen aus dem zweiten Teil des Forschungsvorhabens.

Die Bezeichnung der Probekörper erfolgte einheitlich nach dem folgenden Schema:

ABCCDE.

Darin bedeuten:

A	Hersteller	C oder D
B	Durchmesser	3: ϕ 12 mm 4: ϕ 16 mm
CC	Schlankheit	15: $\lambda = 1,5$ 20: $\lambda = 2,0$
D	Nummer der Variation	0, 1 oder 2
E	lfd. Nummer innerhalb einer Versuchsreihe	

Die Tabelle 1 (Anlage 3) gibt einen Überblick über das Versuchsprogramm.

2.4 Versuchseinrichtung und Durchführung

Sämtliche Messungen wurden mit elektrischen Meßwertaufnehmern vorgenommen. Für die Messung der Verschiebungen wurden zwei induktive Wegaufnehmer des Typs W20 verwendet. Die Meßsignalverstärkung und Meßdatenerfassung erfolgte mittels einer rechnergestützten Umschaltanlage (UPH 3200).

Die Durchführung und Auswertung der Versuche erfolgte nach DIN-EN 26891 "Holzbauwerke, Verbindungen mit mechanischen Verbindungsmitteln".

Ausgehend von einer erwarteten Höchstlast F_{est} wurden die Prüfkörper mit einer konstanten Verformungsgeschwindigkeit bis $0,4 \cdot F_{est}$ belastet. Nach 30 s Wartezeit erfolgte eine Entlastung auf $0,1 \cdot F_{est}$. Nach einer weiteren Warte-

zeit von 30 s wurde bis zum Erreichen der Höchstlast bzw. bis zu einer Verformung von mehr als 15 mm erneut belastet.

Im Bereich unterhalb $0,7 \cdot F_{\text{est}}$ betrug die Verschiebungsgeschwindigkeit etwa 0,1 mm/min und wurde danach kontinuierlich gesteigert. Die Versuchsdauer betrug damit jeweils etwa 10-13 min. Die Erfassung der Meßdaten erfolgte alle 10 s mittels der rechnergestützten Meßdatenerfassungsanlage.

Gemessen wurden die Verschiebungen zwischen Mittel- und Seitenholz jeweils vorne und hinten. Als erwartete Höchstlast wurde dabei die Tragfähigkeit aus den Ergebnissen des zweiten Teils des Forschungsberichtes gewählt.

2.5 Versuchsauswertung

In den **Bildern 3-10** (Anlage 4-7) sind in Kraft-Verschiebungsdiagrammen aller Versuche die Kräfte über die gemittelten Verschiebungen der Seitenhölzer gegenüber dem Mittelholz aufgetragen.

Die Versuchshöchstlasten (Bruchlasten) können der **Tabelle 1** (Anlage 3) entnommen werden.

Bei den Druckscherversuchen mit Brettschichtholz und Stabdübeldurchmessern von 16 mm versagte stets das Mittelholz. Die Bruchlasten waren geringer als im zweiten Teil des Forschungsvorhabens, betrug aber bei den Versuchen mit den geringsten Stabdübelabständen in Faserrichtung und rechtwinklig zur Faserrichtung (C41521-2) im Mittel noch 79 % der Bruchlasten der Versuche mit Abständen nach DIN 1052. Die Anschlußdichte, d.h. die Anzahl der möglichen Stabdübel pro cm^2 Anschlußfläche steigerte sich jedoch auf das 2,5-fache (ohne Berücksichtigung der Randabstände)!

Für Stabdübel der Firma D mit 12 mm Durchmesser wurden Versuche mit Druck- als auch mit Zugscherkörpern durchgeführt. Von den drei Versuchskörpern je Anordnung wurden jeweils einer aus Brettschichtholz und die beiden anderen aus Vollholz hergestellt. Bei den Zugscherkörpern war eine Abnahme der Bruchlasten bei Verringerung der Stabdübelabstände von bis zu 14 % zu beobachten. Die Bruchursache war überwiegend das Versagen der Stabdübel, nur in einem Fall brach das Mittelholz. Bei den Druckscherkörpern war kein Abfall der Bruchlasten zu erkennen. Alle Versuchskörper versagten infolge eines plötzlichen Bruches einzelner Stabdübel. Nur bei den Zugscherkörpern traten bei sehr großen Verformungen und nach dem Versagen aller Stabdübel in den Seitenhölzern Brüche auf. Dabei spaltete sich das Holz zunächst entlang der Faserrichtung und brach anschließend oberhalb der letzten Dübelreihe durch ein Zugversagen.

Zusammenfassend ist festzustellen, daß die Stabdübelabstände bei Stabdübeln aus KPH deutlich geringer sein können als bei Stabdübeln aus Stahl. Andererseits muß beachtet werden, daß das Versagen der Verbindungen stets plötzlich eintrat und durch einen Sprödbruch der Stabdübel verursacht wurde.

3 Bestimmung der Lochleibungsfestigkeit

3.1 Allgemeines

Die Tragfähigkeit einer Stabdübelverbindung hängt u.a. auch von der Lochleibungsfestigkeit der zu verbindenden Teile ab. Zur Bestimmung dieses Materialkennwertes wurde in den hier durchgeführten Versuchen der Entwurf prEN 383 "Holzbauwerke; Bestimmung der Lochleibungsfestigkeit" vom November 1990 zugrundegelegt. Damit können Lochleibungsfestigkeiten von KPH unmittelbar mit denen anderer holzhaltiger Werkstoffe oder des Holzes verglichen werden, wenn auch diese nach dem gleichen Prüfverfahren ermittelt wurden. Die Ergebnisse der Lochleibungsversuche aus dem ersten Teil des Forschungsvorhabens haben zwar weiterhin ihre Gültigkeit, nur muß bei einem Vergleich der Festigkeiten der Einfluß verschiedener Prüfverfahren auf die Ergebnisse beachtet werden.

Zusammen mit der Zugfestigkeit und den Kerbfaktoren aus den beiden ersten Teilen der Forschungsarbeiten sind damit alle Größen zur Dimensionierung von Kunstharzpreßholzplatten, z.B. als Knotenplatten zur Übertragung von Kräften in Stößen und Anschlüssen, bekannt.

3.2 Versuchsmaterial

Es wurden Kunstharzpreßsperrholzplatten mit den Dicken $d = 12$ mm und 20 mm verwendet, die von einem Hersteller kostenlos zur Verfügung gestellt wurden. Die Bezeichnung der Platten erfolgte wie im zweiten Teil des Forschungsvorhabens:

Platte mit $d = 12$ mm:	Bezeichnung B5
Platte mit $d = 20$ mm:	Bezeichnung B6

Die Stabdübel aus blankem Stahl St 37-K (Streckgrenze $\beta_S = 585$ N/mm², Zugfestigkeit $\beta_Z = 614$ N/mm²) wurden mit den Durchmessern von 16 mm und 24 mm verwendet. Kleinere Stabdübeldurchmesser waren wegen der hohen Lochleibungsfestigkeit des KPH bei der gewählten Versuchseinrichtung nicht möglich, da sich sonst der Stabdübel so sehr verformt hätte, daß eine gleichmäßige Spannungsverteilung im KPH nicht mehr hätte vorausgesetzt werden können.

3.3 Prüfkörper und Versuchsprogramm

Die Prüfkörper entsprachen mit ihren Abmessungen dem **Bild 11**, aus **Bild 12** (Anlage 8) ist der Versuchsaufbau ersichtlich. Für jede Plattendicke wurden Versuche mit Stabdübeldurchmessern 16 mm und 24 mm und den Winkeln zwischen Kraft- und Faserrichtung der Deckfurniere von 0, 45 und 90 Grad durchgeführt. Je Versuchsreihe wurden fünf Probekörper hergestellt.

Die Bezeichnung der Probekörper erfolgte einheitlich nach folgendem Schema:

AABBCC.

Darin bedeuten:

AA	Hersteller	B5 oder B6
BB	Winkel zwischen Kraft- und Faserrichtung der Deckfurniere	0, 45 oder 90 Grad
CC	Durchmesser	16 oder 24 mm

Die **Tabelle 2** (Anlage 9) gibt einen Überblick über das Versuchsprogramm.

3.4 Versuchseinrichtung und Durchführung

Die Durchführung der Versuche erfolgte nach prEN 383. Ausgehend von einer geschätzten Höchstlast F_{est} wurden die Prüfkörper mit einer konstanten Verformungsgeschwindigkeit bis $0,4 \cdot F_{est}$ belastet. Nach 30 s Wartezeit erfolgte eine Entlastung auf $0,1 \cdot F_{est}$. Nach einer weiteren Wartezeit von 30 s wurde bis zum Erreichen der Höchstlast erneut belastet. Damit betrug die mittlere Versuchsdauer etwa 6 Minuten. Die Erfassung der Meßdaten erfolgte alle 10 s mittels der rechnergestützten Meßdatenerfassungsanlage.

Es wurden die Verschiebungen zwischen Stabdübel und Platte auf der Vorder- und Rückseite durch zwei induktive Wegaufnehmer vom Typ W20 gemessen.

3.5 Versuchsauswertung

In den **Bildern 13-21** (Anlagen 10 bis 14) sind die Last-Verformungsdiagramme aller Versuche dargestellt. Die **Tabellen 3a** und **3b** (Anlagen 15 und 16) zeigen die Bruchlasten und die sich daraus ergebenden Lochleibungsfestigkeiten.

Alle Versuche wurden kurz nach Überschreiten der Höchstlast abgebrochen, da sich die Dicke der KPH-Platten um das Stabdübelloch bei weiterer Eindrückung vergrößerte und sich die Platte dann zwischen den Stahlteilen der Lastaufbringung festklemmte. In keinem Fall wurde ein Aufreißen der Platten beobachtet, Bruchursache war stets die Überschreitung der Lochleibungsfestigkeit.

Vergleicht man die mittleren Festigkeiten einer Plattendicke und eines Stabdübeldurchmessers für unterschiedliche Richtungen zwischen Kraft- und Faserrichtung der Deckfurniere miteinander, so erkennt man, daß bei der geprüften Plattendicke von 12 mm mit steigendem Winkel die Festigkeiten zunehmen (z.B. B5_016 bis B59016). Dies liegt an den größeren Furnierdicken der Lagen rechtwinklig zur Faserrichtung der Deckfurniere. Bei der geprüften Plattendicke von 20 mm ist eine Abhängigkeit von der Belastungsrichtung bezüglich der Faserrichtung der Deckfurniere nicht aufgetreten.

Die Lochleibungsfestigkeit ist bei gleicher Plattendicke umso größer, je kleiner der Stabdübeldurchmesser ist (vgl. z.B. B5_016 mit B5_024).

4 Langzeitversuche

4.1 Allgemeines

Ein wesentliches Kriterium zur Beurteilung einer Verbindung stellt ihr Langzeitverhalten unter ständiger Last dar. Hierbei ist zu untersuchen, ob unter dem Einfluß bestimmter Klimabedingungen und Lasteinwirkungen die Tragfähigkeit und das Verformungsverhalten (Kriechen) einer Verbindung sich gegenüber den Ergebnissen aus Kurzzeitversuchen ändern. Dabei kann sich der Einfluß der Zeit entweder nur auf das Verbindungsmittel oder nur auf das Holz oder auf beide die Verbindung bildenden Werkstoffe auswirken. Wie groß die Änderungen sind, hängt wiederum von der Versagensart einer Verbindung ab. Bei einem Anschluß mittels Stabdübeln aus Stahl, der häufig mit einer Schlankheit $\lambda \geq 6$ ausgeführt wird und bei dem das Versagen i.a. durch die Biegeverformung des Stahles eingeleitet wird, ist die Tragfähigkeit der gesamten Verbindung weniger zeitabhängig als bei Verwendung von Stabdübeln aus einem holzhaltigen Werkstoff.

Bei den Kurzzeitversuchen mit Stabdübeln aus KPH wurde in der Regel für alle Schlankheiten das Versagen der Verbindung durch Biegebrüche des Verbindungsmittels eingeleitet. Für Langzeitversuche war deshalb das Verhalten des Kunstharzpreßholzes von wesentlicher Bedeutung. Um einen direkten Vergleich der Ergebnisse aus den Kurzzeitversuchen mit den Ergebnissen aus Langzeitversuchen zu ermöglichen, wurden die gleichen Prüfkörperabmessungen wie im zweiten Teil des Forschungsvorhabens bei Stabdübeldurchmessern von 12 mm und einer Schlankheit von 2,0 gewählt. Die Versuche wurden in einem Klimaraum bei möglichst konstantem Klima von 20°C Temperatur und 65% rel. Luftfeuchte und im Freien (überdacht zum Schutz gegen direkte Beregnung und Sonneneinwirkung) bei natürlich wechselndem Klima durchgeführt.

4.2 Versuchsmaterial

Die Versuche wurden sowohl mit Brettschichtholz aus Fichte, das längere Zeit im Normalklima gelagert war, als auch mit Vollholz aus Fichte durchgeführt. Die Rohdichte und die Holzfeuchte betragen für alle verwendeten Hölzer:

	Brettschichtholz:	Vollholz:
Rohdichte: Mittelwert:	468 kg/m ³	570 kg/m ³
Standardabweichung:	20 kg/m ³	35 kg/m ³
Holzfeuchte: Mittelwert:	12 %	25 %

Für die Stabdübel aus Kunstharzpreßholz wurde das gleiche Material mit einem Durchmesser von 12 mm von zwei Herstellern (mit den Bezeichnungen C und D) wie im zweiten Teil des Forschungsvorhabens verwendet.

4.3 Prüfkörper und Versuchsprogramm

Die Prüfkörper entsprachen mit ihren Abmessungen den Bildern 1 und 2 (Anlagen 1 und 2), wobei die Dübelabstände entsprechend den Festlegungen der DIN 1052, Teil 2, Tabelle 9 für Stabdübel aus Stahl gewählt wurden. Es wurden sowohl Druckscher- als auch Zugscherkörper, wie im Abschnitt 2.3 beschrieben, hergestellt.

Die Tabelle 4 (Anlage 17) gibt einen Überblick über das Versuchsprogramm.

4.4 Versuchseinrichtung und Durchführung

Langzeitversuche sollten derart konzipiert werden, daß bei geringem Platzbedarf wenig Belastungsgewichte benötigt werden. Aus diesem Grunde wurde für den Versuchsaufbau eine Kombination aus Zug- und Druckscherkörpern gewählt, die über einen Balken mit Kragarm belastet wurden. Die Vorteile sind, daß sich mehrere Prüfkörper gleichzeitig prüfen lassen und für Zug- und Druckbelastungen Ergebnisse gewonnen werden. Ein Nachteil dieser Kombination entsteht jedoch bei unerwartetem Versagen eines einzelnen Prüfkörpers. Dann muß in der Regel der gesamte Versuchsaufbau neu erfolgen.

Im Bild 22 (Anlage 18) ist die Versuchsvorrichtung schematisch dargestellt, das Bild 23 (Anlage 18) zeigt die Prüfkörper in der Vorrichtung. Für die Stabilisierung der Druckscherkörper wurden seitliche Rollenführungen angebracht.

In jede Vorrichtung wurden sechs Druckscherkörper und vier Zugscherkörper eingebaut. Die Belastung erfolgte durch Stahlgewichte, wobei die Zugscherkörper mit 20,5 kN und die Druckscherkörper mit 23,7 kN belastet wurden. Das Verhältnis der Belastung der Zugscherkörper zur Belastung der Druckscherkörper von $20,5 / 23,7 = 0,86$ entspricht dem Verhältnis der entsprechenden mittleren Tragfähigkeiten aus den Kurzzeitversuchen. Somit wurden alle Versuchskörper mit etwa 45 % der Bruchlasten aus den Kurzzeitversuchen belastet.

Die gegenseitigen Verschiebungen zwischen Seiten- und Mittelhölzern wurden an versetzt angeordneten Stiften aus Silberstahldraht (ϕ 3 mm) an beiden Seiten eines jeden Prüfkörpers mit einer 1/100 mm Meßuhr regelmäßig (zunächst täglich, später wöchentlich und nach Stabilisierung der Verformungen in Abständen zwischen zwei und drei Wochen) ermittelt. Die erste Ablesung erfolgte unmittelbar nach Aufbringung der Belastung. Die Anordnung der Meßstifte ist aus **Bild 24** sowie mit eingebauter Meßuhr im Detail aus **Bild 25** (Anlage 19) ersichtlich.

Je Holzart (Brettschichtholz oder Vollholz) und Klimabedingung (konstant oder Wechselklima) wurde eine Versuchsvorrichtung benötigt, so daß insgesamt vier Vorrichtungen hergestellt wurden.

Während der Versuchsdurchführung wurden kontinuierlich der Verlauf der Temperatur und der Verlauf der Luftfeuchte durch Thermohygrographen aufgezeichnet. Das **Bild 26** (Anlage 20) zeigt die Verläufe für das Wechselklima unter Dach (natürliches Außenklima), das **Bild 27** (Anlage 21) die Verläufe für das Konstantklima.

4.5 Versuchsauswertung

Die Auswertung der Verschiebungen und deren Darstellung in Abhängigkeit von der Zeit ist den **Bildern 28-35** (Anlagen 22-29) getrennt nach der Klimabeanspruchung, dem verwendeten Holz und der Belastung (Zugscherkörper oder Druckscherkörper) zu entnehmen.

Es stellten sich vor allem bei dem halbtrockenen Vollholz sowohl im Freien unter Dach als auch im Konstantklima sehr schnell große Verformungen ein, die dazu führten, daß schon wenige Tage nach Belastungsbeginn bei einzelnen Probekörpern die Stabdübel brachen. Nach wenigen Wochen waren bei nahezu allen Versuchskörpern aus Vollholz ein oder mehrere Stabdübel gebrochen, so daß eine weitere Versuchsdurchführung nicht sinnvoll erschien und die Messungen abgebrochen wurden (vgl. **Bilder 30, 31, 34, 35**).

Bei den Versuchen mit Brettschichtholz im Wechselklima unter Dach waren drei Monate nach Belastungsbeginn nur noch zwei Druckscherkörper von den sechs ursprünglich eingesetzten intakt, so daß auch hier die Messungen beendet wurden (vgl. **Bilder 32** und **33**). Im Konstantklima versagte nur ein Druckscherkörper (vgl. **Bild 29**), bei den anderen Druckscherkörpern war aber ein Brechen einzelner Dübel durch die Schrägstellung des Querschnittes zu erkennen. Es war also eine gleichmäßige Lastverteilung nicht mehr gegeben. Die Messungen an diesen Prüfkörpern wurden zwar beendet, aber der Versuchsaufbau belassen, um zumindest die Zugscherkörper noch weiter beobachten und messen zu können. Das **Bild 28** zeigt, daß sich bis zu diesem Zeitpunkt keine starke Vergrößerung der Verformungen ergeben hatte.

Zur Erklärung der völlig überraschend eingetretenen Brüche können im wesentlichen zwei Ursachen aufgeführt werden. Zum einen hatte eine sehr hohe Holzfeuchte eine geringe Lochleibungsfestigkeit der Versuchshölzer zur Folge. Damit vergrößerte sich die Biegebeanspruchung der Stabdübel aufgrund der ungleichmäßigen Spannungsverteilung im Bereich der Lasteinleitung. Gleichzeitig trat Holzschwindung auf, so daß sich zwischen den Hölzern Fugen einstellten, durch die die Biegebeanspruchung der Stabdübel zusätzlich erhöht wurde.

Die **Bilder 36 a, b, c** (Anlage 30) zeigen einen im Bereich der Stabdübel aufgeschnittenen Druckscherkörper aus Vollholz und die **Bilder 37 a, b, c** (Anlage 31) einen auseinanderggebauten Zugscherkörper aus Vollholz jeweils nach dem Versuch im Wechselklima. Die Fugen zwischen den Hölzern und die Brüche der Stabdübel sind deutlich zu erkennen.

Da aber auch Brüche beim trockenen Brettschichtholz auftraten, ist das Kunstharzpreßholz offenbar nicht für dauerhafte Stabdübelverbindungen geeignet. Selbst kleine Verschiebungen zwischen den Hölzern und die daraus resultierenden Biegebeanspruchungen der Stabdübel führen unter Langzeitbelastung zum Versagen der Stabdübel, weil das Material zu spröde ist und auf Dauer keine größeren Verformungen verträgt.

Um zu überprüfen, ob die Höhe der Belastung für das Versagen der Prüfkörper bzw. der Stabdübel eine entscheidende Bedeutung hat, wurde ein Langzeitversuch im Wechselklima unter Dach mit verringerter Last wiederholt. Es wurde Brettschichtholz aus Fichte verwendet, das längere Zeit im konstanten Klima 20/65 gelagert hatte und eine Feuchte von etwa 12 % besaß. Es wurden, wie oben beschrieben, Druckscher- und Zugscherkörper hergestellt, wobei nur noch Stabdübel der Firma D mit dem Durchmesser von 12 mm verwendet wurden. Die Belastung betrug für die Zugscherkörper 15,4 kN, für die Druckscherkörper 17,8 kN. Somit wurden die Versuchskörper dieses neuen Aufbaues nur mit etwa 33 % der Bruchlasten aus den Kurzzeitversuchen belastet.

Die **Bilder 38 und 39** (Anlagen 32 und 33) zeigen die Verschiebungen in Abhängigkeit von der Zeit. Es ist deutlich zu erkennen, daß keiner der Prüfkörper vorzeitig versagte und die Verformungen sowohl bei den Druckscher- als auch bei den Zugscherkörpern im gesamten Versuchszeitraum einen nahezu konstanten Wert beibehalten haben. Da bisher nur zehn Monate seit Belastungsbeginn vergangen sind, werden diese Versuche auch über den Abschluß der Forschungsarbeit hinaus weitergeführt.

Zusammenfassend ist festzustellen, daß Verbindungsmittel aus Kunstharzpreßholz mit den Materialeigenschaften der hier geprüften Stabdübel im Ingenieurholzbau für tragende Zwecke ungeeignet sind. Dies liegt am spröden Verhalten des KPH. Wenn es gelingt, die Verformbarkeit der Dübel zu vergrößern (bei gleicher Festigkeit wie bei dem hier verwendeten Material), dann wären Stabdübel aus KPH auch im Langzeitversuch den Belastungen gewachsen und könnten für Sonderbauten einen guten Ersatz für Stabdübel aus Stahl darstellen.

5 Ergänzende Versuche mit Stabdübeln aus Eiche, Buche und Bongossi

5.1 Allgemeines

Nachdem die Langzeitversuche gezeigt hatten, daß Stabdübel aus Kunstharzpreßholz bei einer ständigen Last in Höhe von nur ca. 45 % der Bruchlast aus dem Kurzzeitversuch infolge zu großer Beanspruchung auf Biegung versagten, wurden für einige Tastversuche holzhaltige Materialien gesucht, die für die Verwendung als Stabdübel besser geeignet sein könnten. Im wesentlichen kam es darauf an, Materialien zu finden, bei denen der Zusammenhang zwischen Biegespannung und Verformung dem des Stahls ähnelt, die aus Holz oder Holzwerkstoffen bestehen und deren maßgebende Werkstoffeigenschaften wenig schwanken.

Es wurden Stabdübel aus Buche, Eiche und Bongossi ausgewählt, da erwartet wurde, daß sie die o.g. Eigenschaften erfüllen, und da zumindest Eiche eine lange Tradition als stiftförmiges Verbindungsmittel im Holzbau hat. Man kann sich aber für die Zukunft auch neue Preßholzarten vorstellen, die ein duktileres Werkstoffverhalten bei hoher Festigkeit aufweisen.

5.2 Versuchsmaterial

Die Stabdübel wurden aus Buche, Bongossi und Eiche hergestellt. Das Holz wurde vor der Herstellung der Dübel längere Zeit im Normalklima bis zur Gewichtskonstanz gelagert, dann wurden von größeren Holzstücken Streifen mit quadratischem Querschnitt abgeschnitten und anschließend an der Drehbank abgerundet und auf Maß gebracht. Für alle Versuche wurden Dübeldurchmesser von 12 mm verwendet. Die Rohdichten der Hölzer betragen:

Rohdichte		Eiche	Buche	Bongossi
Mittelwert	[kg/m ³]	720	715	1075
Standardabweichung	[kg/m ³]	44	32	38

Zur Herstellung der Versuchskörper wurde Brettschichtholz verwendet, das längere Zeit im Normalklima bis zur Gewichtskonstanz gelagert hatte. Die Holzfeuchte u wurde stichprobenweise bestimmt und lag bei 12 %. Die Rohdichte der Seiten- und Mittelhölzer betrug für alle verwendeten Hölzer:

Mittelwert	436 kg/m ³
Standardabweichung	14 kg/m ³

5.3 Prüfkörper und Versuchsprogramm

Es wurden Druckscherversuche für die Schlankheiten von 2,0 und 4,0 gewählt, um wie bei den Versuchen mit Stabdübeln aus KPH verschiedene Versagensmechanismen der Stabdübel zu erhalten. Je Holzart und Schlankheit wurden zwei Prüfkörper hergestellt. Die Stabdübelabstände wurden entsprechend den Forderungen der DIN 1052, Teil 2 festgelegt, die Dübel jedoch unversetzt angeordnet. Das Verhältnis Seitenholzdicke a_s zu Mittelholzdicke a_m war mit 0,75 wie bei allen früheren Versuchen konstant. Das Vorbohren der Löcher erfolgte mit dem Nenndurchmesser der Stifte. Damit entsprachen die Versuchskörper denen aus dem zweiten Teil des Forschungsvorhabens (vgl. auch Bild 2 (Anlage2)).

Die Bezeichnung der Probekörper erfolgte einheitlich nach dem folgenden Schema:

AABCCD.

Darin bedeuten:

AA	Holzart der Stabdübel	Ei: Eiche Bu: Buche Bo: Bongossi
B	Durchmesser	3: ϕ 12 mm
CC	Schlankheit	20: $\lambda = 2,0$; 40: $\lambda = 4,0$
D	lfd. Nummer innerhalb einer Versuchsreihe	

5.4 Versuchseinrichtung und Durchführung

Die Durchführung und Auswertung der Versuche erfolgte in gleicher Weise wie im Abschnitt 2.4 beschrieben.

5.5 Versuchsauswertung

Die Bruchlasten und die Bruchursachen sind in **Tabelle 5** (Anlage 34) angegeben. Zum Vergleich sind dort auch die mittleren Bruchlasten der Versuche mit Stabdübeln aus KPH aus dem zweiten Teil des Forschungsvorhabens eingetragen.

Die **Bilder 40-45** (Anlage 35-37) zeigen die Kraft-Verschiebungsdiagramme aller Versuche, wobei die Kräfte über die gemittelten Verschiebungen der Seitenhölzer gegenüber dem Mittelholz aufgetragen wurden. Zum Vergleich hierzu zeigen die **Bilder 46 und 47** (Anlage 38) die Kraft-Verschiebungsdiagramme der Versuche C320 und C340 mit Stabdübeln aus KPH.

Vergleicht man die Bruchlasten der Versuche mit Stabdübeln aus Eiche, Buche und Bongossi mit den Mittelwerten der gleichen Versuche mit Stabdübeln aus KPH, wird die Überlegenheit der KPH Dübel mit ihrer hohen Biegefestigkeit deutlich. Während die Versuche mit Stabdübeln aus Bongossi noch zwischen 70 und 80 % der Bruchlasten mit Stabdübeln aus KPH erreichen, fällt bei Stabdübeln aus Buche der Prozentsatz auf Werte zwischen 60 und 70 % und erreicht bei Stabdübeln aus Eiche sogar nur noch knapp 40 % (bei einer Schlankheiten von 4,0).

Die Bruchursachen sind dagegen denen der Versuche mit Stabdübeln aus KPH sehr ähnlich. In allen Versuchen versagten die Stabdübel durch einen oder mehrere Biegebrüche, wobei die Versagensart von der Schlankheit abhängt. Bei geringer Schlankheit ($\lambda = 2,0$), trat ein Biegebruch im Mittelholz auf, während bei größerer Schlankheit ($\lambda = 4,0$) insgesamt drei Biegebrüche zu beobachten waren, von denen einer im Mittelholz und die beiden anderen in den Seitenhölzern lagen.

Die **Bilder 48-53** (Anlage 39-41) zeigen die aufgeschnittenen Prüfkörper nach dem Versuch. Deutlich sind die unterschiedlichen Bruchursachen zu erkennen.

Anders als bei den Versuchen mit Stabdübeln aus KPH, bei denen die Dübel im Bruchzustand kaum Verformungen aufwiesen, sind bei den Versuchen mit Stabdübeln aus Eiche, Buche und Bongossi deutliche Verformungen sowohl im Holz nach Überschreiten der Lochleibungsfestigkeit als auch bei den Stabdübeln zu erkennen. Besonders Stabdübel aus Bongossi haben ein Verformungsvermögen, das den Stabdübeln aus Stahl sehr nahe kommt. Für diese Dübel können im Langzeitversuch deshalb bessere Ergebnisse als mit

Stabdübeln aus KPH erwartet werden. Sie sind eher in der Lage, Verformungen des Holzes infolge Lochleibung oder Schwinden durch eigene plastische Verformungen auszugleichen und damit hohe Biegespannungen zu vermeiden.

Vergleicht man die Kraft-Verschiebungsdiagramme der Versuche mit Stabdübeln aus KPH mit den hier durchgeführten Versuchen, so stellt man fest, daß bei Überschreiten der Biegefestigkeit der KPH-Dübel die Last sofort abfällt und bei weiterem Anwachsen der Verformungen immer kleiner wird (besonders deutlich bei C340 zu sehen). Dagegen bleibt die Last bei den Stabdübeln aus Eiche, Buche und Bongossi nach den ersten Stabdübelversagen konstant oder kann sich sogar noch steigern. Nur bei den Versuchen mit großer Schlankheit fällt die Last nach relativen großen Verformungen wieder ab, bei Bongossi erst nach einer Verschiebung von etwa 8 mm.

Insgesamt läßt sich feststellen, daß sich Hölzer wie Bongossi für stiftförmige Verbindungsmittel eher eignen als das in diesen Untersuchungen verwendete Kunstharzpreßholz.

6 Ausblick

Ziel dieses dritten Abschnittes des Forschungsvorhabens war zum einen die Optimierung der Dichte des Anschlußbildes für Vollholz- und Brettschicht-holzverbindungen unter Verwendung von Stiften bzw. Stäben aus Kunstharzpreßschichtholz. Zum anderen sollte der Einfluß klimatischer Beanspruchungen auf diese Verbindungen untersucht werden.

Wie die vorliegenden Untersuchungen gezeigt haben, sind Stabdübel aus dem verwendeten Kunstharzpreßholz nicht für den Einsatz in tragenden Verbindungen geeignet, weil sie im Langzeitversuch unter ständiger Last frühzeitig versagten. Würde man die zulässigen Belastungen so weit verringern, daß auch hier keine Brüche mehr auftreten können, so bestünde immer noch die Gefahr, daß bei kurz einwirkenden dynamischen Belastungen, Brüche in den Stabdübeln auftreten. Zudem wären solche Verbindungen wenig wirtschaftlich, da sie im Vergleich zu den zulässigen Belastungen von Verbindungen mit Stabdübeln aus Stahl nur stark reduziert in Rechnung gestellt werden könnten.

Der Einsatz von Kunstharzpreßholzplatten in Stößen und Anschlüssen als Knotenplatten, Stoßlaschen oder als Verstärkungen bei Stabdübelverbindungen scheint nach den Ergebnissen der Kerbuntersuchungen aus dem zweiten Teil des Forschungsvorhabens und der Lochleibungsversuche aus dem ersten und dem vorliegenden Teil des Forschungsvorhabens jedoch durchaus möglich zu sein.

Bemessungsvorschläge können hierzu aber noch nicht gemacht werden, da für Versuche kein geeignetes nichtmetallisches Verbindungsmittel zur Verfügung stand und auch das Zusammenwirken mehrerer dicht angeordneter Löcher in einer Platte nicht untersucht wurde.

Die Möglichkeiten des Einsatzes der KPH-Platten als Verstärkungen wird in einem neuen Forschungsvorhaben über "Möglichkeiten zur Leistungssteigerung von Anschlüssen mit stiftförmigen Verbindungsmitteln" untersucht. Dabei sollen auch verschiedene Kleber zur Anwendung kommen, die das Holz mit den KPH-Platten verbinden. Weitere Erkenntnisse werden in einem gemeinsamen europäischen Forschungsprojekt mit Preßschichtholz ohne Kunstharztränkung gewonnen werden.

7 Zusammenfassung

Zur Optimierung der Dichte des Anschlußbildes tragender Vollholz- und Brettschichtholzverbindungen unter Verwendung stiftförmiger Verbindungsmittel aus Kunstharzpreßholz wurden Versuche mit geringeren Abständen der Verbindungsmittel untereinander als in DIN 1052, Teil 2 (Ausgabe 1988) für Stabdübel aus Stahl gefordert, durchgeführt. Es ergab sich, daß die Abstände deutlich geringer sein können. Bruchursache war nicht ein Spalten des Holzes, sondern stets das spröde Versagen der Stabdübel.

Für Platten aus Kunstharzpreßsperrholz eines Herstellers wurde nach prEN 383 die Lochleibungsfestigkeit bestimmt. Es ergaben sich nur geringe Abhängigkeiten von der Plattendicke und dem Stabdübeldurchmesser, dagegen keine signifikante Abhängigkeit von der Belastungsrichtung zur Faserichtung des Deckfurnieres.

In Langzeitversuchen wurden Druckscher- und Zugscherkörper aus Vollholz und Brettschichtholz mit Stabdübeln aus Kunstharzpreßholz bei konstantem Klima und im Freien bei natürlich wechselndem Klima untersucht. Der Durchmesser der Stabdübel betrug 12 mm, die Schlankheit 2,0. Die Prüfkörper wurden mit ständigen Lasten in Höhe von etwa 45 % der Bruchlasten aus den Kurzzeitversuchen belastet. Schon nach wenigen Wochen ergaben sich Brüche der Stabdübel, nach längerer Zeit waren nur noch Prüfkörper aus Brettschichtholz im konstanten Klima intakt. Daraus ergab sich, daß Stabdübel aus dem untersuchten Kunstharzpreßholz für den Einsatz im Ingenieurholzbau kaum geeignet sind. Das Material ist zu spröde und daher nicht in der Lage, übliche Verschiebungen bei Anschlüssen unter längerer Lastwirkung zu ertragen.

Für Druckscherkörper mit Stabdübeln aus Eiche, Buche und Bongossi und Schlankheiten von 2,0 und 4,0 wurden einige Tastversuche durchgeführt, um Anhaltspunkte für andere holzhaltige Werkstoffe zur Verwendung als stiftförmige Verbindungsmittel zu erhalten. Hier zeigten sich insbesondere Stabdübel aus Bongossi als sehr vorteilhaft, da sie sich ähnlich dem Stahl verformten und erst bei sehr großen Verschiebungen der Seitenhölzer zu den Mittelhölzern ein Bruch im Dübel eintrat.

Ein allgemeines Bemessungsverfahren für Anschlüsse mittels metallfreier Verbindungsmittel kann aufgrund der (zum Teil unerwarteten) Ergebnisse des Forschungsprojektes noch nicht vorgelegt werden, jedoch lassen weitere Untersuchungen mit ähnlichen Werkstoffen duktileren Verhaltens eine günstige Entwicklung erwarten.

8 Literatur

EHLBECK, J.; FREISEIS, R.; HÄTTICH, R. 1985

Entwicklung und Prüfung neuer Verbindungsmittel aus Hartholz, Preßschichtholz und ähnlichen holzhaltigen Werkstoffen für tragende Verbindungen im Holzbau. 1. Abschnitt: Mechanische und physikalische Eigenschaften von ausgewählten holzhaltigen Werkstoffen. Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, Abt. Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen. Karlsruhe: Universität (TH) - Forschungsbericht

EHLBECK, J.; EBERHART, O. 1989a

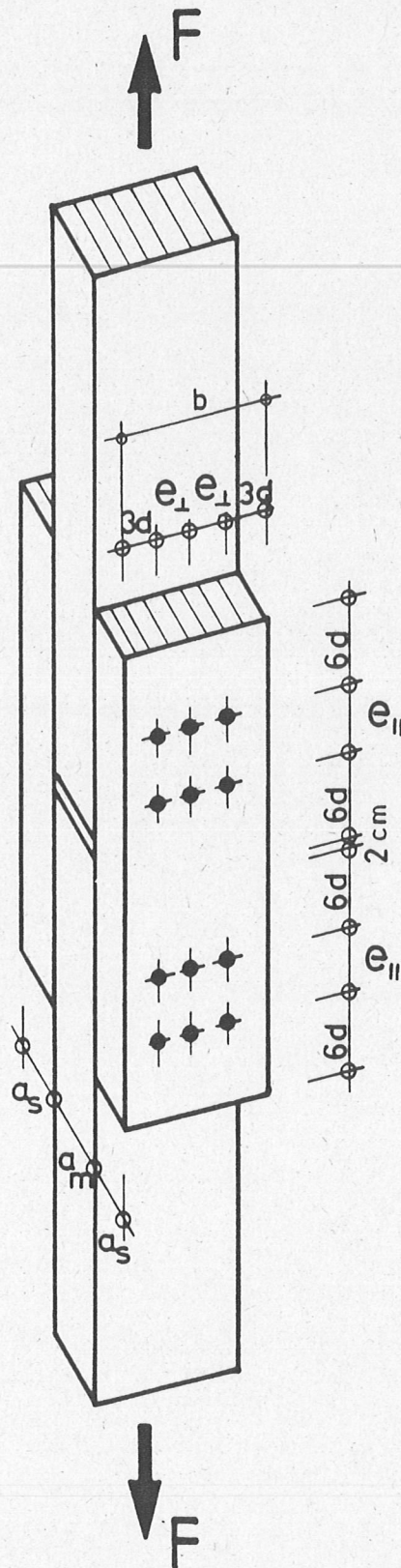
Entwicklung und Prüfung neuer Verbindungsmittel aus Hartholz, Preßschichtholz und ähnlichen holzhaltigen Werkstoffen für tragende Verbindungen im Holzbau. 2. Abschnitt: Tragfähigkeits- und Verformungsverhalten von Verbindungen. Teil A: Brettschichtholzverbindungen mit Stabdübeln aus Kunstharzpreßholz. Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, Abt. Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen. Karlsruhe: Universität (TH) - Forschungsbericht

EHLBECK, J.; EBERHART, O. 1989b

Entwicklung und Prüfung neuer Verbindungsmittel aus Hartholz, Preßschichtholz und ähnlichen holzhaltigen Werkstoffen für tragende Verbindungen im Holzbau. 2. Abschnitt: Tragfähigkeits- und Verformungsverhalten von Verbindungen. Teil B: Kerbuntersuchungen an Platten aus Kunstharzpreßholz. Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, Abt. Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen. Karlsruhe: Universität (TH) - Forschungsbericht

Zitierte Normen oder Normentwürfe:

Norm prEN 383	Holzbauwerke; Bestimmung der Loch-lei- bungsfestigkeit (Ausgabe November 1990)
Norm DIN 1052 Teil 1, 2	Holzbauwerke; Berechnung und Ausführung (Ausgabe April 1988)
Norm DIN-EN 268910	Holzbauwerke; Verbindungen mit mechani- schen Verbindungsmitteln; Allgemeine Grundsätze für die Ermittlung der Tragfä- higkeit und des Verformungsverhaltens (ISO 6891:1983) (Ausgabe Juli 1991)



$$\lambda = \frac{a_m}{d}$$

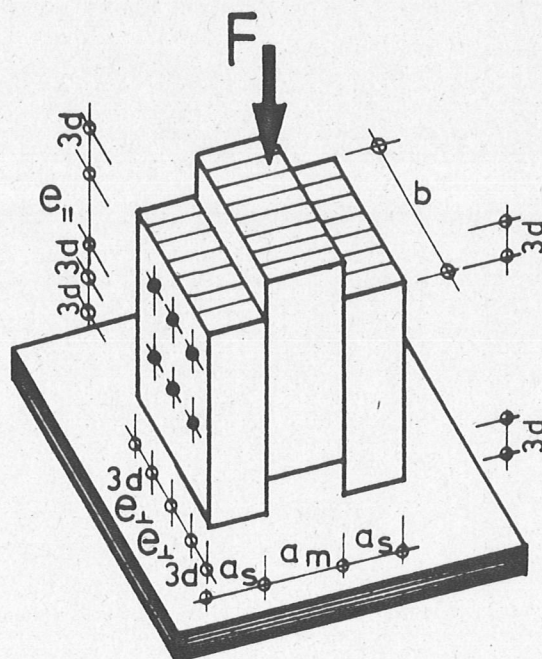
$$\frac{a_s}{a_m} = 0,75$$

- $e_{||}$ = Stabdübelabstände in Faserrichtung des Holzes
- e_{\perp} = Stabdübelabstände rechtwinklig zur Faserrichtung des Holzes
- d = Stabdübeldurchmesser
- a_s = Seitenholzdicke
- a_m = Mittelholzdicke

Bild 1: Abmessungen der Zugscherkörper für die Optimierung der Anschlußdicke

$$\lambda = \frac{a_m}{d}$$

$$\frac{a_s}{a_m} = 0,75$$



- $e_{||}$ = Stabdübelabstände in Faserrichtung des Holzes
- e_{\perp} = Stabdübelabstände rechtwinklig zur Faserrichtung des Holzes
- d = Stabdübeldurchmesser
- a_s = Seitenholzdicke
- a_m = Mittelholzdicke

Bild 2: Abmessungen der Druckscherkörper für die Optimierung der Anschlußdichte

Tabelle 1: Bruchlasten und Versagensarten der Versuche zur Optimierung der Anschlußdichte

Versuchsbezeichnung	Holz	Scherkörper	Stabdübel-durchmesser ϕ [mm]	Stabdübelabstände		Bruchlast F_{\max} [kN]	Versagensart	⁷ $\frac{F_{\max}}{F_{\max}^{\text{Teil2}}}$
				in Faserr. e_{\parallel}	rechth. Faserr. e_{\perp}			
C 4151 1	BSH ¹	DSK ³	16	3d	3d	80.5	MH ⁵	0.96
C 4151 2	"	"	"	3d	3d	76.5	"	0.91
C 4152 1	"	"	"	3d	2d	64.4	"	0.77
C 4152 2	"	"	"	3d	2d	67.6	"	0.81
D 3200 1	BSH	ZSK ⁴	12	5d	3d	33.0	StDü ⁶	0.71
D 3200 2	VH ²	"	"	5d	3d	36.8	"	0.80
D 3200 3	VH	"	"	5d	3d	45.0	"	0.97
D 3201 1	BSH	"	"	3d	3d	40.8	StDü	0.88
D 3201 2	VH	"	"	3d	3d	44.8	"	0.97
D 3201 3	VH	"	"	3d	3d	39.8	"	0.86
D 3202 1	BSH	"	"	3d	2d	39.6	MH	0.86
D 3202 2	VH	"	"	3d	2d	42.8	StDü	0.93
D 3202 3	VH	"	"	3d	2d	47.2	StDü	1.02
D 3200 4	BSH	DSK	12	5d	3d	53.8	StDü	1.01
D 3200 5	VH	"	"	5d	3d	59.0	"	1.10
D 3200 6	VH	"	"	5d	3d	56.6	"	1.06
D 3201 4	BSH	"	"	3d	3d	57.0	"	1.07
D 3201 5	VH	"	"	3d	3d	55.0	"	1.03
D 3201 6	VH	"	"	3d	3d	54.8	"	1.02
D 3202 4	BSH	"	"	3d	2d	51.2	"	0.96
D 3202 5	VH	"	"	3d	2d	61.4	"	1.15
D 3202 6	VH	"	"	3d	2d	60.0	"	1.12

¹ BSH = Brettschichtholz

² VH = Vollholz

³ DSK = Druckscherkörper

⁴ ZSK = Zugscherkörper

⁵ MH = Mittelholzversagen

⁶ StDü = Stabdübelversagen

⁷ F_{\max}^{Teil2} = Bruchlasten der Versuche mit Stabdübel-Abständen nach

DIN 1052, T2 aus dem 2. Teil des Forschungsvorhabens (Ehlbeck, Eberhart 1989b)

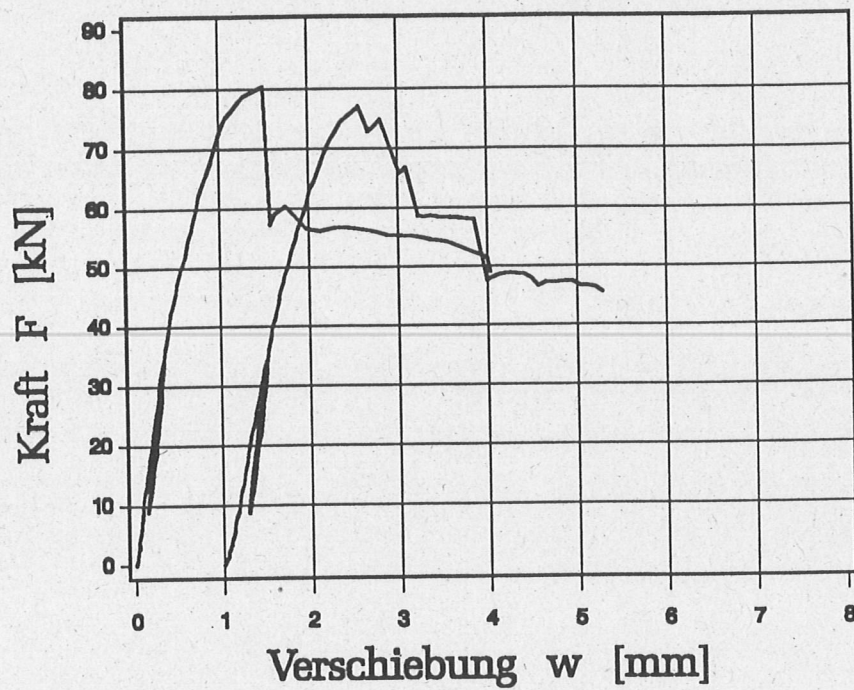


Bild 3: Kraft - Verschiebungsdiagramme der Druckscherversuche C41511 und C41512 zur Anschlußoptimierung mit:

St Dü ϕ mm	λ	Holz	Dübelabstände untereinander	
			in FR $e_{ }$	rechthkl. FR e_{\perp}
16	1,5	BSH	3d	3d

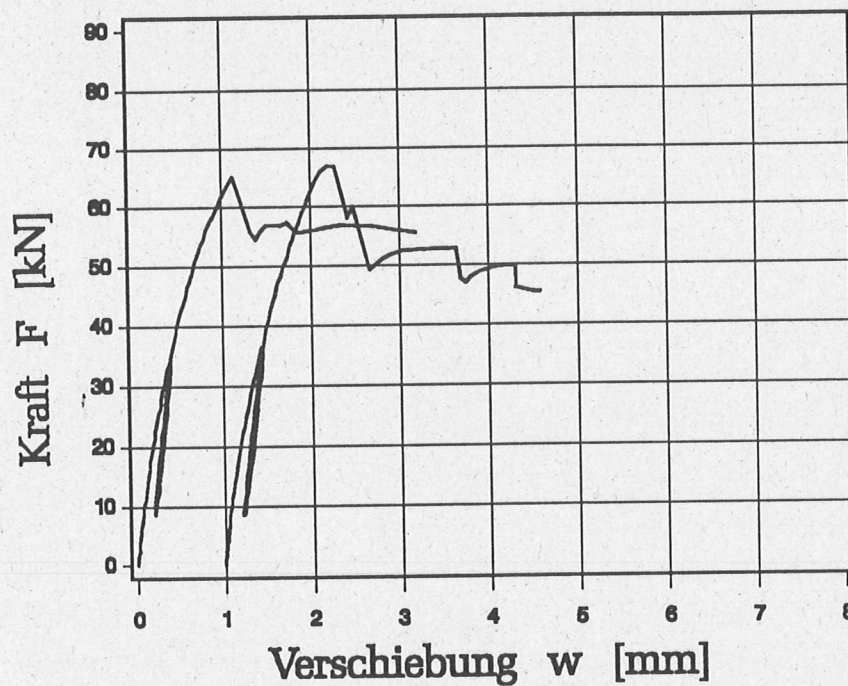


Bild 4: Kraft - Verschiebungsdiagramme der Druckscherversuche C41521 und C41522 zur Anschlußoptimierung mit:

St Dü ϕ mm	λ	Holz	Dübelabstände untereinander	
			in FR $e_{ }$	rechthkl. FR e_{\perp}
16	1,5	BSH	3d	2d

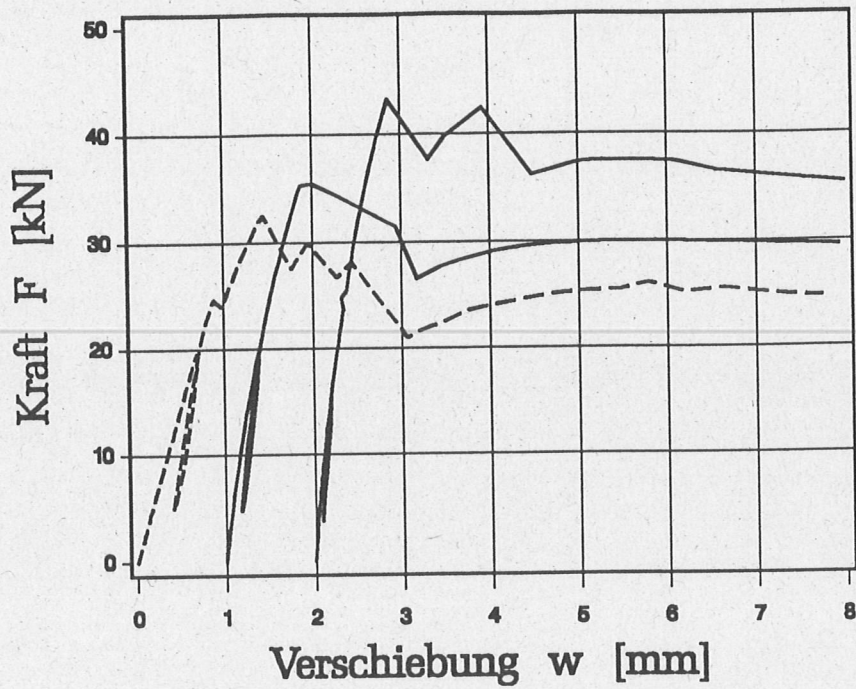


Bild 5:

Kraft - Verschiebungsdiagramme der Zugscherversuche D3200-1 bis 3 zur Anschlußoptimierung mit:

St Dü ϕ mm	λ	Holz	Dübelabstände untereinander	
			in FR	rechtwkl. FR
12	2,0	--- BSH	e_{\parallel}	e_{\perp}
		— VH	5d	3d

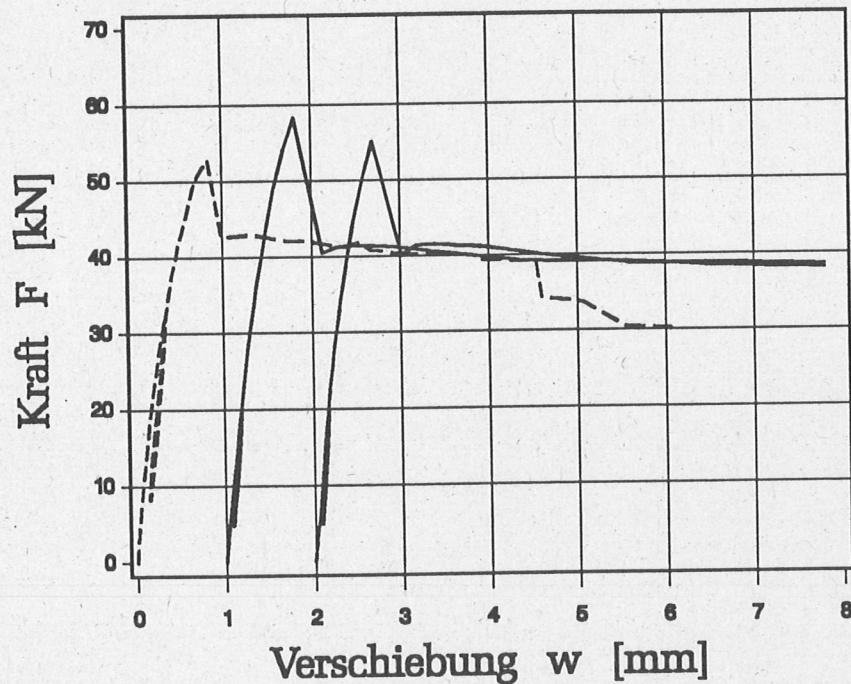


Bild 6:

Kraft - Verschiebungsdiagramme der Druckscherversuche D3200-4 bis 6 zur Anschlußoptimierung mit:

St Dü ϕ mm	λ	Holz	Dübelabstände untereinander	
			in FR	rechtwkl. FR
12	2,0	--- BSH	e_{\parallel}	e_{\perp}
		— VH	5d	3d

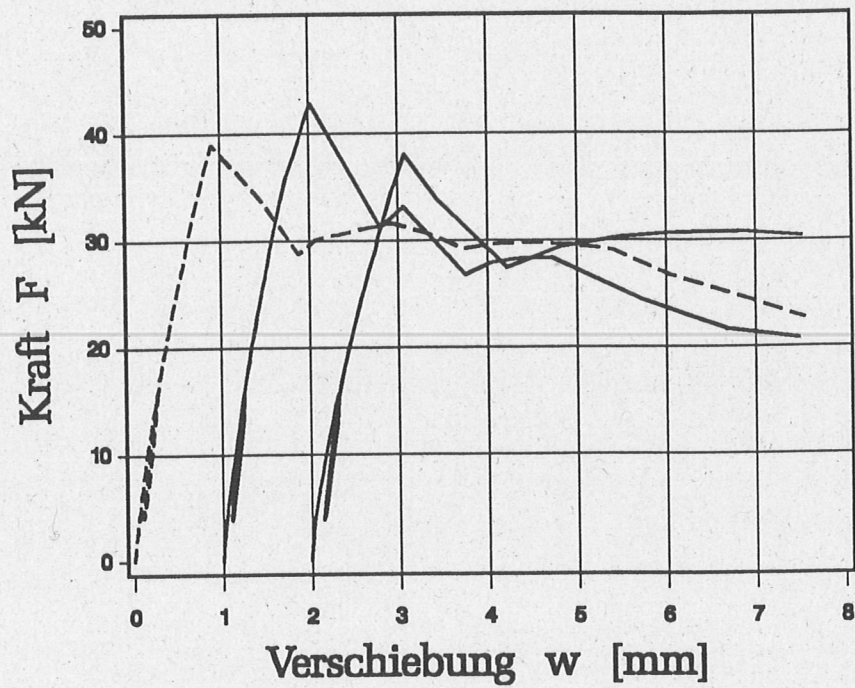


Bild 7:

Kraft - Verschiebungsdiagramme der Zugscherversuche D3201-1 bis 3 zur Anschlußoptimierung mit:

St Dü ϕ mm	λ	Holz	Dübelabstände untereinander	
			in FR	rechtwkl. FR
12	2,0	--- BSH	e_{\parallel}	e_{\perp}
		— VH	3d	3d

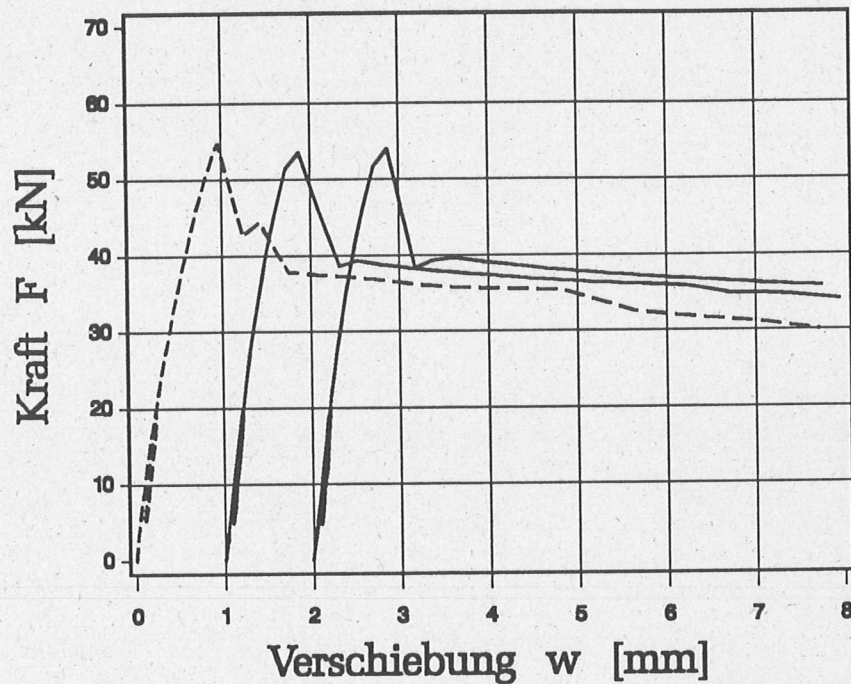


Bild 8:

Kraft - Verschiebungsdiagramme der Druckscherversuche D3201-4 bis 6 zur Anschlußoptimierung mit:

St Dü ϕ mm	λ	Holz	Dübelabstände untereinander	
			in FR	rechtwkl. FR
12	2,0	--- BSH	e_{\parallel}	e_{\perp}
		— VH	3d	3d

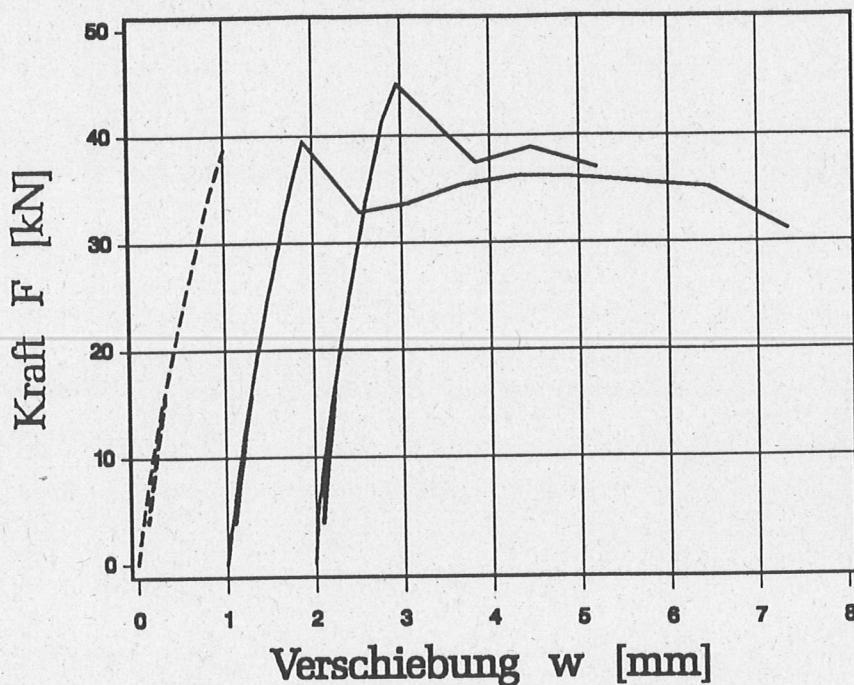


Bild 9: Kraft - Verschiebungsdiagramme der Zugscherversuche D3202-1 bis 3 zur Anschlußoptimierung mit:

St Dü ϕ mm	λ	Holz	Dübelabstände untereinander	
			in FR	rechthkl. FR
12	2,0	--- BSH	e_{\parallel}	e_{\perp}
		— VH	3d	2d

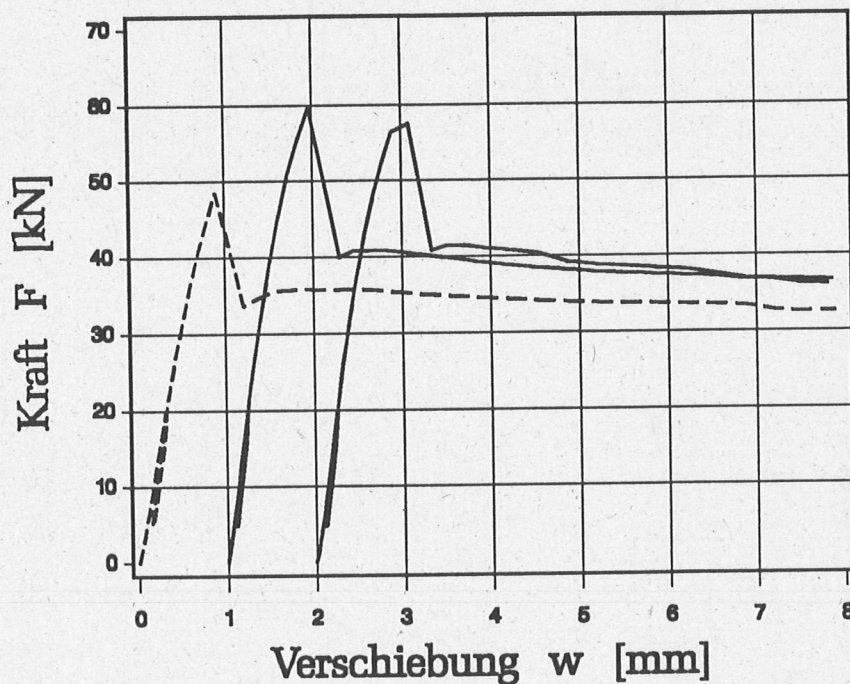
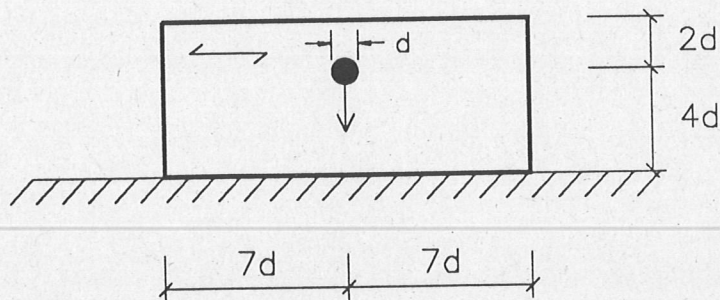


Bild 10: Kraft - Verschiebungsdiagramme der Druckscherversuche D3202-4 bis 6 zur Anschlußoptimierung mit:

St Dü ϕ mm	λ	Holz	Dübelabstände untereinander	
			in FR	rechthkl. FR
12	2,0	--- BSH	e_{\parallel}	e_{\perp}
		— VH	3d	2d

a.)



b.)

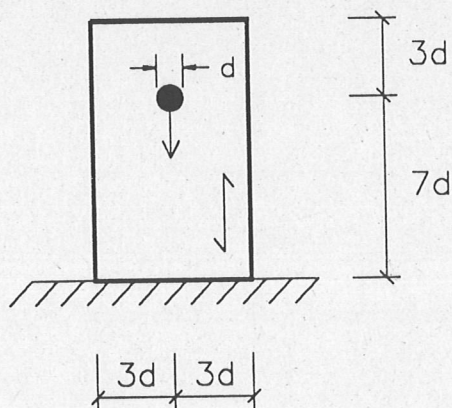


Bild 11: Prüfkörperabmessungen für die Lochleibungsversuche
 a.) Druck rechtwinklig zur Faserrichtung und für beliebige Winkel zwischen Kraft und Faserrichtung der Deckfurniere
 b.) Druck in Faserrichtung der Deckfurniere

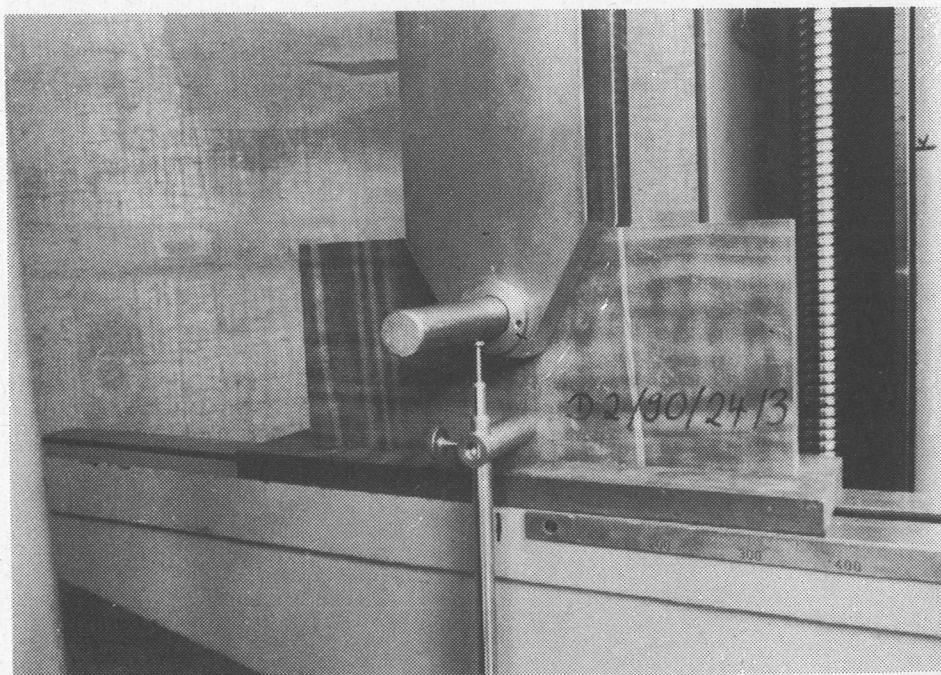


Bild 12: Versuchsanordnung für Lochleibungsversuche

Tabelle 2: Umfang der Lochleibungsversuche

Versuchs- bezeichnung	Plattenbe- zeichnung	Dicke t [mm]	Stabdübel- durchmesser [mm]	Winkel Kraft-Faserr. [°]	Anzahl der Versuche		
B5_016 B54516 B59016	B5	12	16	0 45 90	5 5 5		
B5_024 B54524 B59024			24	0 45 90	5 5 5		
B6_024 B64524 B69024			B6	20	24	0 45 90	5 5 5

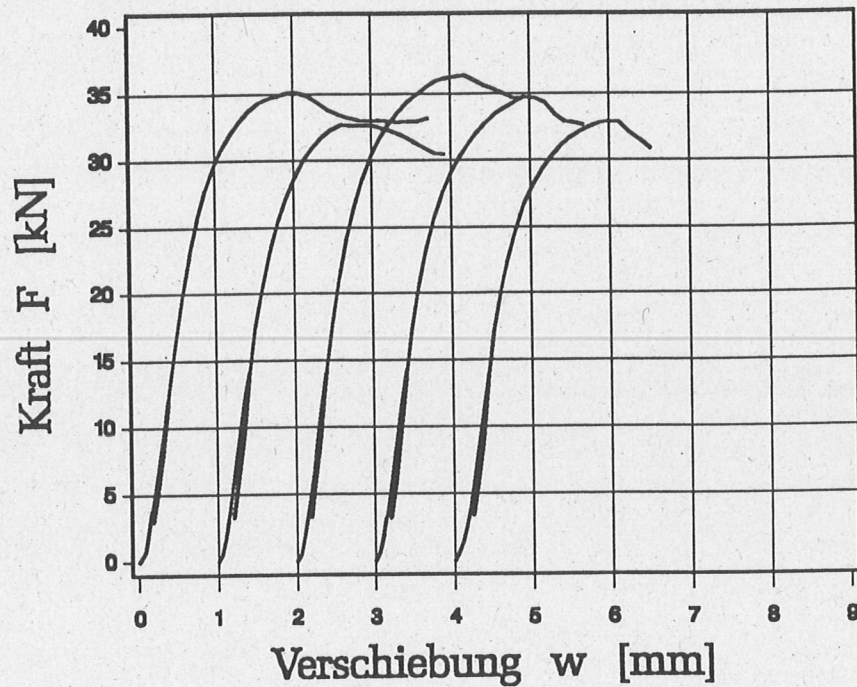


Bild 13: Kraft - Verschiebungsdiagramme der Versuche B5_016 mit:

StDü ϕ :	16 mm
Winkel Kraft - Faserrichtung:	0 Grad
Plattendicke:	12 mm

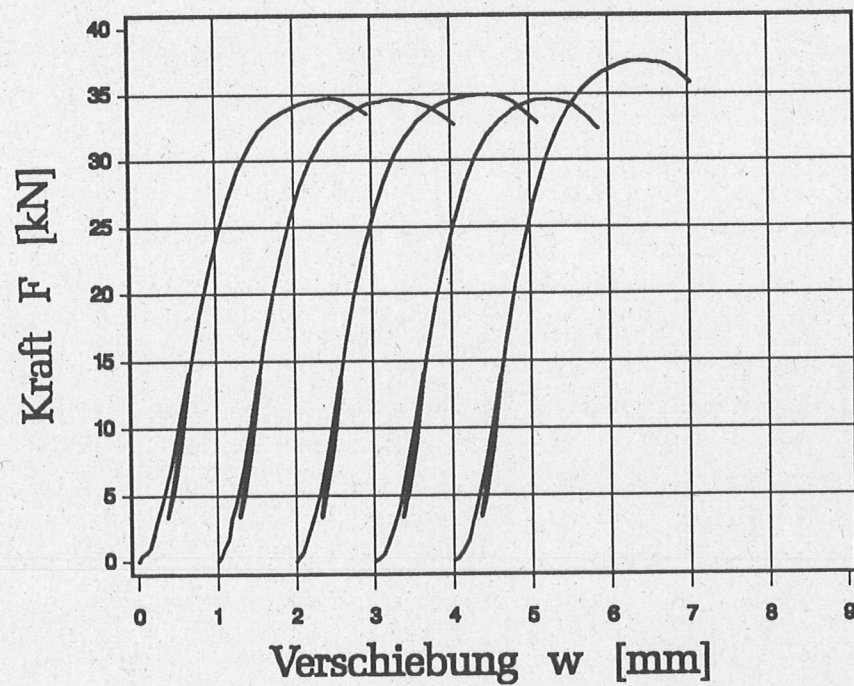


Bild 14: Kraft - Verschiebungsdiagramme der Versuche B54516 mit:

StDü ϕ :	16 mm
Winkel Kraft - Faserrichtung:	45 Grad
Plattendicke:	12 mm

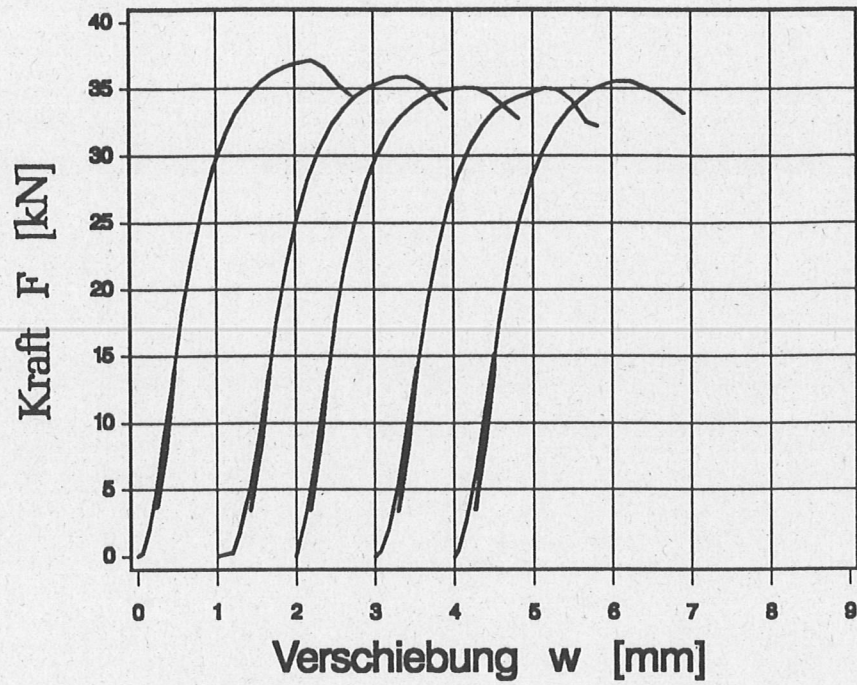


Bild 15: Kraft - Verschiebungsdiagramme der Versuche B59016 mit:

StDü ϕ :	16 mm
Winkel Kraft - Faserrichtung:	90 Grad
Plattendicke:	12 mm

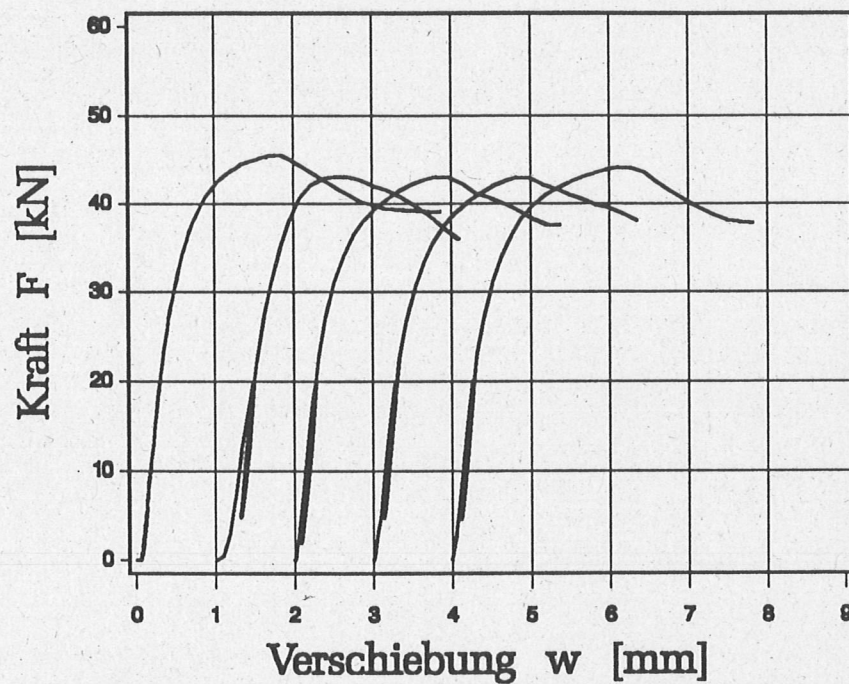


Bild 16: Kraft - Verschiebungsdiagramme der Versuche B5_024 mit:

StDü ϕ :	24 mm
Winkel Kraft - Faserrichtung:	0 Grad
Plattendicke:	12 mm

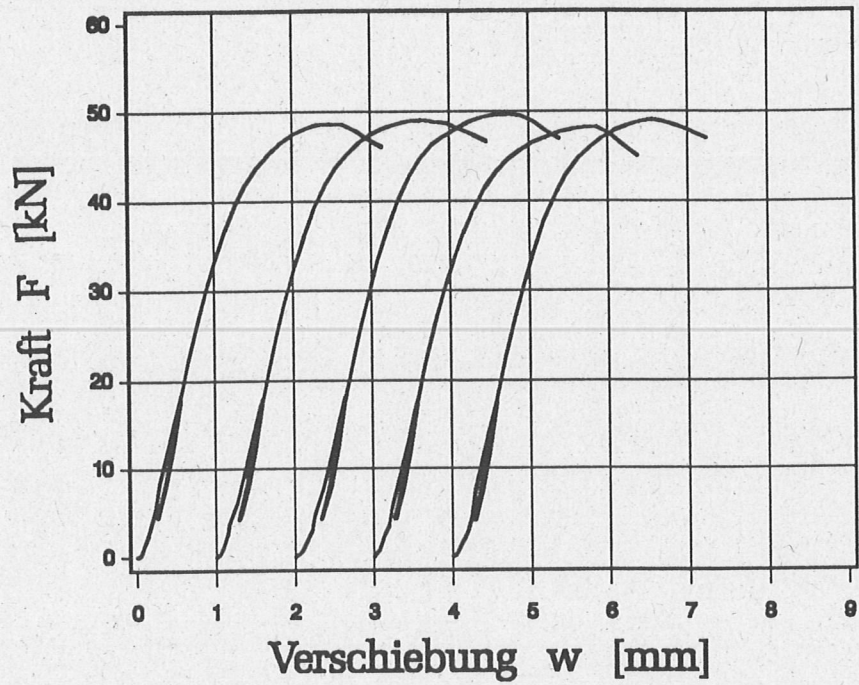


Bild 17: Kraft - Verschiebungsdiagramme der Versuche B54524 mit:

StDü ϕ :	24 mm
Winkel Kraft - Faserrichtung:	45 Grad
Plattendicke:	12 mm

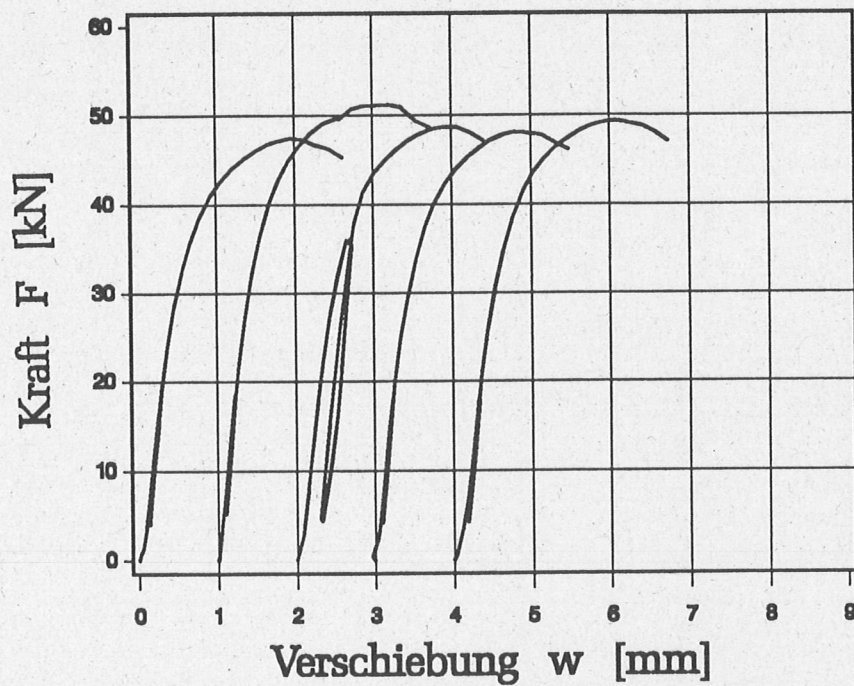


Bild 18: Kraft - Verschiebungsdiagramme der Versuche B59024 mit:

StDü ϕ :	24 mm
Winkel Kraft - Faserrichtung:	90 Grad
Plattendicke:	12 mm

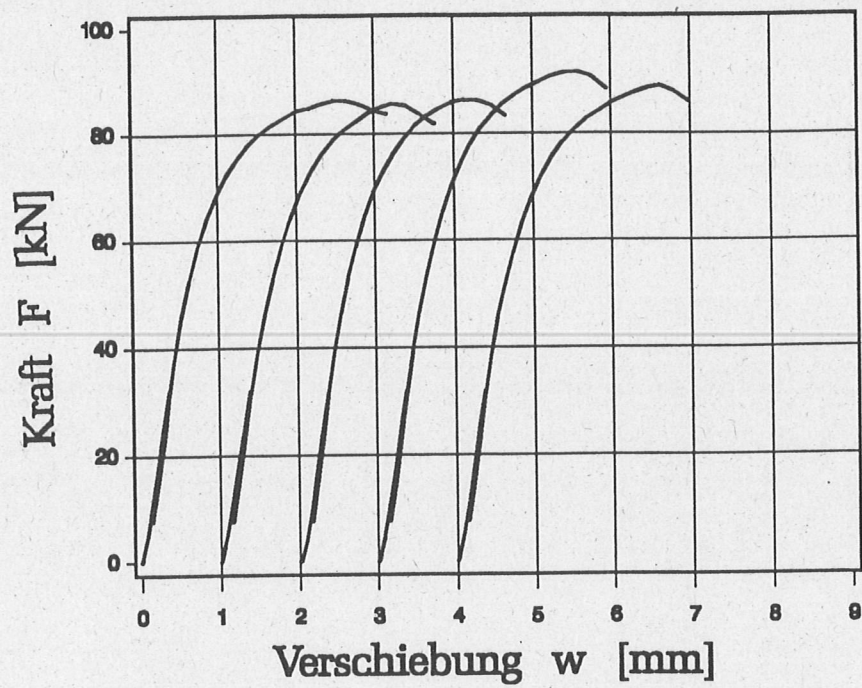


Bild 19: Kraft - Verschiebungsdiagramme der Versuche B6_024 mit:

StDü ϕ :	24 mm
Winkel Kraft - Faserrichtung:	0 Grad
Plattendicke:	20 mm

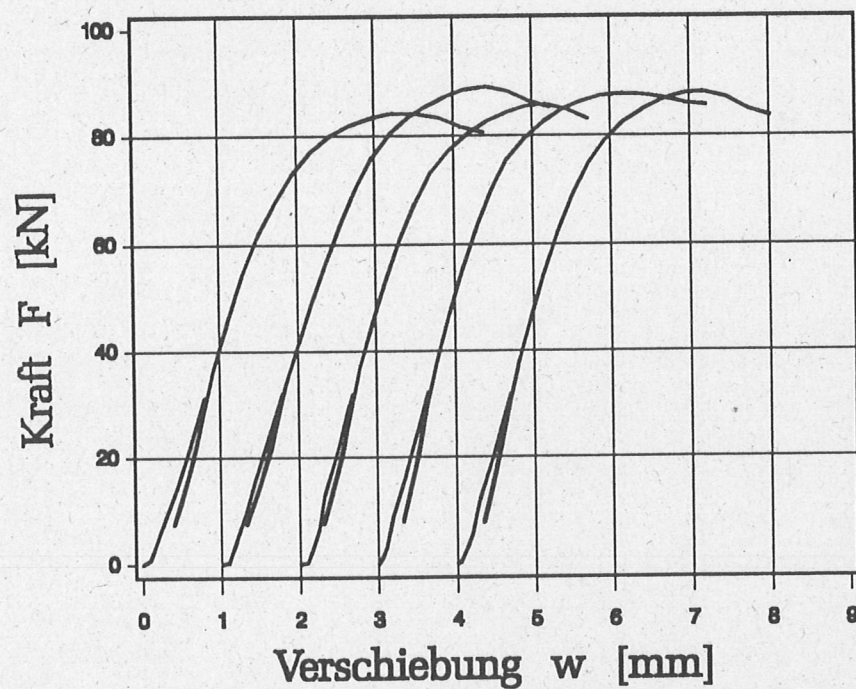


Bild 20: Kraft - Verschiebungsdiagramme der Versuche B64524 mit:

StDü ϕ :	24 mm
Winkel Kraft - Faserrichtung:	45 Grad
Plattendicke:	20 mm

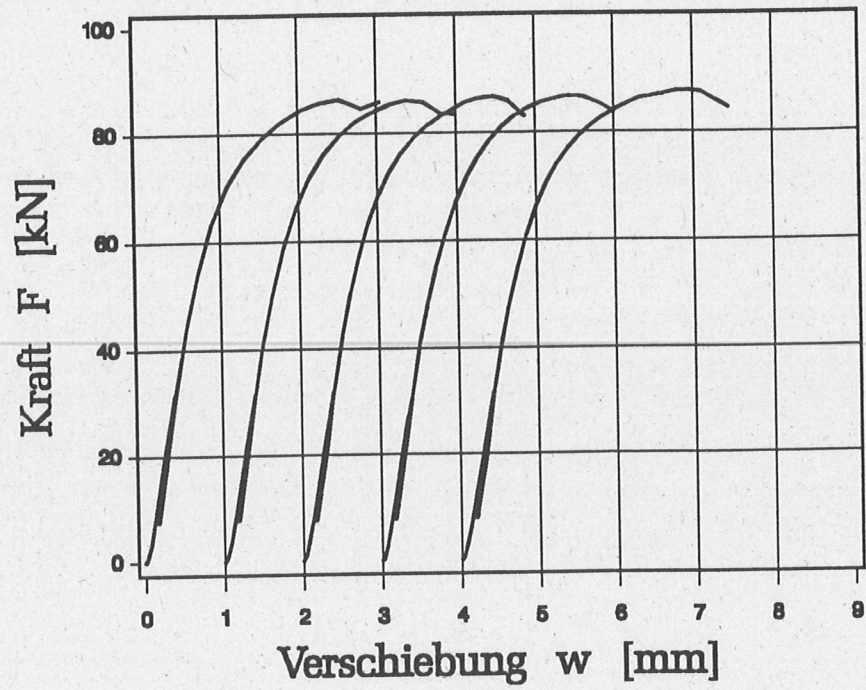


Bild 21: Kraft - Verschiebungsdiagramme der Versuche B69024 mit:

StDü ϕ :	24 mm
Winkel Kraft - Faserrichtung:	90 Grad
Plattendicke:	20 mm

Tabelle 3a: Bruchlasten und Lochleibungsfestigkeiten aller Versuche;
mittlere Lochleibungsfestigkeit

Versuchs- bezeich- nung	Probe- körper	Stabdübel- durch- messer ϕ [mm]	Bruchlast F_{\max} [kN]	tatsächl. Platten- dicke t [mm]	Loch- leibungs- festigkeit f_h [N/mm ²]	mittlere Festigkeit $f_{h,\text{mittel}}$ [N/mm ²]
B5_016	1	16	35,3	12,3	179,4	176,2
	2	"	32,8	12,3	166,7	
	3	"	36,5	12,3	185,5	
	4	"	34,9	12,1	180,3	
	5	"	33,0	12,2	169,1	
B54516	1	16	34,9	12,3	177,3	180,3
	2	"	34,7	12,3	176,3	
	3	"	35,1	12,3	178,4	
	4	"	34,7	12,2	177,8	
	5	"	37,7	12,3	191,6	
B59016	1	16	37,4	12,1	193,2	185,9
	2	"	36,1	12,0	188,0	
	3	"	35,6	12,1	183,9	
	4	"	35,3	12,0	183,9	
	5	"	35,8	12,4	180,4	
B5_024	1	24	46,6	12,3	157,9	150,6
	2	"	43,2	12,2	147,5	
	3	"	43,4	12,4	145,8	
	4	"	43,5	12,2	148,6	
	5	"	44,5	12,1	153,2	
B54524	1	24	49,0	12,1	168,7	169,6
	2	"	49,4	12,1	170,1	
	3	"	50,1	12,0	174,0	
	4	"	48,7	12,2	166,3	
	5	"	49,5	12,2	169,1	
B59024	1	24	47,7	12,0	165,6	169,9
	2	"	51,2	12,2	174,9	
	3	"	49,1	12,1	169,1	
	4	"	48,5	12,1	167,0	
	5	"	49,8	12,0	172,9	

Tabelle 3b: Bruchlasten und Lochleibungsfestigkeiten aller Versuche;
mittlere Lochleibungsfestigkeit

Versuchs- bezeich- nung	Probe- körper	Stabdübel- durch- messer	Bruchlast	tatsächl. Platten- dicke	Loch- leibungs- festigkeit	mittlere Festigkeit
		ϕ	F_{\max}	t	f_h	$f_{h,\text{mittel}}$
		[mm]	[kN]	[mm]	[N/mm ²]	[N/mm ²]
B6_024	1	24	86,8	20,7	174,7	180,2
	2	"	86,5	20,4	176,7	
	3	"	87,0	20,4	177,7	
	4	"	92,3	20,4	188,5	
	5	"	89,7	20,4	183,2	
B64524	1	24	84,9	20,3	174,3	180,2
	2	"	89,7	20,3	184,1	
	3	"	86,3	20,3	177,1	
	4	"	88,4	20,3	181,4	
	5	"	88,8	20,3	184,3	
B69024	1	24	87,9	20,4	179,5	179,0
	2	"	86,8	20,3	178,2	
	3	"	87,3	20,4	178,3	
	4	"	87,2	20,2	179,9	
	5	"	88,2	20,5	179,3	

Tabelle 4: Versuchsprogramm der Zug-(Z) und Druckscherkörper(D) für Langzeitversuche

Bezeichnung der Prüfkörper	Klima	Beanspruchung	Holz	Hersteller ¹	Anzahl d. Prüfkörper
Z BSH 20/65 D1...4 D BSH 20/65 C1...2 D BSH 20/65 D1...4	Einbau und Prüfung im Klimaraum	Z D D	BSH ² " "	D C D	4 2 4
Z VH 20/65 D1...4 D VH 20/65 C1...2 D VH 20/65 D1...4	Einbau mit u > 25% und Prüfung im Klimaraum	Z D D	VH ³ " "	D C D	4 2 4
Z BSH wechs D1...4 D BSH wechs C1...2 D BSH wechs D1...4	Einbau und Prüfung im Freien (Wechselklima)	Z D D	BSH " "	D C D	4 2 4
Z VH wechs D1...4 D VH wechs C1...2 D VH wechs D1...4	Einbau mit u > 25% und Prüfung im Freien (Wechselklima)	Z D D	VH " "	D C D	4 2 4
Z VH wechs D1...4 D VH wechs D1...6	Neuer Versuchsaufbau mit geringerer Belastung Einbau und Prüfung im Freien (Wechselklima)	Z D	VH "	D D	4 6

¹ Bezeichnung der Stabdübel aus KPH nach Teil 2 des Forschungsvorhabens

² BSH = Brettschichtholz

³ VH = Vollholz

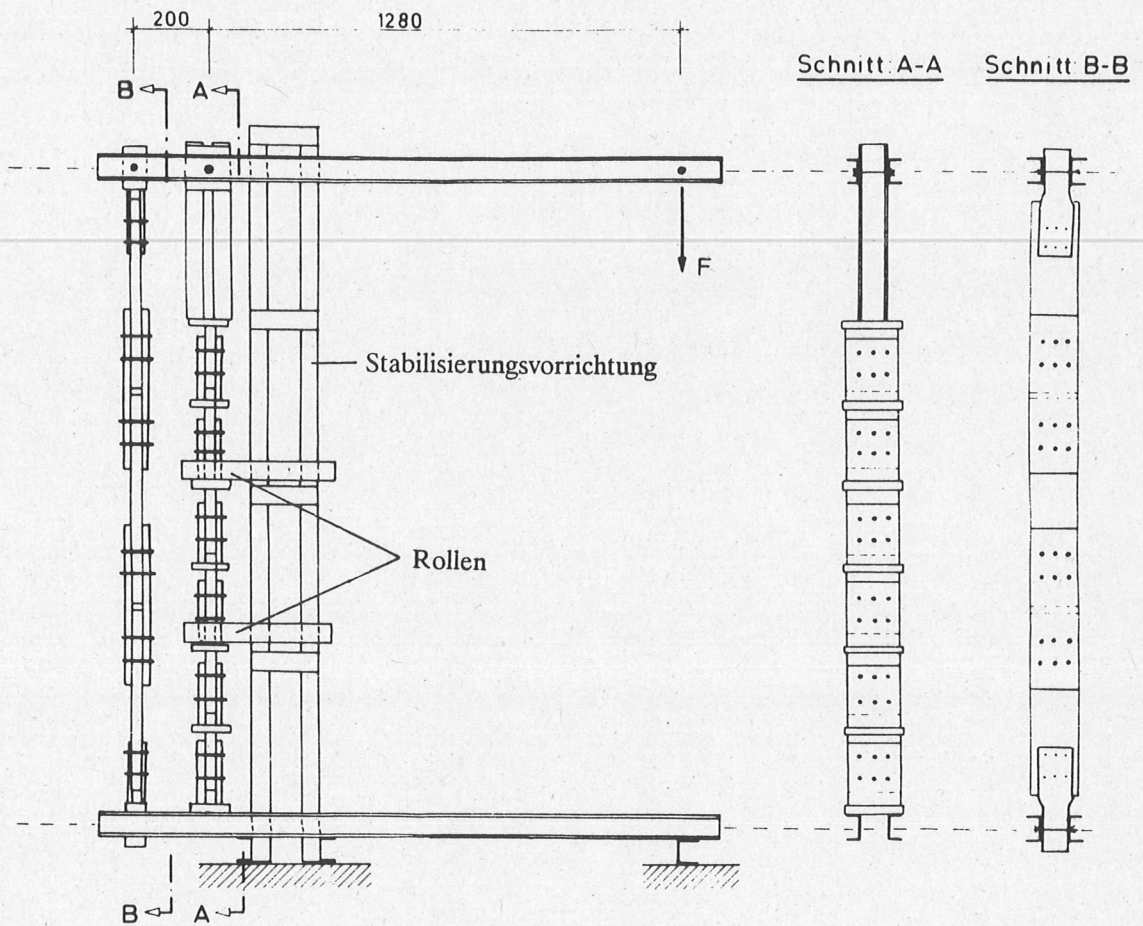


Bild 22: Schema der Versuchseinrichtung für die Langzeitversuche

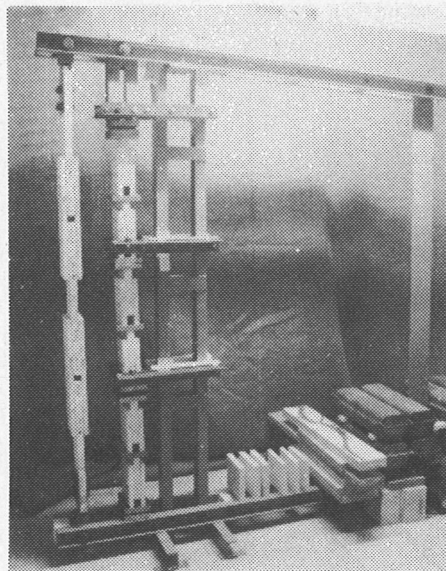


Bild 23: Versuchseinrichtung für die Langzeitversuche

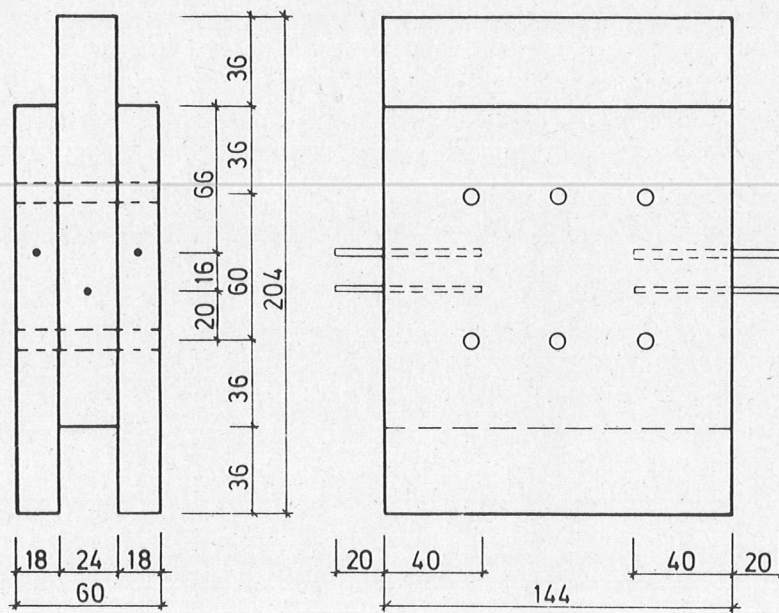


Bild 24: Anordnung der Meßstifte

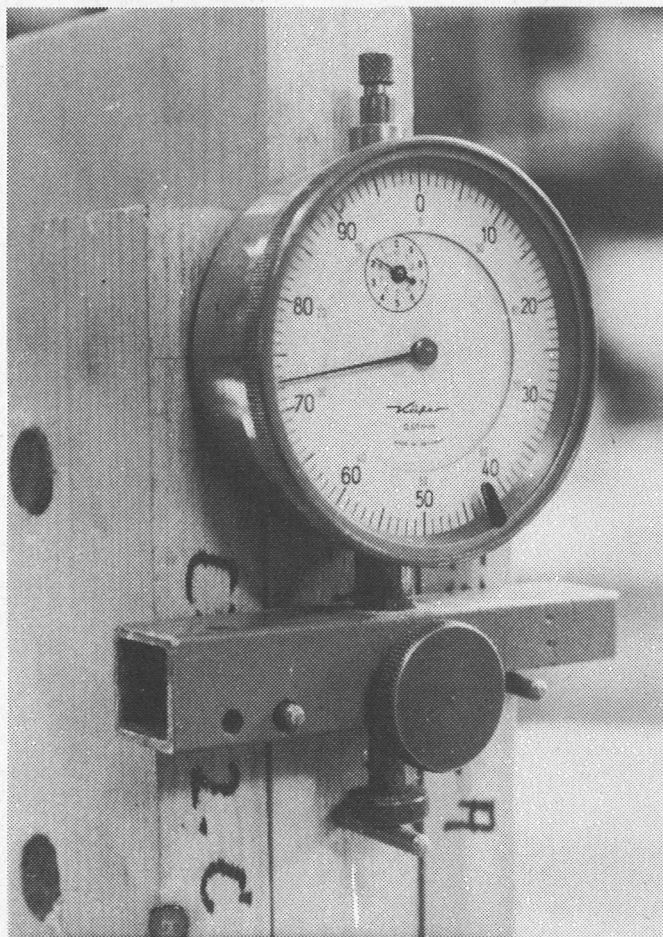


Bild 25: eingebaute
1/100 mm Meßuhr im
Detail

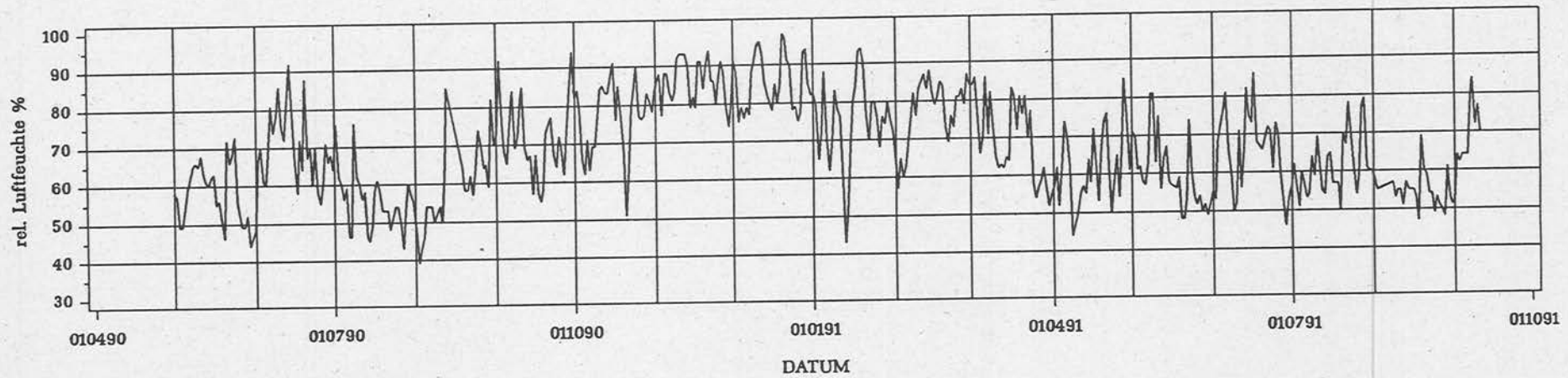
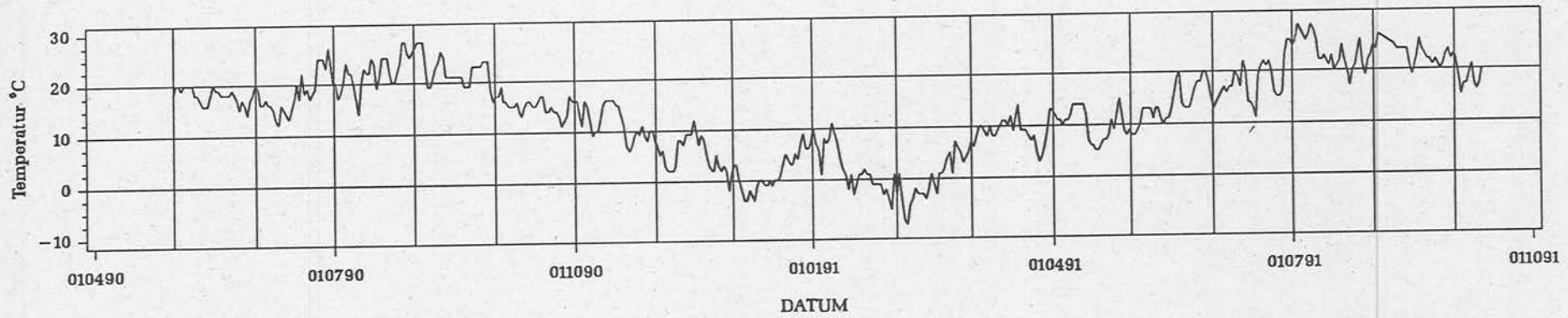


Bild 26: Tagesmittelwerte der Temperatur und der relativen Luftfeuchte des Wechselklimas unter Dach während des Versuchszeitraumes

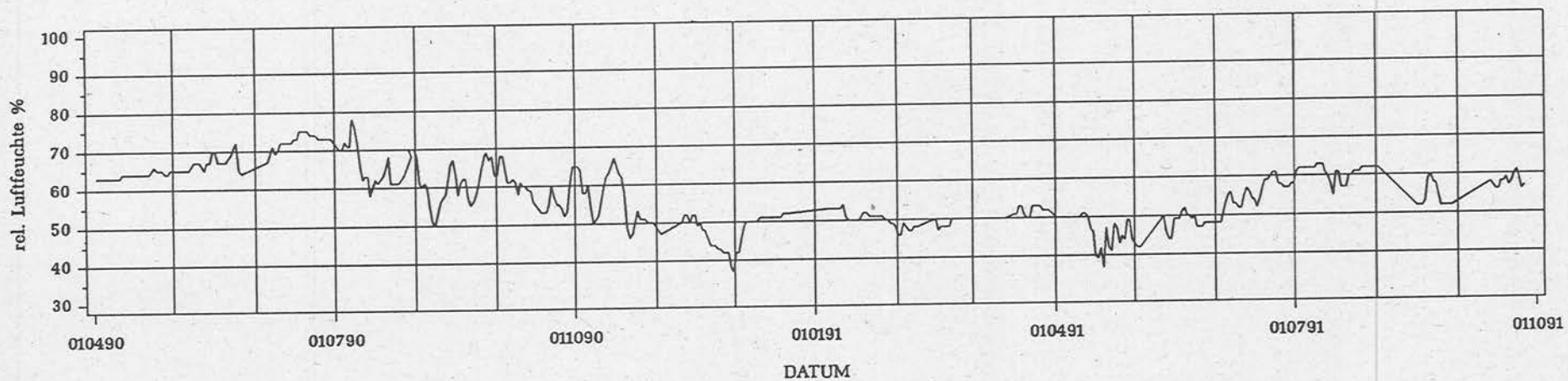
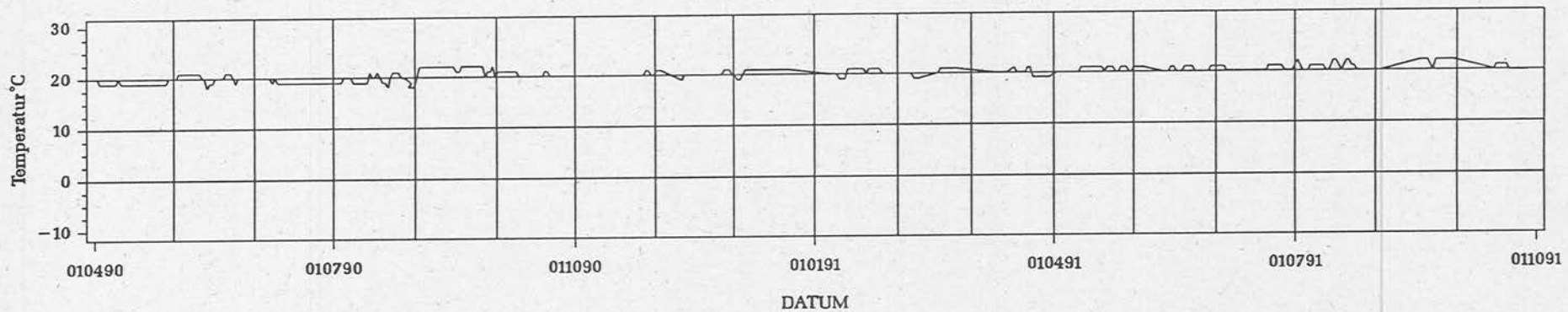


Bild 27: Tagesmittelwerte der Temperatur und der relativen Luftfeuchte des Konstantklimas während des Versuchszeitraumes

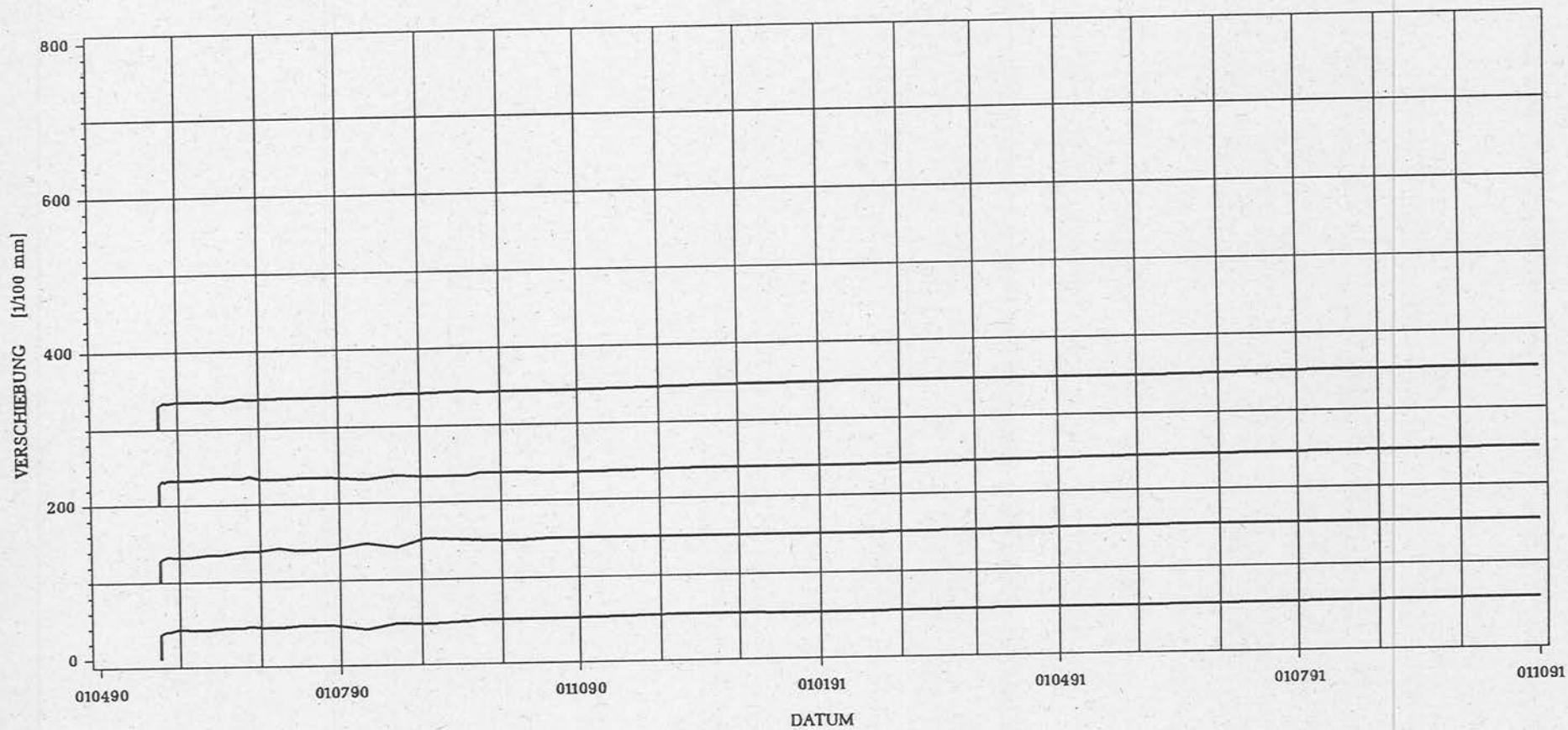


Bild 28: Verschiebungen aller Zugscherkörper aus BSH im Konstantklima

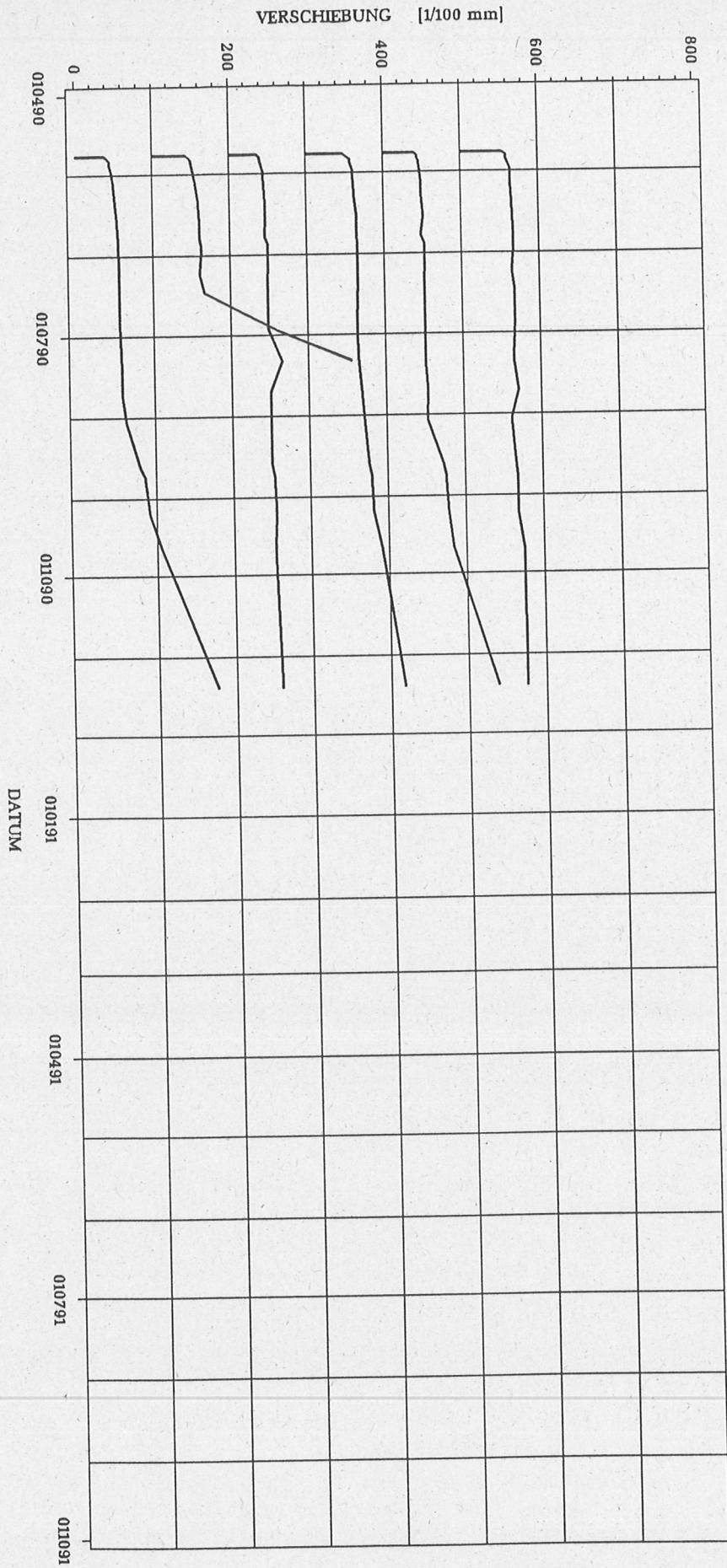


Bild 29:

Verschiebungen aller Druckscherkörper aus BSH im Konstantklima

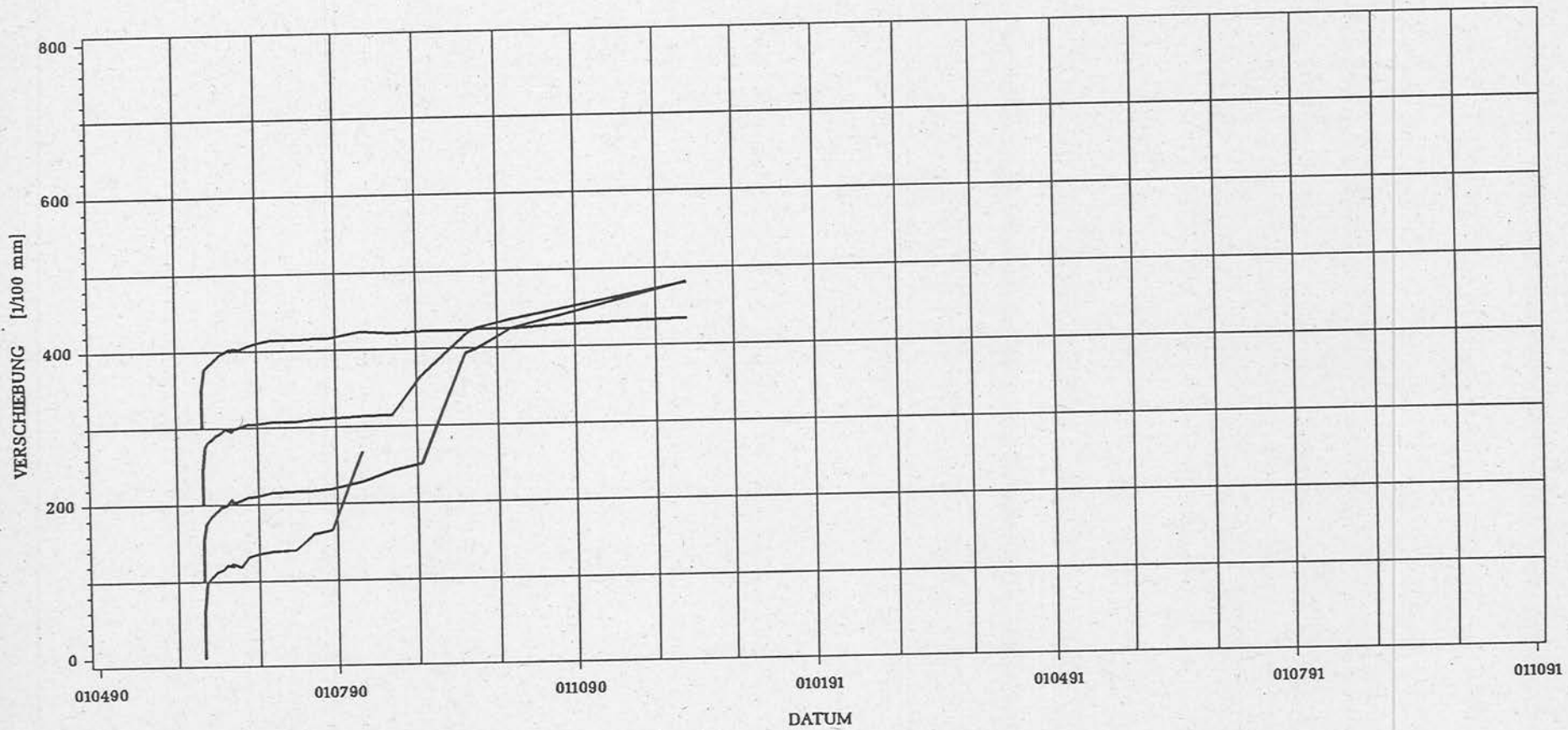


Bild 30: Verschiebungen aller Zugscherkörper aus VH im Konstantklima



Bild 31: Verschiebungen aller Druckscherkörper aus VH im Konstantklima

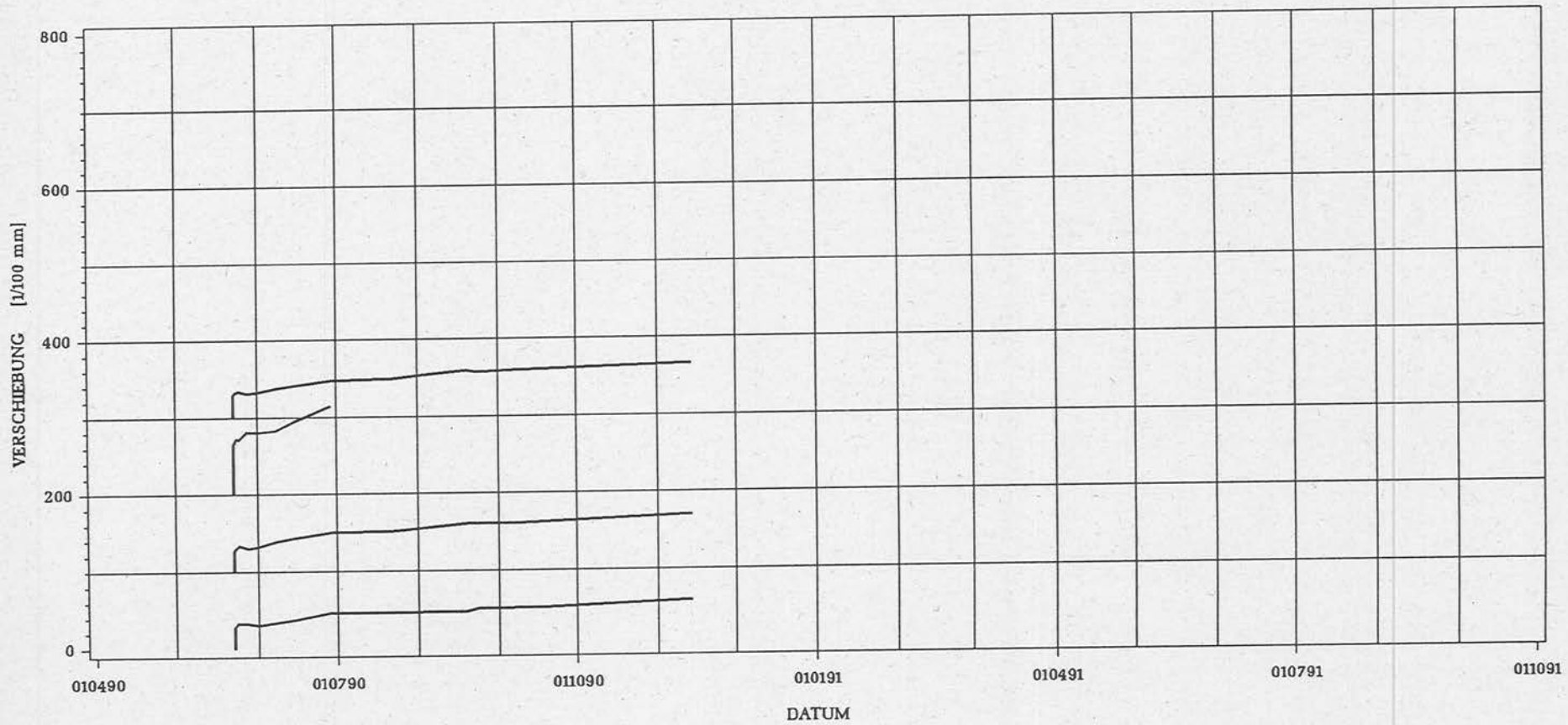


Bild 32: Verschiebungen aller Zugscherkörper aus BSH im Wechselklima unter Dach



Bild 33: Verschiebungen aller Druckscherkörper aus BSH im Wechselklima unter Dach .

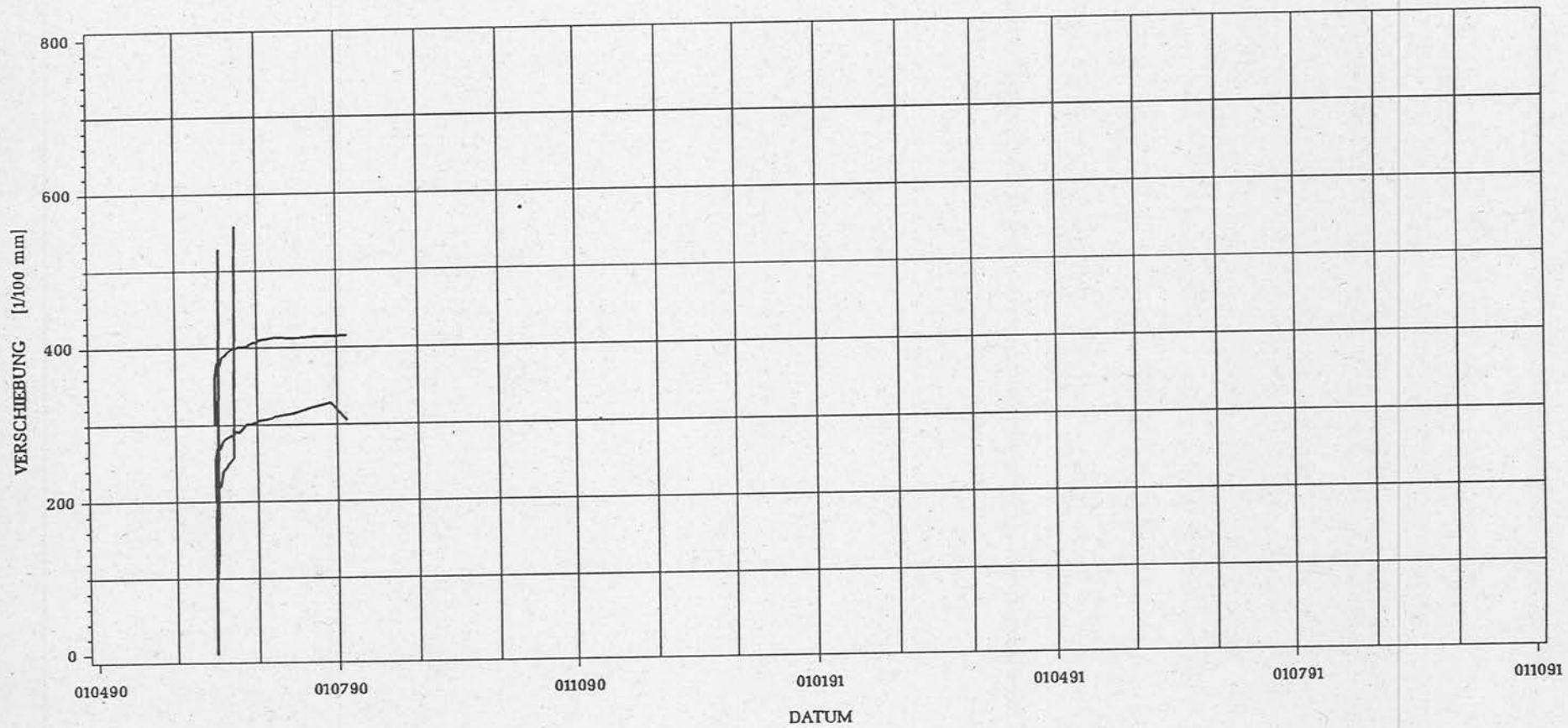


Bild 34: Verschiebungen aller Zugscherkörper aus VH im Wechselklima unter Dach

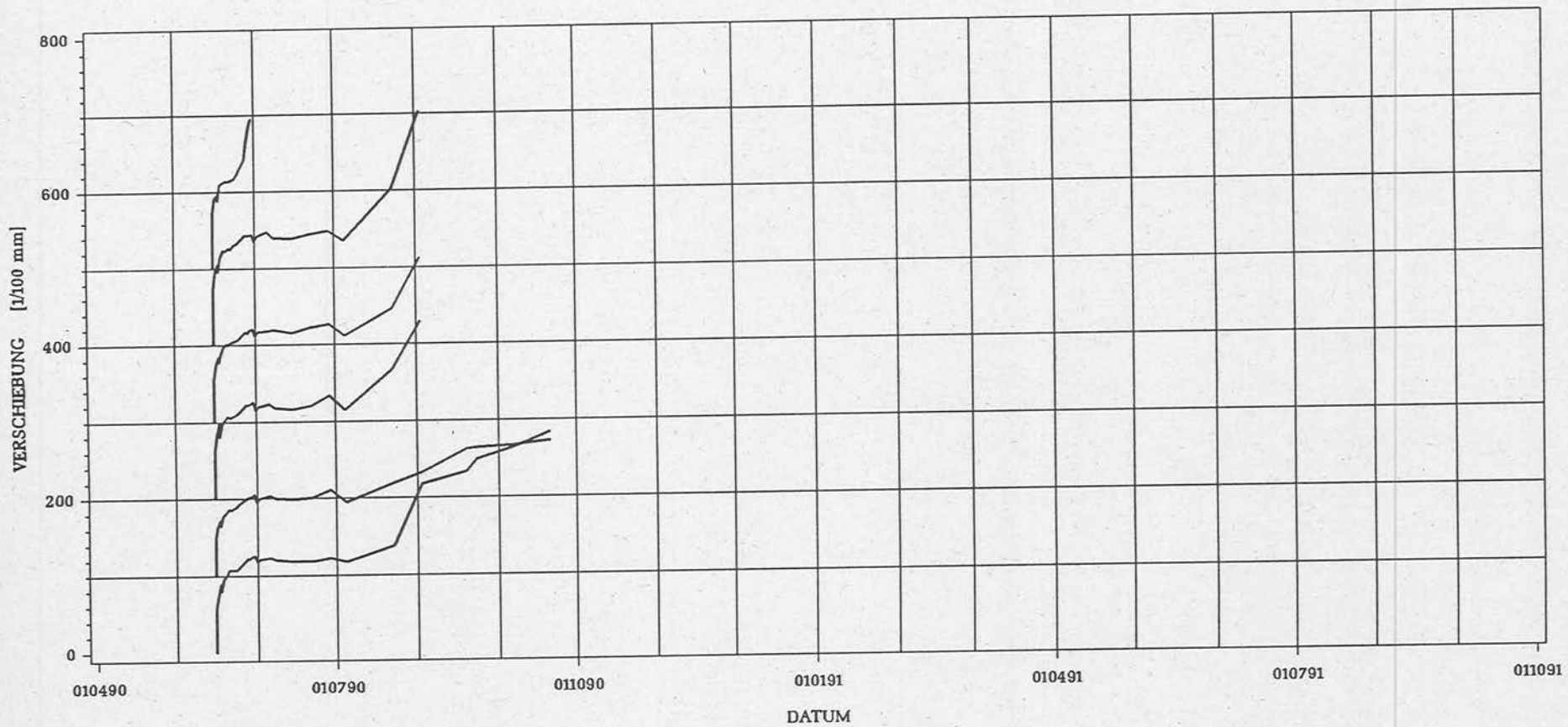
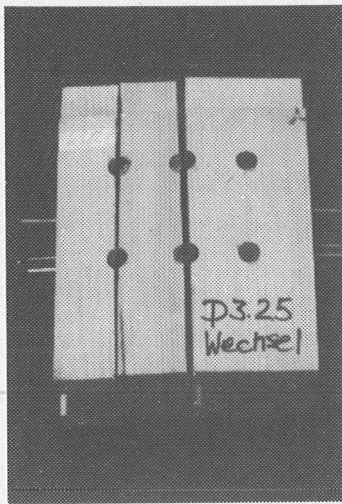
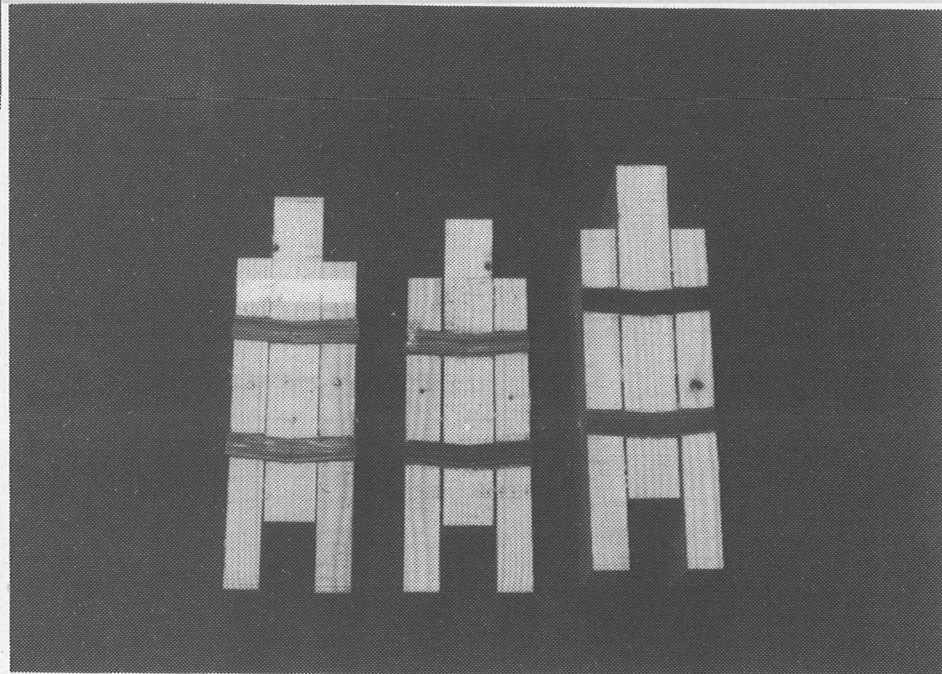


Bild 35: Verschiebungen aller Druckscherkörper aus VH im Wechselklima unter Dach



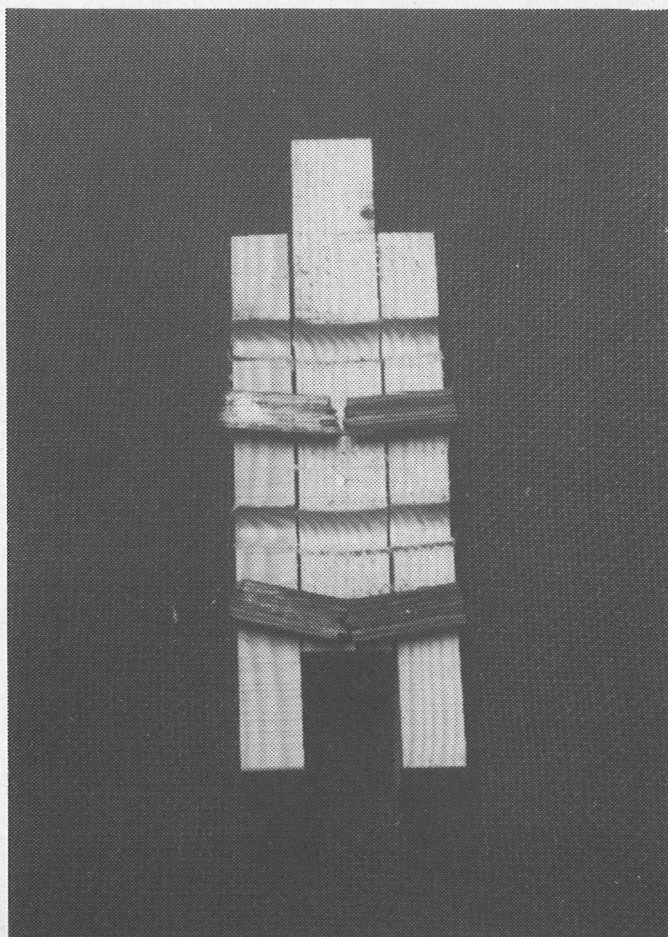
a)

I II III



I II III

b)



c) Teilstück II

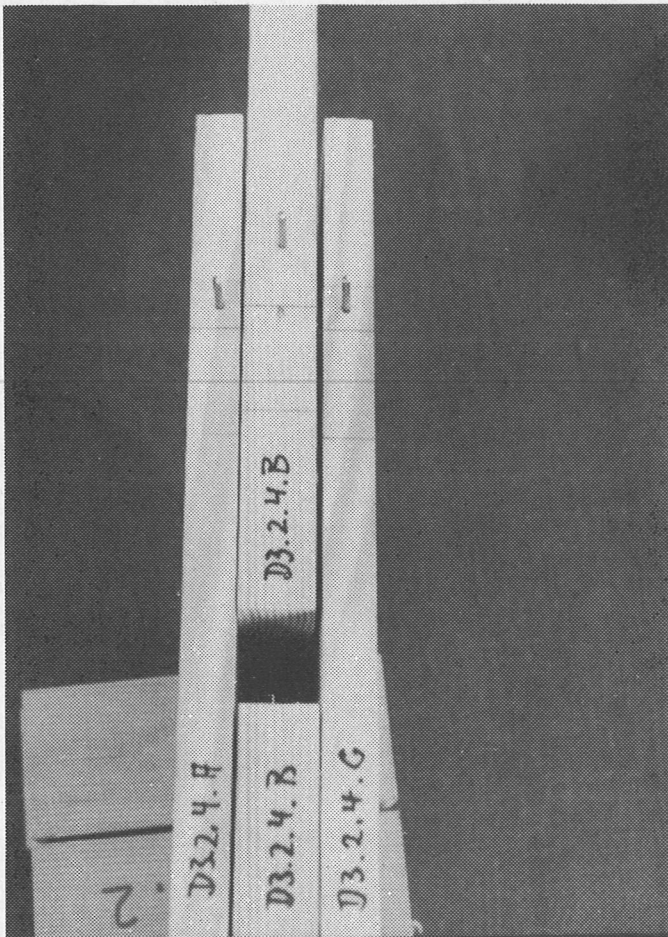
Bilder 36 a,b,c:

aufgetrennter Druckscherkörper aus Vollholz nach Langzeitversuch im Wechselklima unter Dach (Versagen der Stabdübel)

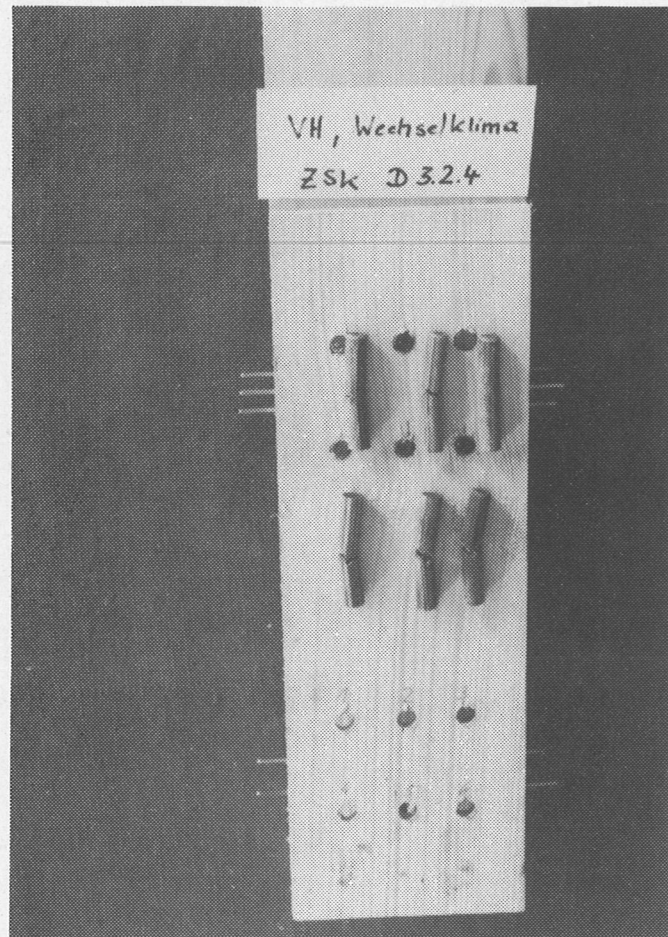
a) gesamter Körper in Ansicht mit Sägeschnitten

b) Ansichten der Schnitte in Stabdübelebene

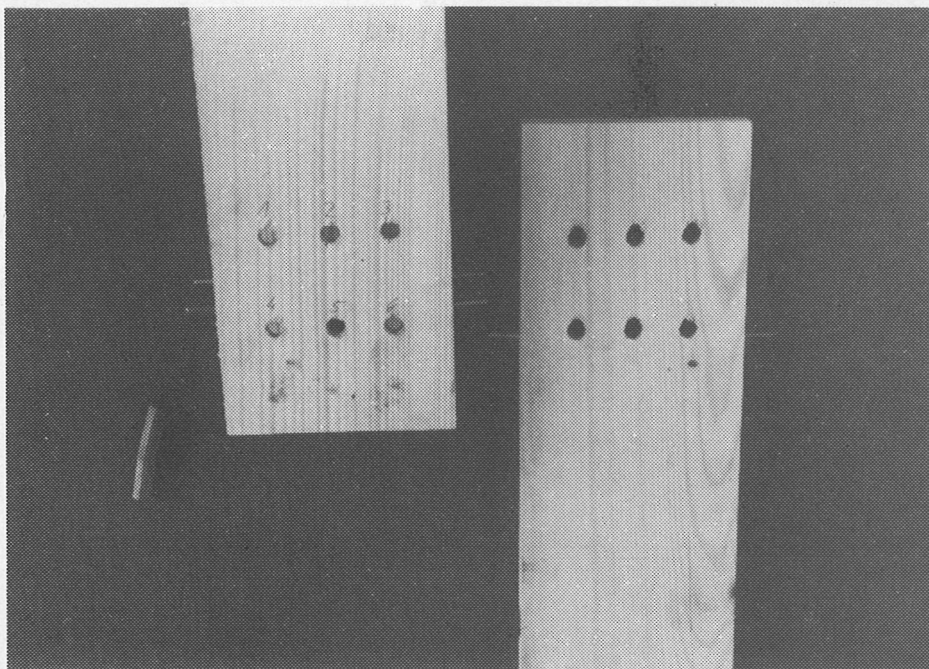
c) Teilstück II in Vergrößerung mit gebrochenen Dübeln



a)



b)



c)

Bilder 37 a,b,c:

Zugscherkörper aus Vollholz nach Langzeitversuch im Wechselklima unter Dach (Versagen der Stabdübel)

- a) Fugen zwischen den Einzelteilen durch Schwinden
- b) gebrochene Stabdübel
- c) Seitenhölzer (links) und Mittelholz

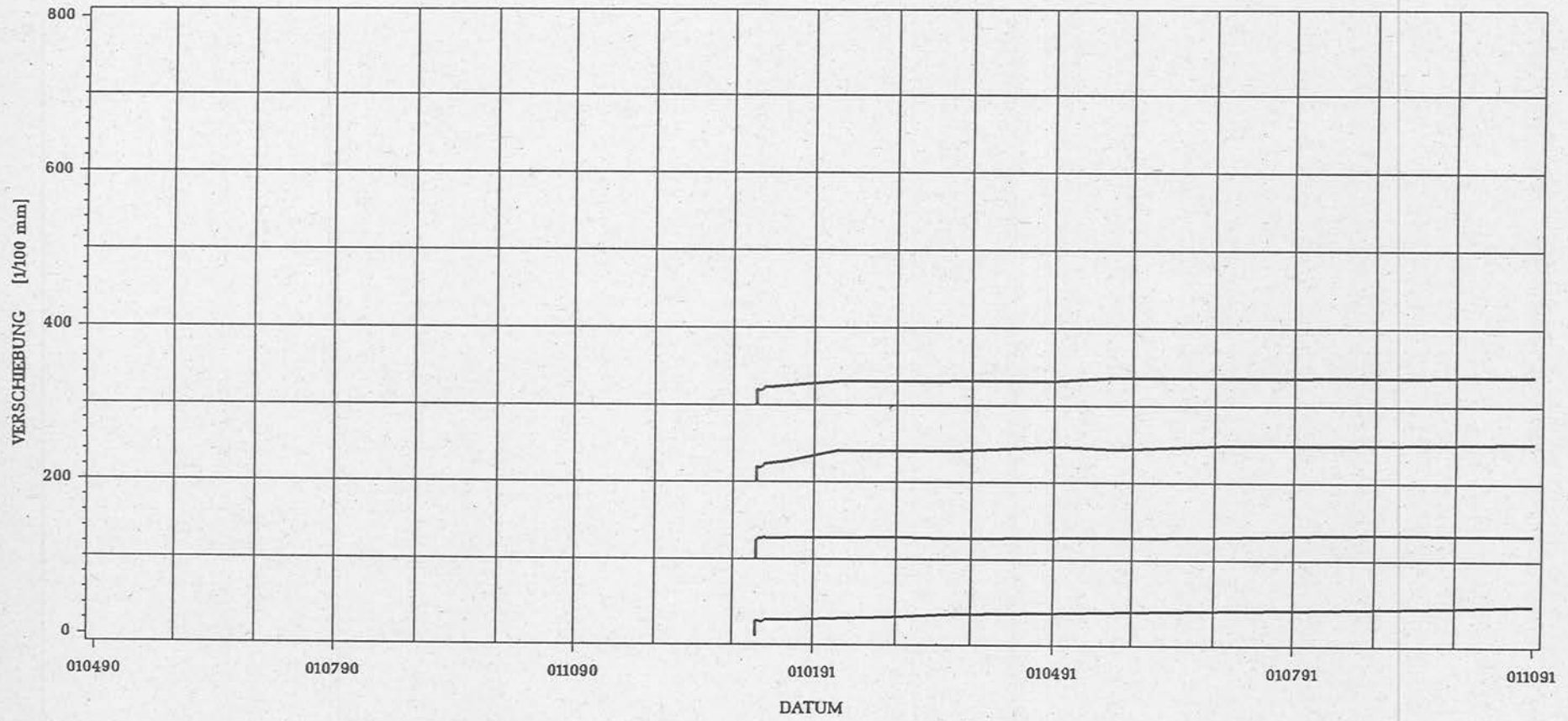


Bild 38: Verschiebungen aller Zugscherkörper aus BSH im Wechselklima unter Dach (neuer Versuchsaufbau mit verringerter Belastung)

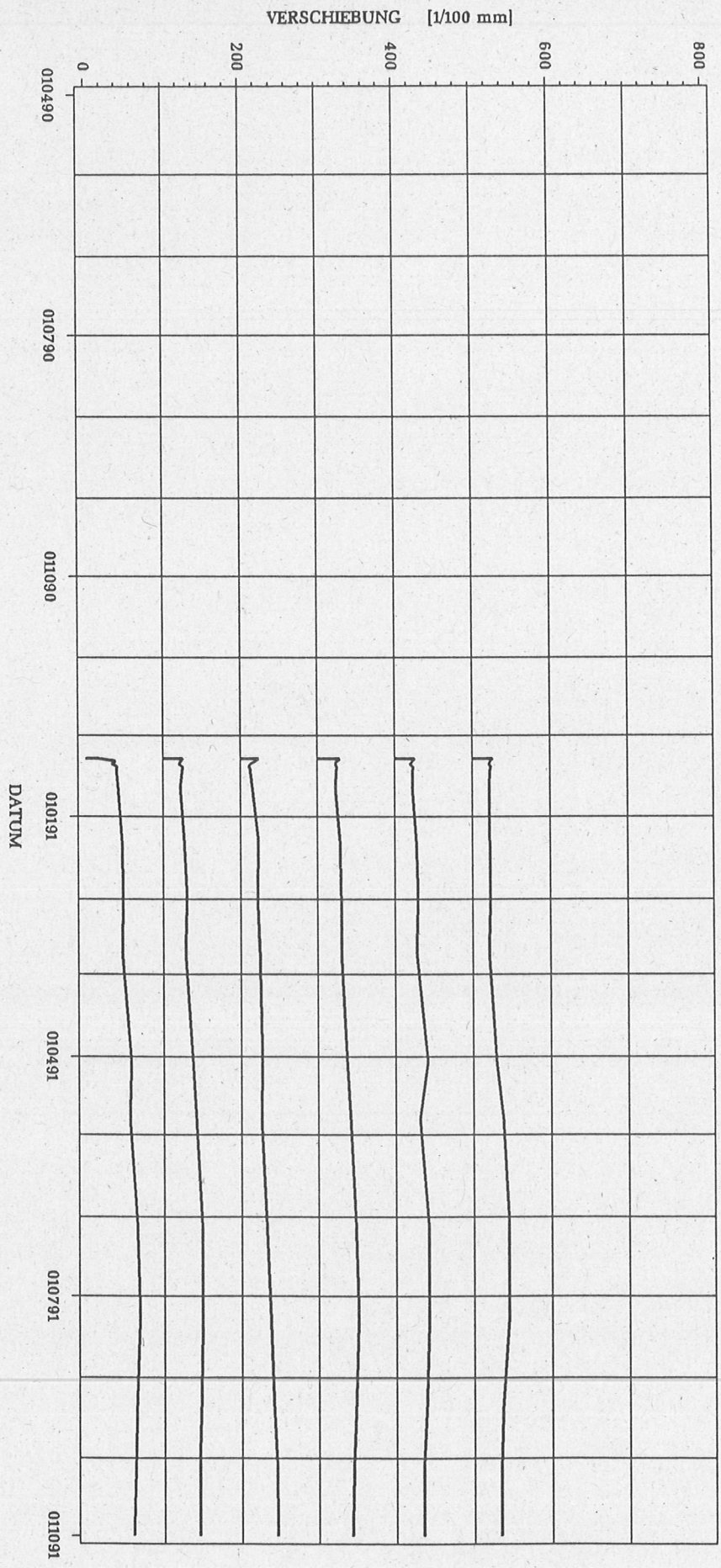


Bild 39: Verschiebungen aller Druckscherkörper aus BSH im Wechselklima unter Dach (neuer Versuchsaufbau mit verringerter Belastung)

Tabelle 5: Bruchlasten und Bruchursachen der Versuche mit Stabdübeln aus Eiche, Buche und Bongossi (zum Vergleich auch die Ergebnisse der Versuche mit Stabdübeln aus KPH)

Versuchs- bezeichng.	Stabdübel			Bruchlast [kN]	Bruchursache
	ϕ [mm]	Material	λ		
Ei 320 1 Ei 320 2	12 "	Eiche "	2,0 "	24,0 24,6	StDü MH ¹ StDü MH
Bu 320 1 Bu 320 2	" "	Buche "	" "	32,6 32,7	StDü MH StDü MH + SH ²
Bo 320 1 Bo 320 2	" "	Bongossi "	" "	35,8 37,5	StDü MH StDü MH
KPH C320	"	KPH	2,0	49,4	StDü MH
Ei 340 1 Ei 340 2	" "	Eiche "	4,0 "	29,8 25,6	StDü MH + SH "
Bu 340 1 Bu 340 2	" "	Buche "	" "	41,7 48,2	" "
Bo 340 1 Bo 340 2	" "	Bongossi "	" "	53,3 61,2	" "
KPH C340	"	KPH	4,0	71,3	StDü MH + SH

¹ StDü MH: 1 Stabdübelbruch im Mittelholz

² StDü MH + SH: je 1 Stabdübelbruch im Mittelholz sowie in den Seitenhölzern

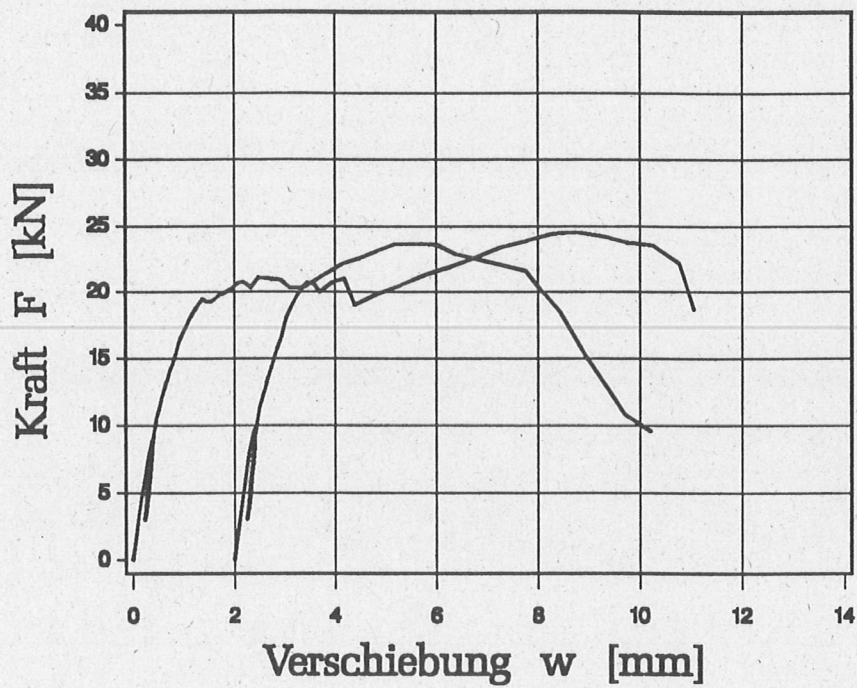


Bild 40: Kraft - Verschiebungsdiagramme der Versuche Ei320 mit:
 StDü ϕ : 12 mm
 Schlankheit λ : 2,0
 Material: Eiche

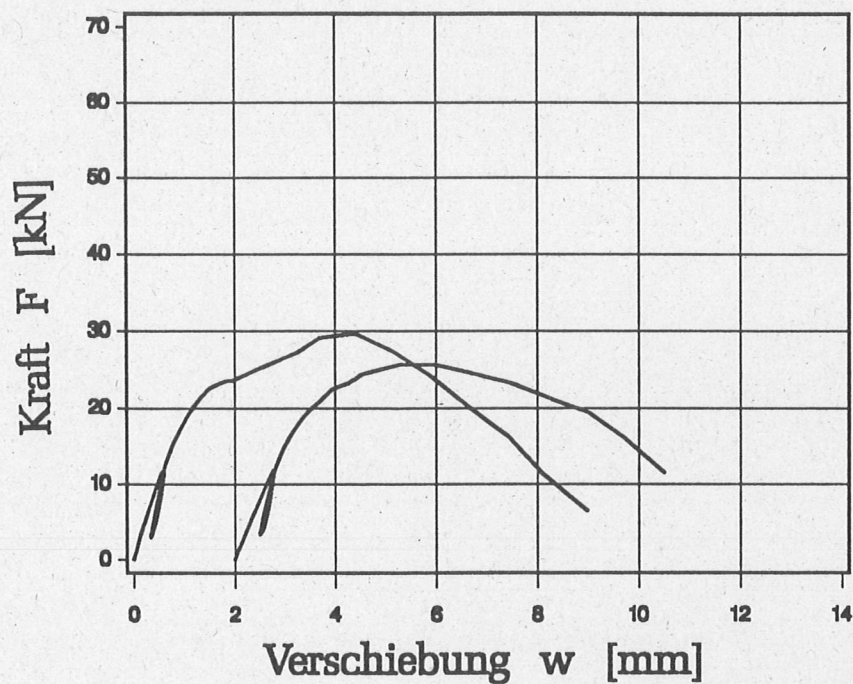


Bild 41: Kraft - Verschiebungsdiagramme der Versuche Ei340 mit:
 StDü ϕ : 12 mm
 Schlankheit λ : 4,0
 Material: Eiche

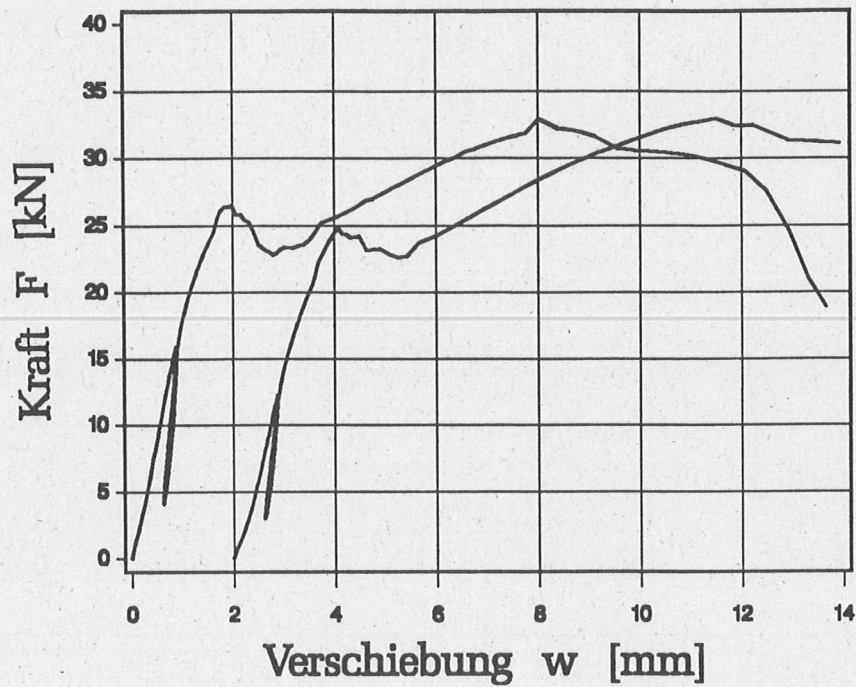


Bild 42: Kraft - Verschiebungsdiagramme der Versuche Bu320 mit:
 StDü ϕ : 12 mm
 Schlankheit λ : 2,0
 Material: Buche

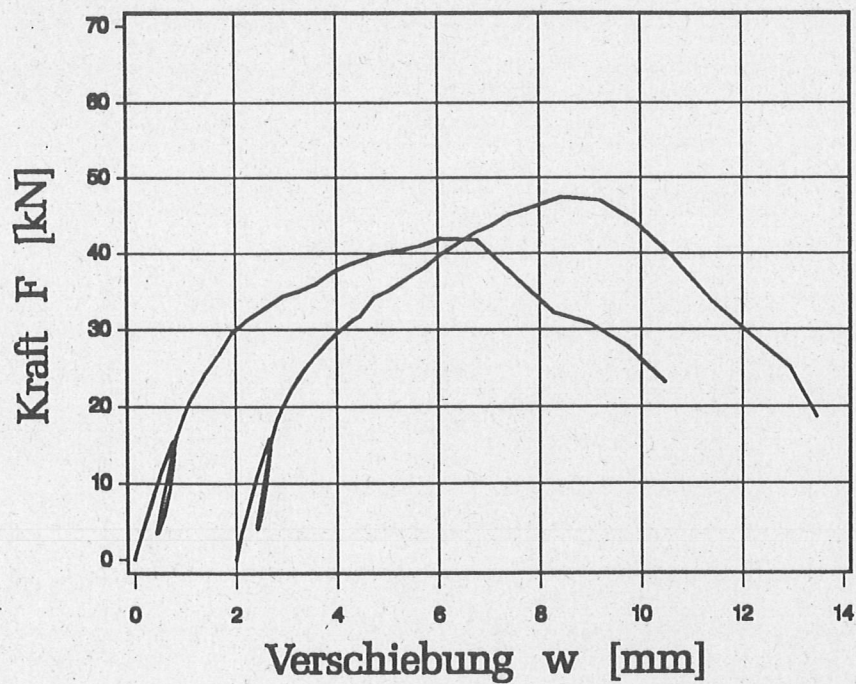


Bild 43: Kraft - Verschiebungsdiagramme der Versuche Bu340 mit:
 StDü ϕ : 12 mm
 Schlankheit λ : 4,0
 Material: Buche

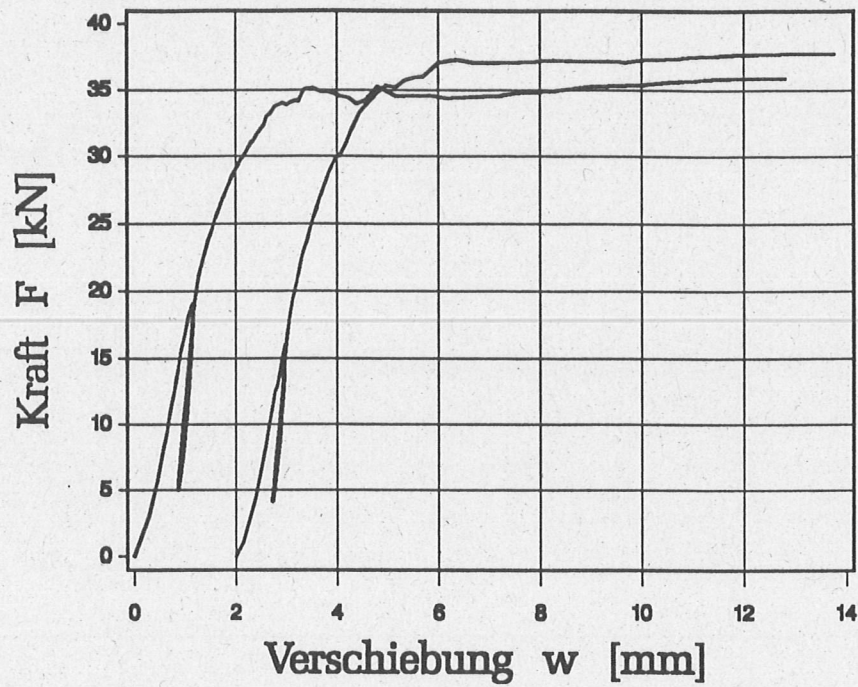


Bild 44: Kraft - Verschiebungsdiagramme der Versuche Bo320 mit:
 StDü ϕ : 12 mm
 Schlankheit λ : 2,0
 Material: Bongossi

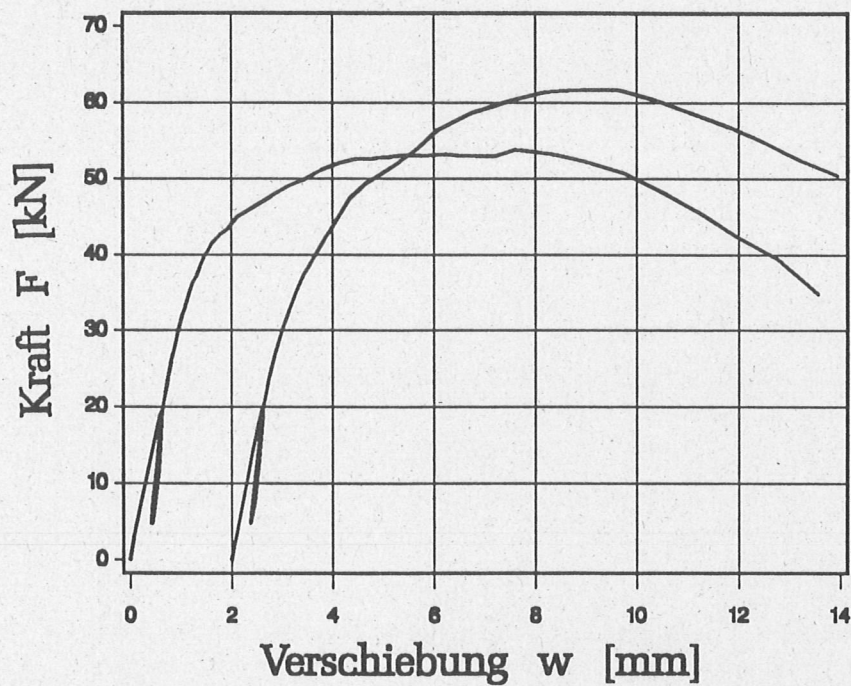


Bild 45: Kraft - Verschiebungsdiagramme der Versuche Bo340 mit:
 StDü ϕ : 12 mm
 Schlankheit λ : 4,0
 Material: Bongossi

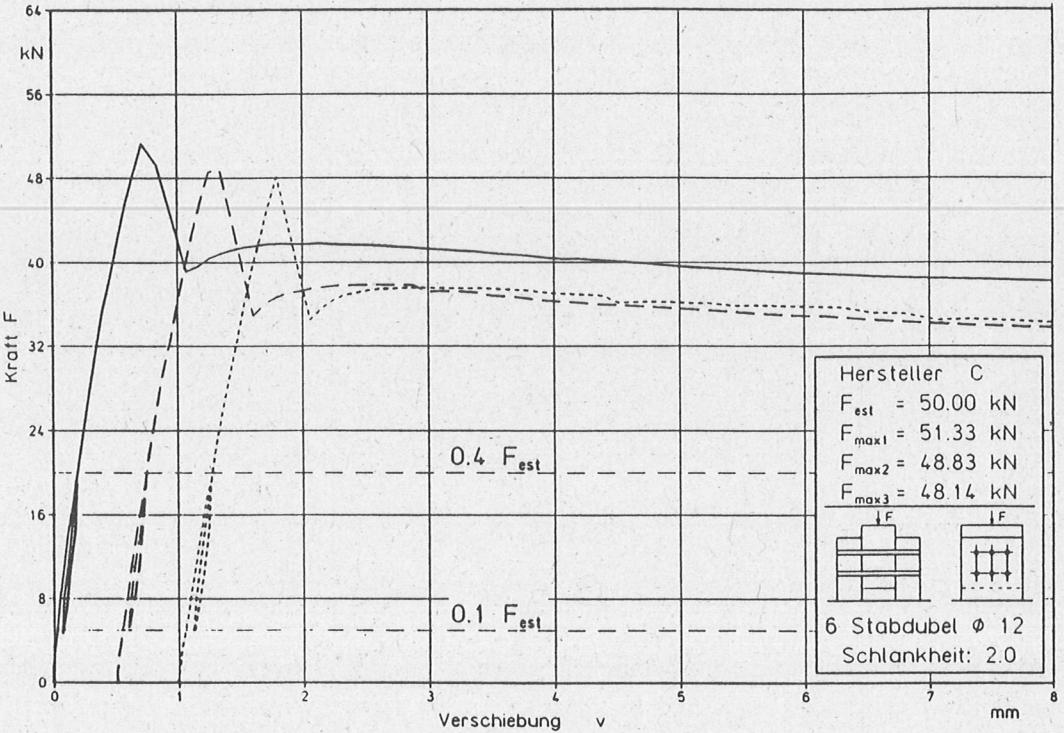


Bild 46: Kraft-Verschiebungsdiagramme der Versuche C320 mit StDü aus KPH (siehe Teil 2 des Forschungsvorhabens)

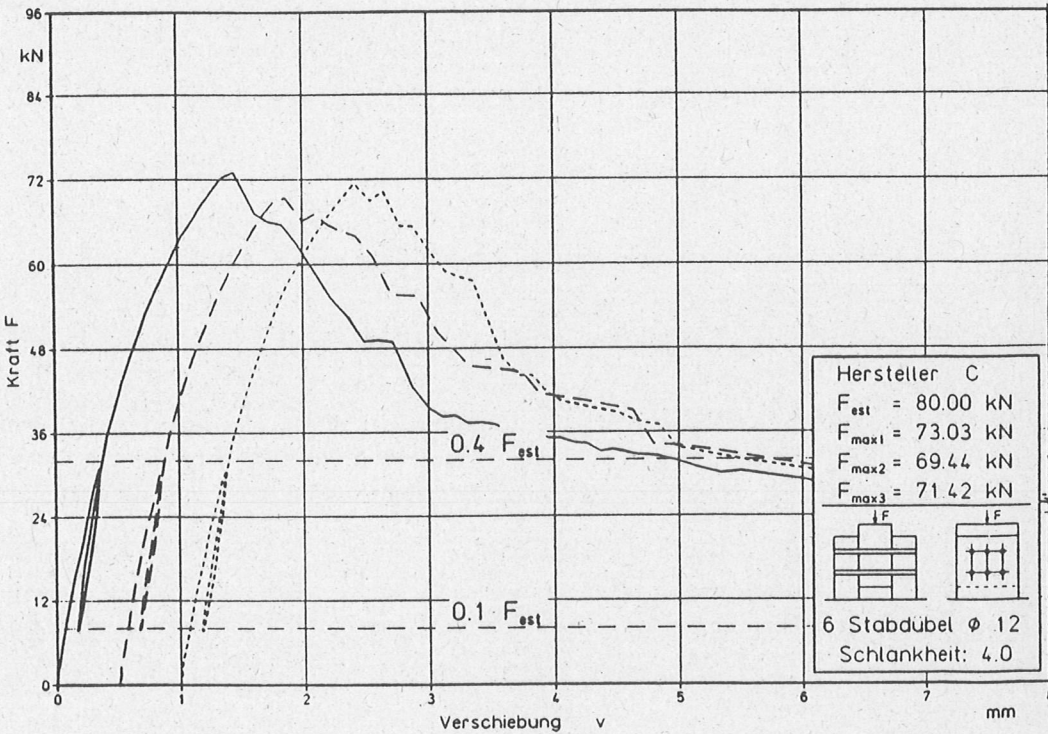


Bild 47: Kraft - Verschiebungsdiagramme der Versuche C340 mit StDü aus KPH (siehe Teil 2 des Forschungsvorhabens)

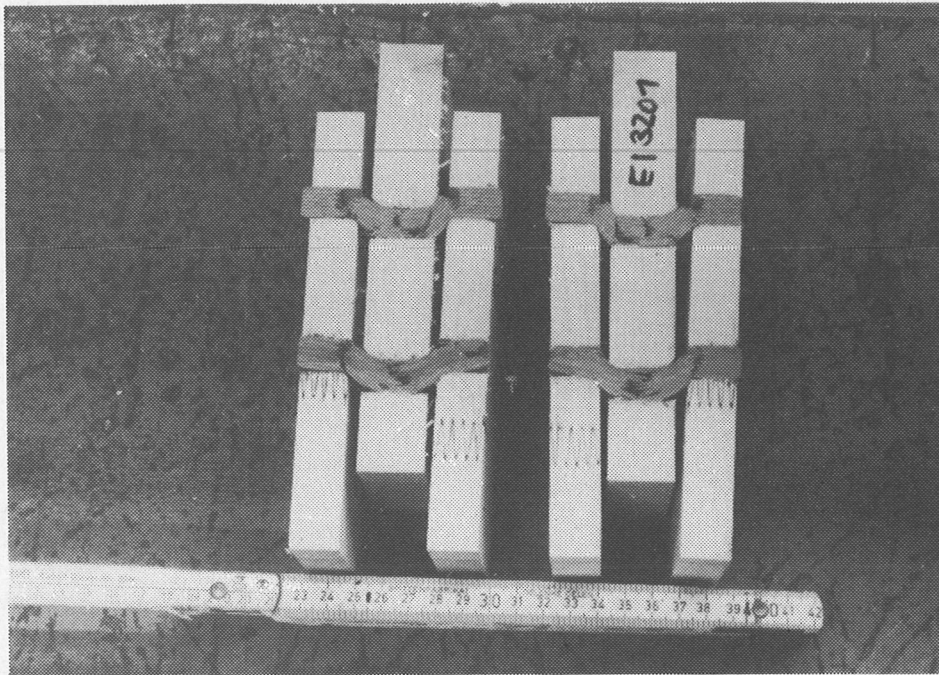


Bild 48: Aufgeschnittener Prüfkörper Ei3201

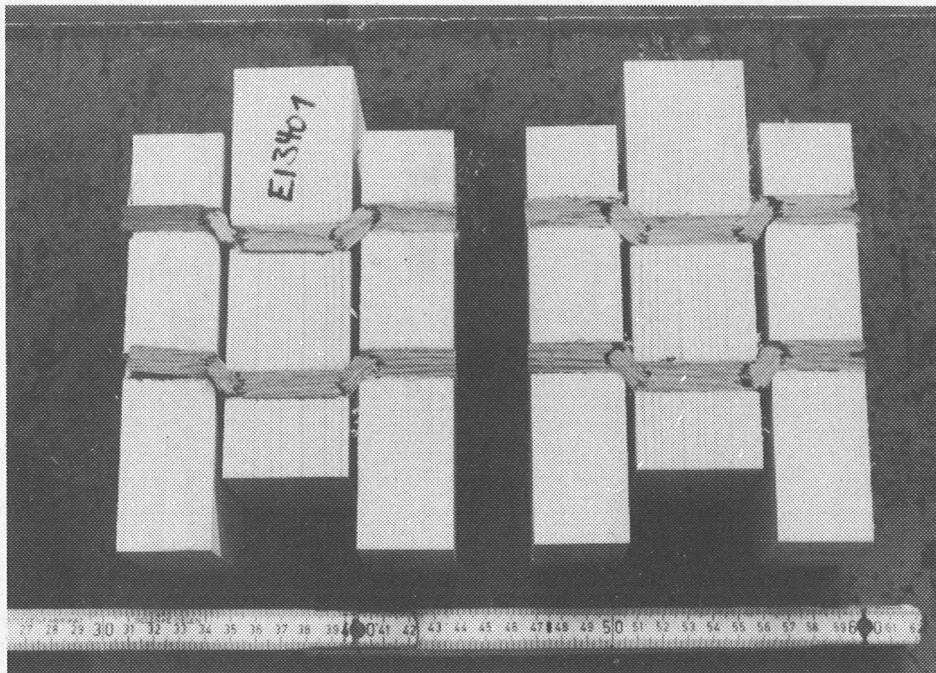


Bild 49: Aufgeschnittener Probekörper Ei3401

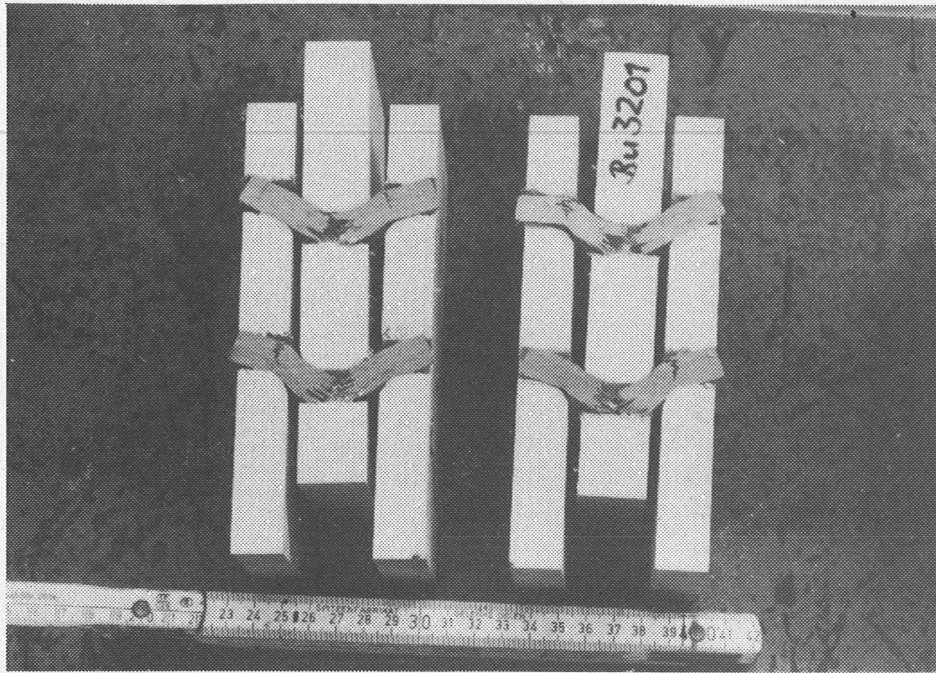


Bild 50: Aufgeschnittener Prüfkörper Bu3201

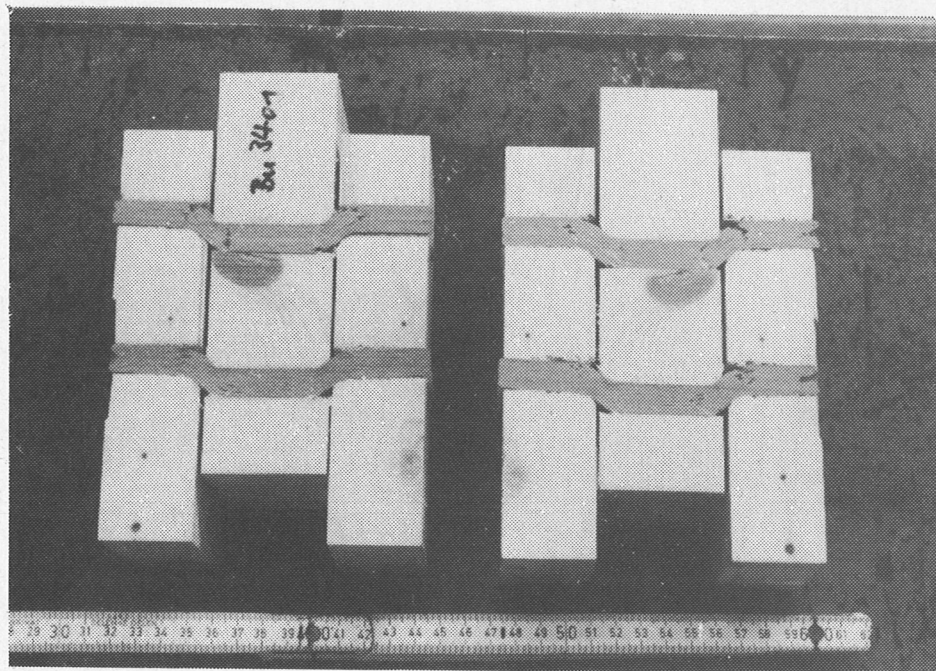


Bild 51: Aufgeschnittener Probekörper Bu3401

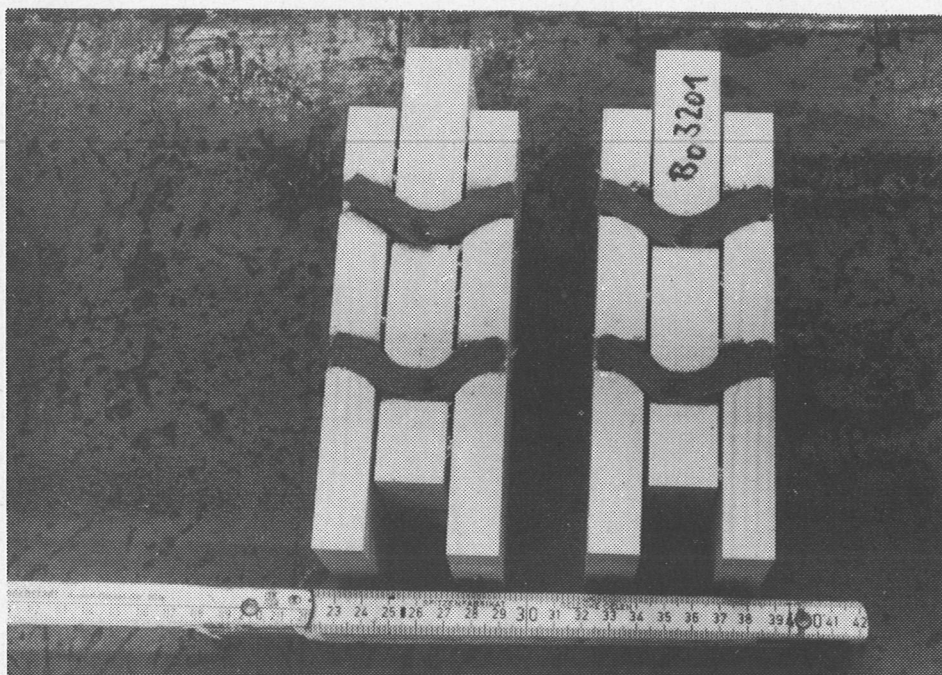


Bild 52: Aufgeschnittener Prüfkörper Bo3201

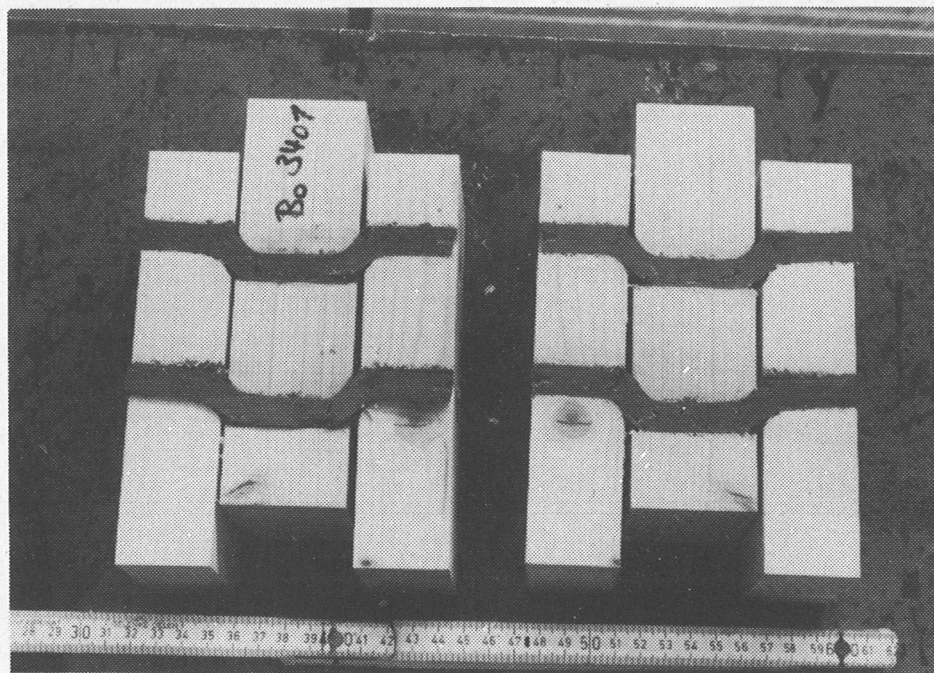


Bild 53: Aufgeschnittener Probekörper Bo3401