

Bericht zur Forschungsaufgabe:

UNTERSUCHUNGEN UEBER DAS TRAG- UND VERFOR-
MUNGSVERHALTEN VON HEFTKLAMMERVERBINDUNGEN
BEI TAFELELEMENTEN

Mitteilung aus der Versuchsanstalt für
Stahl, Holz und Steine, Abt. Ingenieur-
holzbau der Universität Karlsruhe (TH),
Karlsruhe

BERICHT

UNTERSUCHUNGEN UEBER DAS TRAG- UND VERFOR-
MUNGSVERHALTEN VON HEFTKLAMMERVERBINDUNGEN
BEI TAFELELEMENTEN

von

Karl Möhler, Jürgen Ehlbeck und Peter Köster

Mitteilung aus der Versuchsanstalt für Stahl,
Holz und Steine, Abt. Ingenieurholzbau der
Universität Karlsruhe (TH), Karlsruhe

Ergebnisse des Forschungsauftrages Az.: I 6-800170-114
des Bundesministers für Raumordnung, Bauwesen und
Städtebau.

Inhaltsverzeichnis

1. Zweck der Versuche
2. Versuchsprogramm und Versuchsdurchführung
 - 2.1. Verwendetes Klammermaterial
 - 2.2. Versuchshölzer und Holzwerkstoffe
 - 2.3. Versuche mit Klammerverbindungen
 - 2.3.1. Vorversuche mit Klammerverbindungen Vollholz/Vollholz
 - 2.3.2. Versuche mit Klammerverbindungen Vollholz/Holzwerkstoffe
 - 2.3.2.1. Vollholz/Spanplatten-Verbindung
 - 2.3.2.2. Vollholz/Furnierplatten-Verbindung
 - 2.3.2.3. Vollholz/harte Holzfaserplatten-Verbindung
3. Ergebnisse und Auswertung der Versuche
 - 3.1. Vollholz/Vollholz-Verbindungen
 - 3.2. Vollholz/Holzwerkstoff-Verbindungen
 - 3.2.1. Vollholz/Spanplatten-Verbindungen
 - 3.2.2. Vollholz/Furnierplatten-Verbindungen
 - 3.2.3. Vollholz/harte Holzfaserplatten-Verbindungen
4. Schlußfolgerungen

1. Zweck der Versuche

Heftklammern, die anstelle von Nägeln mit entsprechenden Geräten maschinell leicht eingeschlagen werden können, wurden in den letzten Jahren für die Befestigung von Holzwerkstoffplatten auf Vollholzrippen für *a u s s t e i f e n d e* oder *t r a g e n d e* Wand- und Deckenelemente von Holzfertighäusern mehrfach angewandt. Sie wurden in der Verpackungsindustrie sowie bei der Verkleidung von Holzbauteilen mittels Holzwerkstoffplatten schon lange in großem Umfange verwendet.

Eine allgemeine Anwendung der Heftklammer als tragendes Holzverbindungs mittel ist bisher noch nicht möglich, da das Trag- und Verformungsverhalten derartiger Verbindungen nicht umfassend genug erforscht war, so daß bisher in die einschlägigen Holzbauvorschriften keine Unterlagen über Ausführung und Berechnung aufgenommen werden konnten. Im Rahmen der Forschungsaufgabe sollten hierfür die notwendigen Unterlagen geschaffen und Vorschläge für die Bemessung der Heftklammerverbindung - auch im Hinblick auf eine Neubearbeitung der "Holzhausrichtlinien" - ausgearbeitet werden. Dabei waren auch Hinweise über die konstruktive Anordnung der Klammern bezüglich Abstände, Einschlagtiefen und Lage des Klammerrückens zur Faserrichtung des Vollholzes sowie über die erforderliche Dicke der Holzwerkstoffplatten zu geben.

2. Versuchsprogramm und Versuchsdurchführung

2.1. Verwendetes Klammermaterial

Aus der Vielzahl der auf dem Markt befindlichen Klammern konnte nur eine beschränkte Auswahl getroffen werden. Es wurden für die Untersuchungen Klammern von drei verschiedenen Herstellern herangezogen. Abmessungen, Form und Material der Klammern sind nicht in Normen festgelegt und können deshalb

voneinander stark abweichende Werte aufweisen.

Heftklammern für die Befestigung von Brettern oder plattenförmigen Holzwerkstoffen auf Vollholzrippen werden nach Bild 1 aus Runddraht vorwiegend von 1,5 bis 2,0 mm Durchmesser hergestellt. Dabei wird der Kreisquerschnitt leicht verformt, so daß ein nahezu rechteckförmiger Querschnitt mit abgerundeten Kanten entsteht. Die einzelnen Klammern werden mittels Klebstoff zu Magazinfüllungen verbunden, um gleichzeitig eine große Anzahl von Klammern in den Preßluftnagler einlegen zu können.

Die Heftklammer kann als ein Holzverbindungsmittel angesehen werden, deren Schäfte zwei Drahtnägel bilden, die durch den Klammerrücken miteinander verbunden sind. Die Tragfähigkeit und Steifigkeit einer damit hergestellten Klammerverbindung hängt im wesentlichen vom Lochleibungswiderstand der zu verbindenden Teile, dem Biege- und Torsionswiderstand der Drahtschäfte, der Steifigkeit des Klammerrückens und der Haftung der Klammerschäfte im Holz ab. Die Schaftenden werden in der Regel auf einer gewissen Länge mit einem Kunstharzüberzug versehen, der beim Einschlagen erweicht und anschließend wieder erhärtet. Diese Beharzung soll beim Einschlagen den Eindringwiderstand vermindern und nach der Erhärtung die Haftung im Holz erhöhen.

Da für die Belastbarkeit der Heftklammern hauptsächlich die Schaftdicken und die Schaftlänge als maßgebend anzusehen sind, wurden von 3 verschiedenen Herstellern (A, B, C) Klammern nach Tabelle 1 ausgewählt. Um den Einfluß des Kunstharzüberzuges zu erfassen, wurden mehrere vergleichende Versuchsreihen mit und ohne Beharzung der Klammern (Bezeichnung: beharzt oder blank) durchgeführt. Für den unmittelbaren Vergleich wurde der Ueberzug bei Typ A und C mittels Nitroverdünnung entfernt.

Die Materialeigenschaften der Sorten A und C gehen aus Tabelle 2 hervor. Während der Draht des Klammertyps A eine deutliche ausgeprägte Streckgrenze zeigte, war beim Klammertyp C keine Streckgrenze festzustellen.

Zum Einschlagen der verschiedenen Klammertypen wurde jeweils ein von der Herstellerfirma bereitgestellter Preßluftnagler verwendet.

2.2. Versuchshölzer und Holzwerkstoffe

Für sämtliche Versuche wurden Bretter und Bohlen aus einheimischem Fichtenholz verwendet, das mindestens der Güteklasse II DIN 4074 entsprach. In der Regel lagerte das Holz vor der Verarbeitung bei Normalklima 20/65. Rohdichte, Holzfeuchtigkeitsgehalt und Druckfestigkeit des Vollholzes wurden bei den einzelnen Versuchsreihen Vollholz/Holzwerkstoffplatten ermittelt und sind der Tabelle 3 zu entnehmen. Für das Vollholz der Vorversuche wurde eine mittlere Rohdichte von 450 kg/m^3 bei einem Feuchtigkeitsgehalt von 10 bis 12 % festgestellt. Die Druckfestigkeit selbst wurde nicht ermittelt.

Die verwendeten Holzspanplatten waren durchweg Flachpreßplatten für die Anwendung im Bauwesen nach DIN 68761, Blatt 3 (September 1967) mit den Nenndicken 8, 10, 12, 13 und 16 mm.

Als Furnierplatten wurden mehrere Fabrikate unterschiedlicher Güte aus Buche, Douglas Fir und Macoré verwendet. Die Nenndicken betragen 6, 8 und 10 mm.

Die harten Holzfaserverplatten hatten Nenndicken von 4 und 8 mm Dicke, wobei die 8 mm-Platten aus zwei 4 mm-Platten zusammengeleimt waren.

Die wichtigsten Gütemerkmale der Furnierplatten und harten Holzfaserplatten wurden nach Abschluß der einzelnen Versuchsreihen nach den einschlägigen Normen bestimmt (Tabelle 4 und 5).

2.3. Versuche mit Klammerverbindungen

Die Versuche wurden in Anlehnung an DIN E 4110, Blatt 8 durchgeführt. Für die Hauptversuchsreihen wurden Längszugkörper nach Bild 2 hergestellt, bei denen die Holzwerkstoffplatten durch 2 x 10 einschnittige Klammern je Stoßhälfte mit der Vollholzrippe verbunden waren. Vorversuche an Druckscherkörpern aus Vollholz mit 2 x 12 einschnittigen Heftklammern sollten Unterlagen über die günstigste Einschlagrichtung des Klammerrückens zur Holzfaserrichtung liefern und den Einfluß der Beharzung und der Einschlagtiefe auf das Tragverhalten vorklären.

Bei sämtlichen Versuchen ging man davon aus, die zulässige Kraft $zul\ P$ eines jeden Versuchskörpers über die zulässige Belastung $zul\ N$ der einzelnen Heftklammer festzulegen, wobei eine Klammer als aus 2 einschnittigen Nägeln bestehend angenommen wurde. Die Berechnung von $zul\ N$ wurde in Anlehnung an Gleichung (32) der DIN 1052, Blatt 1 vorgenommen :

$$zul\ N = 2 \cdot zul\ N_1 = 2 \cdot \frac{500 \cdot d_n^2}{1+d_n} = \frac{1000 \cdot d_n^2}{1+d_n} \quad \text{in kp ;}$$

mit d_n als Drahtdurchmesser in cm.

Die zulässige Kraft $zul\ P$ ergab sich hiermit als der n -fache Betrag des Wertes $zul\ N$, wobei n die Gesamtanzahl der eingeschlagenen Klammern bedeutet.

Für die einzelnen Klammertypen (vgl. Tabelle 1) ergaben sich somit die in Tabelle 6 angegebenen Werte.

Der Versuchsablauf erfolgte mit den in Tabelle 6 angegebenen zulässigen Belastungswerten nach den Festlegungen des in DIN E 4110, Blatt 8 enthaltenen Verfahrens. Die Erstbelastung bis zu P wurde in Stufen von $P/4$ aufgebracht mit anschließender Entlastung. Nach 11maliger Be- und Entlastung zwischen 0 und P wurde die 13. Belastung von $P = 0$ beginnend über P hinaus stufenweise mit $P/4$ bis zum Bruch gesteigert. Abweichend hiervon erfolgte die Laststeigerung ab $3 \cdot P$ bei den Längszugkörpern zügig bis zur Höchstlast. Bei zahlreichen Versuchskörpern wurde eine Entlastung nach $2 \cdot P$ eingeschaltet.

Auf jeder Belastungsstufe wurde die Last 2 Minuten konstant gehalten. Ein Zweikomponentenschreiber zeichnete in der Regel die Kraft-Verschiebungs-Diagramme unmittelbar auf, wobei die Verschiebungen durch induktive Wegaufnehmer erfaßt wurden. Bei den Versuchen mit den Längszugkörpern wurde in den meisten Fällen die Stoßaufweitung zwischen den Vollholzrippen gemessen, die Auswertung der Versuchsergebnisse und die Diagramme aber auf die mittlere Verschiebung einer Stoßhälfte abgestimmt. In einigen Fällen wurden auch Meßuhren verwendet, die jeweils nach 2 Minuten Lasteinwirkung abgelesen wurden.

2.3.1. Vorversuche mit Klammerverbindungen Vollholz/Vollholz

Die Druckscherkörper dieser Versuchsgruppe wurden mit Klammern des Typs A1 und A2 ausgeführt.

Die Versuche sollten den Einfluß der Klammeranordnung (Abstände) und der Einschlagtiefen sowie der Wirkung der Beharzung aufzeigen.

Da die Klammerschäfte wie dünne Nägel wirken, erschien es naheliegend, die Klammern im Holz so anzuordnen, daß ihre Abstände etwa den in DIN 1052 festgelegten Mindestnagelabständen entsprechen. Verläuft der Klammerrücken parallel zur Holzfaserrichtung, so ist der kleinste Achsabstand der beiden aufeinanderfolgenden Schäfte durch die um die Schaftdicke a verminderte Kronenbreite b_k festgelegt (vgl. Bild 1). Diese Werte liegen bei den untersuchten Heftklammertypen mit $ca. 6 \cdot d_n$ stets unterhalb des Mindestnagelabstandes von $e_{||} = 10 \cdot d_n$. Diese Anordnung wurde bei den Körpern V1 gewählt, wobei der Abstand der beiden benachbarten Klammerschäfte der aufeinander folgenden Klammern etwa $10 \cdot d_n$ betrug (Bild 3). Um die Unterschreitung des Mindestabstandes von $10 \cdot d_n$ zu vermeiden, wurden bei den Versuchskörpern V2 und V3 die Klammerrücken quer (unter 90°) oder schräg (unter 45°) zur Faserrichtung des Vollholzes angeordnet (Bild 4 und 5). Dabei betragen die Abstände zweier Klammerschäfte etwa $10 \cdot d_n$ in Kraft- und Faserrichtung. Die Schaftabstände untereinander und von den unbeanspruchten Rändern rechtwinklig zur Holzfaser- und Krafttrichtung lagen durchweg etwas über dem Mindestnagelabstand von $e_{\perp} = 5 \cdot d_n$. Von den unbeanspruchten bzw. beanspruchten Rändern wurden Abstände von mindestens $7 \cdot d_n$ bzw. $15 \cdot d_n$ eingehalten.

Für die Versuchsreihen V1 bis V3 wurde die Einschlagtiefe mit $12 \cdot d_n$ konstant gehalten und Klammern mit beharzten Schaftenden verwendet. Auf diese Weise konnte versuchsmäßig festgestellt werden, wie sich die Richtung des Klammerrückens in Bezug auf die Holzfaserrichtung auf das Tragverhalten auswirkt.

Die Versuchsreihen V4 bis V6 sollten den Einfluß der Beharzung und der Einschlagtiefe erfassen, wobei die Klammerrücken aufgrund der Ergebnisse der Reihen V1 bis V3 stets unter 45° zur Holzfaserrichtung angeordnet waren. Die Versuchskörper der Reihe V4 wurden wie die der Reihe V3 ausgebildet, nur anstelle der beharzten kamen jetzt blanke Klammern zum Einsatz (Bild 6). Bei den Versuchsreihen V5 und V6 wurden Klammern Typ A2 beharzt und blank verwendet und die Einschlagtiefe auf $19,1 \cdot d_n$ vergrößert. Um ein Uebergreifen der Klammerschäfte zu vermeiden, wurde die Mittelholzdicke der Druckscherkörper von 4,5 auf 7 cm erhöht (Bild 7 und 8). Schließlich wurden ergänzende Vergleichsversuche mit beharzten Klammern und Einschlagtiefen von ca. $8 \cdot d_n$ bzw. $15 \cdot d_n$ durchgeführt.

2.3.2. Versuche mit Klammerverbindungen Vollholz/Holzwerkstoffe

Für Tafелеlemente aus Vollholz/Holzwerkstoffplatten darf nach den "Holzhausrichtlinien" nur Holz mit einem Feuchtigkeitsgehalt verarbeitet werden, der etwa dem im Einbauzustand zu erwartenden mittleren Wert entspricht; dieser Wert ist bei Tafel-elementen mit 15 ± 3 Gew.-% anzunehmen. Die Versuche wurden daher mit Fichtenholz im Feuchtigkeitsbereich von 12 bis 15 % durchgeführt.

Die Ausbildung der Versuchskörper als Längszugkörper mit Klammerrücken parallel, rechtwinklig und unter 45° zur Vollholzfaserichtung geht aus Bild 2 hervor. Für die einzelnen Versuchsreihen (Spanplatten-Reihen S1 bis S11, Furnierplatten-Reihen F1 bis F7 und Hartfaserplatten-Reihen H1 bis H6) sind die Einzelabmessungen sowie Angaben über den Klammertyp und die Anordnung der Klammern in Tabelle 7 zusammengestellt.

2.3.2.1. Vollholz/Spanplatten-Verbindung

Die Versuchsreihen S1 bis S4 sollten den Einfluß der Spanplattendicke unter Verwendung des gleichen Klammertyps (blank) erfassen sowie die in den Versuchen des Abschnittes 2.3.1 gemachte Feststellung überprüfen, daß bei Anordnung der Klammerrücken parallel zur Holzfaserrichtung die Tragfähigkeit geringer ist und größere Verschiebungen auftreten als bei quer oder schräg eingeschlagenen Klammern.

Für die Versuchskörper der Reihen S5 bis S8 wurde ein anderer Klammertyp mit Beharzung und zwei verschiedene Spanplattendicken 10 sowie 16 mm verwendet. Im Gegensatz zu allen anderen Versuchsgruppen wurde hier die zulässige Belastung der Heftklammer mit $d_n = 1,5$ mm nach der kleinsten Schaftdicke a festgelegt. Die Klammerrücken verliefen entweder rechtwinklig oder unter 45° zur Faserrichtung des Rippenholzes.

Bei den Versuchsreihen S9 bis S11 wurden die Klammern unter 45° zur Holzfaser eingeschlagen. Die Reihe S9 sollte klären, ob bei dünnen Spanplatten ein frühzeitiges Durchziehen der Klammerrücken durch die Platte auftritt. Bei den Versuchsreihen S10 und S11 wurden blanke oder beharzte Klammern mit größerer Drahtdicke ($d_n = 2,0$ mm) verwendet. Hier war zu klären, ob noch ausreichende Bruchsicherheiten und genügend geringe Verschiebungen unter den angenommenen zulässigen Belastungen vorhanden sind.

2.3.2.2. Vollholz/Furnierplatten-Verbindung

Da bei Klammerverbindungen Vollholz/Furnierplatten eine Spaltgefahr in den Furnierplatten praktisch durch die Kreuzlage der Furniere ausgeschlossen ist, erschien es notwendig, die beiden

Versuchsreihen F1 (Klammerrücken parallel zur Holzfaserrichtung der Rippen) und F2 (Klammerrücken rechtwinklig zur Holzfaserrichtung der Rippen) mit einem gleichen Klammertyp (blank) durchzuführen, so daß ein unmittelbarer Vergleich des Trag- und Verformungsverhaltens möglich war.

Die Reihen F3 bis F5 sollten den Einfluß der Plattendicke erfassen und die Frage klären, ob ein frühzeitiges Durchziehen der Klammerrücken durch dünne Furnierplatten auftritt und damit eine wesentliche Tragfähigkeitseinbuße verbunden ist.

Schließlich wurden die Versuchsreihen F6 und F7 als Vergleich zu den Versuchskörpern S10 und S11 mit größeren Klammerdurchmessern durchgeführt.

2.3.2.3. Vollholz/harte Holzfaserplatten-Verbindung

Bei allen Versuchskörpern mit harten Holzfaserplatten wurden die Klammern unter 45° zur Holzfaserrichtung der Rippen eingeschlagen.

Die Versuchsreihe H1 sollte die Frage beantworten, ob mit einer 4 mm dicken harten Holzfaserplatte überhaupt eine ausreichend tragfähige Verbindung möglich ist.

Die Versuchskörper der Reihen H2 bis H6 wurden ausschließlich mit Platten von 8 mm Dicke ausgeführt. Dabei sollten die Reihen H2 bis H4 den Einfluß einer größeren Plattendicke unter Verwendung von blanken und beharzten Klammern sowie den Einfluß normaler bzw. großer Einschlagtiefe (ca. $17 \cdot d_n$ bzw. $26 \cdot d_n$) erfassen und die Reihen H5 und H6 einen Vergleich mit größeren Klammerdurchmessern analog den Versuchskörpern S10, S11, F6 und F7 ermöglichen.

3. Ergebnisse und Auswertung der Versuche

3.1. Vollholz/Vollholz-Verbindungen

Die bei den Versuchsreihen V1 bis V6 ermittelten Kraft-Verschiebungs-Diagramme sind in Bild 3 bis 8 dargestellt. Tabelle 8 enthält die gesamten und bleibenden Verschiebungen unter zul P sowie die Gesamtverschiebung unter 2·zul P und 3·zul P, ferner die erreichten Höchstlasten max P sowie die sich daraus gegenüber der als zulässig angenommenen Belastung von zul P = 680 kp ergebenden Sicherheiten der Druckscherkörper dieser Versuchsgruppe.

Die Ergebnisse der Reihe V1 zeigen, daß bei Anordnung der Klammerrücken parallel der Holzfaser große Verschiebungen - weit über 1,5 mm - unter der angenommenen zulässigen Belastung auftreten, da der geringe Abstand der Schäfte einer Heftklammer ein frühzeitiges Aufspalten des Holzes hervorrief. Die Bruchsicherheiten lagen dabei unter 2,75, im Mittel unter 2,4. Zur Holzfaserrichtung quer oder schräg (unter 45°) eingeschlagene Klammern (Reihe V2 und V3) ergaben Bruchsicherheiten über 3,3, im Mittel sogar über 3,5. Die Verschiebungen blieben bei der zulässigen Belastung zul P unter 1,0 mm.

Aus diesen Versuchsergebnissen ergab sich, daß eine Anordnung der Klammerrücken parallel zur Holzfaser zu größeren Verschiebungen und geringeren Bruchsicherheiten als bei den Quer- oder Schräganordnungen geführt hat.

Bei den weiteren Versuchsreihen V4 bis V6 wurden deshalb die Klammern nur noch unter 45° zur Holzfaser eingeschlagen, da diese Anordnung auch im Hinblick auf sich kreuzende Holzteile in jedem Falle zweckmäßig ist.

Der Einfluß der Beharzung läßt sich aus einem unmittelbaren Vergleich der Reihen V3 und V4 bzw. V5 und V6 erkennen. Die Versuchskörper mit beharzten Klammern zeigten gegenüber denjenigen mit blanken Klammern größere Verschiebungen im Bereich der zulässigen Belastung, die Bruchsicherheiten lagen aber um ca. 50 % höher.

Unterschiedliche Einschlagtiefen (Reihen V3/V5 und V4/V6) von $12 \cdot d_n$ und ca. $19 \cdot d_n$ ergaben bei Versuchskörpern mit beharzten Klammern ein deutliches Anwachsen der Bruchsicherheiten von etwa $v = 3,5$ auf 4,5. Bei den entsprechenden Versuchsreihen mit blanken Klammern war die Zunahme der Bruchsicherheit jedoch weniger ausgeprägt.

Ergänzende Versuche mit beharzten Klammern und Einschlagtiefen von etwa $8 \cdot d_n$ sowie $15 \cdot d_n$ bestätigten die praktisch lineare Zunahme der Bruchsicherheit mit größer werdender Einschlagtiefe. In Bild 9 sind die Bruchsicherheiten aller Versuchskörper, bei denen die Klammern unter 45° zur Holzfaserrichtung eingeschlagen wurden, in Abhängigkeit von der Einschlagtiefe s graphisch aufgetragen worden.

3.2. Vollholz/Holzwerkstoff-Verbindungen

3.2.1. Vollholz/Spanplatten-Verbindungen

Die Ergebnisse der Versuchsreihen S1 bis S4 sind in Tabelle 9 zusammengestellt. Bild 10 zeigt exemplarisch zwei zugehörige Kraft-Verschiebungs-Diagramme. Die Versuchsreihen S1, S3 und S4 ergaben, daß die Steifigkeit der Klammerverbindung durch die Plattendicke nicht beeinflußt wird (Verschiebung bei zul P stets kleiner als 0,3 mm), während die Bruchsicherheit bei nur

8 mm Plattendicke mit einer Ausnahme unter den Werten der 10 mm und 12 mm dicken Platten lag. Dabei wurde der Bruchvorgang stets durch ein Ausziehen der Klammern ausgelöst.

Waren die Klammerrücken parallel zur Holzfaserrichtung der Rippen eingeschlagen (Versuchsreihe S2), so ergaben sich größere Verschiebungen und um etwa 20 % geringere Bruchsicherheiten gegenüber der Reihe S3 mit 10 mm Plattendicke. Die zur Holzfaserrichtung parallele Klammeranordnung ist also auch ungünstiger, wenn nur eines der zu verbindenden Teile aus Vollholz besteht.

Die Ergebnisse der Versuchsreihen S5 bis S8 sind in Tabelle 10 zusammengefaßt. Je ein Kraft-Verschiebungs-Diagramm aus jeder Versuchsreihe wurde in den Bildern 11 und 12 dargestellt.

Beim Vergleich dieser Versuchsergebnisse ergibt sich, daß ein Einschlagen der Klammern rechtwinklig oder unter 45° zur Holzfaserrichtung der Rippe praktisch gleichwertig ist. Da die zulässige Belastung bei diesen Versuchskörpern aufgrund der kleinsten Schaftdicke a mit nur zul $P = 400$ kp angenommen wurde (mit der Drahtdicke $d_n = 1,8$ mm ergäbe sich zul $P^\circ = 550$ kp), traten unter zul P besonders geringe Verschiebungen auf, und die Bruchsicherheiten lagen besonders hoch, obwohl in den meisten Fällen noch nicht einmal die Klammern ausgezogen wurden. Bei Zugrundelegung von zul $P^\circ = 550$ kp hätte man Bruchsicherheiten von etwa 3 bis 6 erwarten können. Das günstige Trag- und Verformungsverhalten dieser Versuchskörper lag gegenüber den Ergebnissen der Reihen S1 bis S4 (blanke Klammern) wohl in dem vorteilhaften Verhalten der Beharzung dieses Klammertyps. Aus den Versuchsreihen S5 bis S8 kann geschlossen werden, daß die zulässige Belastung einer Heftklammer in jedem Falle mit der Drahtdicke d_n berechnet werden sollte.

Die Ergebnisse der Reihe S9 bis S11 sind in Tabelle 11 zusammengestellt, und die Bilder 13 und 14 zeigen Kraft-Verschiebungs-Diagramme zugehöriger Versuchskörper.

Auch bei 8 mm dicken Spanplatten, bei denen ein Durchziehen der Klammerrücken den Bruchvorgang einleitete, konnten ausreichend hohe Bruchsicherheiten festgestellt werden. Die Verschiebungen unter der zulässigen Belastung z_{ul} P waren sehr gering und lagen unter 0,15 mm. Die Versuchsreihen S10 und S11 zeigten, daß Versuchskörper mit dickeren Heftklammern (Typ C4 mit $d_n = 2,0$ mm, blank und beharzt) ebenfalls ein günstiges Verformungsverhalten hatten und ausreichende Bruchsicherheiten erbrachten, wobei die beharzten Klammern eine geringe Erhöhung der Tragfähigkeit erkennen ließen.

3.2.2. Vollholz/Furnierplatten-Verbindungen

Die Ergebnisse der beiden Versuchsreihen F1 und F2 mit dem Klammertyp B (blank) und gleicher Furnierplattendicke sind in Tabelle 12 zusammengefaßt. Bild 15 zeigt zwei zugehörige Kraft-Verschiebungs-Diagramme, die einen unmittelbaren Vergleich der Versuchskörper mit parallel und quer eingeschlagenen Klammern ermöglichen. Auch hier ist ein Nachteil der Klammern, deren Rücken parallel der Holzfasern verlaufen, eindeutig erkennbar und auf die Spaltgefahr in den Rippen zurückzuführen. Gegenüber quer eingeschlagenen Klammern ergaben sich um ca. 40 % größere Verschiebungen bei z_{ul} P und etwa 25 % geringere Bruchsicherheiten.

Bei allen weiteren Versuchen mit Vollholz/Furnierplatten-Verbindungen verliefen die Klammerrücken unter 45° zur Holzfaserrichtung der Rippen. Die Versuchsergebnisse der Reihen F3 bis F7 sind in Tabelle 13 zusammengefaßt. Typische Kraft-

Verschiebungs-Diagramme gemäß Bild 16 und 17 zeigen das günstige Verformungsverhalten dieser Längszugkörper, wobei die Gesamtverschiebung bei 2·zul P immer noch unter 1,0 mm lag. Bei Furnierplattendicken von 6 und 8 mm wurden die Klammerücken meist durchgezogen (Reihe F3 und F4), bei Platten mit Nenndicken von 10 mm dagegen wurden die Klammerschäfte aus dem Rippenholz gezogen (Reihe F5). Die Bruchsicherheiten waren allerdings nicht wesentlich voneinander verschieden und lagen im Mittel zwischen 3,8 und 4,4. Die Versuchsreihen F6 und F7 mit dickeren Heftklammern (Typ C4, $d_n = 2,0$ mm) ergaben Bruchsicherheiten von etwa 5. Im Vergleich zu den Vollholz/Spanplatten-Verbindungen konnte hierbei jedoch festgestellt werden, daß beharzte Klammern keine höheren Tragfähigkeitswerte als blanke Klammern aufwiesen. Der Bruchvorgang wurde durch das Ausziehen der Klammern eingeleitet, wobei die Beharzung an den ausgezogenen Schaftenden nahezu verschwunden war. Ein ergänzender Versuch mit gleichem Versuchsmaterial (Heftklammern C4, beharzt, in Buchenfurnierplatte mit 10 mm Nenndicke maschinell eingeschlagen) zeigte, daß die Beharzung beim Einschlagen durch die Buchenfurnierplatte (Hartholz) teilweise abgestreift wurde. Der Beharzung kam also bei der Versuchsreihe F7 keine wesentliche Bedeutung zu. Andererseits ergab sich bei dünneren Klammern (Typ C3, beharzt) nur ein geringfügiges Abstreifen der Beharzung.

3.2.3. Vollholz/harte Holzfaserplatten-Verbindungen

Die Ergebnisse dieser Versuchsgruppe sind in Tabelle 14 zusammengestellt. Zugehörige typische Kraft-Verschiebungs-Diagramme zeigen die Bilder 18 bis 20.

Nach den Ergebnissen der Abschnitte 3.2.1 und 3.2.2 mit Span- und Furnierplatten konnte hier darauf verzichtet werden, die Klammern parallel zur Holzfaserrichtung der Rippen einzuschlagen. Somit waren bei allen Versuchskörpern die Klammerrücken stets unter 45° zur Holzfaser angeordnet.

Bei den Längszugkörpern der Versuchsreihe H1 mit 4 mm dicken Faserplatten war die Tragfähigkeit durch das Durchziehen der Klammerrücken begrenzt. Dennoch wurden Bruchsicherheiten über 3,0 erreicht, und die Verschiebungen waren auch bei $2 \cdot z_{ul} P$ noch sehr gering. Allerdings wurden die Klammern bei der Herstellung der Versuchskörper sorgfältig eingetrieben, so daß die Klammerrücken nur etwa 1 mm in die Plattenoberfläche versenkt waren.

Bei den Längszugkörpern H2 und H3 mit 8 mm dicken Platten wurden die Klammern aus dem Rippenholz herausgezogen, auch wenn sie beharzt waren. Beharzte Klammern erbrachten gegenüber blanken Klammern eine Steigerung der Tragfähigkeit von ungefähr 20 %. Mit dem Klammertyp C3 (beharzt), der sich vom Typ C2 praktisch nur in der Klammer- und Beharzungslänge unterscheidet, konnte die Einschlagtiefe von $16,9 \cdot d_n$ auf $26,3 \cdot d_n$ vergrößert werden (Versuchskörper H4). Es zeigte sich, daß trotz dieser großen Einschlagtiefe keine Verbesserung des Trag- und Verformungsverhaltens eintrat. Die erreichten Bruchsicherheiten der Versuchskörper H2 bis H4 lagen gegenüber der Versuchsreihe H1 verhältnismäßig hoch, u.z. etwa 40 % höher bei H2 und ca. 60 % bei H3/H4. Diese Erhöhung ist einerseits der dickeren Hartfaserplatte und andererseits der Beharzung zuzuschreiben. Ergänzende Versuche, bei denen Klammern vom Typ C3 in eine 8 mm dicke Holzfaserplatte eingeschlagen wurden, zeigten, daß die Beharzung auf den Klammerschäften nahezu erhalten bleibt

und somit bei den Versuchskörpern H3 und H4 wirksam werden konnte.

Auch bei Verwendung von dickeren Klammern (Versuchsreihe H5 und H6 mit dem Klammertyp C4, $d_n = 2,0$ mm) ergaben sich Bruchsicherheiten im Mittel über 4,3. Jedoch trat der Bruch hier durch das Durchziehen der Klammerrücken auf. Im Vergleich zu entsprechenden Versuchen mit Vollholz/Furnierplatten-Verbindungen (F6 und F7) konnte man deshalb keine weitere Steigerung der Tragfähigkeit erwarten, wenn beharzte Klammern verwendet wurden (Reihe H6). Auffallend war, daß die Verschiebungen der beharzten Klammern etwas größer als die der blanken Klammern waren, obwohl ergänzende Versuche ergeben hatten, daß nur geringfügige Teile der Beharzung beim Einschlagen in eine 8 mm dicke Hartfaserplatte abgestreift werden.

4. Schlußfolgerungen

Unter der Voraussetzung, daß Heftklammerverbindungen bei Beanspruchung rechtwinklig zum Schaft mindestens die gleiche Tragsicherheit und eine ähnliche Steifigkeit wie einschnittige Nagelverbindungen aus dünnen Nägeln aufweisen sollen, müssen im wesentlichen folgende zwei Forderungen erfüllt werden:

- a.) die zulässige Belastung muß gegenüber der Höchstlast eine Bruchsicherheit von mindestens 2,75 haben
- b.) die Verschiebung darf unter der zulässigen Belastung 1,0 mm nicht überschreiten.

Die Versuche wurden unter Zugrundelegung einer zulässigen Klammerbelastung (blanke und beharzte Klammern) von

$$\text{zul } N = \frac{1000 \cdot d_n^2}{1 + d_n} \quad \text{in kp}$$

(mit d_n als Drahtdurchmesser in cm)

entsprechend der Nagelgleichung (32) der DIN 1052, Blatt 1 durchgeführt. Dabei wurde ein ähnliches Last-Verformungsverhalten wie bei Nägeln festgestellt. Die oben aufgeführten Forderungen waren erfüllt, wenn bestimmte Bedingungen bezüglich Klammeranordnung, Einschlagtiefe und Materialdicken der Vollholz/Holzwerkstoff-Verbindungen eingehalten wurden.

Hiernach müssen folgende Bedingungen bei der Ausführung eingehalten werden:

1. Die Klammern müssen maschinell so eingeschlagen werden, daß der Winkel zwischen Klammerrücken und Holzfaserrichtung der Rippen mindestens 45° beträgt. In der Regel muß also der Klammerrücken rechtwinklig oder etwa unter 45° zur Holzfaser verlaufen.
2. Die Schaftabstände der Klammern müssen mindestens den in DIN 1052 geforderten Mindestnagelabständen für dünne Nägel entsprechen. Parallel der Kraft- und Faserrichtung ergeben sich damit die Mindestklammerabstände $10 \cdot d_n$ untereinander, $15 \cdot d_n$ vom beanspruchten Rand und $7 \cdot d_n$ vom unbeanspruchten Rand. Rechtwinklig zur Krafrichtung muß der Schaftabstand sowohl untereinander als auch vom Rand mindestens $5 \cdot d_n$ betragen. Diese Werte können mit quer oder schräg (unter 45°) zur Holzfaserrichtung eingeschlagenen Klammern erfüllt werden.
3. Die Einschlagtiefe sollte bei Klammerverbindungen mindestens $15 \cdot d_n$ betragen. Die höhere Tragfähigkeit der beharzten Klammern bei größerer Einschlagtiefe kann, da noch andere Faktoren maßgebend sein können, nicht nutzbar gemacht werden.

4. Die Mindestdicke der Holzwerkstoffplatten muß bei tragenden Verbindungen folgende Werte aufweisen:

Spanplatten min d = 8 mm

Furnierplatten min d = 6 mm

harte Faserplatten min d = 4 mm

Bei Anwendung der Mindestdicken sollten Heftklammern mit 1,5 oder 1,6 mm Drahtdurchmesser verwendet werden, die höchstens bündig mit der Plattenoberfläche eingeschlagen werden dürfen. Bei Versenken der Klammerrücken um 1 bis höchstens 3 mm müssen die Mindestdicken um mindestens 2 mm erhöht werden.

Die Versuche haben gezeigt, daß Heftklammern blank oder beharzt als tragendes Holzverbindungsmittel auch für die Verbindung Vollholzrippe-Holzwerkstoffplatte, wie sie bei Tafelelementen vorliegt, verwendet werden können. Ihre zulässige Belastung kann unter bestimmten Voraussetzungen nach der Nagelformel festgelegt werden. Das bei zahlreichen Versuchen günstigere Tragverhalten beharzter Klammern kann allgemein nicht nutzbar gemacht werden, da in gewissen Fällen die Beharzung beim Einschlagen mehr oder weniger abgestreift werden kann und bisher keine Untersuchungen über das Langzeitverhalten, die Alterung und das Verhalten bei höheren Temperaturen vorliegen. Bei der Befestigung dünner Holzwerkstoffplatten werden beim Bruchversuch in der Regel die Klammerrücken durch die Platte hindurchgezogen, so daß die höhere Haftkraft der beharzten Klammern nicht voll wirksam werden kann.

Für eine umfassende Anwendung von Heftklammern als tragendes Holzverbindungsmittel sind weitere Untersuchungen erforderlich.

Klammer- typ	Draht- durchmesser d_n (mm)	Schaftdicken		Klammer- länge l_n (mm)	Länge der Behärtung l_s (mm)	Kronen- breite b_k (mm)
		a (mm)	b (mm)			
A1	1,83	1,64	1,90	50,0	28,0	11,4
A2	1,83	1,64	1,90	63,0	35,0	11,4
B	1,6	1,44	1,62	51,0	blank	13,0
C1	1,8	1,57	1,88	55,4	22,5	11,5
C2	1,6	1,46	1,62	34,8	17,1	11,3
C3	1,6	1,49	1,61	50,0	20,2	11,4
C4	2,0	1,77	2,08	50,0	28,5	12,0

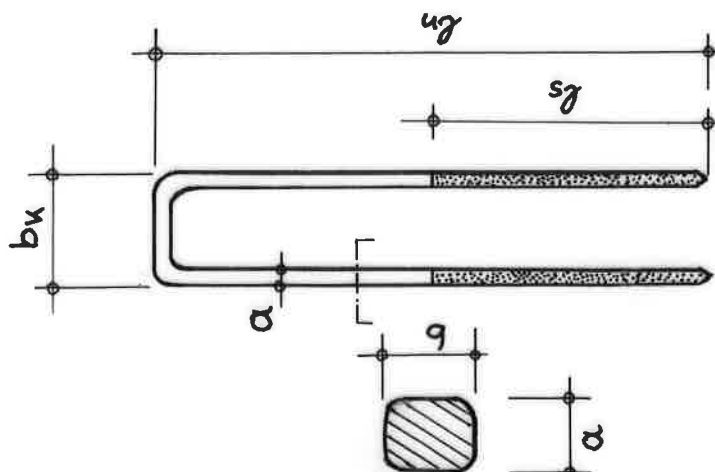


Bild 1: Heftklammer
(schematisch)

Tabelle 1: Bezeichnung und Abmessungen der untersuchten Heftklammern

Klammer- typ	Nenndurch- messer d_n (mm)	Streckgrenze (N/mm^2)	Zugfestigkeit (N/mm^2)	Bruchdehnung (%)
A ₁ und A ₂	1,83	63,2	74,2	16,8
C ₁	1,80	95,2	97,7	1,65
C ₂ und C ₃	1,60	105,8	108,3	2,5

Tabelle 2 : Materialeigenschaften (Mittelwerte) nach DIN 51210
der Klammertypen A und C₁ bis 3

Versuchskörper	Rohdichte ¹⁾ (kg/m^3)	Feuchtigkeits- gehalt (%)	Druckfestigkeit ¹⁾ σ_{DII} (N/cm^2)
S ₁ bis S ₄ ; F ₁ , F ₂	390	14,0	375
S ₅ bis S ₈	440	13,8	387
S ₉ bis S ₁₁ ; F ₃ bis F ₇ ; H ₁ bis H ₆	470	13,0	445

1) bei dem angegebenen Feuchtigkeitsgehalt

Tabelle 3 : Materialeigenschaften des Vollholzes der
Versuchskörper Vollholz / Holzwerkstoffplatten

Versuchsreihe	Holzart	Furnierplatten- dicke (mm)	Anzahl der Lagen	Rohdichte ¹⁾ (kg/m ³)	Feuch- tigkeits- gehalt (%)	Verleimung	Biegefestigkeit ¹⁾	
							Längs (kN/cm ²)	Quer (kN/cm ²)
F ₁ und F ₂	Macore'	9,7	5	490	10,3	AW 100	360	—
F ₃	Douglas Fir	6,3	3	520	8,8	AW 100	840	250
F ₄	Macore'	7,7	5	500	10,4	—	390	420
F ₅ bis F ₇	Buche	10,7	5	730	9,9	AW 100	850	580

¹⁾ bei dem angegebenen Feuchtigkeitsgehalt

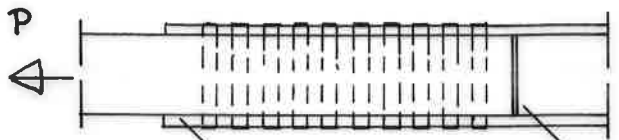
Tabelle 4 : Eigenschaften der verwendeten Furnierplatten

Versuchsreihe	Platten- dicke (mm)	Rohdichte ¹⁾ (kg/m ³)	Feuch- tig- keits- gehalt (%)	Biegefestigkeit ¹⁾	
				Längs (kN/cm ²)	Quer (kN/cm ²)
H ₁	3,8	1140	7,2	550	530
H ₂ bis H ₆	7,0	1050	9,0	400	320

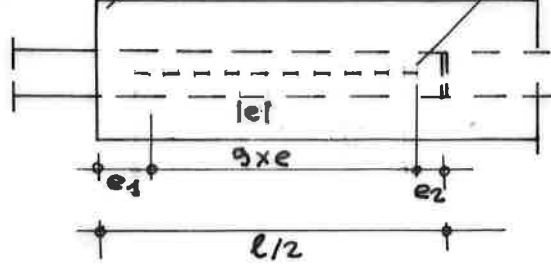
¹⁾ bei dem angegebenen Feuchtigkeitsgehalt

Tabelle 5 : Eigenschaften der verwendeten harten Holzfaserplatten

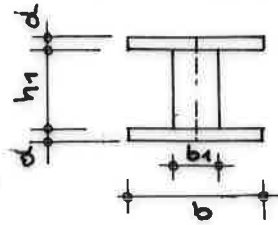
Vorderansicht



Draufsicht

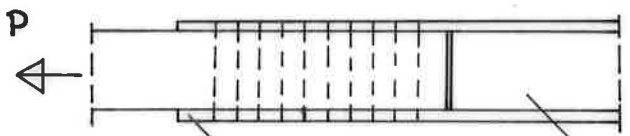


Seitenansicht

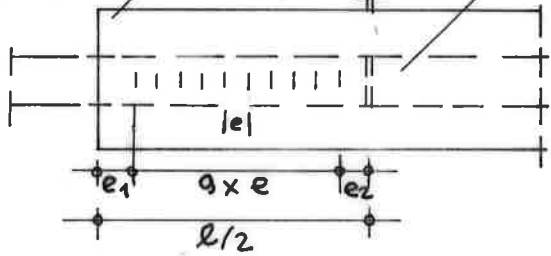


Ausführung mit Klammer-
rücken parallel zur Holz-
faser der Vollholzrippe

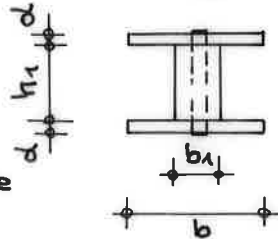
Vorderansicht



Draufsicht

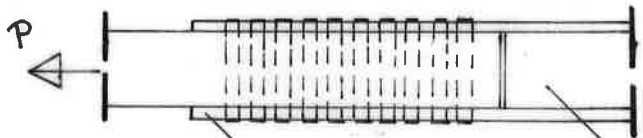


Seitenansicht

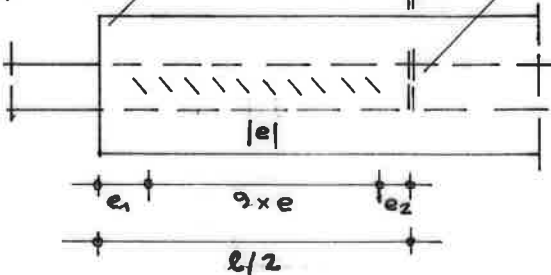


Ausführung mit Klammer-
rücken rechtwinklig zur Holz-
faser der Vollholzrippe

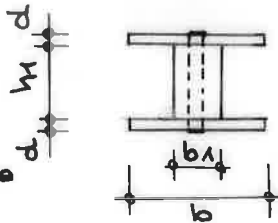
Vorderansicht



Draufsicht



Seitenansicht



Ausführung mit Klammer-
rücken unger 45° zur Holz-
faser der Vollholzrippe

Bild 2: Längszugkörper für Klammerverbindungen
Vollholz / Holzwerkstoffplatten

Versuchskörper	Klammertyp	Draht- durchmesser d_n ¹⁾ (mm)	zulässige Klamberlastung zul N (kP)	zulässige Kraft zul P der Versuchs Körper (kP)
Druckscher Körper mit 2 x 12 Klammern	A1 und A2	1,83	28,3	680
Längszug Körper mit 2 x 10 Klammern je Stoßhälfte	B, C2 und C3	1,6	22	440
	C1	1,5 ¹⁾	20	400
	C4	2,0	33	660

¹⁾ mit Ausnahme des Klammertyps C1 wurde für d_n der Draht =
durchmesser d_n eingesetzt (Typ C1 : $d_n = 1,8 \text{ mm}$, $\alpha \approx 1,5 \text{ mm}$)

Tabelle 6 : Angenommene zulässige Belastungen der Heftklammern und der Versuchskörper

Klammerröhren II der Holzfaser
 Klammertyp A1 bekarzt

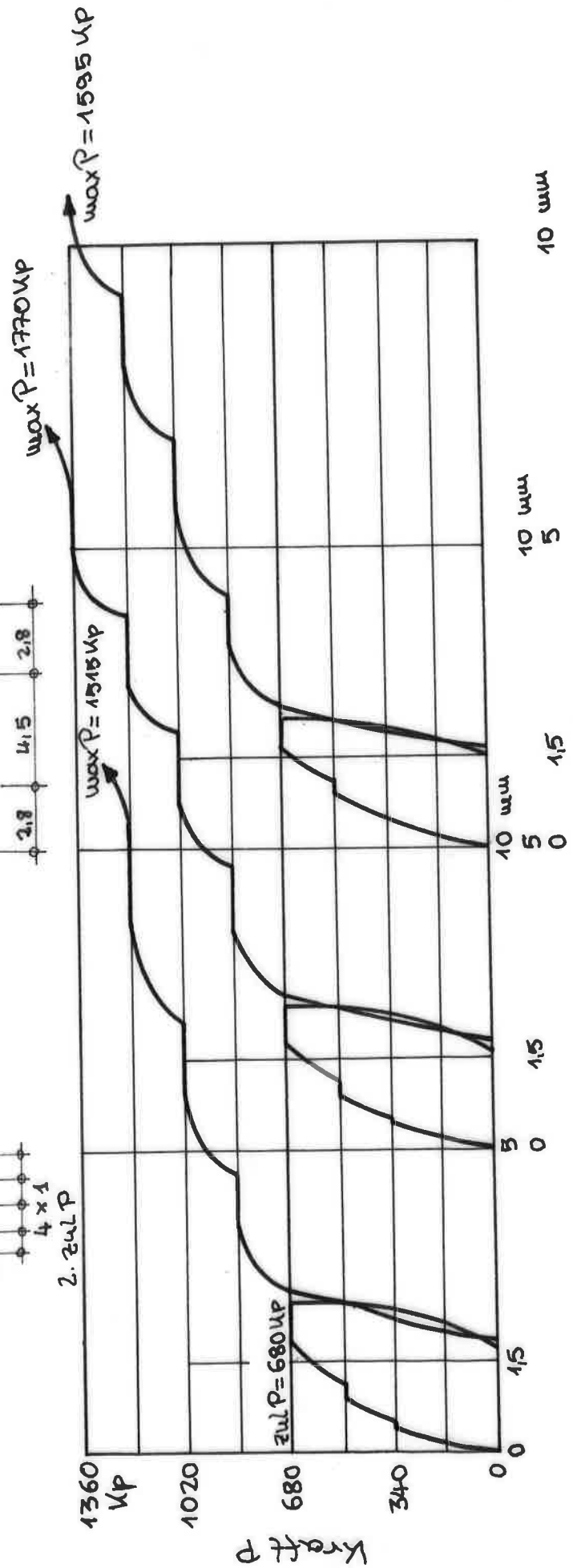
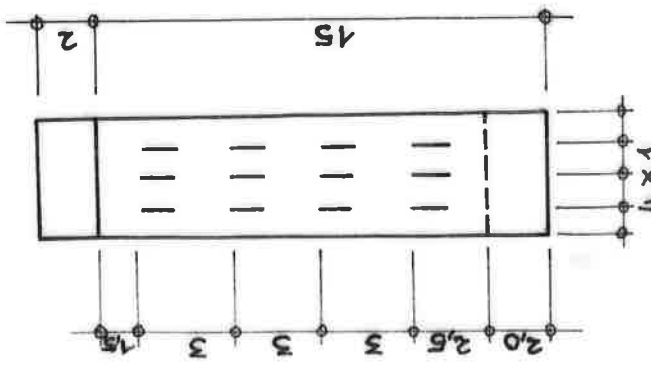
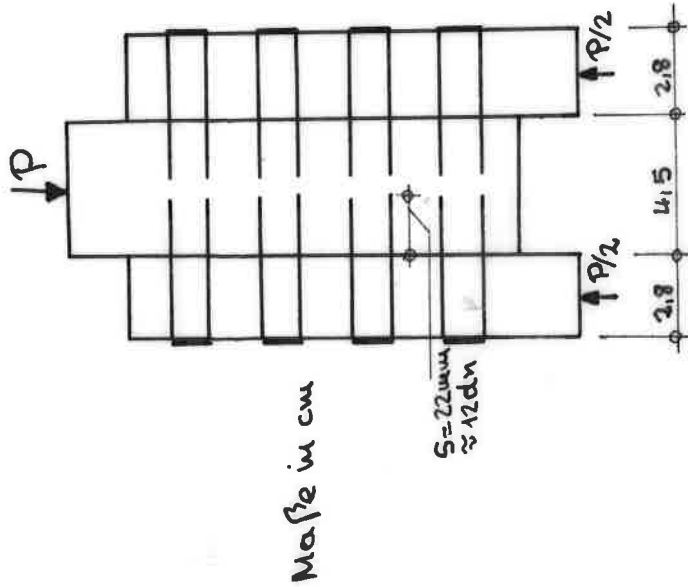
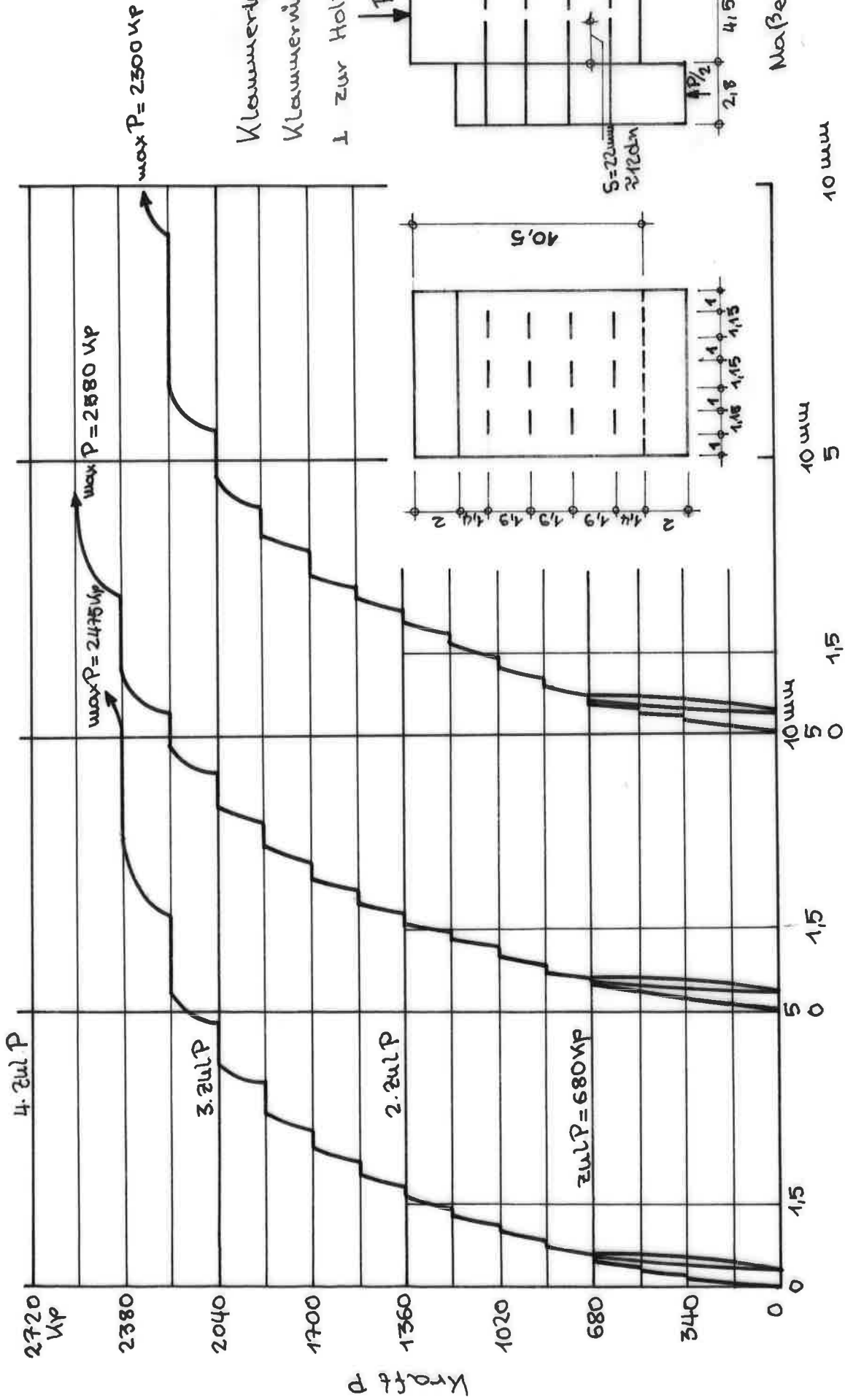


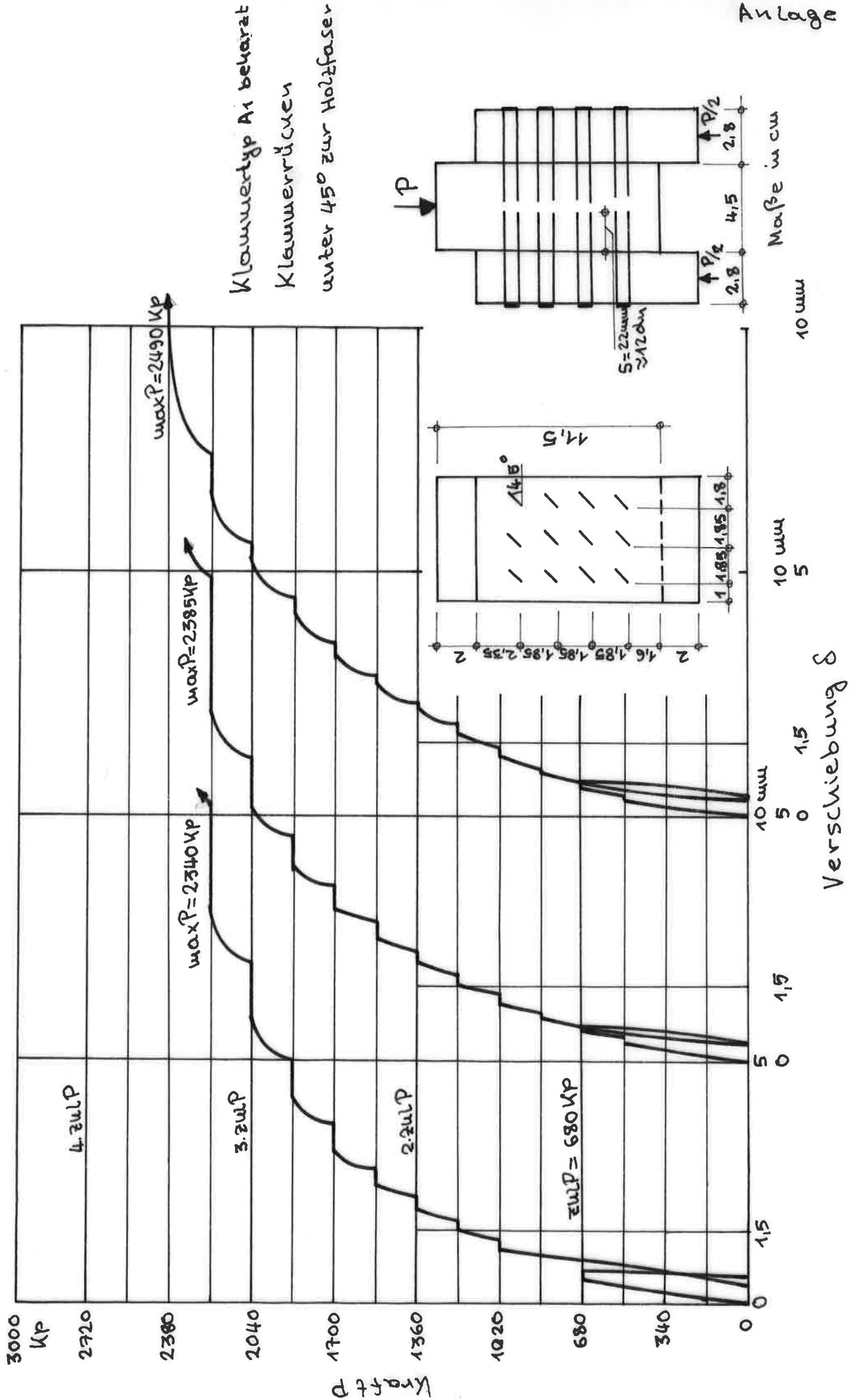
Bild 3: Kraft-Verschiebungs-Diagramme der Druckschwerkörper, Form V1



Klammertyp A1 behaftet
Klammerstäben
I zur Holzfaser

Verschiebung S

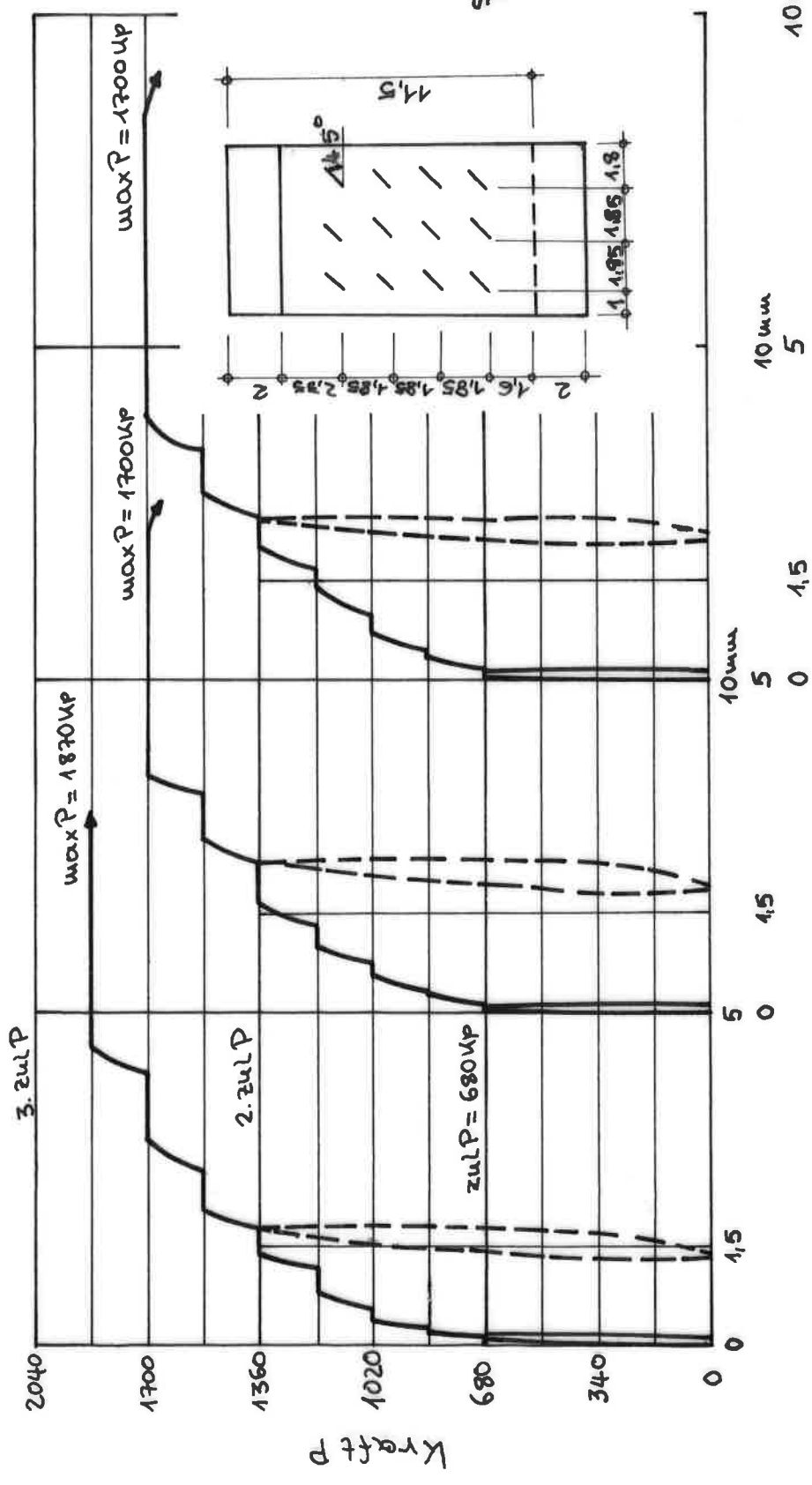
Bild 4: Kraft-Verschiebungs-Diagramme der Druckscherprüber, Form V2



Klammer Typ A1 beheizt
 Klammer rücken
 unter 45° zur Holzfasern

Bild 5: Kraft-Verschiebungs-Diagramme der Druckscheurkörper, Form V3

Klammertyp A1 blank
Klammerrücken
unter 45° zur Holzfaser



Verschiebung S

Bild 6: Kraft-Verschiebungs-Diagramme der Druckschervkörper, Form V14

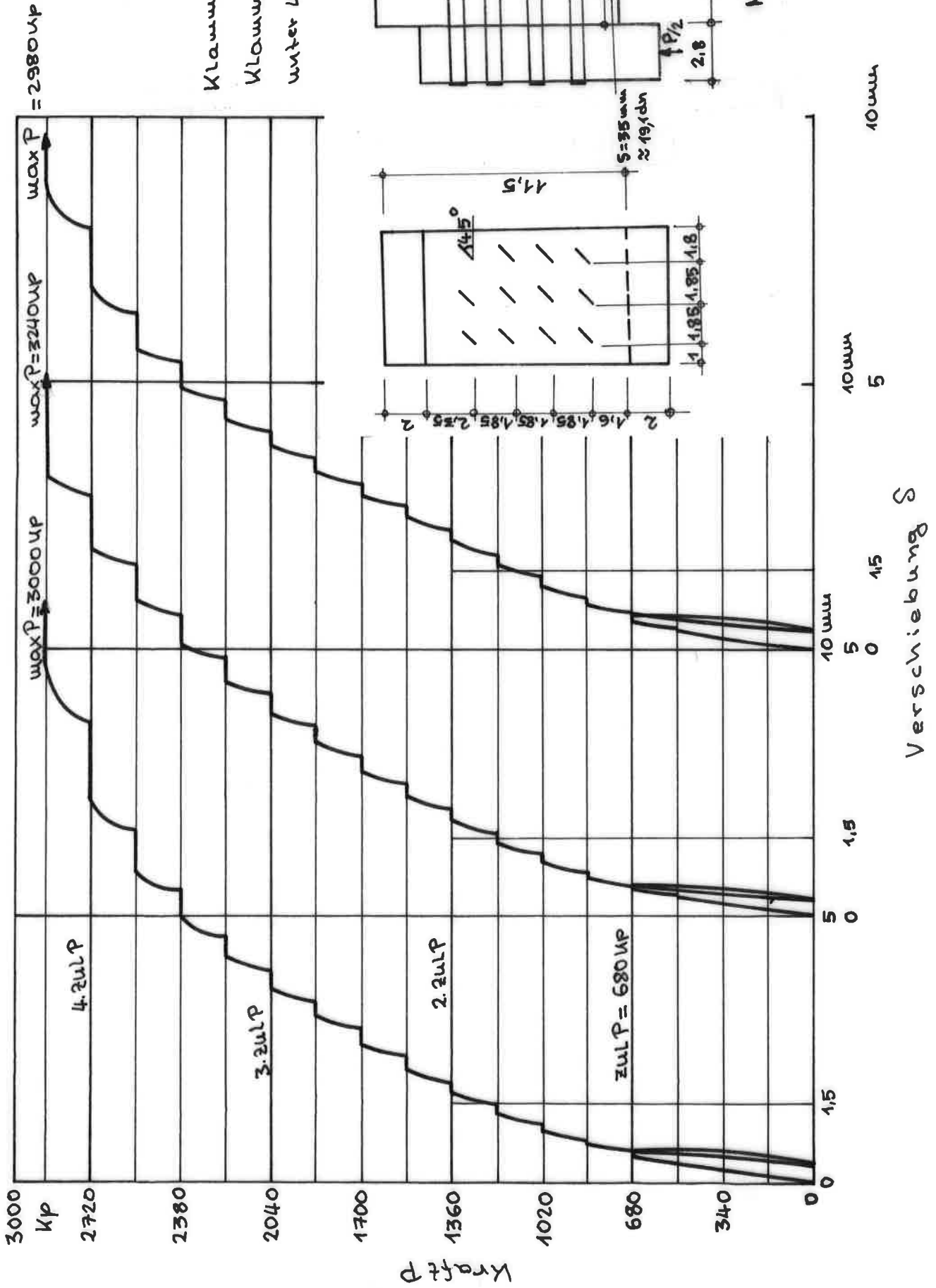
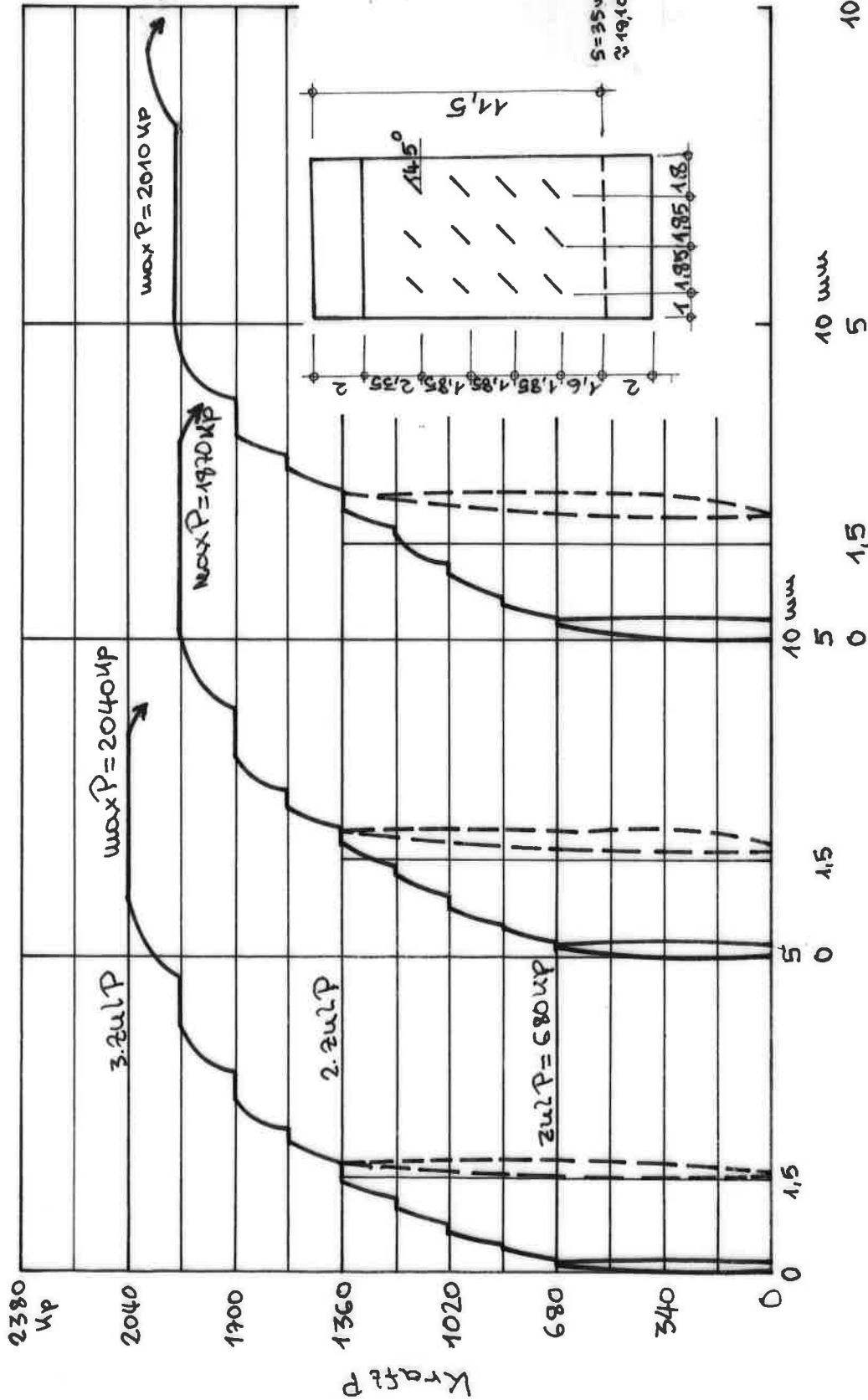


Bild 7: Kraft-Verschiebungs-Diagramme der Druckschervkörper, Form V5



Klammentyp A2 blank
 Klammerriemen
 unter 45° zur Holzfasern.

Bild 8: Kraft-Verschiebungs-Diagramme der Druckscherkörper, Form V6
 Verschiebung S

Versuchs- Körper	Bepan- nung b/l/d (mm)	Vollholz- rippen b ₁ /h ₁ (mm)	Klammer- typ	Richtung Klammer- rücken/ Holzfaser	Ein- schlag- tiefe s (mm)	Nenn- durch- messer d _N (mm)	Klammerabstände		
							e (mm)	e ₁ (mm)	e ₂ (mm)
S1/1-3	350/400/8	30/90	B blank	⊥	43	1,6	16,1	26,0	29,1
S2/1-3	300/500/10	30/90	B blank		41	1,6	20,3	41,5	25,8
S3/1-3	300/400/10	30/90	B blank	⊥	41	1,6	16,0	26,4	29,6
S4/1-3	250/400/12	30/90	B blank	⊥	39	1,6	16,0	26,6	29,4
S5/1-5	300/445/10	30/90	C1 bekrant	⊥	45	1,5	18,0	22-25	25-30
S6/1-5	300/455/10	30/90	C1 bekrant	45°	45	1,5	18,0	32-34	26-30
S7/1-5	200/445/16	30/90	C1 bekrant	⊥	39	1,5	18,0	22-28	23-26
S8/1-5	200/455/16	30/90	C1 bekrant	45°	39	1,5	18,0	29-34	26-28
S9/1-2	250/400/8	30/75	C2 blank	45°	27	1,6	16,0	32,0	24,0
S10/1-2	200/500/13	30/75	C4 blank	45°	37	2,0	20,0	40,0	30,0
S11/1-2	200/500/13	30/75	C4 bekrant	45°	37	2,0	20,0	40,0	30,0
F1/1-3	100/600/10	30/90	B blank		41	1,6	20,6	39,8	24,8
F2/1-3	100/400/10	30/90	B blank	⊥	41	1,6	16,0	26,4	29,6
F3/1-2	100/400/6	30/75	C2 blank	45°	29	1,6	16,0	32,0	24,0
F4/1-2	100/400/8	30/75	C2 blank	45°	27	1,6	16,0	32,0	24,0
F5/1-2	100/400/10	30/75	C2 blank	45°	25	1,6	16,0	32,0	24,0
F6/1-2	150/500/10	30/75	C4 blank	45°	40	2,0	20,0	40,0	30,0
F7/1-2	150/500/10	30/75	C4 bekrant	45°	40	2,0	20,0	40,0	30,0
H1/1-3	100/400/4	30/75	C2 blank	45°	31	1,6	16,0	32,0	24,0
H2	100/400/8	30/75	C2 blank	45°	27	1,6	16,0	32,0	24,0
H3	100/400/8	30/75	C2 bekrant	45°	27	1,6	16,0	32,0	24,0
H4	100/400/8	30/75	C3 bekrant	45°	42	1,6	16,0	32,0	24,0
H5/1-2	150/500/8	30/75	C4 blank	45°	42	2,0	20,0	40,0	30,0
H6/1-2	150/500/8	30/75	C4 bekrant	45°	42	2,0	20,0	40,0	30,0

Tabelle 7: Bezeichnung und Abmessungen der Längzugkörper;
Reihe S: FP/y, Reihe F: FU, Reihe H: HFH

Körperform	Körper-Nr.	Einschlagtiefe S (mm)	Klammern beharzt od. blank	Richtung Klammerrücken/ Holzfaser	gemessene mittlere Verschiebungen (mm)			Höchstlast max P (kN)	Sicherheit $\nu = \frac{\max P}{Zul P}$	mittlere Sicherheit $\bar{\nu}$
					bei zul P		bei 3 zul P			
					gesamt	bleibend				
V1	1	22 (12dn)	beharzt	parallel	2,70	1,85	> 10,0	1515	2,23	2,39
	2				2,55	1,80	> 10,0	1770	2,60	
	3				2,35	1,60	> 10,0	1595	2,34	
V2	1	22 (12dn)	beharzt	rechtwinklig	0,60	0,30	1,90	2475	3,64	3,61
	2				0,65	0,35	1,80	2580	3,80	
	3				0,75	0,40	2,30	2300	3,38	
V3	1	22 (12-dn)	beharzt	45°	0,90	0,50	2,20	2340	3,44	3,54
	2				0,70	0,30	2,25	2385	3,51	
	3				0,70	0,35	2,30	2490	3,66	
V4	1	22 (12-dn)	blank	45°	0,15	0,10	1,75	1870	2,75	2,58
	2				0,15	0,15	2,30	1700	2,50	
	3				0,20	0,15	2,45	1700	2,50	
V5	1	35 (19,1-dn)	beharzt	45°	0,60	0,30	1,90	3000	4,41	4,52
	2				0,60	0,30	2,05	3240	4,76	
	3				0,70	0,40	2,30	2980	4,38	
V6	1	35 (19,1-dn)	blank	45°	0,20	0,15	1,95	2040	3,00	2,90
	2				0,20	0,20	2,00	1870	2,75	
	3				0,35	0,30	2,35	2010	2,95	

Tabelle 8: Versuchsergebnisse mit Druckschekörpern Vollholz/Vollholz (Klammertyp A1 für V1 bis V4, Klammertyp A2 für V5 und V6). Kraft-Verschiebungs-Diagramme siehe Bild 3 bis 8.

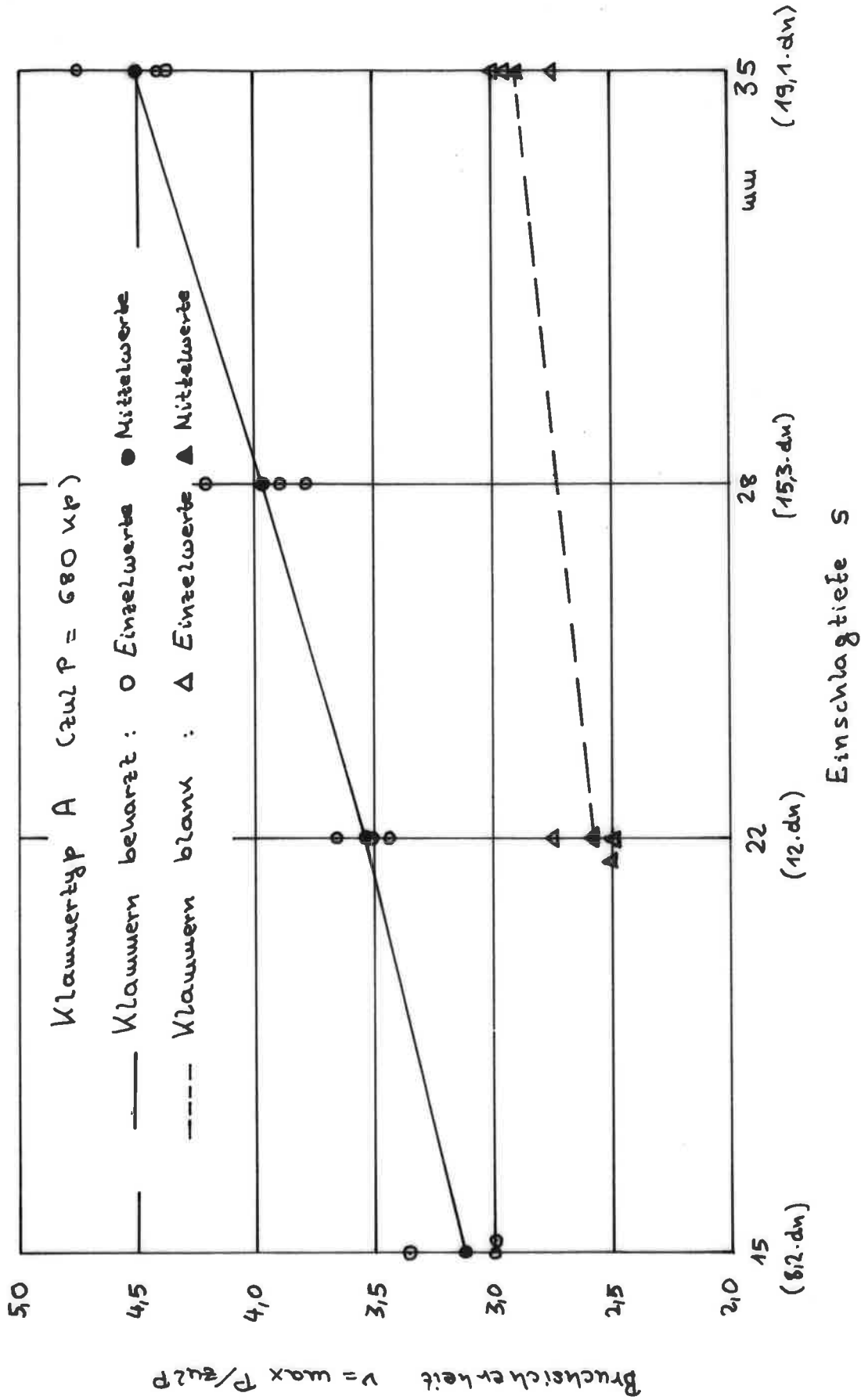


Bild 9: Bruchsicherheit v in Abhängigkeit von der Einschlagtiefe s aus Versuchen mit Druckscherkörper; Klammerrücken unter 45° zur Holzfaserrichtung

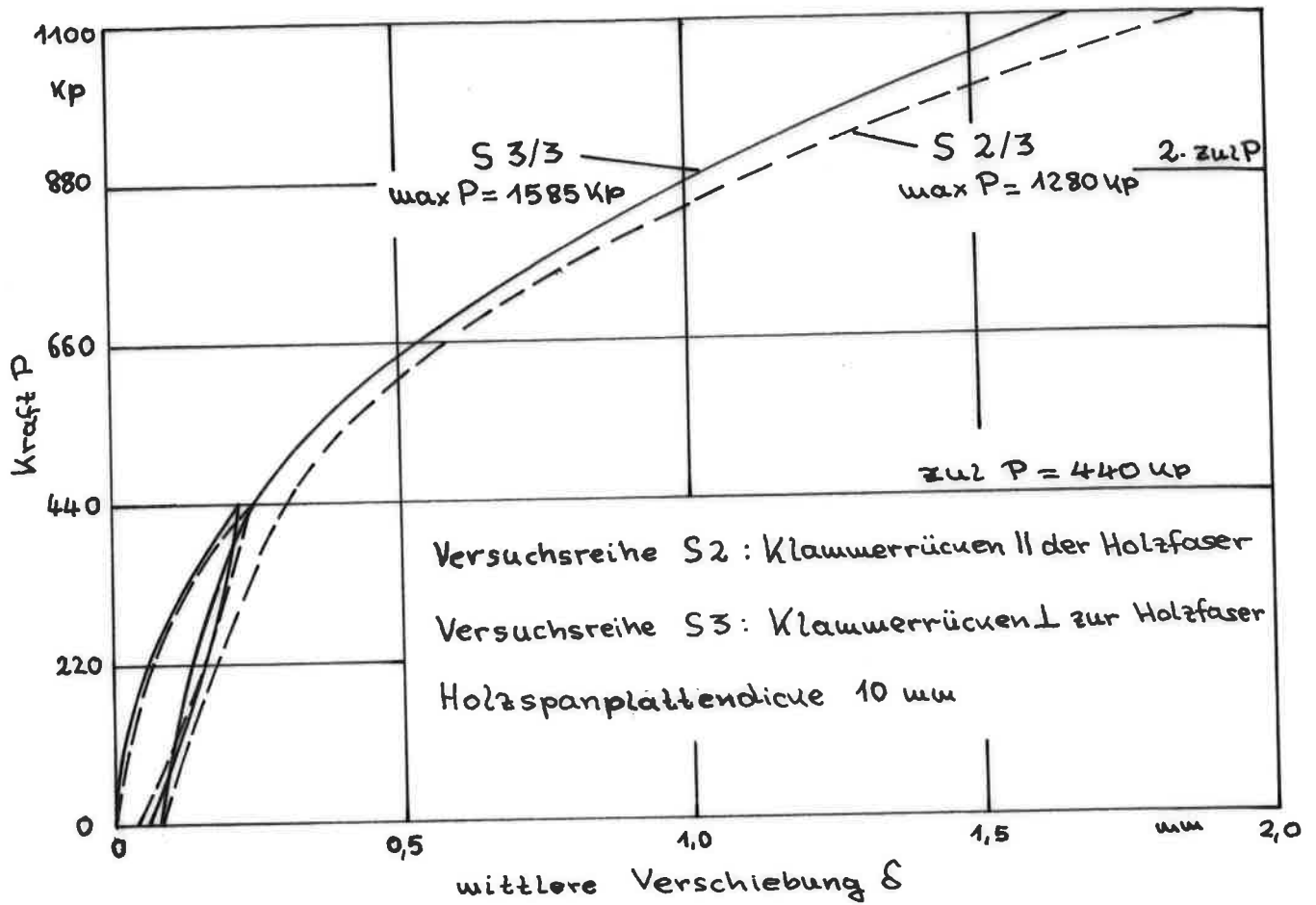


Bild 10: Kraft-Verschiebungs-Diagramme der Längszugkörper S2/3 und S3/3 (Meßbühen)

Versuchsreihen S1 bis S4: Klammertyp B blank

Körperform Holzspanplattendicke	Körper-Nr.	Einschlagtiefe S (mm)	Richtung Klammerrücken Holzfaser	gemessene mittlere Verschiebungen (mm)			Höchstlast max P (kP)	Bruchsicherheiten	
				bei zul P		bei 2. zul P		V = $\frac{\text{max P}}{\text{zul P}}$	V _{mittel}
				gesamt	bleibend				
S1 8 mm	1	43 (26,9.dn)	rechtwinklig	0,21	0,06	0,92	1565	3,56	3,02
	2			0,28	0,10	1,20	1250	2,84	
	3			0,25	0,07	1,04	1170	2,66	
S2 10 mm	1	41 (25,6.dn)	parallel	0,42	0,13	1,65	1220	2,77	2,91
	2			0,28	0,08	1,13	1345	3,06	
	3			0,30	0,08	1,10	1280	2,91	
S3 10 mm	1	41 (25,6.dn)	rechtwinklig	0,25	0,09	1,07	1605	3,65	3,60
	2			0,23	0,07	1,03	1565	3,55	
	3			0,24	0,08	1,00	1585	3,60	
S4 12 mm	1	39 (24,4.dn)	rechtwinklig	0,27	0,07	0,97	1485	3,38	3,41
	2			0,24	0,01	1,00	1520	3,45	
	3			0,26	0,05	1,05	1490	3,39	

Tabelle 9: Versuchsergebnisse mit Längszugkörpern Vollholz / Holzspanplatten
Bruchursache: Klammern ausgezogen

Körperform	Körper-Nr.	Spanplatten-nenn-dicke (mm)	Einschlag-tiefe S (mm)	Richtung Klammern/Holz-faser	Gemessene mittlere Verschiebungen (mm)				Höchstlast max P (kN)	Bruch-sicherheiten		Bruchursache	
					bei zul P		bei 2. zul P			bei 3. zul P	$v = \frac{\max P}{zul P}$		v mittel
		gesamt	bleibend	gesamt	bleibend	gesamt	bleibend						
S5	1	10	45 (30.dn)	recht-winklig	0,06	0,03	0,29	0,18	1,17	1745	4,36	4,89	Bruch der Spanplatten beplankung Beplankung entlang Klammerreihe aufgerissen
	2				0,04	0,02	0,34	0,25	1,17	1820	4,55		
	3				0,06	0,05	0,29	0,19	0,97	1820	4,55		
	4				0,12	0,05	0,34	0,15	—	2340	5,85		
	5				0,11	0,04	0,39	0,17	—	2060	5,15		
S6	1	10	45 (30.dn)	unter 45°	0,05	0,04	0,41	0,21	1,28	2840	7,10	5,86	Bruch der Spanplattenbeplankung
	2				0,03	0,03	0,37	0,25	1,23	2380	5,95		
	3				0,04	0,03	0,40	0,27	1,50	1700	4,25		
	4				0,15	0,07	0,44	0,20	—	2280	5,70		
	5				0,13	0,06	0,46	0,23	—	2520	6,30		
S7	1	16	39 (26.dn)	recht-winklig	0,04	0,03	0,28	0,22	0,85	3560	8,90	8,94	Klammern ausgezogen Bruch Spanplattenbepl. Klammern ausgezogen
	2				0,02	0,02	0,22	0,14	0,60	3780	9,45		
	3				0,05	0,04	0,35	0,19	1,10	3260	8,15		
	4				0,06	0,01	0,20	0,08	—	3660	9,15		
	5				0,06	0,02	0,19	0,07	—	3620	9,05		
S8	1	16	39 (26.dn)	unter 45°	0,06	0,05	0,38	0,19	1,10	3060	7,65	7,54	Bruch der Spanplattenbeplankung Klammern ausgezogen Bruch der Spanplattenbeplankung
	2				0,04	0,03	0,17	0,10	0,50	3480	8,70		
	3				0,06	0,05	0,33	0,17	1,00	2800	7,00		
	4				0,17	0,08	0,66	0,37	—	2760	6,90		
	5				0,09	0,03	0,33	0,13	—	2980	7,45		

Tab. 10: Versuchsergebnisse mit Längszugkörpern Vollholz / Holzspanplatten, Klammertyp C1 beheizt. Kraft-Verschiebungs-Diagramme siehe Bild 11 und 12

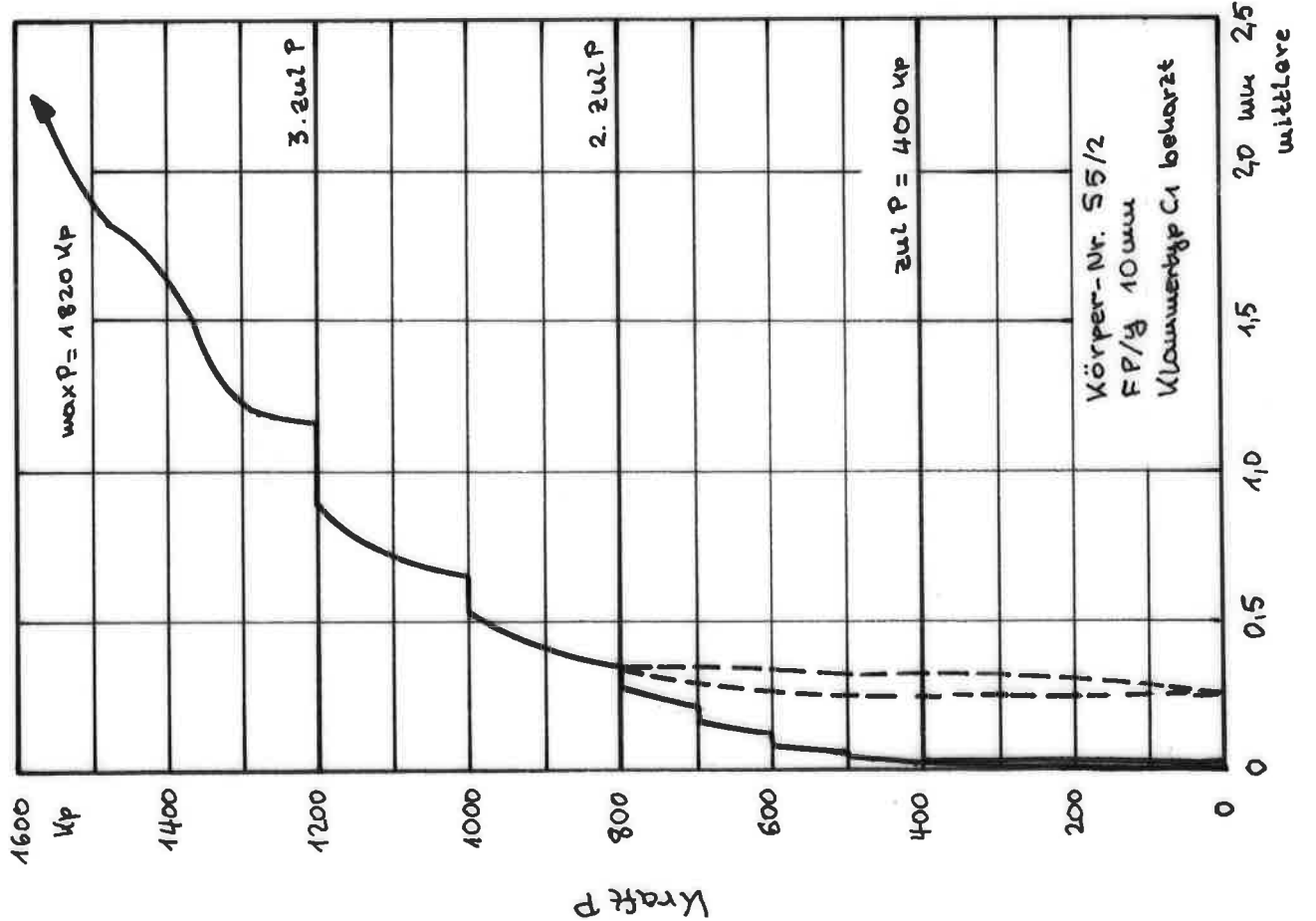
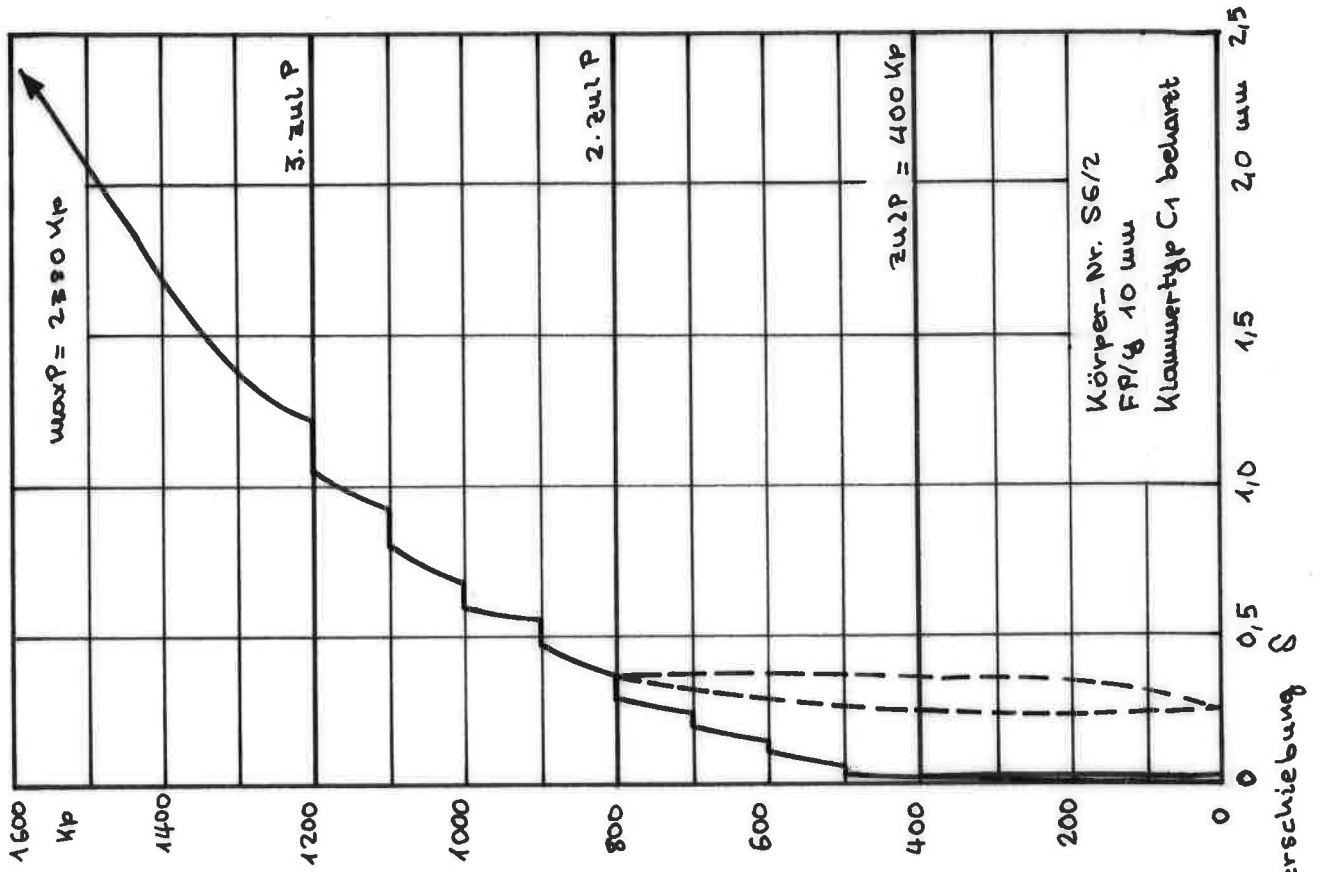


Bild 11: Kraft - Verschiebungs - Diagramme der Längzugkörper S5/2 und S6/2

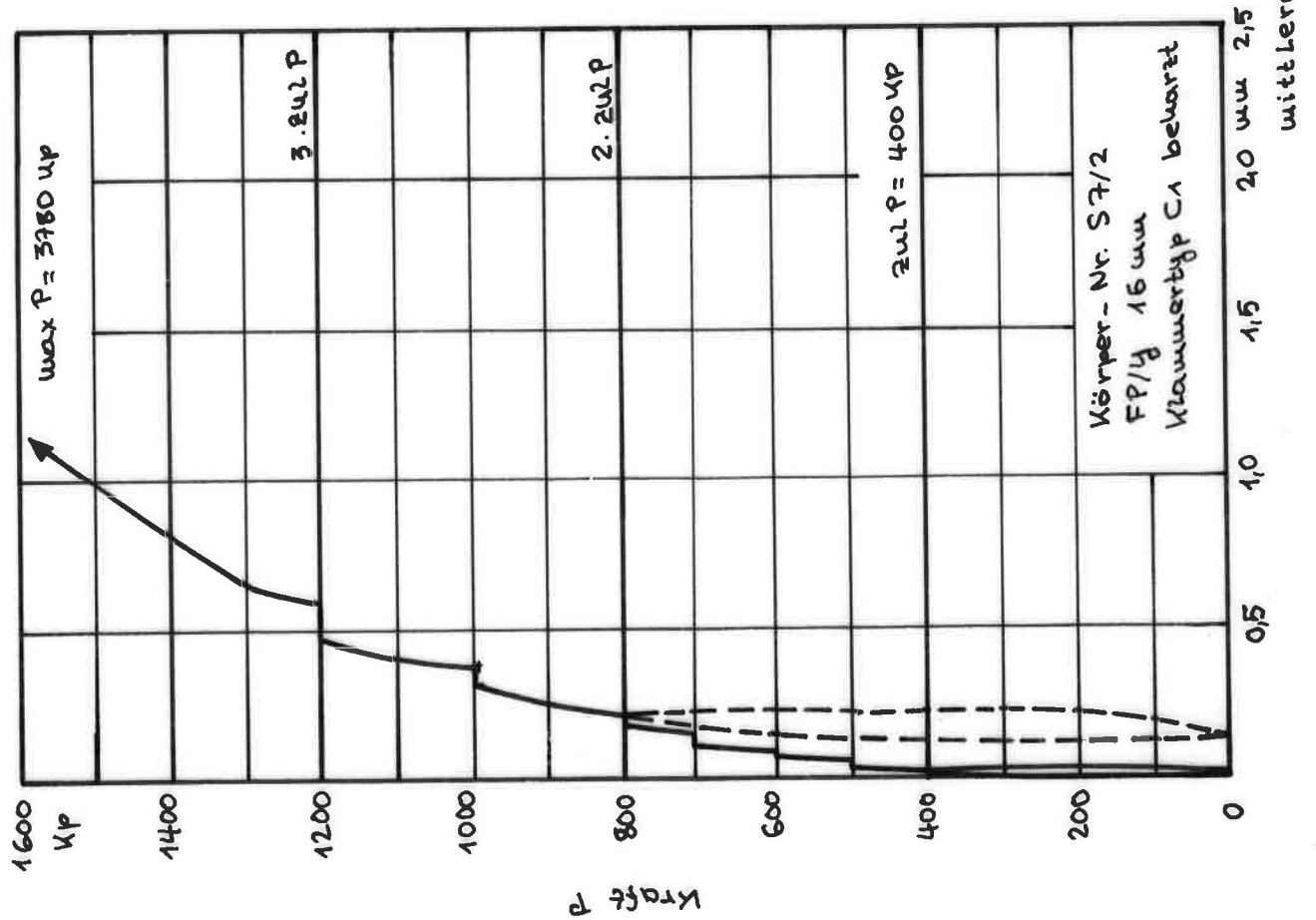
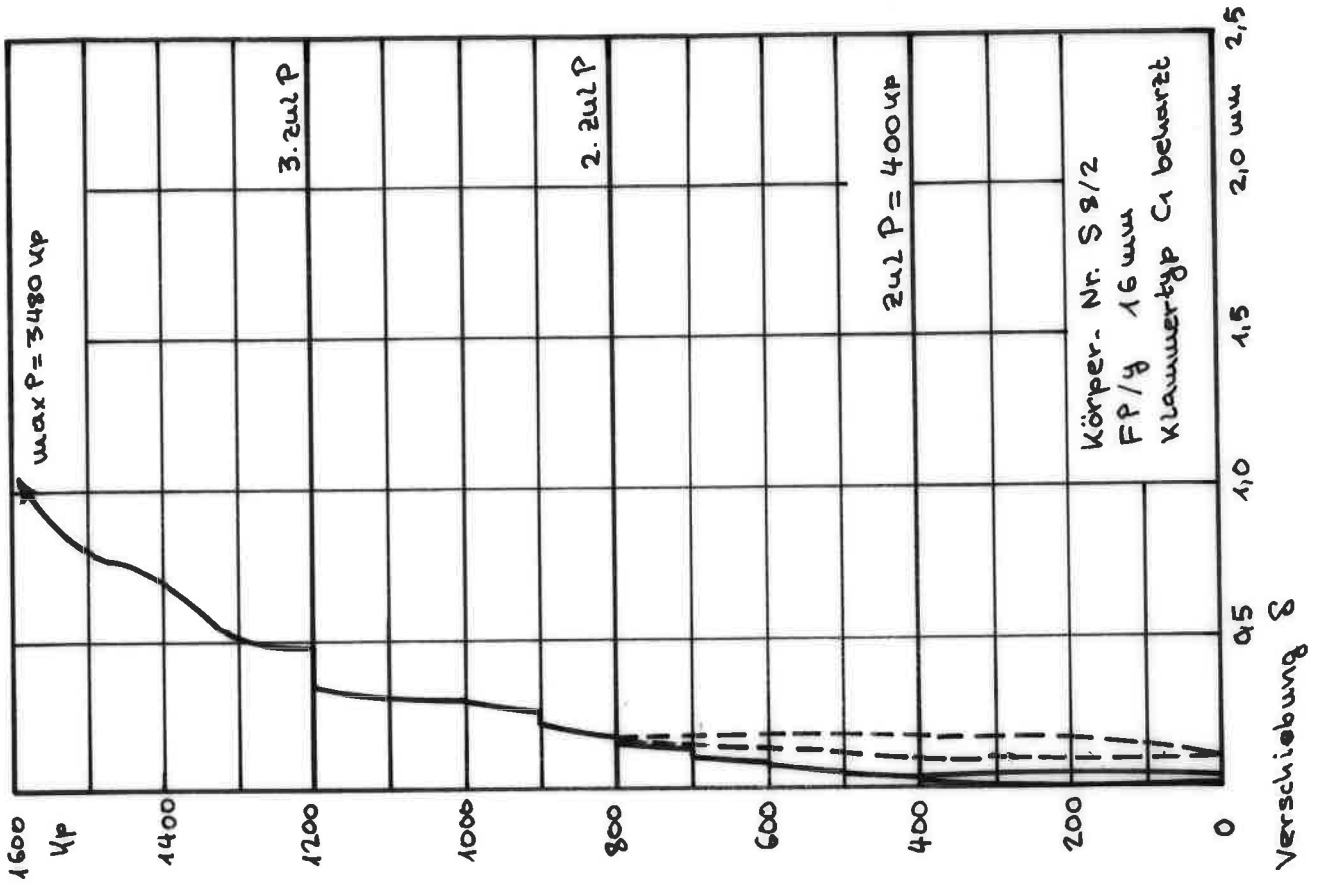


Bild 12: Kraft - Verschiebungs - Diagramme der Längszugkörper S 7/2 und S 8/2

Körper- form	Körper- Nr.	Spann- platten- nennbreite (mm)	Klammer- typ	Einschlag- tiefe S (mm)	Klammern behandelt oder blank	Gemessene mittlere Verschiebungen (mm)				Höchstlast max P (kN)	Bruchsicherheiten		Bruchursache	
						bei zul P		bei 2. zul P			bei 3. zul P			$v = \frac{\max P}{zul P}$
						gesamt	bleibend	gesamt	bleibend					
S9	1	8	C 2	27 (16,9.dn)	blank	0,12	0,05	0,63	0,36	1,85	1720	3,91	3,65	Klammerrücken durchgezogen
	2					0,10	0,07	0,74	0,48	2,57	1490	3,39		
S10	1	13	C 4	37 (18,5.dn)	blank	0,11	0,06	0,78	0,48	2,40	2760	4,18	4,30	Klammern ausgezogen
	2					0,10	0,06	0,67	0,41	2,16	2920	4,42		
S11	1	13	C 4	37 (18,5.dn)	behandelt	0,15	0,09	0,76	0,46	2,16	3300	5,00	4,77	Klammern aus- und teilweise durchgezogen
	2					0,12	0,08	0,75	0,45	2,14	3000	4,54		

Tabelle 11: Versuchsergebnisse mit Längszugkörpern Vollholz / Holzspanplatten, Klammerrücken unter 45° zur Holzfasern. Kraft- Verschiebungs- Diagramme siehe Bild 13 und 14

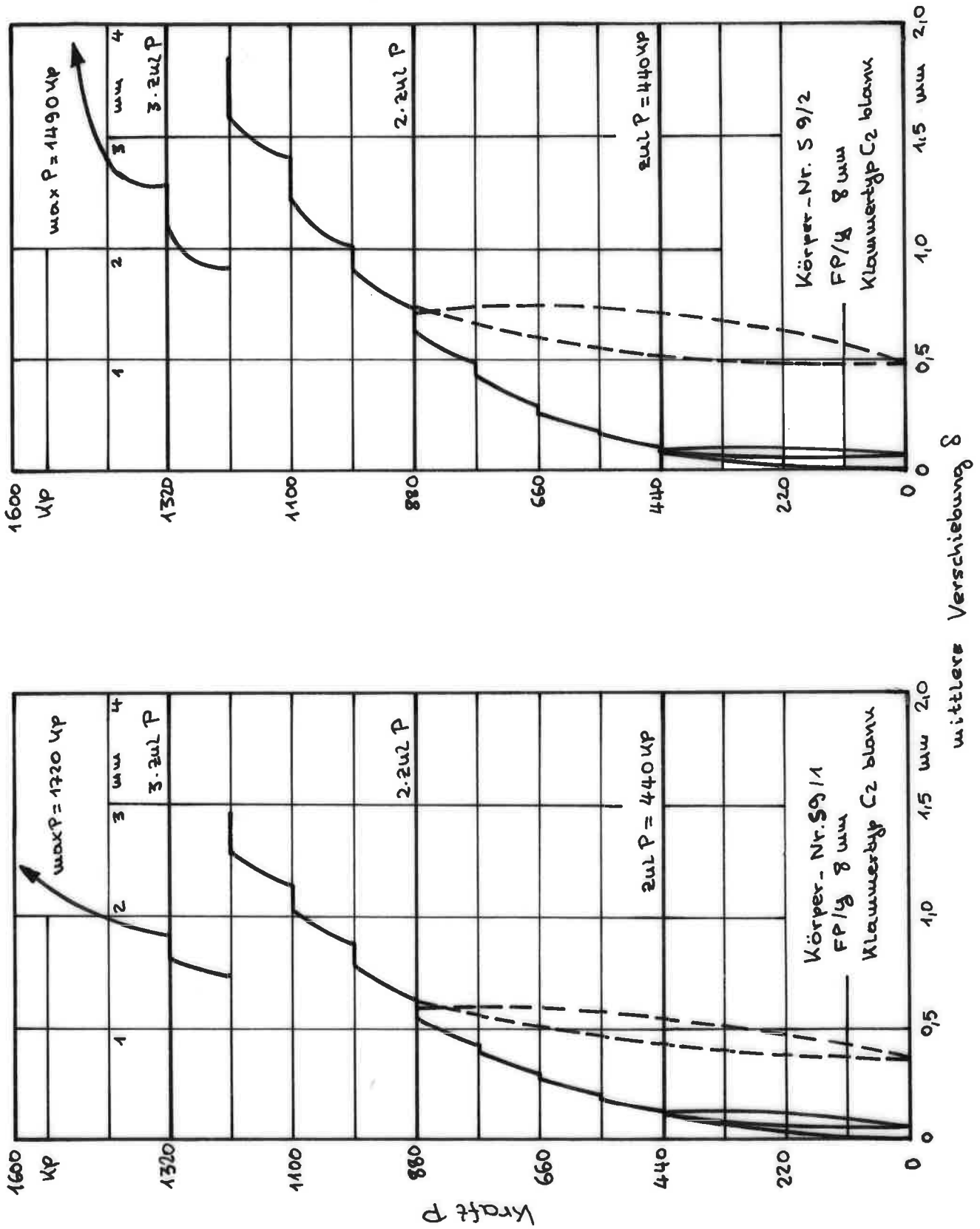


Bild 13: Kraft - Verschiebungs - Diagramme der Längskörper S9/1-2

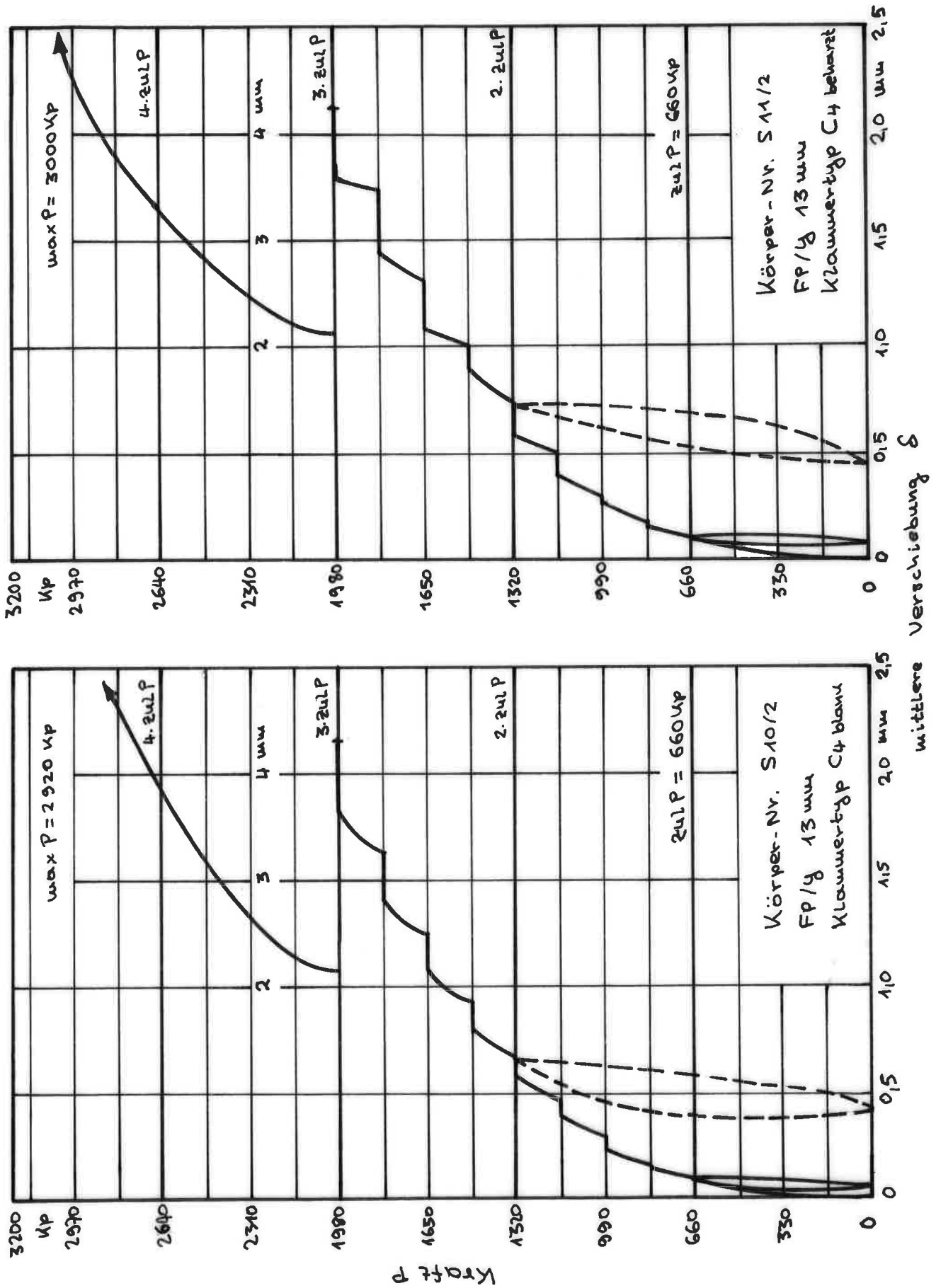


Bild 14: Kraft - Verschiebungs-Diagramme der Längszugkörper S10/2 und S11/2

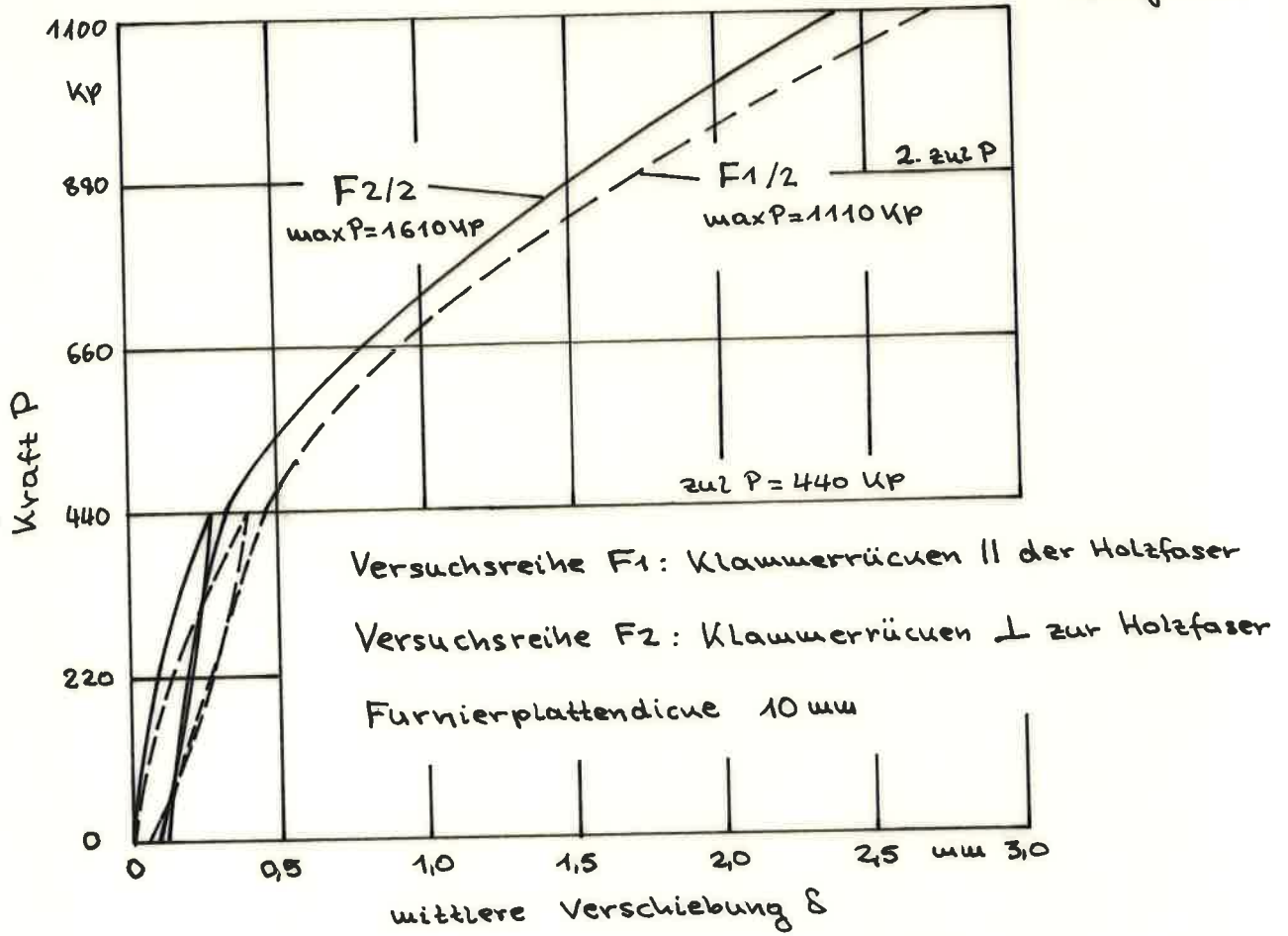


Bild 15: Kraft- Verschiebungs- Diagramme der Längszugkörper F1/2 und F2/2 (Meßbahnen)

Klammertyp B blank

Einschlagtiefe $S = 41 \text{ mm} = 25,6 \cdot d_n$

Körperform	Körper-Nr.	gemessene mittlere Verschiebungen (mm)			Höchstlast max P (kN)	Bruchsicherheiten	
		bei zul P		bei 2. zul P		$V = \frac{\text{max P}}{\text{zul P}}$	V_{mittel}
		gesamt	bleibend				
F1	1	0,46	0,09	1,78	1285	2,92	2,62
	2	0,45	0,08	1,70	1110	2,52	
	3	0,52	0,11	2,38	1060	2,41	
F2	1	0,32	0,10	1,50	1480	3,37	3,51
	2	0,32	0,12	1,50	1610	3,66	
	3	0,38	0,09	1,50	1535	3,49	

Tabelle 12: Versuchsergebnisse mit Längszugkörpern Vollholz/ Furnierplatten
 Bruchursache: Klammern ausgezogen

Körperform	Körper-Nr.	Furnierplatten-nenn-dicke (mm)	Klammer-typ	Einschlag-tiefe S (mm)	Klammern beharzt oder blank	gemessene mittlere Verschiebungen (mm)				Höchstlast max P (kN)	Bruchsicherheiten		Bruchursache
						bei zul P	bei 2. zul P		bei 3. zul P		$v = \frac{\max P}{2 \cdot \sum P}$	v_{mittel}	
						gesamt	bleibend	gesamt	bleibend				
F3	1	6	C2	29 (18,1.dn)	blank	0,10	0,07	0,83	0,57	2,37	4,23	3,83	Klammerrücken durchgezogen und ausgezogen
	2					0,07	0,76	0,57	2,75	3,43			
F4	1	8	C2	27 (16,9.dn)	blank	0,08	0,05	0,87	0,70	2,39	4,50	4,39	Klammerrücken durchgezogen und teilweise ausgezogen
	2					0,12	0,09	0,90	0,69	2,35	4,28		
F5	1	10	C2	25 (15,6.dn)	blank	0,03	0,03	0,32	0,23	1,28	4,15	4,12	Klammern ausgezogen
	2					0,05	0,04	0,34	0,25	1,50	4,09		
F6	1	10	C4	40 (20.dn)	blank	0,04	0,03	0,30	0,23	1,52	5,23	5,13	Klammern ausgezogen
	2					0,06	0,04	0,49	0,35	1,87	5,03		
F7	1	10	C4	40 (20.dn)	beharzt	0,08	0,06	0,69	0,44	2,20	4,81	4,95	Klammern ausgezogen
	2					0,08	0,06	0,71	0,46	2,22	5,09		

Tabelle 13: Versuchsergebnisse mit Längszugkörpern Vollholz/Furnierplatten, Klammerrücken unter 45° zur Holzfaser. Kraft-Verschiebungs-Diagramme siehe Bild 16 und 17

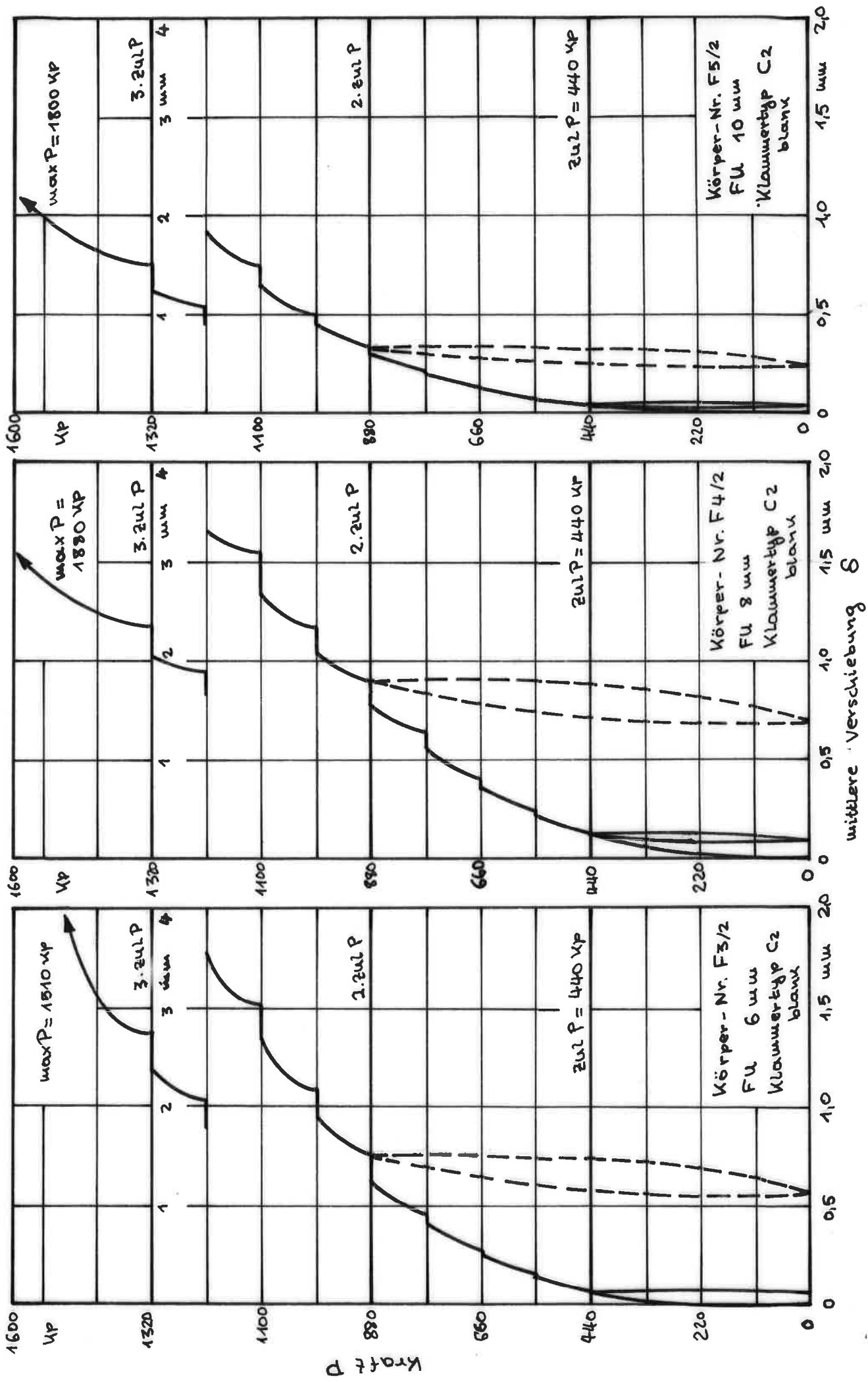


Bild 16: Kraft - Verschiebungs - Diagramme der Längszugkörper F3/2, F4/2 und F5/2

mittlere Verschiebung δ

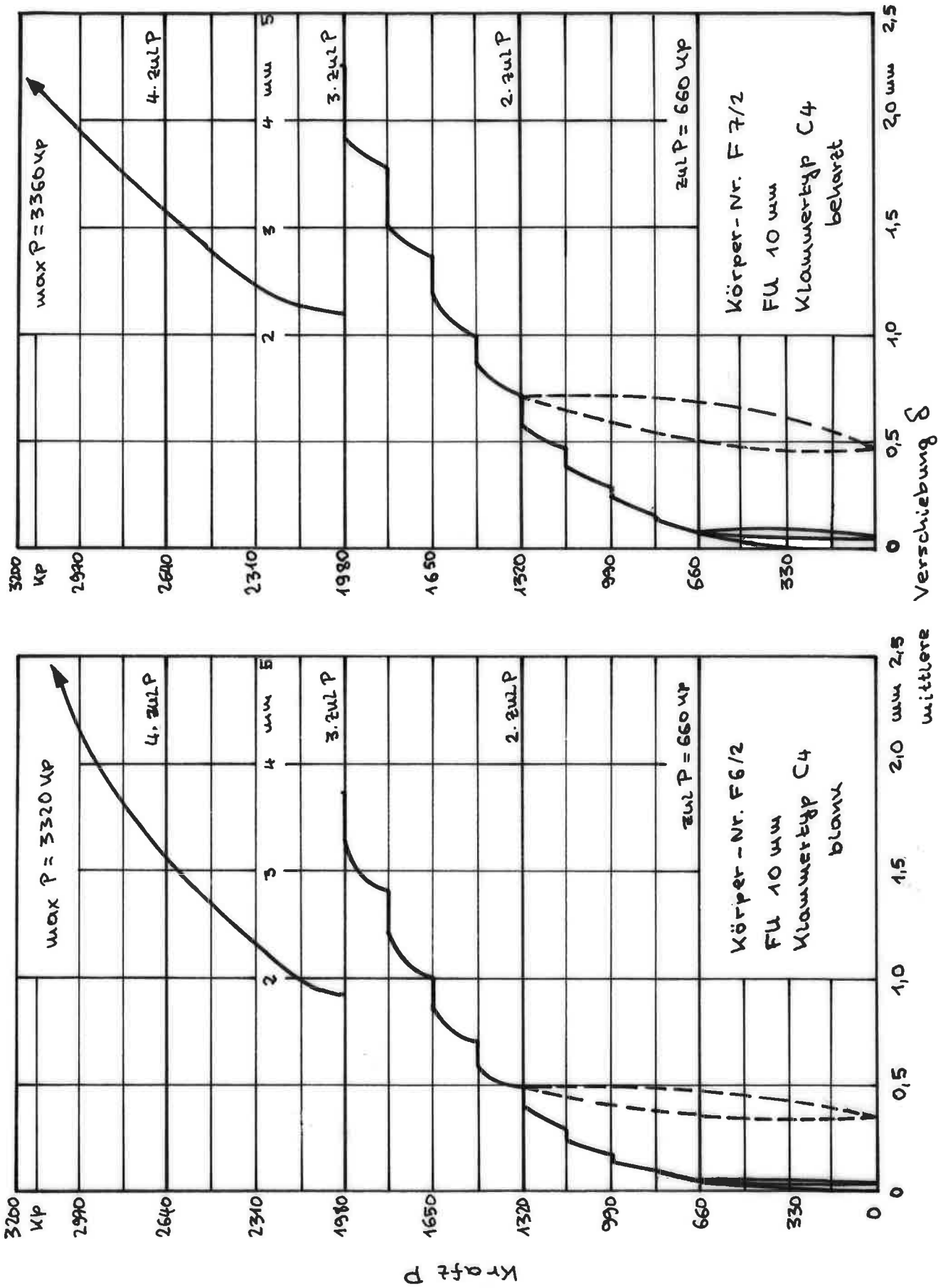


Bild 17: Kraft - Verschiebungs-Diagramme der Längzugkörper F6/2 und F7/2

Körperform	Körper-Nr.	Holzfaserplatten-nenn-dicke (mm)	Klammer-typ	Einschlag-tiefe S (mm)	Klammern beharzt oder blank	gemessene mittlere Verschiebungen (mm)				Höchstlast max P (kN)	Bruchsicherheiten		Bruchursache	
						bei zul P		bei 2-zul P			bei 3-zul P			$V = \frac{\max P}{zul P}$
				gesamt		bleibend		gesamt		bleibend				
H1	1			31	blank	0,10	0,03	0,62	0,36	2,58	1400	3,18		Klammerrücken durchgezogen
	2	4	C2	(19,4.dn)	blank	0,09	0,03	0,49	0,26	1,95	1540	3,50	3,43	
	3				blank	0,09	0,03	0,52	0,29	2,04	1590	3,61		
H2	—	8	C2	27 (16,9.dn)	blank	0,08	0,04	0,31	0,18	0,95	2110	4,79	—	Klammern ausgezogen
	—	8	C2	27 (16,9.dn)	beharzt	0,08	0,03	0,35	0,17	1,05	2540	5,77	—	
H4	—	8	C3	42 (26,3.dn)	beharzt	0,08	0,03	0,35	0,18	0,95	2430	5,52	—	Klammern ausgezogen und teilweise in Platte eingezogen
	1	8	C4	42 (21.dn)	blank	0,12	0,06	0,72	0,44	2,31	3020	4,57	4,65	
H5	2	8	C4	42 (21.dn)	blank	0,13	0,06	0,67	0,41	2,29	3120	4,73		Klammerrücken durchgezogen
	1	8	C4	42 (21.dn)	beharzt	0,18	0,09	1,05	0,64	3,29	2720	4,12	4,31	
H6	2	8	C4	42 (21.dn)	beharzt	0,16	0,08	0,84	0,48	2,61	2970	4,50		Klammerrücken durchgezogen (bei H6/2 1 Klammer ausgezogen)
	1	8	C4	42 (21.dn)	beharzt	0,16	0,08	0,84	0,48	2,61	2970	4,50		

Tabelle 14: Versuchsergebnisse mit Längzugkörpern Vollholz/ Holzfaserkörpern Vollaute/ Holzfaserplatten, Klammerrücken unter 45° zur Holzfaser. Kraft-Verschiebungs-Diagramme siehe Bild 18 bis 20

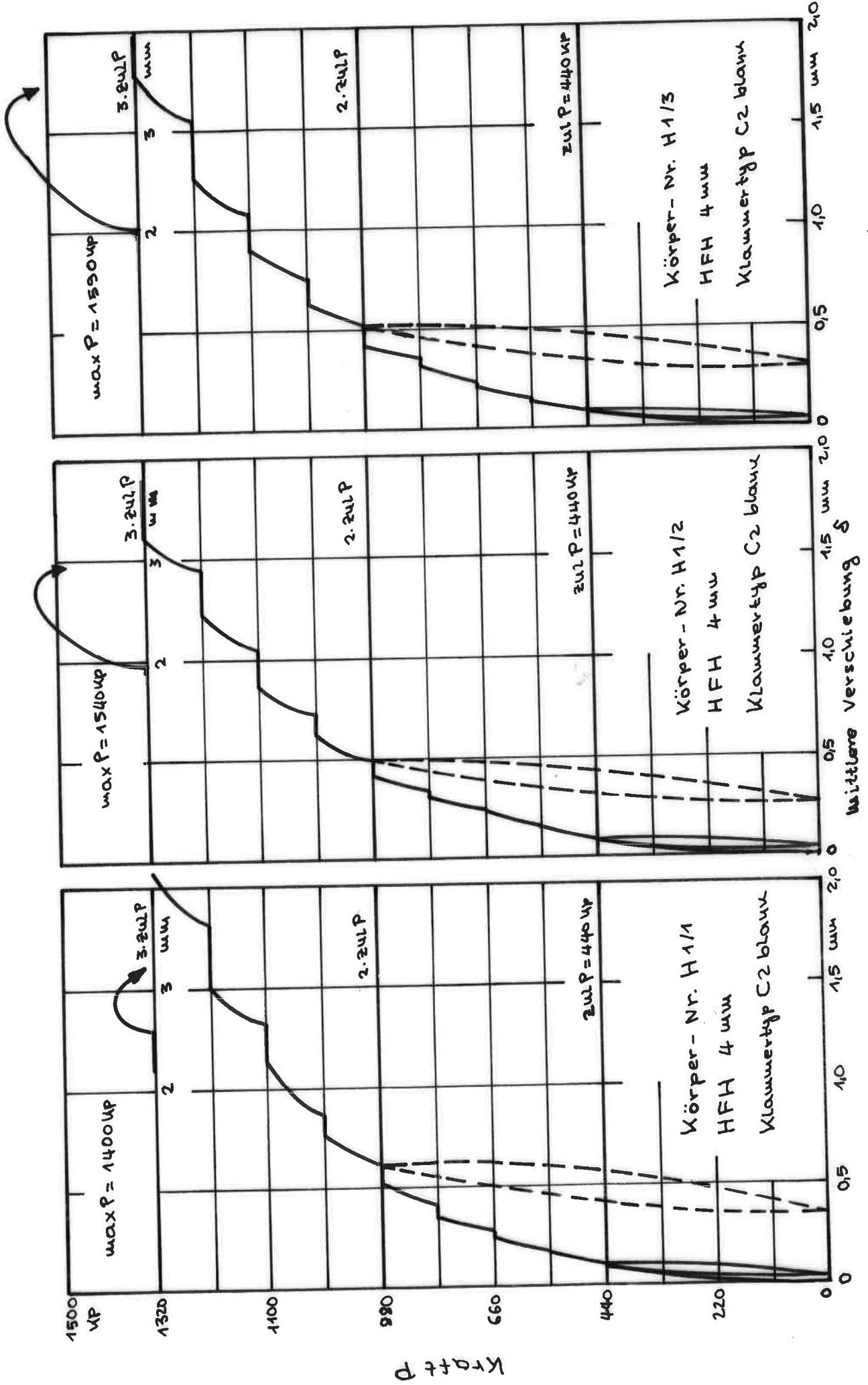
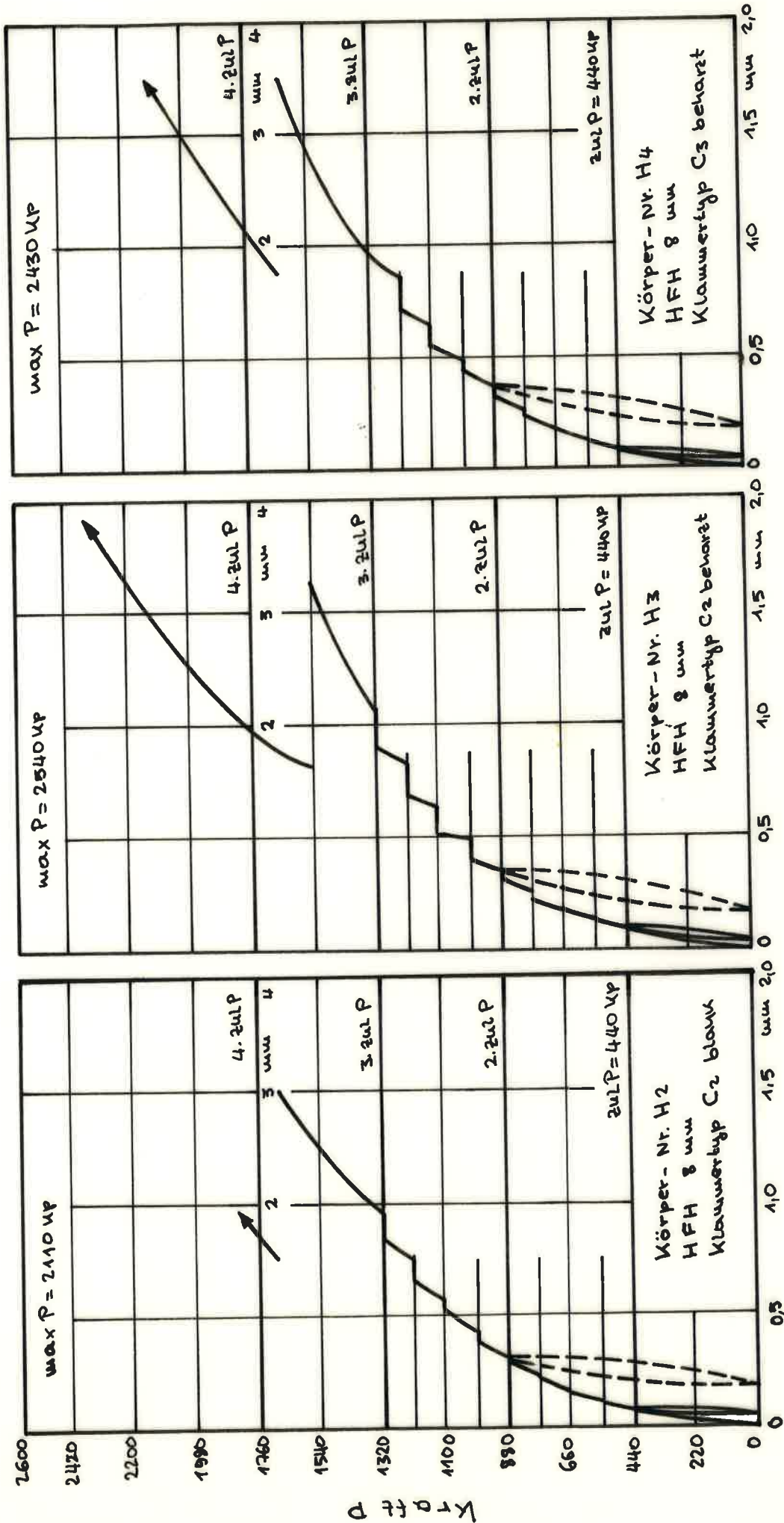


Bild 18: Kraft - Verschiebungs-Diagramme der Längsglieder H1/1, H1/2, und H1/3



mittlere Verschiebung δ

Bild 19: Kraft- Verschiebungs-Diagramme der Längszugkörper H2, H3 und H4

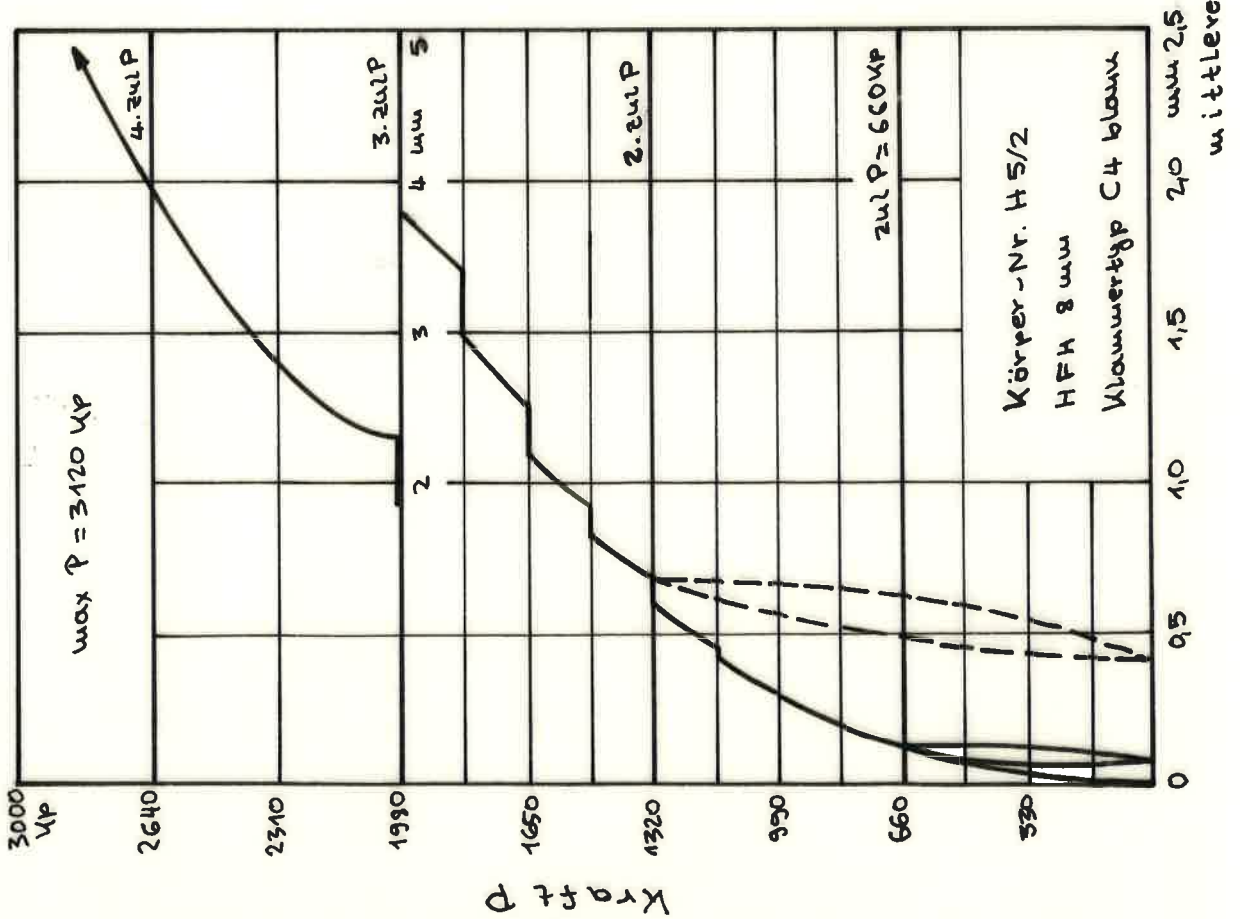
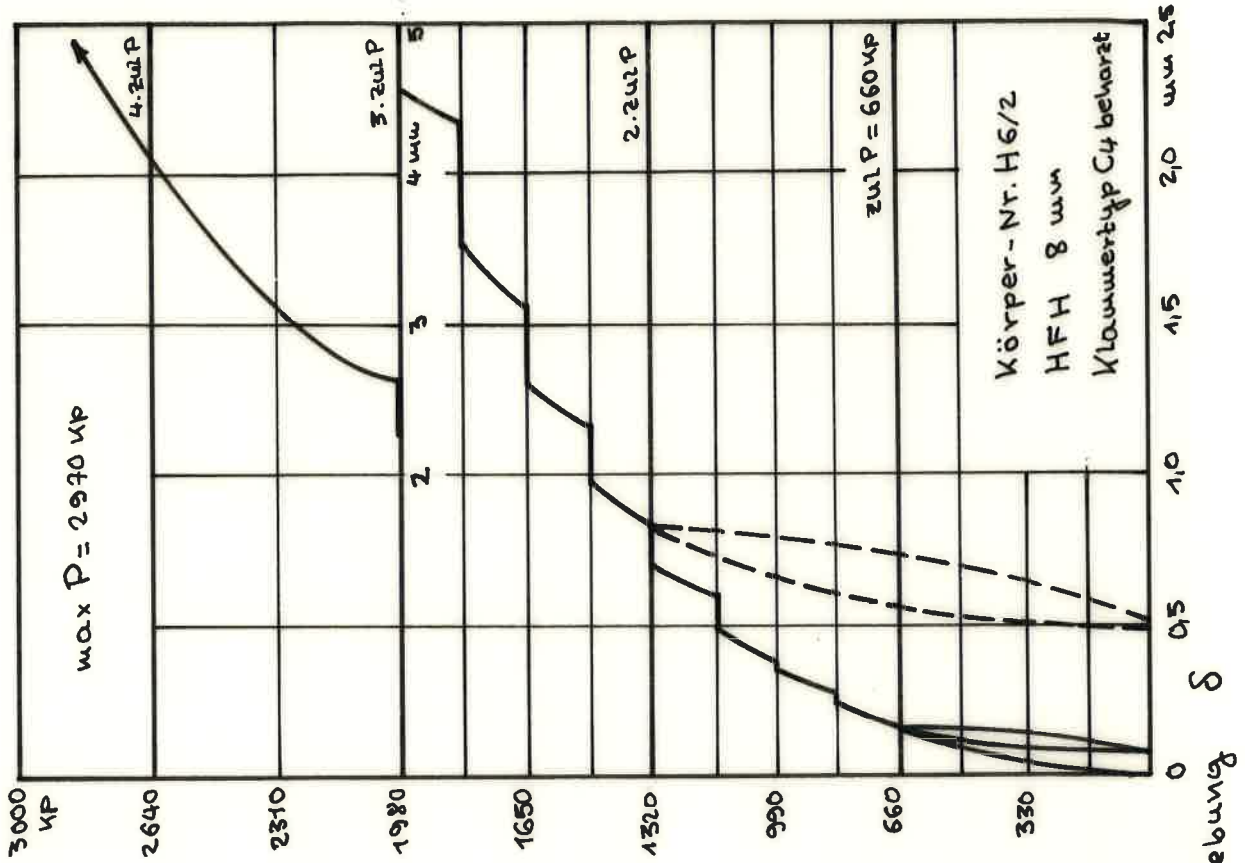


Bild 20: Kraft - Verschiebungs - Diagramme der Längsaugkörper H5/2 und H6/2
mittlere Verschiebung δ