

Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine

(Amtliche Materialprüfungsanstalt)

Technische Hochschule Karlsruhe

Karlsruhe, den 20. Oktober 1969

B e r i c h t

Vergleichende Versuche über den Einfluß der mechanischen Vorbehandlung auf die Biegefestigkeit sälzetränkter Fichtenholz-Maste

1. Einleitung

Die im Vergleich zu Kiefernmasten schlechtere Imprägnierbarkeit von Fichtenholzmasten mittels Salzlösung hat schon in der Vergangenheit zu verschiedenen Versuchen und Vorschlägen geführt, durch mechanische Vorbehandlung des meist gefährdeten Mastbereiches in der Erd-Luftzone eine Verbesserung der Imprägnierbarkeit der Fichte zu erreichen. Die bereits vor vielen Jahren vorgeschlagenen mechanischen Vorbehandlungsverfahren haben aber bisher in der Produktion keine größere Verbreitung gefunden.

Erst in der letzten Zeit hat sich in der Bundesrepublik die einschlägige Imprägnier-Industrie sehr intensiv dem mechanischen Aufschluß von Fichten-Masten zugewandt. Es stellte sich dabei die Aufgabe, einerseits eine befriedigende Durchtränkung der perforierten Zone zu erreichen, andererseits die mechanische Festigkeit des Mastes so wenig wie möglich zu beeinträchtigen.

Von mehreren Perforationssystemen, die von den verschiedenen Firmen entwickelt und in einem firmeninternen Gemeinschaftsversuch vorgestellt wurden, wurden nur zwei Systeme vom FTZ zugelassen. Die beiden Systeme unterscheiden sich wesentlich durch das Perforationsschema (Bild 1 und 2) sowie durch die Tatsache, daß die Öffnung des Holzmantels bei Schema s durch Stechen, bei Schema b aber durch Bohren erreicht wird.

2. Zweck der Versuche

Im Hinblick auf die erheblichen Streuungen der Biegefestigkeit des gewachsenen Holzes hat man eine 3,45-fache Sicherheit gegenüber der durch den Nutzzug auftretenden Biegespannung festgelegt. Bei einer mechanischen Schwächung des Mastes muß daher die effektive mittlere Biegefestigkeit und die im Vergleich zum unbehandelten Mast vorliegende Streuung bekannt sein, wenn bei der Anwendung die gleichen Sicherheitsanforderungen wie bei den unbehandelten Masten vorliegen sollen.

Durch vergleichende Biege- und Umbruchversuche sollte daher festgestellt werden, ob und mit welchen Festigkeitsminderungen bei den beiden Behandlungsweisen s und b gerechnet werden muß, wobei die hauptsächlichsten Untersuchungen mit Schema s durchgeführt wurden. Gleichzeitig sollte überprüft werden, ob der labormäßige Biegeversuch mit 2 symmetrischen Einzellasten an Mastabschnitten im Vergleich zum Umbruchversuch an ganzen Masten übereinstimmende Werte und bessere Vergleichsmöglichkeiten ergibt und inwieweit die Streuungen der Festigkeiten durch die Behandlungsverfahren beeinflusst werden.

3. Prüfverfahren

Den für den Nachweis der Biegefestigkeitsbeeinflussung anzuwendenden Prüfverfahren kommt in diesem Falle eine besondere Bedeutung zu. Da hier der Vergleich der Festigkeit eine ausschlaggebende Rolle spielt, muß demjenigen Prüfverfahren der Vorzug gegeben werden, bei dem die natürliche Streuung des Holzes und die in den verschiedenen Holzquerschnitten möglichen Fehler so weit als möglich eliminiert werden können. Außerdem sollte das Prüfverfahren auch die Möglichkeit geben, die Änderung der Biegesteifigkeit der perforierten Zone zuverlässig festzustellen.

3.1 Laborversuche

Der Verfasser hat im Anschluß an die im vergangenen Jahr durchgeführten Vergleichsversuche, über die auf der Arbeitstagung "Leitungsmasten" beim FTZ am 24.10.1968 in Darmstadt berichtet wurde, auf Veranlassung des Deutschen Holzmastenverbandes ein

Prüfverfahren vorgeschlagen, das speziell zur Ermittlung des Festigkeitseinflusses der mechanischen Vorbehandlung von Holzmasten modifiziert wurde. Dem Verfahren liegt der Biegeversuch in Anlehnung an Bild 3 (Gebrauchsholzprüfung) der DIN 52186 "Prüfung von Holz, Biegeversuch" zugrunde, der als besonders geeignet angesehen wird, da bei dieser Versuchsanordnung mit 2 symmetrisch zur Trägermitte angreifenden Einzellasten ein nahezu über den gesamten vorbehandelten Bereich konstantes Biegemoment und unter den Lastangriffsstellen eine große Querkraft aufgebracht werden kann. Damit kann man die bei Mastumbruchversuchen auf eine örtlich begrenzte Stelle einwirkende Höchstbeanspruchung, die je nach dem gerade in diesem Bereich vorliegenden Wuchseigenschaften den Bruch hervorruft, weitgehend ausschalten. Ein weiterer Vorteil besteht darin, daß man durch unmittelbaren Vergleich von unbehandelten und behandelten Probehölzern, die wechselweise aus dem gleichen Stamm entnommen werden, auch die Streuung des Holzes einengen kann, da die Auswirkung der Perforation auf jeweils ein und denselben Stamm erfaßt wird.

Die Belastungsanordnung geht aus Bild 3 hervor. Hiernach soll die Stützweite $15 \cdot d$ betragen (d = Nenndurchmesser). Die beiden Einzellasten P greifen bei 90 cm Perforationslänge in 60 cm Abstand symmetrisch zur Mitte an, so daß noch jeweils 15 cm des vorbehandelten Mastes in den querkraftbeanspruchten Bereich einragen.

Die Reiter unter den Lastangriffstellen und am Auflager werden mit 15 cm Breite nach Bild 4 ausgebildet. Ihre Rundung ist unter Einbeziehung einer 20 mm dicken faserbewehrten Gummiplatte so zu gestalten, daß ca. 20 cm Leibungslänge zum Tragen kommen, so daß die Querbeanspruchungen bis zum Bruch rechnerisch unter 20 kp/cm^2 bleiben. Die Auflagerüberstände sollen gleich dem Durchmesser d sein, mindestens aber 25 cm betragen. Die Belastung wird zuerst unter Messung der Gesamtdurchbiegung stufenweise von einer Vorlast ($\sigma_B = 10 \text{ kp/cm}^2$) ausgehend auf 110, 210 und 310 kp/cm^2 Biegespannung gesteigert und die Durchbiegung jeweils sofort und nach 2 Minuten Lasteinwirkung abgelesen. Außerdem wird bei diesen Laststufen die Krümmung des querkraftfreien Teils ermittelt. Nach Entlastung auf die Vorlast unter Messung der blei-

benden Durchbiegung wird die Probe stetig mit einer Belastungsgeschwindigkeit von ca. 200 kp/cm^2 je Minute bis zur σ_P -Grenze und anschließend bis zum Bruch belastet.

Da Feuchtigkeiten unterhalb des Fasersättigungspunktes die Festigkeit und den E-Modul wesentlich beeinflussen und die Maste in der Erdzone in der Regel eine Feuchtigkeit oberhalb 30% besitzen, sollen die Prüfkörper dem Versuch möglichst unmittelbar nach der Tränkung, also mit über dem Fasersättigungsbereich liegendem Feuchtigkeitsgehalt der Splintzone, unterworfen werden.

Der Feuchtigkeitsgehalt wird vor der Tränkung durch el. Messung mit Einschlagelektroden festgestellt. Nach dem Versuch werden neben der Bruchstelle Stammscheiben entnommen, aus denen auf je 2 sich unter 90° kreuzenden Durchmessern liegende Probeabschnitte herausgesägt werden. An diesen Proben werden Rohdichte und Feuchtigkeitsgehalt (Darrversuch) festgestellt (Bild 5).

3.2 Umbruchversuche

Im vorliegenden Falle sollten die Vergleichsversuche auch nach dem "Umbruchverfahren" vorgenommen werden. Bei diesem Verfahren wird jeweils ein ganzer Mast in einer besonderen Einspannvorrichtung am Fußende waagrecht an 2 Stellen gelagert und am Zopfende durch den über eine Seilwinde angreifenden Spitzenzug stetig bis zum Bruch belastet. Für diese Versuche wurde der Prüfstand der Fa. Richtberg KG. in Bingen benutzt, dessen Aufbau aus Bild 6 hervorgeht. Die Masten werden in horizontaler Lage in zwei prismatischen Spannbackenpaaren (A und B) am Fußende eingespannt. Die Spannbacken sind einzeln schwenkbar und besitzen an den Berührungsflächen mit den Masten textilverstärkte Gummiplatten. Die Schließkräfte werden durch Gewindestangen aufgebracht. Die Last wird durch eine Seilwinde S über ein Drahtseil D auf das Zopfende übertragen. Die Befestigung des Drahtseils am Mast erfolgt durch eine Lederschleife L. Die Umlenkrolle U wird je nach Hebelarmlänge H so eingestellt, daß der Winkel α zwischen dem Zugseil und der Mast-Tangente am Lastangriffspunkt im Augenblick des Bruches nicht größer als 90° ist. Die Belastungsvorrichtung besteht aus einer Seilwinde, die über ein stufenlos veränderbares Getriebe mit einem Elektromotor verbunden ist. Die Messung

der aufgebrachten Last erfolgt durch eine elektrische Kraftmeßdose K (Meßbereich 1.000 kp), deren Lastaufnahme über einen Trägerfrequenz-Meßverstärker durch einen xy-Schreiber mitgeschrieben wird.

Die Auslenkung wird durch einen Zeiger Z gemessen, der am Seilabschnitt zwischen Umlenkrolle und Seilwinde befestigt ist und über einen parallel zum Seil D angebrachten Zentimeter-Maßstab gleitet.

Mit diesen Meßvorrichtungen ist es möglich, exakt den Spitzennutzzug einzustellen und die Höchstlast festzuhalten und die zu diesen beiden Lasten gehörenden Auslenkungen am Zeiger Z abzulesen.

Um die Größe der Bruchspannung zu bestimmen ist es hierbei erforderlich, die Bruchstelle möglichst genau zu beobachten, um aus Bruchmoment und Bruchquerschnitt die rechnerische Biegespannung angeben zu können.

4. Versuchsmaterial

Für die Biegefestigkeitsbestimmung wurden insgesamt 120 Fichtenholzmasten herangezogen, die in 3 Gruppen von je 40 Masten aufgeteilt wurden. 80 Maste hatten die Abmessungen 8 x 16/17 (Postmasten) 40 Maste waren EVU-Masten mit den Abmessungen 11 x 22/23.

Gruppe A:

Die Versuche der Gruppe A sollten die Biegefestigkeitsänderungen bei den Masten 8 x 16/17 bei Anwendung des Perforationsverfahrens klären. Von den 40 Masten 8 x 16/17 wurden 20 Stück für den Umbruchversuch vorgesehen, wovon 10 Stück perforiert (Untergruppe A1) und 10 Stück ohne mechanische Vorbehandlung (Kontrollversuche) belassen wurden (Untergruppe A2).

Die übrigen 20 Stück waren für den "Laborversuch" bestimmt. Hier von wurden 10 Stück im Fußbereich um die 1,50 m-Marke (Untergruppe A3) und 10 Stück um die 4,50 m-Marke (Untergruppe A4), also in der Mitte des an den 3 m-Abschnitt des Fußendes anschließenden 3 m-Abschnitt, nach System s perforiert. Die Perforation

wurde dabei so angebracht, daß von der gesamten Perforationsstrecke von 90 cm Länge jeweils 45 cm zu beiden Seiten der Probenmitte lagen.

Gruppe B:

Die Prüfung der 40 Masten dieser Gruppe, die den Perforationseinfluß bei den Masten 11 x 22/23 bei Anwendung des Perforationssystems s aufzeigen sollte, erfolgte in ähnlicher Weise wie bei Gruppe A. Die Länge der Biegeproben für die Laborversuche wurde aber wegen der größeren Durchmesser zu 4 m gewählt. Versehentlich umfaßte hier die Untergruppe B3 11 Maste, die Untergruppe B4 nur 9 Maste.

Gruppe C:

Die Gruppe C sollte den Einfluß der Perforation nach dem System b bei Masten 8 x 16/17 klären. Da hier für die Kontroll-Umbruchversuche keine unbehandelten Maste der gleichen Provenienz zur Verfügung standen, wurden 20 Maste im Umbruchversuch geprüft (Untergruppe C1) und bei den restlichen 20 Masten (Untergruppe C2) der 3 m lange perforierte Fußabschnitt mit dem unbehandelten Nachbarabschnitt verglichen.

Eine Zusammenstellung der Anzahl, Abmessungen und sonstigen Kenn-
daten der Versuchsmasten enthält Tabelle 1.

Die Masten wurden kurz vor den Versuchen mit Wolmanit CB-Salzlösung nach den FTZ-Richtlinien in einem Tränkezug getränkt. Zweck dieser Maßnahmen war es, daß die Masten durchweg mit einer Holzfeuchtigkeit über der Fasersättigungsfeuchte zum Versuch kommen, um dadurch den Einfluß der Feuchtigkeitsunterschiede im hygroskopischen Bereich auf die Festigkeit auszuschalten.

Bei der Auswahl der Masten wurden solche Masten ausgeschieden, die grobe Fehler (übermäßige Aestigkeit, Rotstreifigkeit, Drehwüchsigkeit über das zugelassene Maß hinaus) aufwiesen. Außerdem wurde darauf geachtet, daß die Proben für die Laborversuche in einer 30 cm langen Stammabschnittszone vom zopfseitig angreifenden Lastpunkt Richtung Zopf keine Astansammlung aufwiesen. Dieselbe Anforderung wurde bei den Masten für den Umbruchversuch an eine 30 cm lange Zone oberhalb (Richtung Zopf) des zopfseitigen Spannbackenpaares gestellt.

5. Versuchsdurchführung

5.1 Vorbereitung der Masten

Die Masten wurden jeweils aus einem größeren Kollektiv ausgesucht, mit Nummernnägeln bezeichnet und 8 Wochen lang unter Dach gelagert. Vor der Tränkung wurden die Masten einzeln verwogen und ihre Feuchtigkeit mit einem elektrischen Feuchtigkeitsmesser (Fabrikat Siemens) in der Mastenmitte mit Einschlagselektroden festgestellt. Die für das Perforationssystem s vorgesehenen Masten wurden perforiert und zusammen mit den anderen Masten in einem Tränkungstränkzug getränkt. Die 40 nach System b perforierten Masten wurden fertig perforiert von der Fa. Benker, Hörgertshausen (Obb) bezogen. Die Tränkung erfolgte nach Postvorschrift mit 5,8^o/o CB-Lösung, wobei die Masten bei einer Temperatur von rd. 25^oC nach Tränkdigramm Bild 7 behandelt wurden. Die Mittelwerte und Streugrenzen der Lösungsaufnahmen sind in Tabelle 1 enthalten. Nach der Tränkung wurden die Masten wieder einzeln verwogen und die für die Laborversuche vorgesehenen Masten in die vorgeschriebenen Probenlängen aufgeteilt und die Abschnitte zur Durchführung der Laborversuche verschickt. Die für die Umbruchversuche ausgewählten Masten wurden dicht zusammen unter Dach gelagert und mit Planen abgedeckt, um eine Austrocknung zu verhindern.

5.2 Laborversuche

Die Biegeproben wurden in einer Prüfanlage, die mit Einzelprüfzylindern (Bauart Losenhausen) ausgestattet war, geprüft. Die Auflagerüberstände betragen auf jeder Seite mindestens 25 cm. Vor der Lasteinleitung wurden die Durchmesser jeder Biegeprobe in der Mitte und 45 cm rechts und links der Mitte, gemessen. Die Belastung wurde zuerst von einer Vorlast von $\sigma_b = 10 \text{ kp/cm}^2$ ausgehend, stufenweise auf 110, 210 und 310 kp/cm^2 Biegespannung gesteigert. Bei jeder Stufe wurde die Last 2 Minuten gehalten und dann die Durchbiegung in $l/2$ und die Krümmung des querkraftfreien Mastabschnittes ermittelt. Nach Entlastung auf die Vorlast und Messung der bleibenden Durchbiegung wurde die Probe stetig mit einer Belastungsgeschwindigkeit von ca. 200 kp/cm^2 je min. bis zur Proportionalitätsgrenze und dann weiter bis zum Bruch belastet.

Nach dem Versuch wurden jeder Probe neben der Bruchstelle je zwei Stammscheiben zur Messung der Rohdichte und Feuchtigkeit entnommen. Die Messung der Durchbiegung erfolgte über einen zwischen den Auflagern gespannten Draht mittels Fernrohr, die der Krümmung des querkraftfreien Abschnitts mittels Meßbrücke. Die aufgebrachte Last wurde über einen induktiven Kraftaufnehmer auf einem xy-Schreiben zeitabhängig mitgeschrieben.

5.3 Umbruchversuche

Die Masten wurden an den Fußenden mit den Spannbackenpaaren derartig eingespannt, daß die Hebelarmlänge bei den 8 m-Masten 5,80 m und bei den 11 m-Masten 8,80 m betrug. Vor der Lasteinleitung wurden die senkrechten und waagrechten Durchmesser an den Meßpunkten I, II und III gemessen, um nach dem Bruch durch Interpolation den Durchmesser an der Bruchstelle berechnen zu können. Die Geschwindigkeit der Seilwinde wurde so eingestellt, daß sich bei den 8 m-Masten eine Auslenkungsgeschwindigkeit der Lastangriffsstelle von ca. 35 cm/min und bei den 11 m-Masten von ca. 60 cm/min ergab. Diese Verformungsgeschwindigkeiten wurden bis zum Bruch beibehalten, wobei die Auslenkung des Mastes beim Spitzennutzzug und bei der erreichten Höchstlast gemessen wurde. (Den Verformungsgeschwindigkeiten von 35 bzw. 60 cm/min entspricht eine Belastungsgeschwindigkeit im Proportionalitätsbereich von etwa 200 kp/cm² in der Minute.)

Die Bilder 8 bis 14 zeigen die Versuchsdurchführung beim Labor- und Umbruchversuch.

6. Ergebnis der Versuche

Aus Tabelle 1 geht hervor, daß die mittleren Feuchtigkeiten der einzelnen Stammgruppen vor der Tränkung mit 12,9 bis 14,7⁰/o verhältnismäßig nahe beieinander lagen, während die Mastrohdsichten mit 442 bis 528 kg/m³ unter Berücksichtigung der festgestellten Streugrenzen (370-599) größere Ungleichmäßigkeit zeigten. Die Variationskoeffizienten schwankten zwischen 7,9 und 11,6⁰/o. Die Lösungsaufnahme pro m³ schwankte auch innerhalb der gleichen Untergruppe in weiten Grenzen, aus den mittleren Werten kann lediglich geschlossen werden, daß die s-perforierten Stämme vor allem

bei der Nenngröße 22/23 deutlich mehr aufgenommen haben als die nicht behandelten Kontrollmasten. Da die Mehraufnahme praktisch nur im 90 cm langen perforierten Bereich erfolgt sein kann, ergibt sich für diesen Abschnitt eine mehrfache Lösungsmittelzunahme gegenüber dem unbehandelten Mast. Die Feuchtigkeiten im Bruchbereich liegen bei allen Versuchshölzern über dem Fasersättigungspunkt, zumindest in den beim Biegeversuch meist beanspruchten Randzonen, so daß eine Festigkeitsstreuung aus unterschiedlicher Feuchtigkeit des Holzes nicht befürchtet werden muß.

Die Tabellen 2 bis 7 enthalten die Ergebnisse der Festigkeitsversuche getrennt nach den einzelnen Untergruppen. Neben den \emptyset -Maßen in den maßgebenden Meßquerschnitten ist die Feuchtigkeit, ermittelt aus der im Bruchbereich entnommenen Stammscheibe, aufgenommen. Bei den Umbruchversuchen ist die Ausbiegung unter Nutzlast und beim Bruch, der Abstand des Bruchquerschnittes vom Einspannungsrand, der Durchmesser an der Bruchstelle, die Bruchlast und die sich aus dem Bruchmoment M_B und dem Widerstandsmoment W_{Bruch} ergebende Biegebruchspannung angegeben. Schließlich ist die Bruchart (Druck- oder Zugbruch) vermerkt.

Die Tabellen für die Laborversuche enthalten neben Abmessungen, Gewicht und Feuchtigkeit der Abschnitte, die Elastizitätsmoduln der perforierten und der nicht perforierten Stammbereiche, die Angaben über den Bruch und das Verhältnis in $\%$ der Bruchfestigkeit des perforierten Mastabschnittes zur Bruchfestigkeit des zugehörigen Kontrollabschnittes.

Bei den Umbruchversuchen zeigten sich bei den nach System "s" perforierten Masten und den zugehörigen Kontrollmasten bei der 16/17-Nenngröße praktisch nur reine Druckbrüche, bei der Nenngröße 22/23 standen bei den perforierten Masten 6 Druckbrüche 4 Zugbrüchengegenüber, während bei den zugehörigen Kontrollmasten 5 reine Druckbrüche, 3 gemischte Brüche und 2 reine Zugbrüche auftraten. Unterschiede in der Bruchart zwischen s-perforierten Masten und Kontrollmasten waren hiernach nicht festzustellen.

Bei den 20 Stück b-perforierten Masten wurden 6 reine Druckbrüche, 3 gemischte Brüche und 11 reine Zugbrüche festgestellt.

Je ein typisches Kraft-Zeitdiagramm für den Druck-, Zug- und Mischbruch, wie es vom xy-Schreiber aufgezeichnet wurde, ist in den Bildern 15a - c dargestellt.

Die bei den Umbruchversuchen unter dem Nutzzug gemessenen Ausbiegungen können nur angenähert zur rechnerischen Auswertung herangezogen werden, da die Werte durch die Nachgiebigkeit der Einspannplatten beeinträchtigt sind.

Bei den Laborversuchen konnten im elastischen Bereich die E-Moduln der unbehandelten Abschnitte einwandfrei gemessen werden. Für die perforierten Abschnitte war es möglich, aus der gemessenen Durchbiegung f_{el} mit dem Brutto-Trägheitsmoment den wirksamen E-Modul des perforierten Mastbereiches zu bestimmen. Der Bruch wurde bei den Laborversuchen vorwiegend durch Versagen der Druckzone ausgelöst, da bei insgesamt 120 Laborversuchen 29 Druckbrüche, 54 Mischbrüche (Druck→Zug) und 37 reine Zugbrüche auftraten, da die Mischbrüche praktisch durch Druckbrüche eingeleitet wurden.

Bei den Abschnitten der Untergruppe A3 + A4 waren 10 (2) Druckbrüche, 17 (8) Misch- und 13 (6) Zugbrüche festzustellen, wobei in Klammern die Brucharten der Kontrollabschnitte angegeben sind. Bei der Nenngröße 22/23 (Untergruppe B3 + B4) standen dagegen 14 (6) Druck- und 20 (9) Mischbrüchen nur 6 (3) Zugbrüche gegenüber.

Die b-perforierten Mastabschnitte (Untergruppe 2) versagten dagegen durch 18 (5) Zugbrüche, 5 (3) Druckbrüche und 17 (12) Mischbrüche. Typische Kraft-Zeitdiagramme für die Laborversuche sind in den Bildern 16a - c zusammengestellt.

7. Auswertung der Versuche

7.1 Elastizitätsmoduln

Wie bereits erwähnt, können nur die Verformungsmessungen beim Laborversuch zur Ermittlung des E-Moduls herangezogen werden. Die Auswertung der entsprechenden Spalten der Tabellen 3a + 3b, 5a + 5b und 7a + 7b ergaben die nachstehend zusammengestellten E-Moduln getrennt nach perforierten und nicht perforierten Mast-

abschnitten der Untergruppen A3 + A4, B3 + B4 und C2.

Tabelle 8: Mittlere E-Moduln der perforierten und nicht perforierten Mastabschnitte und Unterschiede (gemittelt) in % bezogen auf die unbehandelten Mastabschnitte.

Unter-Gruppe	perforiert Fuß	Kontrolle Zopf	perforiert Zopf	Kontrolle Fuß	Unterschied %
A3/A4	132 984	140 826	136 990	141 187	- 4,26
B3/B4	127 614	123 756	120 110	133 000	- 2,88
C2	133 655	144 397	-	-	- 7,43

Bei den s-perforierten Masten war eine mittlere Abnahme des E-Moduls von ca. 3 bis 4%, bei den b-perforierten von etwas über 7% festzustellen. Wegen der geringen Abweichungen, die u.U. durch Wuchseigenschaften und Feuchtigkeitsschwankungen zumindest teilweise bedingt sein können, muß von einer statistischen Auswertung dieser Werte abgesehen werden.

7.2 Biegefestigkeiten

Die statistische Auswertung der Biegefestigkeit für die einzelnen Versuchsgruppen ist in Tabelle 9 zusammengestellt. Außerdem ist in der letzten Spalte die prozentuale Minderung der mittleren Biegefestigkeit durch die Perforation angegeben.

Bei den Umbruchversuchen mit den s-perforierten Masten betrug die Festigkeitsabnahme 3,7% und 5,3%, bei den Laborversuchen (Fuß/Zopf) zusammengefaßt) 7,8 und 3,8%. Bei den b-perforierten Masten, wo nur Fuß-perforiert und Zopf-Kontrolle verglichen werden konnten, wurde eine Minderung von 17,2% festgestellt.

Der t-Test ergab, daß nur bei den Untergruppen C2, also bei den b-perforierten Masten, eine statistische Sicherheit vorlag. ($t = 6,63$, $t_{99} = 2,72$ für $n = 38$), während zwischen allen anderen Biegefestigkeitswerten kein statistisch gesicherter Unterschied festgestellt werden konnte.

Besonders deutlich wurde bei den Untergruppen A3 und A4, aber auch bei B3 und B4, festgestellt, daß zwischen den Biegefestigkeiten von Fuß- und Zopfabschnitten ein statistisch gesicherter Unterschied besteht, der bei der Nenngröße 16/17 mit 6,1⁰/o bei den Kontrollabschnitten und mit 3,9⁰/o bei den perforierten Abschnitten errechnet wurde. Wenn man die mittlere Festigkeitsabnahme zwischen 2 unmittelbar benachbarten Abschnitten von 5⁰/o auch auf die Versuchsgruppe C2 überträgt, bei der ein vergleichbarer Versuch zwischen 2 benachbarten Abschnitten nicht möglich war, so ergäbe sich eine Festigkeitsminderung der b-perforierten Maste gegenüber den unbehandelten Masten von 22,2⁰/o.

Der Vergleich zwischen Umbruchversuch und Laborversuch ergibt bei den Untergruppen A1 bis A4 und B1 bis B4 um 4 bis 15⁰/o höhere Mittelwerte für den Laborversuch, die Vertrauensbereiche der Mittelwerte überschritten sich aber, so daß diese Unterschiede als statistisch nicht gesichert angesehen werden müssen. Bei den b-perforierten Masten besteht zwischen den Mittelwerten ein Unterschied von 24,0⁰/o, zwischen den Grenzen der Vertrauensbereiche noch ein Unterschied von 14,6⁰/o. Der Unterschied dürfte bei der Gruppe C vor allem auf die unterschiedliche Holzgüte der Untergruppe C₁ und C₂ beruhen, wie sie aus dem Unterschied der Rohdichten (Tabelle 1) zu erkennen ist. Darüber hinaus kann beim Umbruchversuch eine geringere Biegefestigkeit davon herrühren, daß sich hier die natürlichen Holzfehler auf einen größeren Stammbereich auswirken können als beim Laborversuch.

Eine weitere interessante Feststellung ist aus Tabelle 9 bezüglich des Variationskoeffizienten zu entnehmen. Er liegt mit Ausnahme der Untergruppe B1/B2 bei den perforierten Masten und Mastabschnitten stets unter demjenigen der mechanisch nicht behandelten Versuchskörpern. Diese Tatsache wirkt sich bei der 5⁰/o-Fraktile dahingehend aus, daß bei den s-perforierten Masten der beim Vergleich der Mittelwerte festgestellte geringe abmindernde Einfluß der Perforation verschwindet, in Einzelfällen (A1/A2) sogar im perforierten Zustand ein höherer Festigkeitswert vorliegt.

Eine vergleichende Gegenüberstellung der Versuchsmittelwerte mit den zugehörigen Vertrauensgrenzen und den 5⁰/o-Fraktilen ist in

Bild 17 gegeben. Hieraus geht hervor, daß beim s-Verfahren sowohl nach den Umbruchversuchen als auch nach den Laborversuchen zwar nach den Mittelwerten eine geringe Festigkeitseinbuße vorliegt, die aber in keinem Falle statistisch gesichert erscheint, da sich die Vertrauensbereiche der einzelnen Vergleichsgruppen immer überdecken. Beim b-Verfahren ist keine Ueberschneidung der Vertrauensbereiche festzustellen, es liegt vielmehr ein deutlicher Festigkeitsabfall vor, der bei Berücksichtigung der unterschiedlichen Ausgangsfestigkeit von Fuß- und Zopfabschnitt noch größer wird, als es diese Darstellung zeigt.

Bei den 5⁰/o-Fraktilen besteht bei den s-perforierten Masten praktisch kein Unterschied mehr im Laborversuch, beim Umbruchversuch ist bei der Nenngröße 16/17 sogar ein höherer Wert der perforierten Proben festzustellen. Bei der Nenngröße 22/23 ist es deutlich umgekehrt.

8. Zusammenfassung

Die durchgeführten Umbruch- und Laborversuche zur Ermittlung der Biegefestigkeitsbeeinflussung bei perforierten und getränkten Fichtenmasten ergaben folgendes:

1. Bei den nach dem s-Verfahren perforierten Fichtenmasten der Nenngröße 16/17 und 22/23 konnte weder im Umbruchversuch noch im Laborversuch eine statistisch gesicherte Festigkeitsabminderung durch die Perforation festgestellt werden. Bei den Mittelwerten wurden im Umbruchversuch Festigkeitsminderungen von 3,7 und 5,3⁰/o, im Laborversuch von 7,8 und 3,8⁰/o erhalten. Die 5⁰/o-Fraktilen wiesen Unterschiede von +6,0 und -16,8⁰/o bei den Umbruchversuchen und -1,1 und -1,4⁰/o bei den Laborversuchen auf.

Bei den b-perforierten Masten der Nenngröße 16/17 wurde eine Minderung im Laborversuch von 17,2⁰/o festgestellt, die aber unter Berücksichtigung des Festigkeitsunterschiedes in Stamm-längsrichtung benachbarter Stammabschnitte um etwa 5⁰/o höher angesetzt werden muß.

Der Einfluß der Perforation auf die Biegesteifigkeit ist ge-

E-Module

ring. Er liegt beim s-Verfahren unter 5⁰/o, beim b-Verfahren unter 7,5⁰/o.

2. Der Vergleich der Variationskoeffizienten für die einzelnen Untergruppen zeigt nach Tabelle 9, daß in der Regel durch die Perforationsbehandlung nach beiden Verfahren eine Verringerung der Streubereiche eintritt.
3. Bei der Versuchsdurchführung haben sich beim Laborversuch verschiedene Vorteile gegenüber dem Umbruchversuch ergeben:
 - a) Der Versuch kann unter Laborbedingungen auf einwandfreie steuerbaren Werkstoffprüfmaschinen durchgeführt werden (Klima, Belastungsgeschwindigkeit).
 - b) Der Einbau der Probeabschnitte kann unter Berücksichtigung der vorliegenden Holzfehler erfolgen.
 - c) Die Möglichkeiten zur einwandfreien Messung der Verformungen und Beobachtung des Bruchvorganges mit Bestimmung der Bruchstelle sind genauer; dadurch wird eine einwandfreiere Bestimmung der Größe des Bruchbiegemomentes und des Widerstandsmomentes des Bruchquerschnittes sichergestellt.
 - d) Die Prüfung des unbehandelten und perforierten Abschnittes vom gleichen Mast ergibt eine unmittelbare Vergleichsmöglichkeit.

Beim Umbruchversuch ist besonders nachteilig, daß die Entstehung des Bruches und die Bruchstelle nicht genau beobachtet werden können und die Lage von Aesten und sonstigen Wuchsfehlern in Bezug auf die Einspannkante die Streuung der Festigkeiten wesentlich erhöht. Zuverlässige Verformungsmessungen sind nur mit großem Aufwand durchzuführen; der gesamte Versuchsablauf ist weitgehend von den Witterungsbedingungen abhängig.

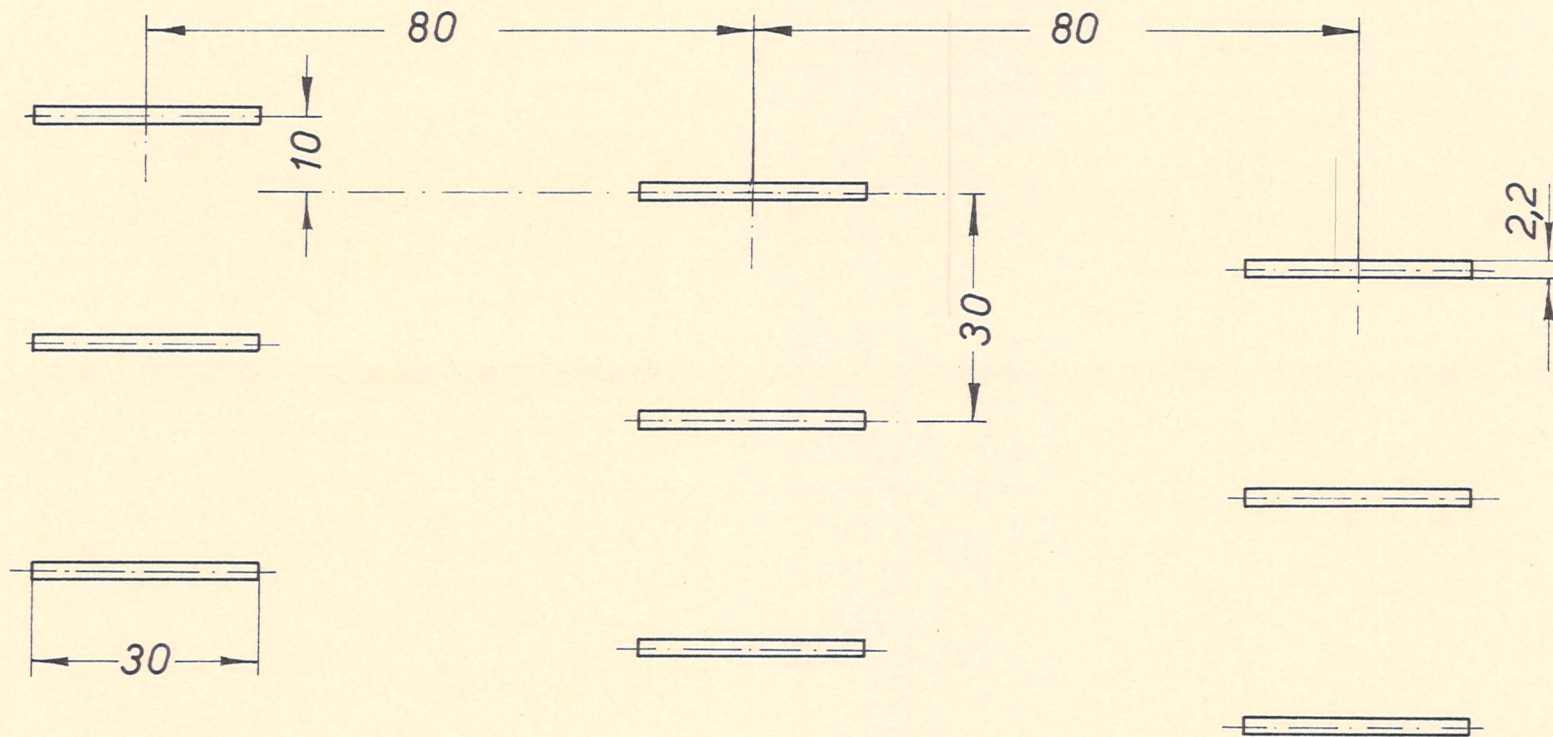
Der Direktor:

(Prof. Dr.-Ing. Möhler)



Der Sachbearbeiter:

(Dipl.-Ing. Müller)



Schlitztiefe 30 mm , Schlitzdichte ca. 470 Schlitze / m²

Bild 1: Perforationsschema „s“ gemäß FTZ-Richtlinie Nr. 05, Abs. 3



Bohrlochdichte ca. 1340 Löcher/m²
Bohrlochtiefe 40 mm

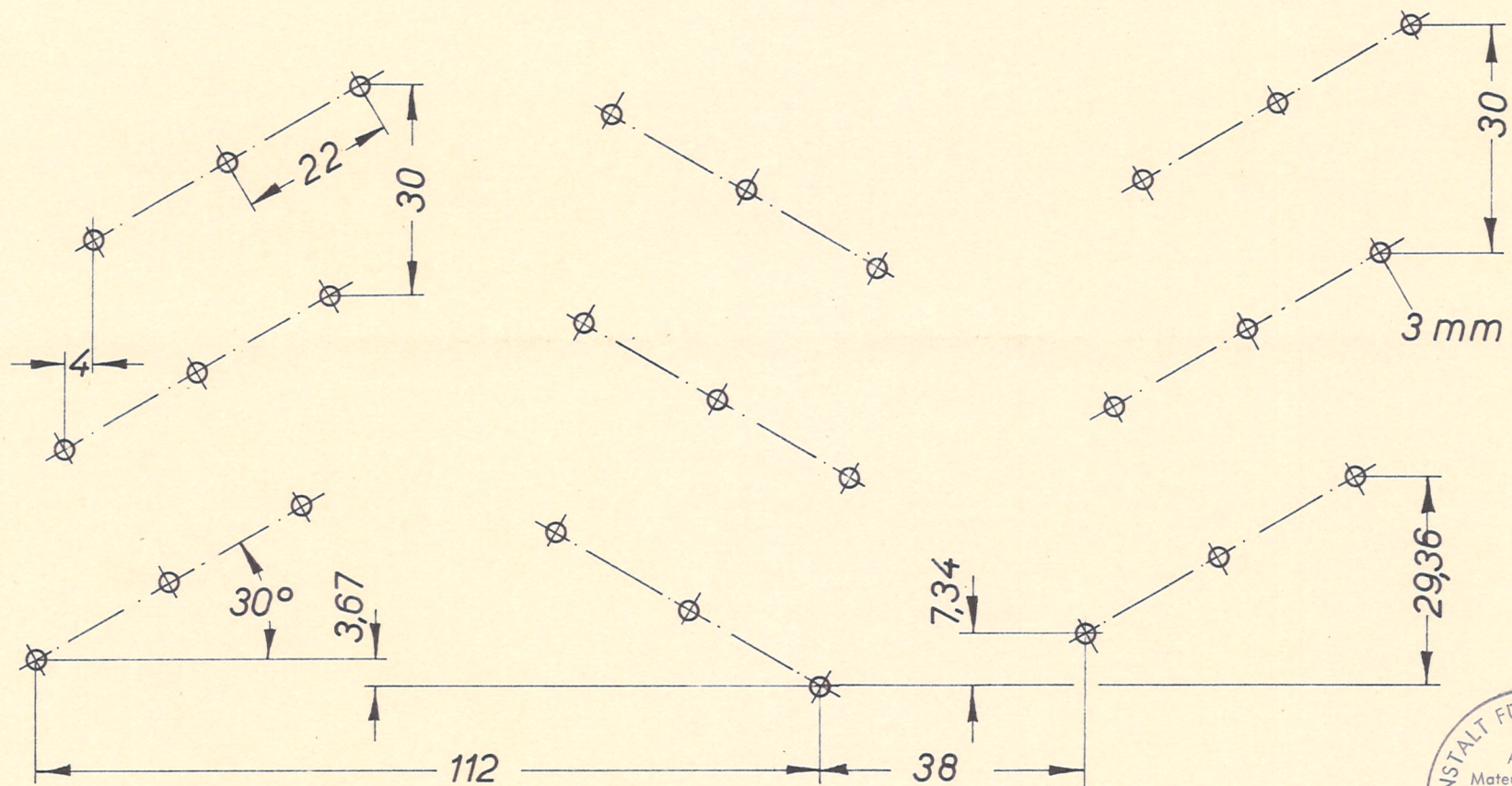


Bild 2: Perforationsschema „b“ gemäß FTZ-Richtlinie Nr. 5, Abs. 3.2.



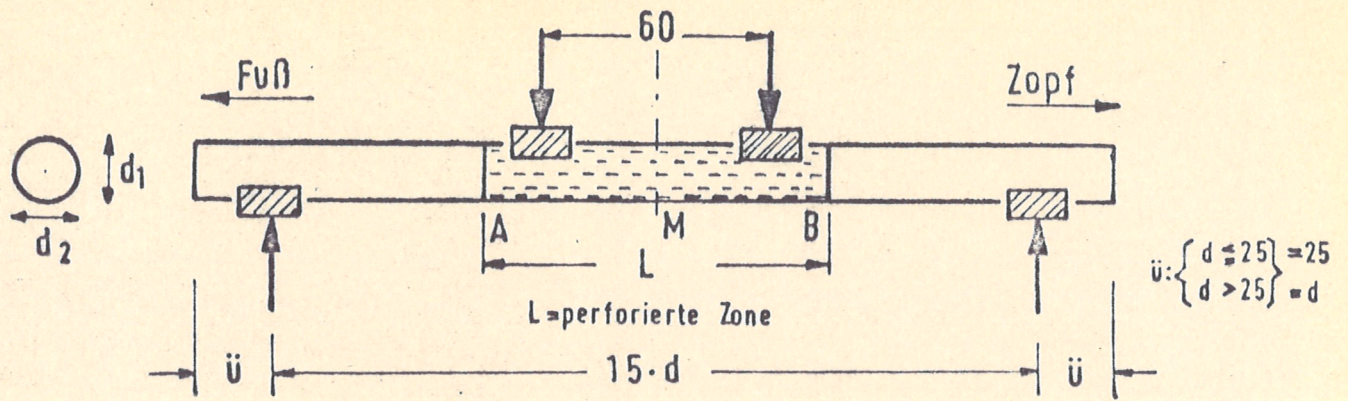


Bild 3 : Belastungsanordnung

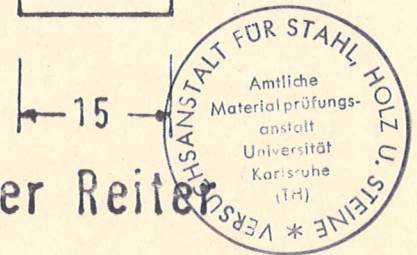
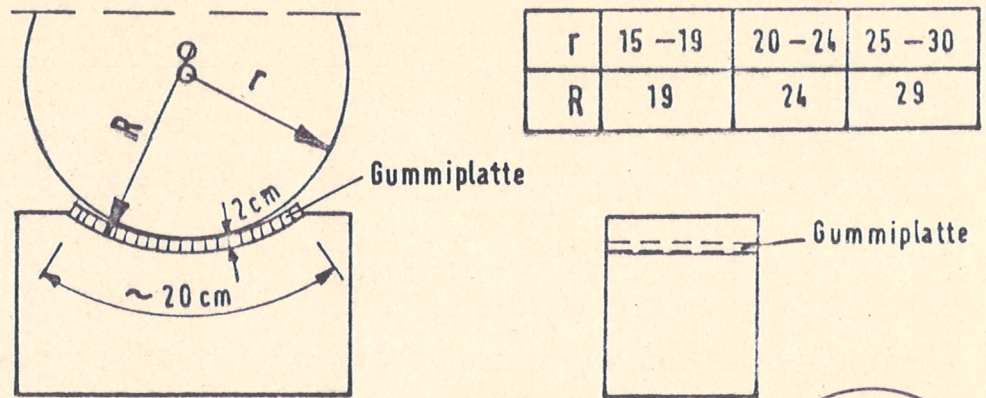
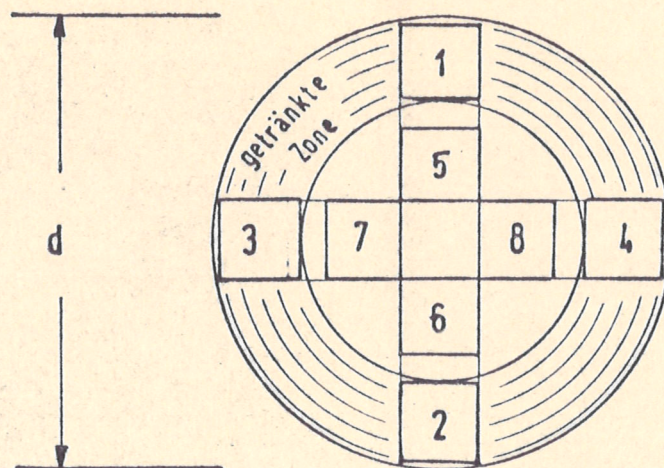


Bild 4 : Ausbildung der Reiter



Proben Nr. 1-4 :
„getränkte Zone“

Proben Nr. 5-8 :
„Kernzone“

Bild 5 : Proben zur Bestimmung von Feuchtigkeit und Rohdichte

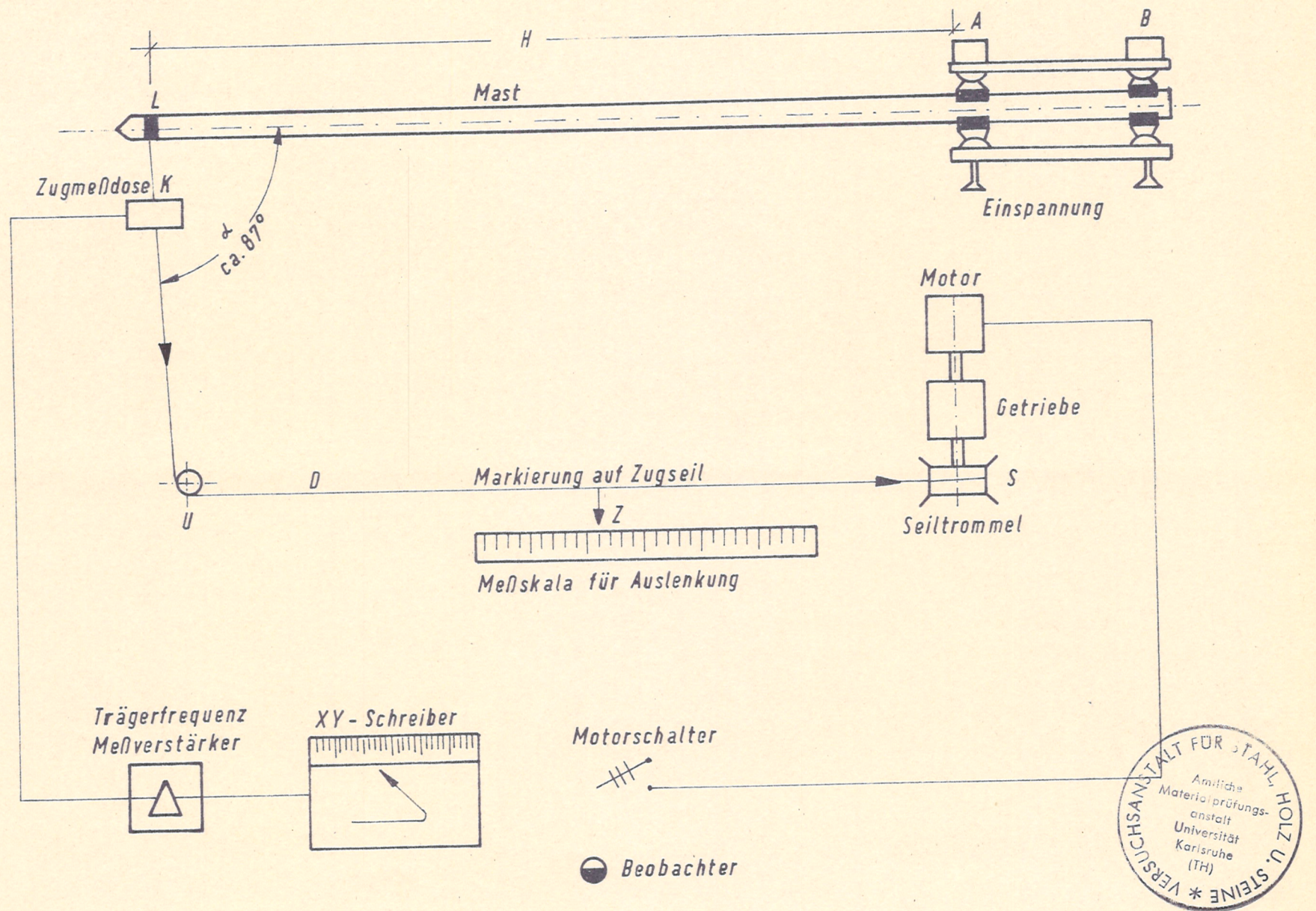


Bild 6 : Schematische Darstellung des Prüfstandes für die Umbruchversuche

Tabelle 1: Feuchtigkeit, Rohdichte und Lösungsaufnahme bei den verschiedenen Versuchsgruppen.

Gruppe Nenngröße P-Schema	Untergruppe Stamm Nr. und Anzahl	P / F		Feuchtigkeit vor der Tränkung u_{el} %	Mast-Rohdichte γ kg/m ³	Lösungsaufnahme kg/m ³	Feuchtigkeit im Bruchbereich u_d %
		K	Z				
A ∅ 16/17 s	A1 1 - 10 10	P	F	13,7 (12 - 16)	517 (475 - 563)	195,3 (86 - 335)	61,0 (43,4 - 85,4)
	A2 11 - 20 10	K	-	13,2 (12 - 15)	499 (412 - 561)	172,1 (56 - 304)	46,2 (28,3 - 87,1)
	A3 24, 26-32 36, 38 10	P	F	13,6 (12 - 15)	493 (437 - 519)	188,7 (109 - 309)	P.F. 69,9 (48,4 - 103,1)
		K	Z				K.Z. 44,2 (32,7 - 64,5)
A4 21-23, 25 33-35, 37 39, 40 10	P	Z	14,4 (12 - 18)	502 (449 - 553)	217,1 (114 - 404)	P.Z. 71,1 (50,4 - 117,9)	
	K	F				K.F. 51,0 (31,2 - 80,1)	
B ∅ 22/23 s	B1 51 - 60 10	P	F	14,5 (12 - 19)	488 (390 - 584)	231,1 (119 - 288)	74,2 (56,3 - 122,5)
	B2 61 - 70 10	K	-	13,5 (12 - 15)	499 (441 - 546)	155,5 (110 - 207)	37,8 (28,7 - 48,0)
	B3 71, 72, 74, 76, 77, 79, 82, 85, 87-89 11	P	F	13,5 (11 - 15)	528 (445 - 573)	224,3 (116 - 330)	P.F. 75,2 (54,8 - 107,6)
		K	Z				K.Z. 64,0 (32,3 - 111,9)
B4 73, 75, 78, 80, 81, 83, 84, 86, 90 9	P	Z	14,7 (11 - 19)	510 (439 - 579)	241,4 (174 - 353)	P.Z. 79,8 (47,6 - 135,0)	
	K	F				K.F. 60,3 (54,8 - 107,6)	
C ∅ 16/17 b	C1 101 - 120 20	P	F	12,9 (12 - 15)	442 (370 - 535)	148,5 (92 - 222)	88,2 (55,8 - 138,1)
	C2 121 - 140 20	P	F	13,4 (12 - 18)	483 (417 - 599)	170,6 (110 - 267)	P.F. 89,7 (62,2 - 115,7)
		K	Z				K.Z. 42,8 (30,3 - 71,3)

P: Perforiert F: Fuß in () ist jeweils der Streubereich angegeben
K: Kontrolle Z: Zopf



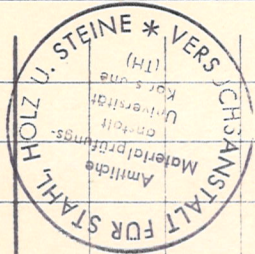
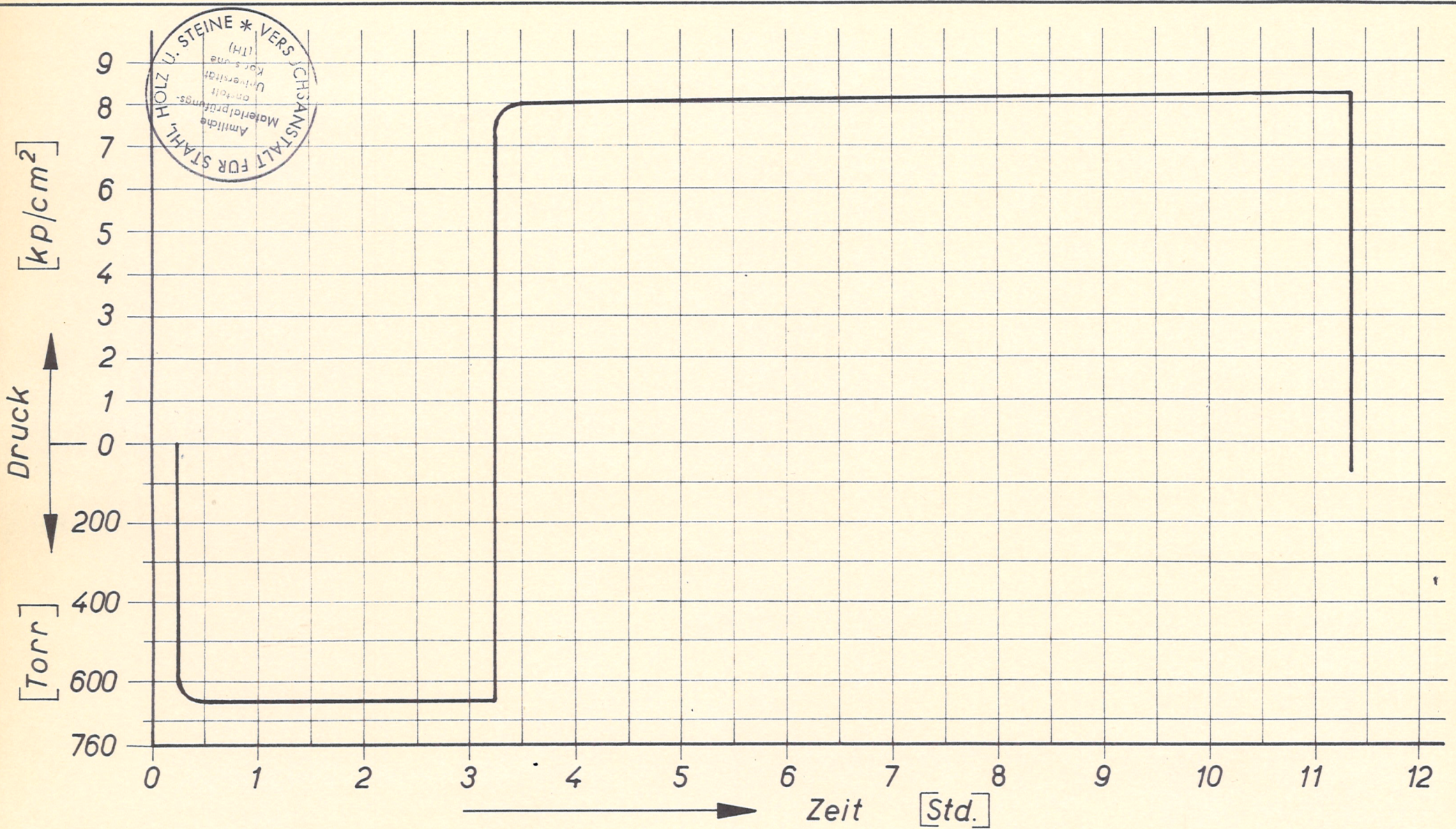


Bild 7: Tränkdigramm des Tränkzuges

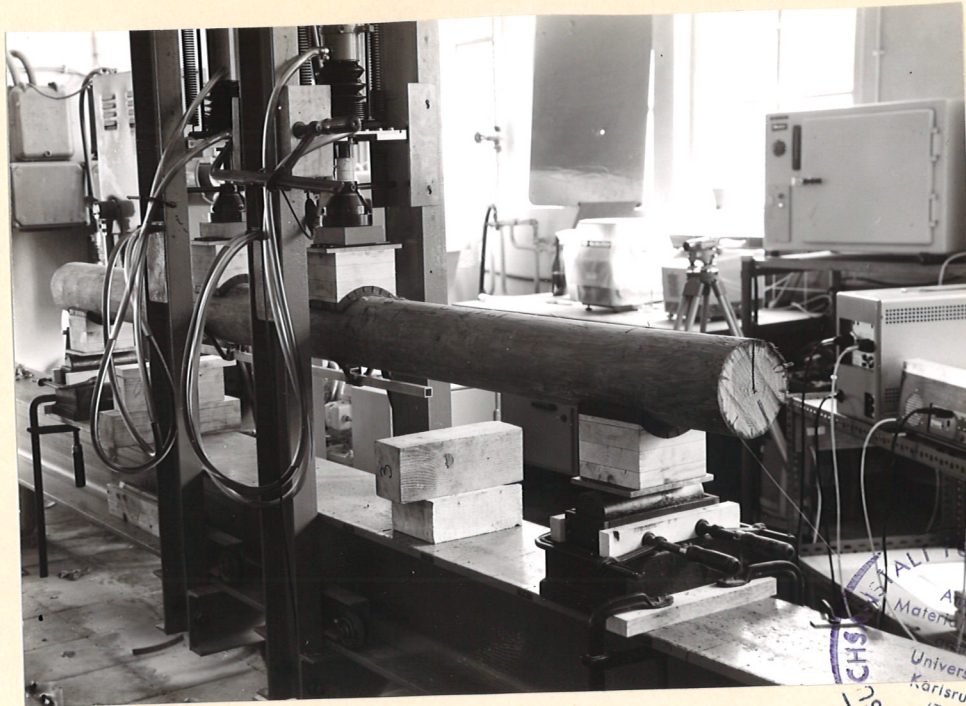


Bild 8: Laborversuche mit Mastabschnitten

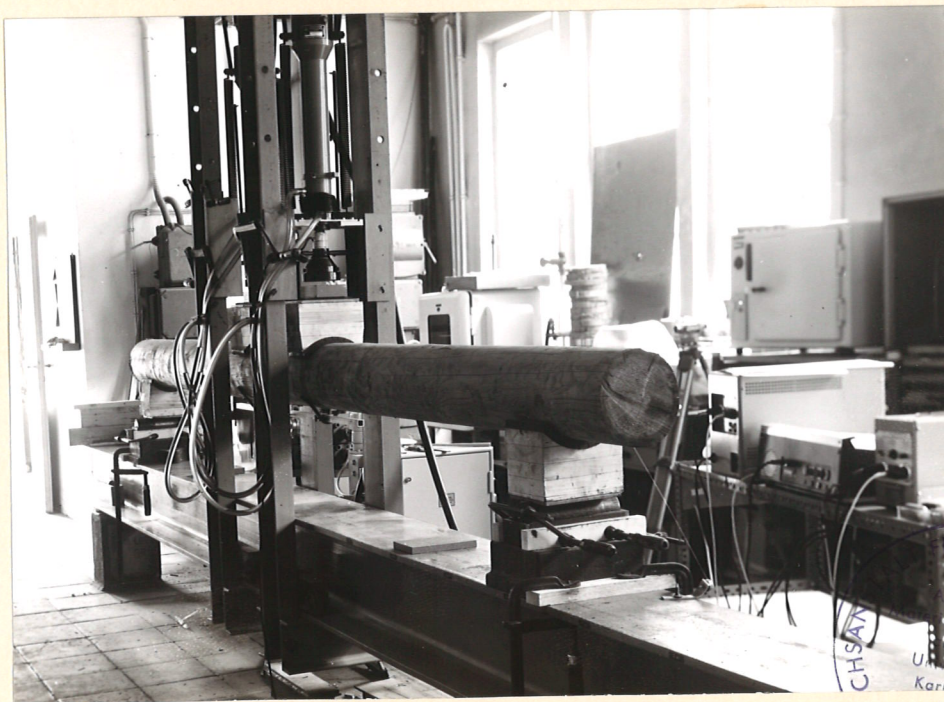
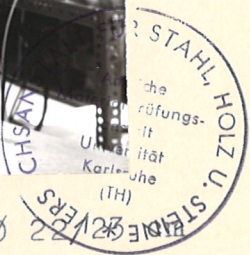


Bild 9: Laborversuche mit Mastabschnitten



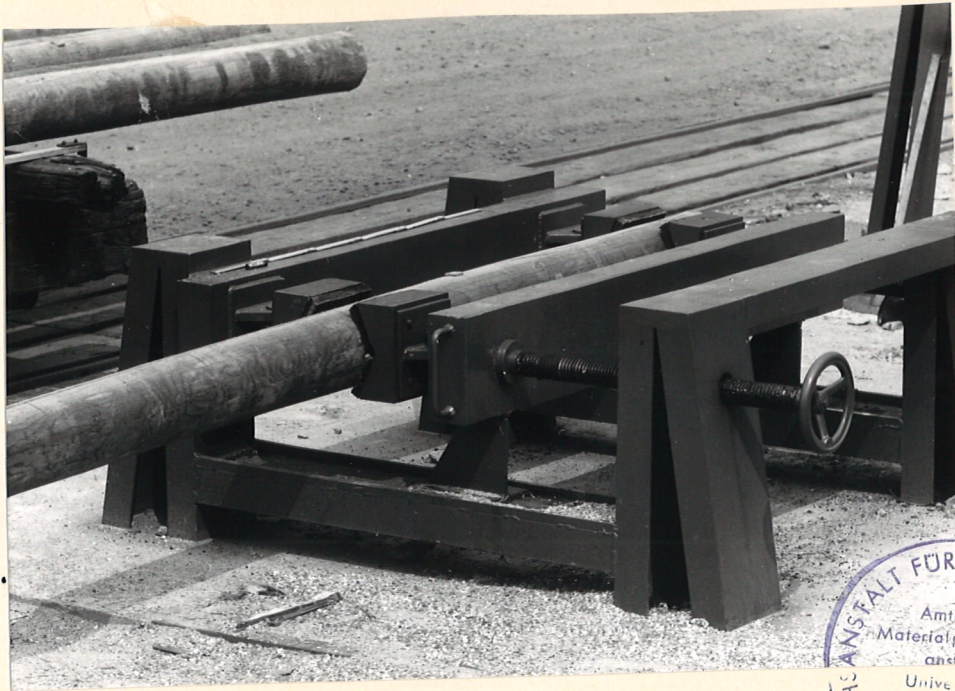


Bild 10: Umbruchversuche - Einspannvorrichtung

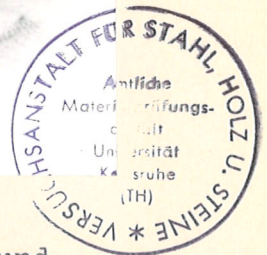
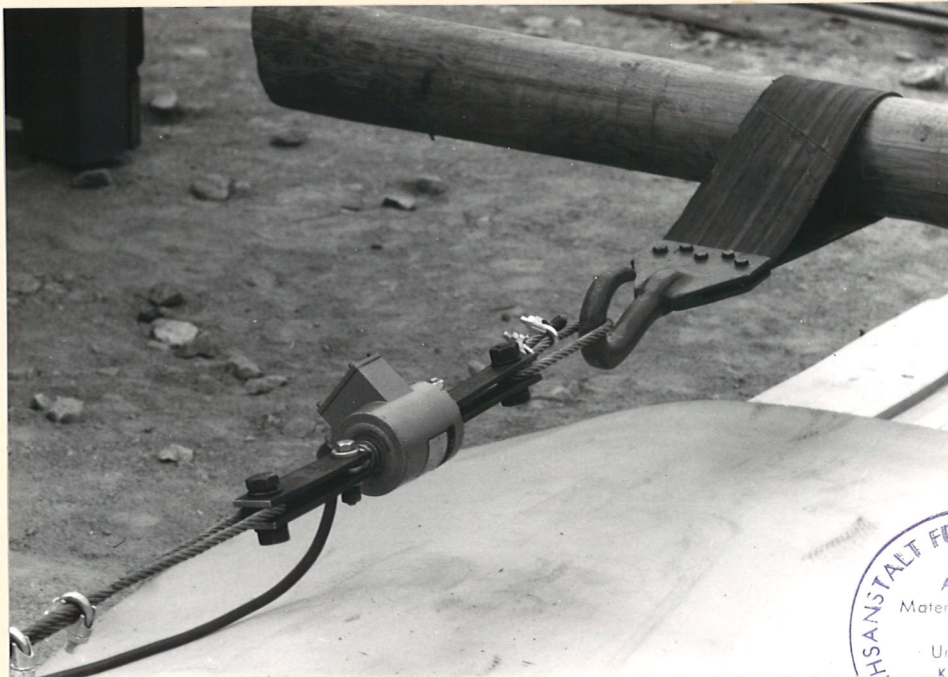


Bild 11: Umbruchversuche - Lederschleife und Kraftmeßdose

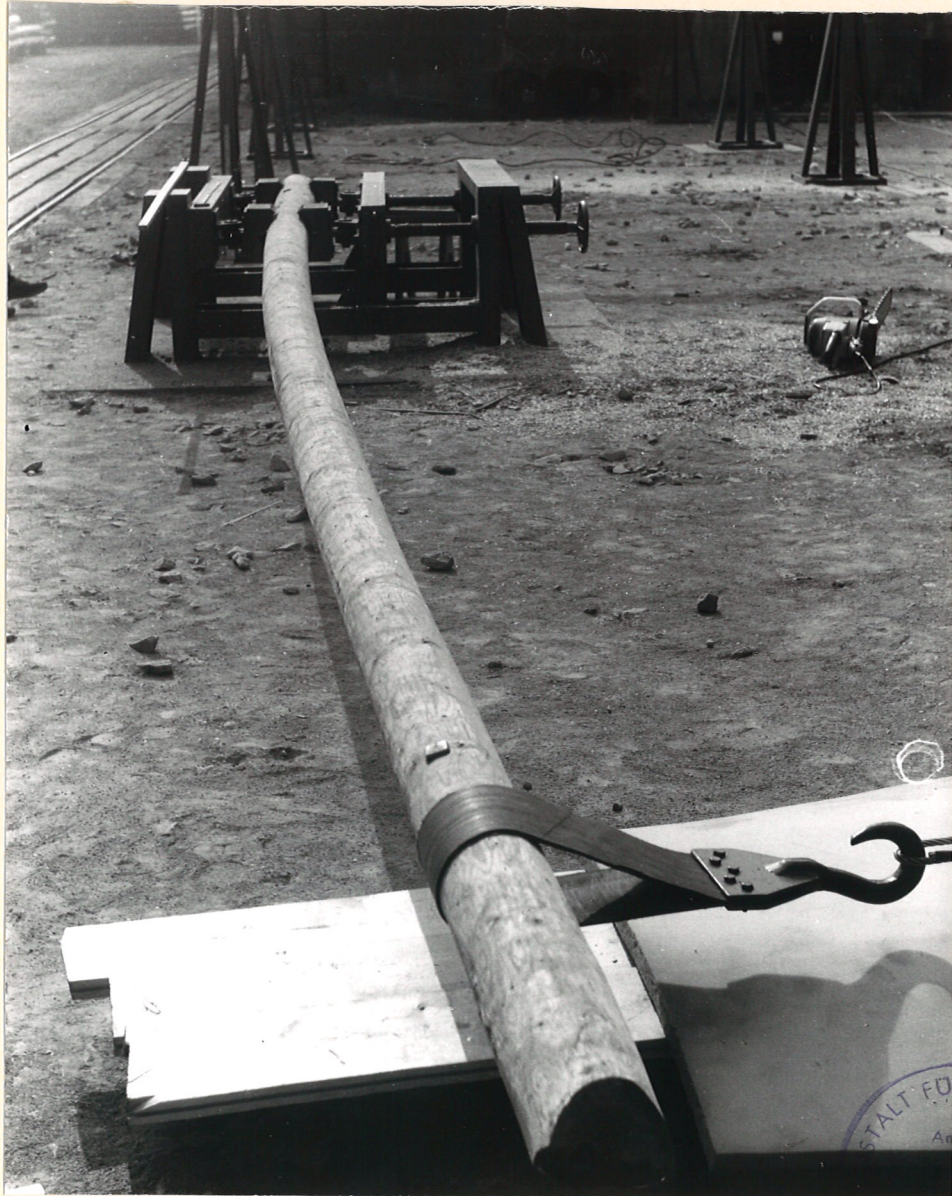


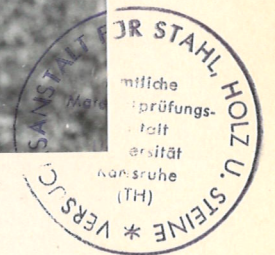
Bild 12: Umbruchversuch



Bild 13



Bild 14



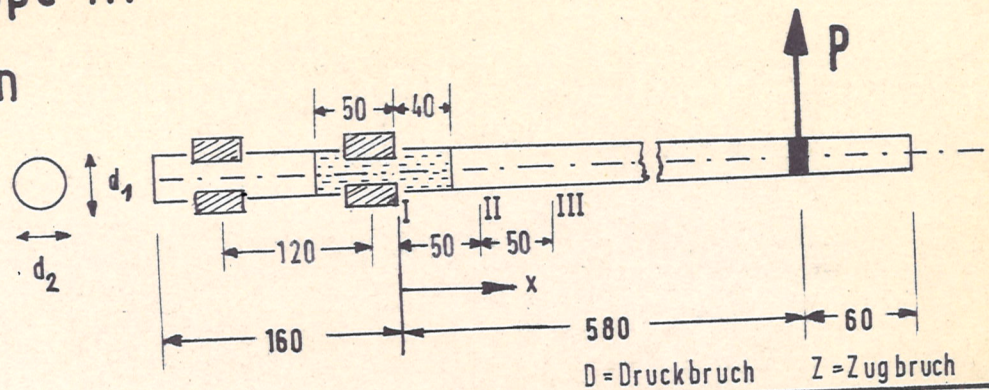
Bruchbilder von gebrochenen Masten
der Nenngröße \varnothing 16/17 cm.

Tabelle 2a : Ergebnisse der Untergruppe A1

Umbruchversuche mit Fichtenmasten

Stammklasse Ø 16/17cm

Perforierung System "s"



P = Perforierter Mast K = Kontrollmast

Mast Nr.	P K	Fuß-Ø	Ø bei I	Ø bei II	Ø bei III	Zopf-Ø	Feuchtigk. u %	Ausbiegung		Bruchst. von I X cm	Ø am Bruch cm	W Bruch cm³	P Bruch kp	σ Bruch kp/cm²	D Z
		cm	cm	cm	cm	cm		unter Nutzlast f _N cm	beim Bruch f _B cm						
1	P	17,40	15,70	15,40	15,20	12,70	54,6	21	111	25	15,55	375	365	540	D
		17,70	16,00	15,60	15,10	12,80					15,80				
2	P	18,70	16,20	15,90	15,80	13,20	43,4	22	114	20	16,08	399	342	480	D
		18,90	15,80	15,60	15,40	12,60					15,72				
3	P	19,10	16,40	15,90	15,50	14,20	44,1	20	118	15	16,25	410	368	508	D
		18,30	15,80	15,80	15,40	14,30					15,80				
4	P	17,30	16,00	15,80	15,50	13,20	49,7	18	105	5	15,98	406	375	532	D
		18,10	16,20	16,00	15,70	13,50					16,18				
5	P	18,30	17,00	16,80	16,50	14,40	85,4	16	100	5	16,98	458	450	565	D
		17,20	16,20	15,90	15,60	14,20					16,17				
6	P	17,80	16,50	16,20	16,10	13,90	77,1	16	102	0	16,50	444	375	490	D
		17,50	16,60	16,30	16,20	13,70					16,60				
7	P	16,70	15,70	15,50	15,40	13,00	65,8	19	103	35	15,56	377	340	492	D → Z
		17,20	16,00	15,80	15,70	13,10					15,86				
8	P	18,70	16,80	16,70	16,50	14,20	65,3	17	113	40	16,72	448	388	468	D
		19,80	16,80	16,20	16,50	14,20					16,32				
9	P	19,00	16,90	16,80	16,40	13,70	65,3	19	113	0	16,90	451	330	428	D
		18,30	16,10	15,90	15,80	13,20					16,10				
10	P	17,80	16,80	16,60	16,30	14,50	58,8	15	92	5	16,78	452	380	483	D
		17,90	16,40	16,00	16,00	14,60					16,36				
Mittel:												371	498		

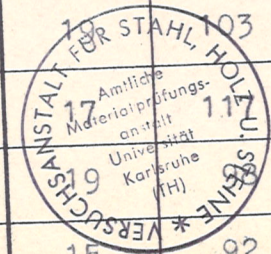
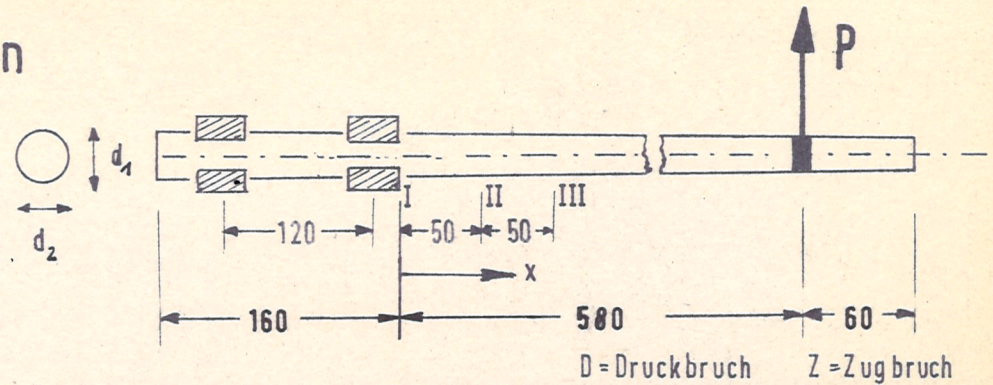


Tabelle 2b : Ergebnisse der Untergruppe A2

Umbruchversuche mit Fichtenmasten

Stammklasse Ø 16/17cm

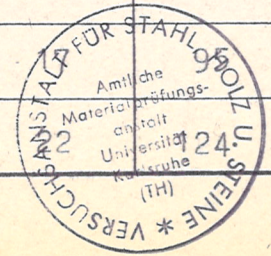
Perforierung System "s"



P = Perforierter Mast K = Kontrollmast

D = Druckbruch Z = Zugbruch

Mast Nr.	P / K	Fuß-Ø	Ø bei I	Ø bei II	Ø bei III	Zopf-Ø	Feuchtigk. u %	Ausbiegung		Bruchst. von I X cm	Ø am Bruch cm	W _{Bruch} cm ³	P _{Bruch} kp	σ _{Bruch} kp/cm ²	D / Z
		cm	cm	cm	cm	cm		unter Nutzlast f _N cm	beim Bruch f _B cm						
11	K	18,90 19,50	16,20 16,10	16,00 16,00	15,40 15,70	13,90 14,00	32,2	18	122	30	16,08 16,04	407	401	542	D
12	K	19,50 19,60	16,70 16,90	16,70 16,90	16,50 16,70	13,90 14,00	38,8	18	110	25	16,70 16,90	463	428	513	D
13	K	19,70 19,00	16,50 16,80	16,50 16,70	16,30 16,20	13,30 12,20	60,2	19	108	70	16,42 16,50	437	358	418	D
14	K	17,40 17,40	16,30 16,10	16,10 15,90	15,80 15,60	13,20 12,80	38,7	24	115	0	16,30 16,10	420	370	511	D
15	K	18,00 17,50	16,40 15,80	16,10 15,10	15,80 14,80	11,80 11,60	87,1	29	139	60	16,04 15,04	380	292	400	D
16	K	16,90 18,50	15,30 16,60	14,80 16,40	14,80 16,10	12,30 13,40	33,8	20	119	65	14,80 16,31	351	398	584	D
17	K	17,50 17,00	16,00 16,10	15,80 15,80	15,60 15,30	13,00 12,80	68,8	19	127	15	15,94 16,01	399	400	566	D
18	K	17,20 17,20	15,80 15,80	15,60 15,60	15,40 15,40	13,50 14,00	31,2	20	107	50	15,60 15,60	373	355	505	D → Z
19	K	17,20 16,90	16,20 16,70	15,80 16,50	15,90 16,20	13,40 13,20	28,3			35	15,92 16,56	412	415	549	D
20	K	17,10 16,50	15,70 15,30	15,50 15,10	15,10 14,90	12,50 12,20	42,5			0	15,70 15,30	370	372	583	D



Mittel	379	517
--------	-----	-----

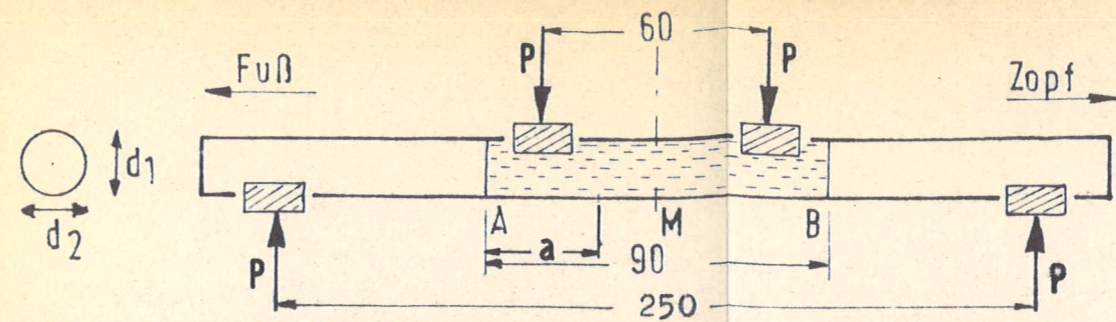
Tabelle 3a: Ergebnisse der Untergruppe A3 und A4

Biegeversuche mit Mast – Abschnitten

Stammklasse Ø 16/17 cm Perforierung System "s"

P : Perforierter Abschnitt

K : Kontrollabschnitt



Abschnitt Nr.	1= Fuß 2= Zopf	P K	Länge cm	Gewicht kg	Fuß-Ø		Ø bei A	Ø Mitte	Ø bei B	Zopf-Ø	P _{el} kp	f _{el} mm	E J kp·cm ²	J _{Brutto} cm ⁴	E _{AB} kp/cm ²	Feuchtigk. U %	Bruchstelle von A a cm	Ø am Bruch cm	W _{Bruch} cm ³	P _{Bruch} kp	σ _{Bruch} kp/cm ²	σ _p σ _k %
					↑d ₁ cm	←d ₂ cm	↑d ₁ cm	←d ₂ cm	↑d ₁ cm	←d ₂ cm												
21	1	K	300	50,40	20,40 20,50	15,45 17,10	16,40 16,65	15,80 16,40	15,45 15,65	1014	0.71	610.542.252	3.583	170.379	49,0	60	15.68 16.63	402	3300	781	100	
	2	P	300	40,90	15,30 15,60	15,15 15,15	15,00 15,15	14,80 14,90	14,20 14,30	1014	1.03	420.859.219	2.510	167.679	64,1	70	14.88 14.96	325	2120	620	79.4	
22	1	K	300	43,00	19,20 21,15	16,20 18,10	15,55 17,50	15,50 17,30	15,60 16,75	1014	0.98	442.291.500	3.230	136.933	45,4	55	15.77 17.61	430	2520	556	100	
	2	P	298	33,65	15,35 16,75	15,05 16,15	14,80 15,85	14,80 15,70	14,45 15,15	507	0.65	222.450.000	2.522	132.204	55,9	35	14.95 15.98	351	1740	471	84.7	
23	1	K	299	43,05	18,50 17,50	17,20 16,20	16,85 16,00	16,75 16,00	16,50 15,65	1014	0.81	535.166.669	3.757	142.429	60,9	65	16.88 16.06	449	2650	561	100	
	2	P	303	41,25	16,30 15,55	16,00 15,25	15,60 14,85	15,25 14,60	14,80 14,00	1014	1.13	383.615.043	2.767	138.620	93,0	45	15.63 14.93	358	1950	518	92.3	
24	1	P	298	50,00	17,20 17,20	16,55 16,20	16,45 16,05	16,35 15,90	16,25 15,75	1014	0.79	548.715.188	3.507	156.460	55,9	40	16.46 16.07	427	2680	596	86.4	
	2	K	302	39,55	16,20 15,90	15,60 15,40	15,50 15,20	15,10 15,15	14,65 14,80	1014	0.91	476.357.141	2.778	171.443	46,5	45	15.35 15.27	353	2570	690	100	
25	1	K	298	48,15	18,00 17,80	16,20 16,80	16,05 16,40	15,80 16,00	15,60 15,35	1014	0.90	481.649.997	3.328	144.708	75,8	50	15.98 16.36	410	2440	565	100	
	2	P	303	41,30	15,50 15,50	15,00 15,10	14,85 15,05	14,75 14,85	14,10 14,75	1014	1.32	328.397.724	2.419	135.742	68,8	63	14.83 14.92	322	1680	496	87.8	
26	1	P	299	43,85	17,65 18,50	16,40 17,20	16,20 17,20	16,15 16,90	16,00 16,70	1014	0.84	516.053.568	3.590	143.764	58,5	55	16.25 17.02	441	2690	579	95.2	
	2	K	300	32,75	16,00 16,00	15,70 16,25	15,25 15,95	15,05 15,60	14,65 15,20	1014	1.05	412.842.855	2.777	148.677	35,0	35	15.45 15.60	375	2400	608	100	
27	1	P	300	40,80	19,70 21,10	17,05 17,00	16,75 16,90	16,50 16,65	15,80 16,10	1014	0.87	498.251.250	3.899	127.804	48,4	65	16.65 16.75	456	2740	571	97.1	
	2	K	302	31,05	15,80 16,10	15,35 15,70	15,10 15,20	14,80 15,75	14,10 14,40	1014	1.09	397.692.657	2.569	154.811	32,7	75	14.89 15.74	343	2120	588	100	
28	1	P	300	46,05	17,35 17,00	16,50 15,65	16,50 15,95	16,70 15,70	16,30 15,50	1014	1.08	401.374.996	3.517	114.121	68,5	25	16.56 15.66	421	2240	505	96.6	
	2	K	304	40,80	15,35 16,35	15,25 15,85	14,90 15,60	14,70 15,50	15,75 15,20	507	0.69	314.119.562	2.533	124.005	64,5	45	14.98 15.68	345	1900	523	100	
29	1	P	299	48,40	19,45 19,20	16,60 17,10	16,30 16,65	16,10 16,50	15,80 16,35	1014	0.85	509.982.350	3.540	144.081	83,4	75	16.18 16.60	427	2690	599	105.5	
	2	K	302	33,40	15,80 16,40	15,25 15,65	14,80 15,40	14,65 15,20	14,40 14,80	1014	1,20	361.237.500	2.451	147.406	41,5	55	14.88 15.37	334	2000	568	100	
30	1	P	300	49,95	18,90 20,10	16,60 16,40	16,50 16,30	16,30 16,15	15,95 15,95	507	0.61	355.315.573	3.594	98.856	90,4	55	16.42 16.25	430	1930	427	98.2	
	2	K	299	33,05	15,90 15,85	15,50 15,35	15,50 15,30	15,45 15,20	14,90 15,65	507	0.64	338.660.156	2.797	121.090	48,0	55	15.47 15.26	358	1640	435	100	



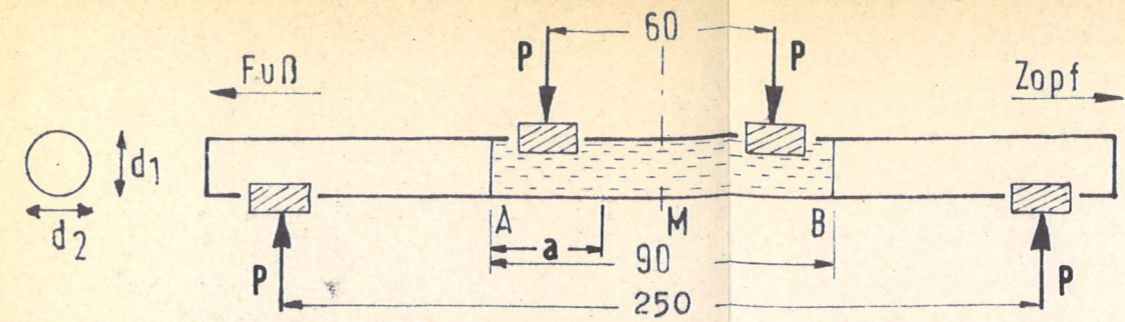
Tabelle 3b: Ergebnisse der Untergruppe A3 und A4

Biegeversuche mit Mast – Abschnitten

Stammklasse Ø 16/17 cm Perforierung System "s"

P: Perforierter Abschnitt

K: Kontrollabschnitt



Abschnitt Nr.	1= Fuß 2= Zopf	P K	Länge cm	Gewicht kg	Fuß-Ø		Ø bei A		Ø Mitte		Ø bei B		Zopf-Ø		P _{el} kp	f _{el} mm	E J kp·cm ²	J _{Brutto} cm ⁴	E _{AB} kp/cm ²	Feuchtigk. U %	Bruchstelle von A a cm	Ø am Bruch cm	W _{Bruch} cm ³	P _{Bruch} kp	σ _{Bruch} kp/cm ²	σ _p σ _k %
					d ₁ cm	d ₂ cm	d ₁ cm	d ₂ cm	d ₁ cm	d ₂ cm	d ₁ cm	d ₂ cm	d ₁ cm	d ₂ cm												
31	1	P	299	41,65	17.40 18.05	15.95 16.50	15.60 16.30	15.25 15.90	14.80 15.55	1014	1.10	394.077.272	3.038	129.733	66,1	60	15.48 16.20	379	2240	562	102,6					
	2	K	303	33,00	14.75 15.50	14.50 15.20	14.40 15.50	14.15 15.00	13.65 14.55	507	0.75	288.990.000	2.199	131.442	47,3	25	14.40 15.14	308	1780	548	100					
32	1	P	300	51,05	18.50 18.45	16.65 16.50	16.60 16.45	16.40 16.20	16.25 16.10	1014	0.98	442.331.629	3.694	119.753	103,1	45	16.53 16.35	438	2100	455	97,4					
	2	K	300	33,50	16.25 16.05	15.80 15.85	15.70 15.70	15.60 15.70	15.35 15.20	1014	1.25	346.788.000	2.982	116.277	54,4	67	15.65 15.73	378	1860	467	100					
33	1	K	300	39,10	16.75 17.25	15.85 16.00	15.65 15.60	15.55 15.65	15.30 14.95	1014	1.07	405.126.168	2.935	138.023	57,2	45	15.70 15.83	383	2230	553	100					
	2	P	300	32,90	15.30 15.20	15.00 14.95	14.75 14.70	14.50 14.60	14.10 14.20	507	0.68	318.738.968	2.316	137.648	56,4	42	14.77 14.79	317	1730	519	93,9					
34	1	K	298	44,55	20.90 21.90	16.60 18.15	15.95 17.20	15.60 16.90	15.50 16.20	1014	0.89	487.061.797	3.426	142.168	37,5	63	15.90 17.28	429	2880	638	100					
	2	P	301	34,85	15.40 16.15	15.35 15.85	14.90 15.40	14.90 15.10	14.80 14.85	1014	1.17	370.499.997	2.501	148.162	66,4	45	15.13 15.48	348	2130	582	91,2					
35	1	K	300	36,20	20.25 20.65	16.35 16.00	15.80 15.80	15.55 15.90	15.30 15.60	1014	1.10	394.077.272	3.059	128.820	31,2	45	15.95 15.95	398	2380	568	100					
	2	P	300	29,50	15.35 15.60	14.95 15.10	14.80 15.05	14.50 14.70	14.05 14.00	507	0.69	314.119.562	2.395	131.160	50,4	45	14.73 14.90	317	1760	527	92,8					
36	1	P	301	49,90	20.00 20.45	16.45 17.65	16.20 17.10	15.90 16.85	15.35 16.20	1014	0.81	535.166.666	3.569	149.961	75,6	70	16.02 17.03	429	2680	593	96,7					
	2	K	300	30,15	15.40 16.10	14.95 15.80	14.75 15.50	14.50 15.25	14.20 14.85	1014	1.19	364.273.109	2.442	149.193	34,1	55	14.68 15.46	327	2110	613	100					
37	1	K	298	43,00	19.05 20.65	16.50 16.50	16.30 16.20	15.75 15.70	15.50 15.30	1014	0.86	504.052.322	3.444	146.362	39,5	75	15.88 15.83	392	2680	650	100					
	2	P	302	34,30	15.50 15.40	14.85 14.80	14.65 14.40	14.50 14.20	14.05 13.90	1014	1.30	333.450.000	2.223	150.032	61,2	35	14.71 14.57	310	1830	562	86,5					
38	1	P	202	42,60	18.65 19.05	16.90 17.34	16.40 16.60	16.20 16.50	15.90 16.80	1014	0.83	522.271.081	3.594	145.307	49,4	50	16.51 16.88	452	2510	528	98,7					
	2	K	300	33,15	15.95 15.90	15.70 15.75	15.45 15.55	15.15 15.40	14.45 14.80	1014	1.07	405.126.168	2.815	143.914	37,6	35	15.49 15.61	368	2070	535	100					
39	1	K	301	35,60	17.60 16.70	15.85 15.70	15.65 15.60	15.50 15.50	15.35 15.35	1014	1.01	429.193.067	2.935	146.222	33,7	73	15.57 15.54	370	2460	632	100					
	2	P	298	34,25	15.30 15.15	15.20 14.60	15.10 14.60	15.05 14.50	14.85 14.25	507	0.72	301.031.247	2.467	121.999	76,6	55	15.11 14.54	326	1660	484	76,6					
40	1	K	300	46,45	22.00 19.10	15.60 17.30	15.20 16.70	14.85 16.40	14.80 16.15	1014	1.30	333.450.000	2.879	115.828	80,1	30	15.35 17.00	393	1800	439	100					
	2	P	298	43,30	14.80 16.20	14.55 15.85	14.60 15.65	14.40 15.40	13.95 15.15	507	0.85	254.991.173	2.391	106.655	117,9	50	14.47 15.60	321	1430	4.24	96,6					

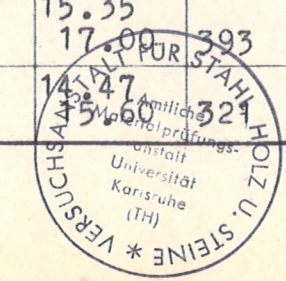
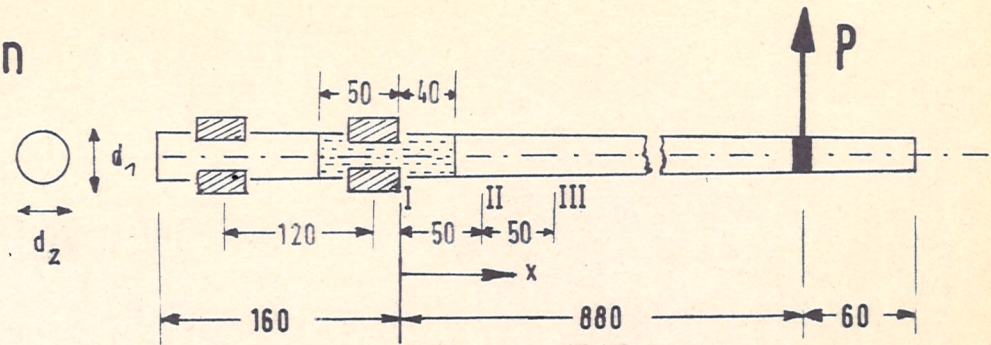


Tabelle 4a: Ergebnisse der Untergruppe B1

Umbruchversuche mit Fichtenmasten

Stammklasse Ø 22/23 cm

Perforierung System "s"



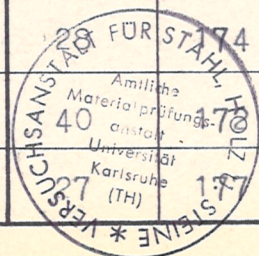
P = Perforierter Mast

K = Kontrollmast

D = Druckbruch

Z = Zugbruch

Mast Nr.	P / K	Fuß-Ø	Ø bei I	Ø bei II	Ø bei III	Zopf-Ø	Feuchtigk. u %	Ausbiegung		Bruchst. von I X cm	Ø am Bruch cm	W _{Bruch} cm ³	P _{Bruch} kp	σ _{Bruch} kp/cm ²	D / Z
		cm	cm	cm	cm	cm		unter Nutzlast f _N cm	beim Bruch f _B cm						
51	P	25,80	22,60	22,80	22,70	16,00	99,1	36	130	25	22,70	1181	460	333	Z
		26,90	23,30	23,40	22,90	16,50									
52	P	24,40	21,70	21,10	20,80	16,90	91,8	41	184	85	20,89	911	515	450	D
		25,40	21,90	21,40	21,20	16,50									
53	P	24,80	23,80	23,80	23,50	18,60	58,2	21	169	5	23,80	1328	852	561	D
		24,70	23,90	23,70	23,60	18,70									
54	P	24,00	24,70	24,20	24,20	17,50	58,0	26	190	40	24,30	1331	675	426	Z
		22,80	24,00	22,70	22,40	17,30									
55	P	26,70	22,90	22,50	22,20	16,30	61,5	39	264	65	22,41	1089	675	505	D
		28,20	22,70	22,20	21,80	15,20									
56	P	28,20	23,00	22,60	22,20	18,30	57,1	23	179	75	22,42	1108	800	581	D
		28,40	22,90	22,60	22,30	18,40									
57	P	23,20	22,10	22,20	21,80	16,20	61,8	30	159	25	22,15	1050	665	541	D
		22,70	21,90	21,70	21,40	15,60									
58	P	23,90	22,90	22,60	22,30	16,40	122,5			0	22,90	1127	590	460	Z
		22,80	21,90	22,20	21,50	15,90									
59	P	25,70	23,20	22,90	22,70	16,70	75,2			30	23,02	1219	585	408	Z
		26,40	23,80	23,20	22,80	17,00									
60	P	23,00	21,90	21,90	22,00	17,70	56,3			5	21,90	1002	685	598	D
		22,80	21,30	21,00	21,60	17,10									



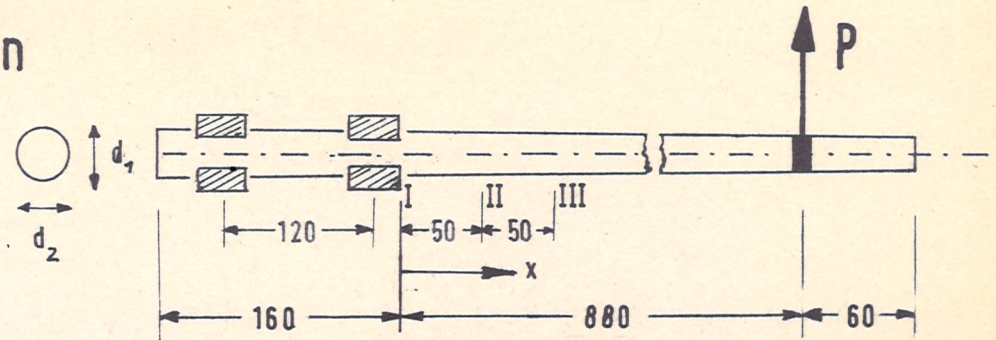
Mittel: 650 486

Tabelle 4b: Ergebnisse der Untergruppe B2

Umbruchversuche mit Fichtenmasten

Stammklasse Ø 22 / 23 cm

Perforierung System "s"



P = Perforierter Mast

K = Kontrollmast

D = Druckbruch

Z = Zugbruch

Mast Nr.	P / K	Fuß-Ø	Ø bei I	Ø bei II	Ø bei III	Zopf-Ø	Feuchtigk. U %	Ausbiegung unter Nutzlast		Bruchst. von I X cm	Ø am Bruch cm	W _{Bruch} cm ³	P _{Bruch} kp	σ _{Bruch} kp/cm ²	D / Z
		cm	cm	cm	cm	cm		f _N cm	f _B cm						
61	K	23,50 23,50	22,70 22,30	22,10 22,10	21,90 21,80	16,40 16,40	48,0	30	271	30	22,34 22,18	1087	720	563	D
62	K	24,00 23,40	23,60 22,90	23,40 22,60	23,00 22,30	17,00 16,50	39,9	27	281	0	23,60 22,90	1252	830	583	D
63	K	22,80 22,60	22,20 21,90	21,90 21,80	21,60 21,30	17,70 17,30	30,3	24	211	5	22,17 21,89	1056	705	584	D
64	K	24,70 24,30	23,30 22,80	23,30 23,20	22,90 22,40	17,70 17,20	44,6	20	195	20	23,30 22,96	1224	740	520	D → Z
65	K	27,00 28,90	21,80 21,80	21,40 21,80	21,10 21,60	16,20 16,30	35,7	31	270	35	21,52 21,80	990	600	512	D
66	K	24,70 23,90	23,30 22,30	22,80 22,10	22,90 22,10	16,60 16,40	45,1	30	159	30	23,00 22,18	1174	540	391	D → Z
67	K	24,60 24,40	23,10 23,30	22,70 22,80	22,40 22,30	17,10 17,10	31,1	33	241	50	22,70 22,80	1154	630	453	D → Z
68	K	23,40 23,60	22,70 22,90	22,20 22,20	21,60 21,90	16,00 15,80	33,7	39	204	90	21,72 21,96	1018	590	458	D
69	K	24,20 23,80	22,60 22,70	22,50 22,60	22,20 22,30	16,60 16,50	28,7	23	168	10	22,58 22,68	1136	730	559	Z
70	K	25,90 26,60	22,10 22,60	21,70 21,80	21,70 21,50	18,40 17,50	40,7	23	184	50	21,70 21,80	1008	615	506	Z



Mittel: 670 513

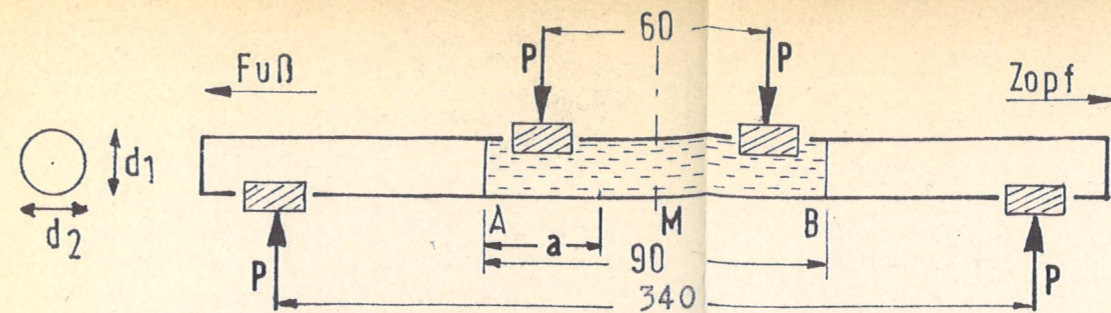
Tabelle 5a : Ergebnisse der Untergruppe B3 und B4

Biegeversuche mit Mast – Abschnitten

Stammklasse Ø 22/23 cm Perforierung System "s"

P: Perforierter Abschnitt

K: Kontrollabschnitt



Abschnitt Nr.	1= FuB 2= Zopf	P K	Länge cm	Gewicht kg	Fuß-Ø		Ø bei A		Ø Mitte		Ø bei B		Zopf-Ø		P _{el} kp	f _{el} mm	E J kp·cm ²	J _{Brutto} cm ⁴	E _{AB} kp/cm ²	Feuchtigkeit. U %	Bruchstelle von A a cm	Ø am Bruch cm	W _{Bruch} cm ³	P _{Bruch} kp	σ _{Bruch} kp/cm ²	σ _P σ _K %
					↑d ₁ ↓d ₂ cm	↑d ₁ ↓d ₂ cm	↑d ₁ ↓d ₂ cm	↑d ₁ ↓d ₂ cm	↑d ₁ ↓d ₂ cm	↑d ₁ ↓d ₂ cm	↑d ₁ ↓d ₂ cm	↑d ₁ ↓d ₂ cm														
71	1	P	400	102,60	23,20 24,70	21,90 22,20	21,45 22,15	21,20 21,80	21,00 21,60	1705	0,72	1491874996	10.730	139.029	70,4	25	21,70 22,09	1022	3945	541	106,2					
	2	K	401	78,40	20,85 21,70	20,25 21,10	20,25 21,00	20,00 20,50	19,35 20,40	855	0,55	979363633	8.559	114.414	43,8	65	20,06 20,66	817	2970	509	100					
72	1	P	400	122,00	25,40 26,35	22,85 22,10	22,30 21,80	22,10 21,65	21,65 21,30	1705	0,65	1652538459	11.867	139.254	67,8	50	22,43 21,85	1079	1040	541	98,7					
	2	K	400	86,30	21,90 21,20	21,30 20,50	21,20 20,45	21,00 20,30	20,60 19,80	1705	0,78	1377115380	9.564	143.978	40,6	75	21,05 20,33	884	3460	548	100					
73	1	K	400	95,00	23,30 22,85	22,05 21,65	21,70 20,45	21,65 21,45	21,10 20,80	1705	0,78	1377115380	10.257	134.253	48,4	15	21,98 21,61	1027	3720	507	100					
	2	P	400	82,90	21,10 20,80	21,15 20,45	20,80 20,35	20,75 20,30	20,35 19,95	1705	0,96	1118906245	8.989	124.471	64,6	70	20,90 20,33	867	3000	484	95,5					
74	1	P	400	126,50	22,80 24,00	21,75 23,05	21,35 21,95	21,35 23,15	20,60 23,00	1705	0,76	1413355261	10.485	134.788	104,2	15	21,68 23,06	1065	3840	505	95,1					
	2	K	400	100,00	20,55 21,95	19,70 21,00	19,55 20,55	19,40 20,35	18,30 19,65	855	0,54	997499998	7.537	132.339	98,5	60	19,50 20,56	768	2910	531	100					
75	1	K	399	135,00	25,90 25,90	23,25 23,60	22,80 23,15	22,30 22,75	21,40 22,00	855	0,30	1795500000	13.468	133.308	45,0	70	22,51 22,93	1141	5460	670	100					
	2	P	400	99,55	21,25 22,00	20,30 21,05	20,40 20,80	20,20 20,60	19,05 19,55	1705	0,94	1142712761	8.668	131.829	53,2	35	20,26 20,87	841	3390	564	84,1					
76	1	P	400	115,00	24,20 23,90	23,10 22,80	22,90 22,65	22,50 22,55	21,60 21,80	1705	0,55	1953000000	13.351	146.270	57,6	25	22,93 22,73	1173	4590	548	105,2					
	2	K	400	99,35	21,60 21,60	20,95 21,00	20,75 20,95	20,80 21,00	19,70 20,00	1705	0,93	1154979000	9.187	125.708	59,9	75	20,82 21,01	894	3330	521	100					
77	1	P	400	111,25	23,10 25,65	21,60 23,50	21,65 23,15	21,20 22,85	20,35 21,70	1705	0,80	1342987500	11.531	116.433	56,3	30	21,46 23,28	1053	4050	538	92,1					
	2	K	400	86,25	20,20 21,80	19,50 20,90	19,30 21,00	19,40 20,65	18,50 20,10	855	0,55	979363633	7.410	132.154	42,5	15	19,48 20,85	777	3240	584	100					
78	1	K	393	93,00	22,45 22,25	22,50 22,40	21,80 22,35	22,25 22,20	21,60 21,35	1705	0,74	1451520000	11.366	127.704	46,0	40	22,38 22,31	1097	3840	490	100					
	2	P	400	78,50	19,05 21,35	21,00 21,05	20,75 20,50	19,85 19,50	20,80 18,80	855	0,48	1122187500	8.990	124.820	65,8	55	20,29 20,10	813	2920	503	102,6					
79	1	P	400	113,65	22,85 23,30	22,00 23,20	21,80 23,20	21,55 22,80	20,65 21,70	1705	0,68	1579632352	11.798	133.883	59,4	50	21,75 22,97	1067	3900	512	89,3					
	2	K	401	87,40	20,70 21,65	19,95 20,60	19,75 20,50	19,40 20,20	18,45 19,30	855	0,50	1077300000	7.752	138.966	44,0	65	19,55 20,31	762	3120	573	100					
80	1	K	401	85,07	25,00 24,20	23,00 21,95	20,85 21,80	22,65 21,30	21,50 20,20	1705	0,74	1451554051	9.699	149.653	41,1	65	22,74 21,48	1091	3600	462	100					
	2	P	403	70,00	21,40 20,30	20,65 19,65	20,65 19,65	20,55 19,70	20,00 18,70	855	0,55	979363633	8.493	115.305	47,6	50	19,55 19,67	819	2520	431	93,3					

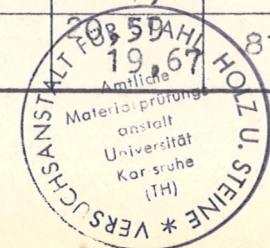
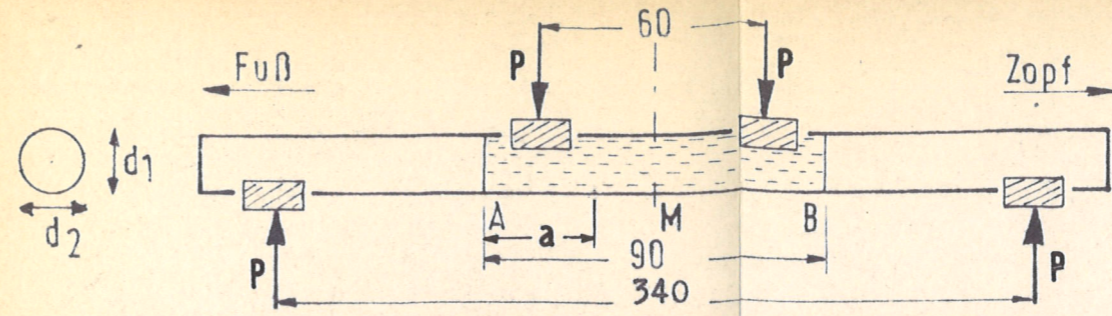


Tabelle 5b: Ergebnisse der Untergruppe B3 und B4

Biegeversuche mit Mast — Abschnitten

Stammklasse Ø 22/23 cm Perforierung System "s"

P: Perforierter Abschnitt K: Kontrollabschnitt



Abschnitt Nr.	1 = FuB 2 = Zopf	P K	Länge cm	Gewicht kg	Fuß-Ø		Ø bei A		Ø Mitte		Ø bei B		Zopf-Ø		Pel kp	fel mm	E J kp·cm ²	J ^M Brutto cm ⁴	E _{AB} kp/cm ²	Feuchtigk. U %	Bruchstelle von A a cm	Ø am Bruch cm	W _{Bruch} cm ³	P _{Bruch} kp	σ _{Bruch} kp/cm ²	σ _P / σ _K %
					d1 cm	d2 cm	d1 cm	d2 cm	d1 cm	d2 cm	d1 cm	d2 cm	d1 cm	d2 cm												
81	1	K	400	142,20	24,30 25,25	21,15 22,85	21,10 22,55	21,10 22,30	21,15 21,30	1705	0,89	1206910107	10398	116067	133,4	75	21,11 22,39	979	3390	485	100					
	2	P	400	111,15	21,10 21,25	20,55 20,10	20,30 19,85	20,10 19,75	18,65 18,55	855	0,66	816136360	8517	95814	135,0	65	20,22 19,84	797	2340	411	84,7					
82	1	P	400	122,45	25,75 25,95	22,50 22,35	22,25 22,20	22,10 22,20	21,50 21,75	1705	0,62	1732500000	12003	144330	74,3	60	22,23 22,25	1079	4650	603	106,9					
	2	K	399	99,10	21,80 21,70	20,90 20,90	20,70 21,50	20,40 20,20	19,50 19,55	1705	0,88	1220625000	8925	136756	65,9	50	20,62 20,51	856	3450	564	100					
83	1	K	400	122,50	22,50 21,90	22,50 21,10	22,45 21,10	22,00 21,10	21,65 20,30	1705	0,67	1603208949	11719	136800	93,0	73	22,09 21,10	1011	4215	584	100					
	2	P	400	109,20	21,60 20,25	20,90 19,75	20,90 19,50	20,70 19,50	19,90 19,25	855	0,51	1056176465	8738	120862	107,8	45	20,80 19,62	833	3060	514	88,0					
84	1	K	400	88,75	23,90 23,45	21,80 22,60	21,50 22,40	21,25 22,15	20,80 21,35	1705	0,72	1491874996	10927	136520	35,0	70	21,37 22,25	998	3450	484	100					
	2	P	401	86,50	21,05 21,20	20,80 21,00	21,35 21,15	21,30 21,00	20,25 19,70	855	0,49	1099285708	10103	108801	65,7	45	21,05 21,00	913	2940	451	93,2					
85	1	P	401	126,95	23,20 24,25	22,70 23,00	22,35 22,80	22,35 22,70	21,80 22,00	1705	0,74	1451554051	12495	116170	107,6	20	22,62 22,93	1152	4020	488	112,7					
	2	K	401	109,00	21,70 21,90	21,10 21,30	21,10 21,20	20,85 20,90	19,95 21,20	855	0,53	1016320750	9775	103962	111,9	45	21,20 21,10	931	2880	433	100					
86	1	K	400	113,05	24,35 24,65	23,40 23,40	23,15 23,20	23,00 22,95	22,40 22,40	1705	0,56	1918124995	14129	135757	53,4	45	23,20 23,17	1225	4615	528	100					
	2	P	400	106,35	22,50 22,30	22,40 22,10	22,00 21,95	22,60 21,80	21,45 21,15	1705	0,77	1394946000	11473	121586	85,1	60	22,53 21,90	1091	3870	496	93,4					
87	1	P	400	122,00	22,65 23,15	22,35 22,60	22,20 22,60	22,20 22,50	21,00 21,30	855	0,50	1077300000	12137	88756	80,1	45	22,27 22,55	1098	4050	516	95,2					
	2	K	400	93,40	21,05 21,25	20,05 20,20	19,80 19,90	19,75 19,80	18,60 19,00	855	0,75	718200000	7582	94716	72,9	70	19,81 19,88	766	2970	542	100					
88	1	P	400	100,70	24,40 24,85	22,35 22,75	22,00 22,60	21,85 22,45	21,20 21,45	1705	0,65	1652538459	11812	139895	54,8	5	21,99 22,53	1070	4320	565	98,9					
	2	K	400	73,85	21,25 21,40	20,50 20,50	20,10 20,00	20,10 19,85	19,15 19,00	1705	0,98	1096071423	7972	137483	32,9	45	20,30 20,17	816	3330	571	100					
89	1	P	401	111,10	23,10 22,60	22,60 22,30	22,35 22,55	22,15 22,20	21,40 21,50	1705	0,83	1294156621	12330	104954	94,7	53	22,33 22,24	1089	3420	440	101,1					
	2	K	402	115,60	21,25 21,50	21,00 20,25	20,75 20,30	20,50 19,90	19,70 19,50	855	0,60	897750000	8902	100840	90,8	45	20,75 20,07	848	2635	435	100					
90	1	K	399	100,50	23,20 23,50	21,90 22,30	21,60 22,20	21,35 21,90	20,50 21,15	1705	0,77	1394946000	10982	127020	47,9	5	21,50 22,01	999	4230	579	100					
	2	P	400	92,60	21,00 21,00	20,00 20,00	20,00 19,95	19,75 19,75	19,00 19,05	855	0,50	1077300000	7834	137509	51,5	25	19,93 19,93	777	3030	546	94,3					

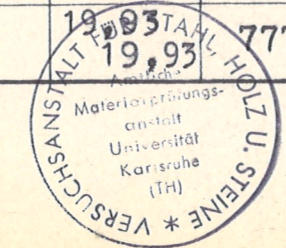
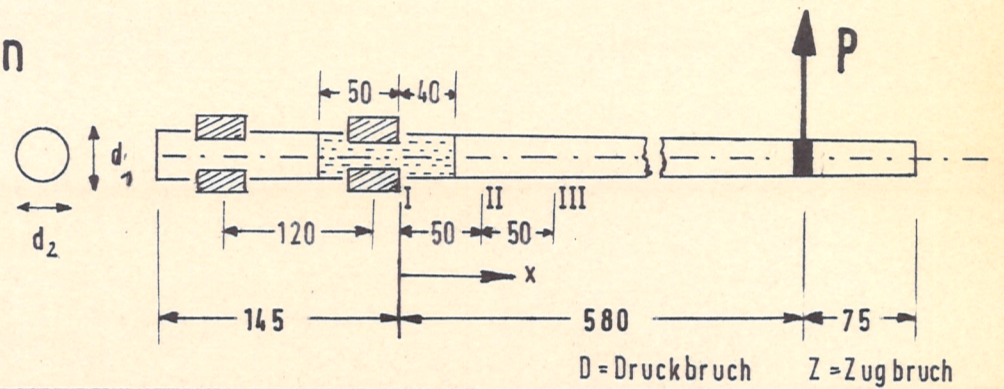


Tabelle 6 : Ergebnisse der Untergruppe C1

Umbruchversuche mit Fichtenmasten

Stammklasse Ø 16/17 cm

Perforierung System "b"



P = Perforierter Mast

D = Druckbruch Z = Zugbruch

Mast Nr.	P K	Fuß-Ø		Ø bei I	Ø bei II	Ø bei III	Zopf-Ø	Feuchtigk. u %	Ausbiegung unter Nutzlast f _N cm		Bruchst. von I x cm	Ø am Bruch cm	W _{Bruch} cm ³	P _{Bruch} kp	σ _{Bruch} kp/cm ²	D Z
		cm	cm	cm	cm	cm	cm		f _B cm							
101	P	17,40 16,60	17,00 16,70	16,30 15,90	16,00 16,40	13,70 13,80	85,4	17	114	5	16,93 16,62	468	360	443	D → Z	
102	P	17,50 17,00	16,30 15,90	16,20 15,70	16,00 15,30	13,10 12,60	79,0	19	86	0	16,30 15,90	415	324	453	Z	
103	P	18,30 20,20	18,90 18,90	16,00 17,70	16,50 17,60	13,40 14,20	98,4	17	88	10	18,52 17,94	604	372	351	Z	
104	P	17,10 17,40	16,70 16,90	16,20 16,30	15,50 15,60	12,20 12,40	105,7	20	126	60	16,06 16,16	409	340	432	D → Z	
105	P	17,70 18,40	16,60 16,90	16,20 16,50	15,80 16,10	13,00 13,10	104,6	22	97	25	16,40 16,70	441	290	365	Z	
106	P	17,70 17,90	16,50 16,90	16,10 16,60	16,20 16,40	13,20 13,70	68,3	20	83	35	16,34 16,78	440	300	382	Z	
107	P	18,40 17,90	17,20 16,80	17,20 16,80	16,90 16,30	13,70 13,20	78,8	16	89	0	17,20 16,80	488	375	446	D	
108	P	17,00 17,50	16,60 17,00	16,10 16,40	15,70 16,20	13,50 13,40	89,3	23	105	40	16,20 16,52	426	290	368	Z	
109	P	16,70 16,80	16,10 15,70	15,80 15,70	15,40 15,50	13,10 12,70	92,7	27	97	5	16,03 15,70	396	240	349	Z	
110	P	17,50 17,40	16,00 16,20	15,90 15,80	15,40 15,50	13,20 12,60	80,5	25	102	0	16,00 16,20	470	270	385	D → Z	
111	P	17,50 16,90	16,80 15,80	16,40 15,40	15,80 14,90	13,60 12,70	59,6	21	74	20	16,64 15,64	425	295	389	Z	
112	P	17,40 17,50	16,20 16,40	16,00 16,00	15,80 15,80	13,80 13,90	55,8	21	76	5	16,18 16,36	420	275	376	D	
113	P	18,10 17,50	17,10 16,60	17,00 16,30	16,60 15,90	13,30 13,10	110,4	19	80	20	17,10 16,48	473	310	367	Z	
114	P	17,20 17,80	16,20 17,00	15,90 16,60	15,80 16,20	12,40 13,00	138,1	24	99	20	16,08 16,84	427	285	373	Z	
115	P	16,40 16,40	16,50 16,90	16,50 16,40	16,20 16,10	12,90 12,90	114,3	21	106	15	16,50 16,75	448	315	398	Z	
116	P	17,30 18,10	17,30 17,60	17,50 17,50	17,00 17,30	15,60 14,90	84,7	13	80	20	17,38 17,56	521	452	486	D	
117	P	16,80 16,90	16,70 16,60	16,40 16,30	16,30 16,10	13,70 13,20	95,5	18	103	25	16,55 16,45	442	335	420	D	
118	P	18,00 18,90	17,10 17,70	16,80 17,20	17,40 17,40	13,60 14,30	87,4	18	99	35	16,89 17,35	486	360	404	D	
119	P	16,40 16,20	16,00 15,80	15,20 15,10	15,00 14,80	11,60 11,40	62,7	23	88	30	15,52 15,38	364	275	416	Z	
120	P	17,60 17,70	16,80 16,70	16,50 16,50	16,20 16,10	13,50 12,90	72,5	20	93	5	16,77 16,68	461	320	400	D	
Mittel:													319	400		

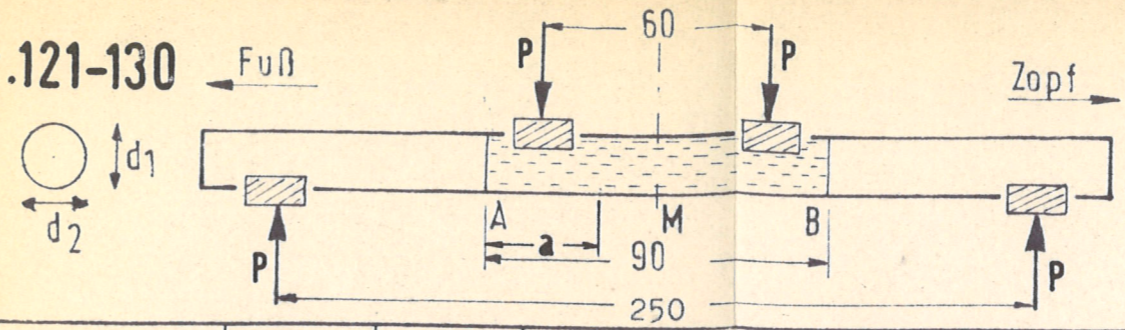


Tabelle 7a : Ergebnisse der Untergruppe C2, Stamm Nr.121-130

Biegeversuche mit Mast — Abschnitten

Stammklasse Ø 16/17 cm Perforierung System "b"

P : Perforierter Abschnitt K : Kontrollabschnitt



Abschnitt Nr.	1= Fuß 2= Zopf	P K	Länge cm	Gewicht kg	Fuß-Ø		Ø bei A		Ø Mitte		Ø bei B		Zopf-Ø		P _{el} kp	f _{el} mm	E J kp·cm ²	J ^M _{Brutto} cm ⁴	E _{AB} kp/cm ²	Feuchtigk. U %	Bruchstelle von A cm	Ø am Bruch a cm	W _{Bruch} cm ³	P _{Bruch} kp	G _{Bruch} kp/cm ²	G _p G _k %
					d1 cm	d2 cm	d1 cm	d2 cm	d1 cm	d2 cm	d1 cm	d2 cm	d1 cm	d2 cm												
121	1	P	299	42,95	16,65 16,30	16,10 16,40	15,90 16,10	15,80 15,90	15,50 15,65	1014	0,97	446.891.750	3.177	140.674	71,2	45	15,95 16,15	403	2330	540	79,8					
	2	K	300	34,80	15,50 15,50	15,35 15,00	14,80 14,80	14,70 14,75	14,35 14,50	1014	1,05	412.842.854	2.355	175.293	34,2	40	15,06 14,89	332	2400	688	100					
122	1	P	300	44,10	18,20 18,35	16,00 16,10	16,45 16,00	15,60 15,75	15,05 15,50	1014	1,10	394.077.271	3.496	112.717	105,6	70	15,69 15,83	382	1980	492	90,1					
	2	K	300	28,60	15,25 15,45	14,95 14,75	14,75 14,50	14,50 14,15	14,00 13,60	507	0,79	274.357.594	2.284	120.116	44,3	74	14,58 14,25	297	1710	546	100					
123	1	P	302	44,10	18,35 17,80	16,85 16,60	16,50 16,30	16,25 16,20	15,40 15,35	1014	0,82	528.640.241	3.594	147.078	62,2	45	16,55 16,40	441	2340	504	79,1					
	2	K	300	30,00	15,40 15,40	14,70 14,90	14,40 14,70	14,25 14,35	13,60 14,00	507	1,34	161.748.130	2.154	150.138	34,7	45	14,47 14,62	301	2020	638	100					
124	1	P	300	41,90	17,00 17,40	15,80 16,40	16,10 17,00	15,80 16,80	15,55 16,10	1014	0,94	461.154.425	3.482	132.418	81,3	30	15,80 16,53	405	2180	511	80,6					
	2	K	300	33,10	15,50 16,00	15,15 15,80	15,10 15,55	14,90 15,40	14,60 15,00	1014	1,05	412.842.854	2.628	157.091	38,5	45	15,02 15,60	345	2310	634	100					
125	1	P	300	44,80	18,75 20,25	16,50 17,10	16,50 17,10	15,70 16,10	15,10 15,40	1014	0,95	456.299.999	3.770	121.012	94,8	75	15,83 16,27	400	2185	518	99,2					
	2	K	299	28,49	15,10 15,60	14,80 15,00	14,65 14,70	14,55 14,60	14,70 14,15	507	0,71	305.271.123	2.269	134.550	36,2	45	14,67 14,80	313	1720	522	100					
126	1	P	300	46,35	17,05 15,90	17,50 16,50	17,70 15,30	17,40 16,25	16,50 15,60	1014	0,86	504.052.322	4.164	121.030	113,5	55	17,43 16,35	488	2310	450	77,1					
	2	K	300	33,85	15,55 16,50	15,00 15,80	14,80 15,50	14,60 15,45	14,10 14,90	1014	1,18	367.360.167	2.466	148.937	47,9	45	14,80 15,62	336	2060	582	100					
127	1	P	302	44,65	17,80 18,30	16,95 18,00	16,95 17,90	16,65 17,80	16,20 17,20	1014	0,83	522.271.081	4.278	122.057	68,8	21	16,88 17,95	502	2360	446	82,3					
	2	K	299	33,15	16,45 17,00	16,20 16,40	16,00 16,30	15,60 15,90	15,20 15,55	1014	1,12	387.040.177	3.277	118.096	37,3	60	15,80 16,07	394	2250	543	100					
128	1	P	302	55,55	18,15 20,45	17,20 17,85	16,95 17,30	16,75 17,20	16,55 16,80	1014	0,86	504.052.322	4.135	121.884	119,2	45	16,97 17,52	496	2380	456	81,4					
	2	K	300	39,80	16,80 16,65	15,95 16,00	15,55 15,75	15,20 15,50	14,35 14,55	1014	1,12	387.040.177	2.906	133.141	71,3	30	15,70 15,83	560	2260	560	100					
129	1	P	301	44,25	16,70 16,70	16,15 16,10	15,95 15,85	15,75 15,80	15,40 15,50	1014	0,83	522.271.081	3.157	165.429	69,3	60	15,88 15,90	394	2170	523	80,6					
	2	K	300	37,15	15,55 15,50	15,40 15,50	15,10 15,20	14,90 15,05	14,65 14,85	1014	0,99	437.863.634	2.568	170.448	43,6	75	14,98 15,13	333	2280	650	100					
130	1	P	300	44,65	17,10 16,30	16,75 16,00	16,75 15,90	16,05 15,55	15,55 14,95	1014	0,91	476.357.141	3.667	129.873	100,4	75	16,16 15,58	400	2310	549	80,4					
	2	K	300	31,15	15,55 14,95	14,90 14,80	14,90 14,60	14,75 14,40	15,15 14,00	1014	1,26	344.035.712	2.370	145.117	33,7	60	14,80 14,55	312	2250	683	100					

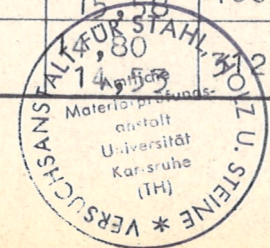


Tabelle 7b: Ergebnisse der Untergruppe C2, Stamm Nr.131-140

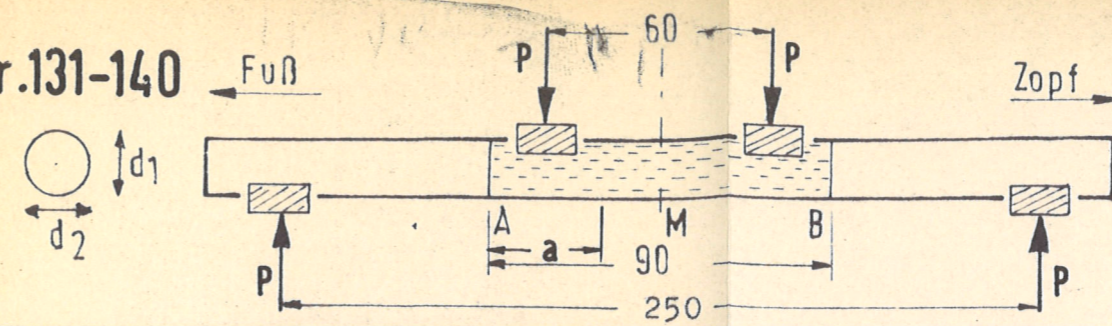
Biegeversuche mit Mast — Abschnitten

Stammklasse Ø 16/17cm

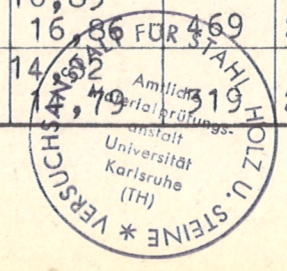
Perforierung System " b "

P: Perforierter Abschnitt

K: Kontrollabschnitt



Abschnitt Nr.	1= Fuß 2= Zopf	P K	Länge cm	Gewicht kg	Fuß—Ø		Ø bei A		Ø Mitte		Ø bei B		Zopf—Ø		P _{el} kp	f _{el} mm	E J kp·cm ²	J ^M _{Brutto} cm ⁴	E _{AB} kp/cm ²	Feuchtigk. U %	Bruchstelle von A a cm	Ø am Bruch cm	W _{Bruch} cm ³	P _{Bruch} kp	σ _{Bruch} kp/cm ²	σ _P σ _K %
					↑d ₁ ↓d ₂ cm	↑d ₁ ↓d ₂ cm	↑d ₁ ↓d ₂ cm	↑d ₁ ↓d ₂ cm	↑d ₁ ↓d ₂ cm	↑d ₁ ↓d ₂ cm	↑d ₁ ↓d ₂ cm	↑d ₁ ↓d ₂ cm														
131	1	P	300	46,30	17,20 17,45	16,35 16,95	16,25 16,70	15,90 16,50	15,70 16,10	1014	1,02	424.985.291	3.517	120.816	109,8	75	15,97 15,57	415	2180	499	84,7					
	2	K	301	33,40	15,70 16,05	15,45 15,70	15,35 15,75	15,25 15,60	15,00 15,20	1014	1,06	408.948.111	2.796	146.248	42,0	72	15,29 15,74	361	2240	589	100					
132	1	P	300	47,65	17,45 17,00	17,35 17,40	17,10 17,10	16,80 16,50	16,25 16,00	1014	0,76	570.374.997	4.197	135.895	90,8	45	17,07 16,95	485	2460	481	86,8					
	2	K	301	31,70	16,10 15,85	15,70 15,50	15,70 15,25	15,40 14,80	14,60 14,30	1014	1,16	373.693.965	2.896	128.996	31,2	45	15,45 14,91	349	2040	554	100					
133	1	P	300	47,75	18,05 17,65	17,20 16,80	16,95 16,60	16,40 16,35	15,80 15,85	1014	0,94	461.154.253	3.968	116.213	78,6	35	16,89 16,62	465	2210	450	86,9					
	2	K	300	32,60	15,90 15,80	15,30 15,40	15,10 15,00	14,90 14,70	14,40 14,35	507	0,71	305.271.123	2.535	120.418	47,5	65	15,01 14,89	329	1800	519	100					
134	1	P	300	49,85	17,75 18,85	17,30 17,30	17,20 17,00	16,90 17,10	16,20 16,15	1014	0,77	562.967.529	4.246	132.580	115,7	65	17,01 17,15	487	2520	491	88,4					
	2	K	302	32,10	16,20 16,00	15,40 15,80	15,20 15,70	14,70 15,00	14,25 14,30	1014	1,26	344.035.712	2.620	131.298	41,6	75	14,81 15,08	325	1900	555	100					
135	1	P	301	48,70	17,50 18,45	16,35 17,30	16,05 17,00	15,70 16,70	15,00 16,10	1014	0,78	555.750.000	3.450	161.077	66,1	45	16,02 17,00	428	2400	532	78,2					
	2	K	303	34,75	15,00 16,00	14,50 15,20	14,25 14,80	14,10 14,75	13,70 14,35	1014	1,10	394.077.271	2.102	187.458	39,3	75	14,16 14,82	292	2090	679	100					
136	1	P	299	54,35	20,80 20,55	16,50 16,80	16,20 16,50	16,05 16,25	15,80 15,80	1014	0,88	492.596.587	3.443	143.051	85,6	45	16,27 16,52	429	2330	515	79,5					
	2	K	302	37,85	15,80 15,80	15,30 15,60	15,00 15,45	14,85 15,30	14,30 14,85	1014	1,12	387.040.177	2.559	151.210	49,4	70	14,95 15,36	337	2300	648	100					
137	1	P	300	43,00	17,85 18,70	16,90 16,90	16,90 17,40	16,50 16,90	15,85 16,25	1014	0,93	466.112.902	4.122	119.060	102,1	50	16,68 16,90	461	1970	405	74,2					
	2	K	300	30,65	15,70 16,35	15,30 15,60	15,05 15,40	14,85 15,20	14,40 14,65	507	0,70	309.632.141	2.576	120.155	48,4	75	14,92 15,26	334	1970	546	100					
138	1	P	300	50,00	18,05 17,70	16,10 16,20	15,80 16,20	15,50 15,80	15,20 15,50	1014	0,98	442.331.629	3.136	141.023	111,5	73	15,61 15,87	389	2090	522	96,0					
	2	K	302	37,45	15,30 15,50	15,10 15,45	14,95 15,20	14,80 15,15	14,50 14,60	1014	1,25	346.788.000	2.493	139.099	56,9	55	14,91 15,26	333	2020	575	100					
139	1	P	300	44,85	17,70 17,40	17,00 16,40	16,65 16,40	16,45 16,05	15,80 15,70	1014	0,83	522.271.081	3.715	140.552	77,3	30	16,81 16,28	452	2240	470	79,3					
	2	K	301	32,25	15,75 15,70	15,50 15,70	15,45 14,75	15,00 14,55	14,30 13,85	1014	1,10	394.077.271	2.670	147.581	39,2	65	15,13 14,73	331	2070	593	100					
140	1	P	300	43,25	17,40 17,50	17,15 17,25	17,45 17,20	16,75 16,75	15,70 15,60	1014	0,65	666.900.000	4.480	148.653	69,3	70	16,83 16,86	469	2690	544	80,5					
	2	K	300	31,05	15,60 15,55	15,15 15,05	15,00 14,80	14,70 14,70	14,15 14,00	1014	1,09	397.692.656	2.451	162.196	30,3	66	14,62 14,79	319	2270	676	100					



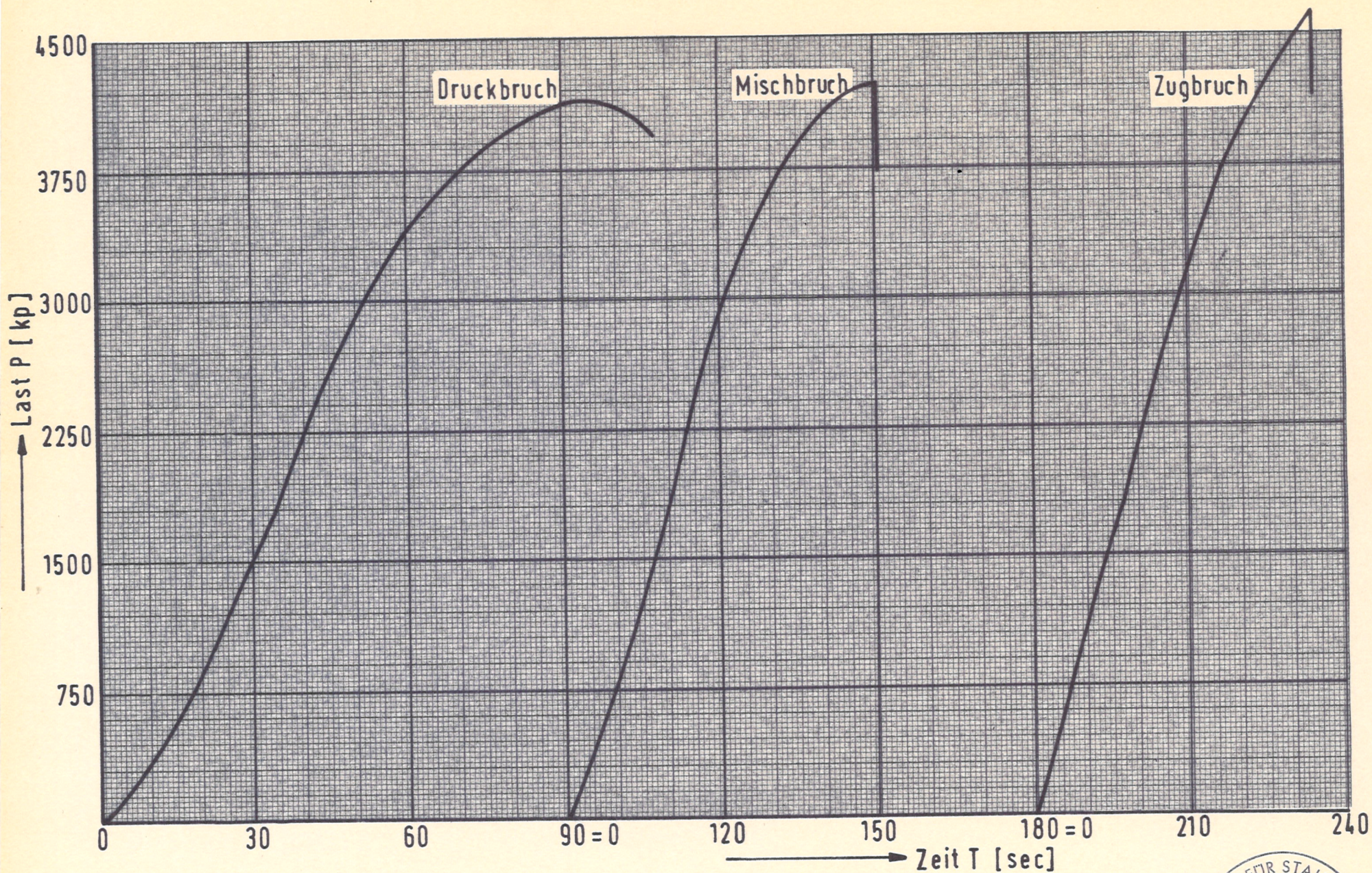


Bild 15 : Charakteristische Kraft-Zeit-Diagramme für die verschiedenen Brucharten (Laborversuche)



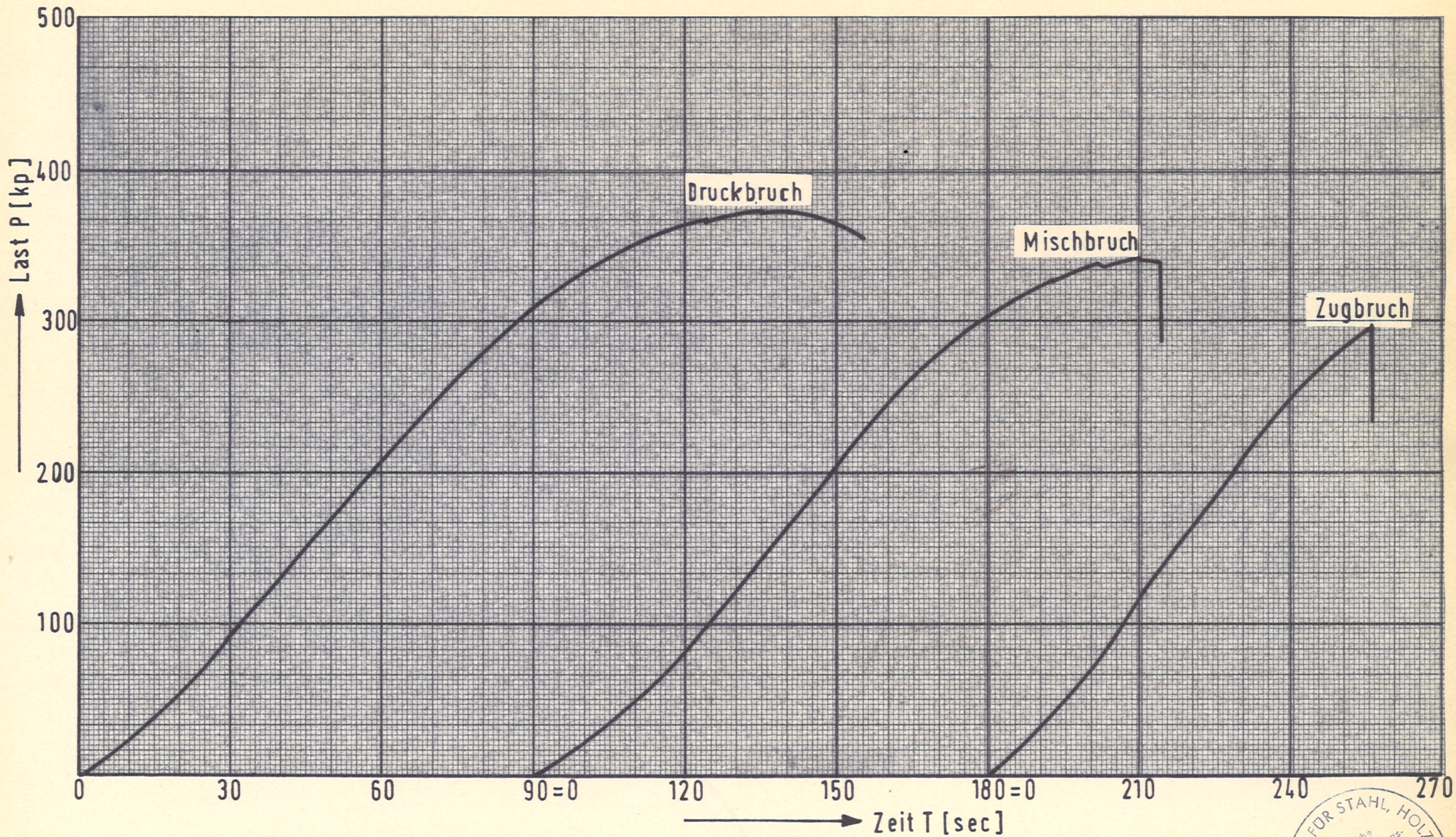


Bild 16: Charakteristische Kraft-Zeit-Diagramme für die verschiedenen Brucharten (Umbruchversuche)



Tabelle 9: Statistische Auswertung der Biegefestigkeiten σ_B für die einzelnen Untergruppen

Gruppe Nenngröße P-Schema	Versuchs- art	Unter- gruppe	P	F	Anzahl der Versuche	σ_B \bar{X} (kp/cm ²)	Standard- abweichung s (kp/cm ²)	Variations- koeffizient V (%)	Vertrauens- bereich von \bar{X} (kp/cm ²)	5 % Fraktile (kp/cm ²)	Festig- keits- verlust für \bar{X} (%)
			K	Z							
A Ø 16/17 s	Umbruch- versuche	A1	P	F	10	498	40,2	8,1	± 28,7	424	- 3,7
		A2	K	F	10	517	63,8	12,3	± 45,6	400	
	Labor- versuche	A3	P	F	10	541	61,4	11,3	± 44,0	429	- 3,1
			K	Z	10	558	73,9	13,2	± 53,0	422	
		A4	K	F	10	594	89,8	15,1	± 64,0	429	- 12,5
			P	Z	10	520	56,9	10,9	± 41,0	416	
		A3 + A4	P	F Z	20	531	58,6	11,0	± 27,0	429	- 7,8
			K	F Z	20	576	82,2	14,3	± 38,0	434	
B Ø 22/23 s	Umbruch- versuche	B1	P	F	10	486	85,4	17,6	± 61,1	330	- 5,3
		B2	K	F	10	513	63,3	12,3	± 45,3	397	
	Labor- versuche	B3	P	F	11	527	42,5	8,1	± 28,5	450	- 0,2
			K	Z	11	528	51,9	9,8	± 34,9	434	
		B4	K	F	9	532	66,8	12,5	± 51,4	408	- 8,1
			P	Z	9	489	50,8	10,4	± 39,1	394	
		B3 + B4	P	F Z	20	510	49,2	9,6	± 23,0	425	- 3,8
			K	F Z	20	530	57,5	10,8	± 26,9	431	
C Ø 16/17 b	Umbruch- versuche	C1	P	F	20	400	37,1	9,2	± 17,3	336	-
	Labor- versuche	C2	P	F	20	496	39,2	7,9	± 18,0	428	- 17,2
			K	Z	20	599	57,5	9,6	± 27,0	500	

P: Perforiert

F: Fuß

K: Kontrolle

Z: Zopf



