

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

1. Abschnitt: Mechanische und physikalische Eigenschaften
von ausgewählten holzhaltigen Werkstoffen

von

Jürgen Ehlbeck, Reinhold Freiseis und Ronnie Hättich

Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine
Abt. Ingenieurholzbau
Universität Fridericiana Karlsruhe
o.Prof.Dr.-Ing. Jürgen Ehlbeck
1985

V O R W O R T

Auf Anregung der Entwicklungsgemeinschaft Holzbau (EGH) in der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung e.V. (DGfH) wurde eine Forschungsserie begonnen, um für die Verbindungstechniken des Holzbaues neue Möglichkeiten unter Verwendung metallfreier Verbindungsmittel zu entwickeln. Schon in früheren Jahren waren vereinzelt Entwicklungstendenzen in dieser Richtung erkennbar. In einem ersten Forschungsabschnitt wurden die bedeutsamen mechanischen und physikalischen Eigenschaften von Kunstharz-Preßholz ermittelt, da dieser holzhaltige Werkstoff in platten- und stabförmiger Ausführung als besonders geeignet erscheint.

Die vorliegende Arbeit wurde durch Bereitstellung von Forschungsmitteln des Bundesministeriums für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau (Gesch.-Z.: B I 5 - 80 01 82 - 14) gefördert. Besonderer Dank gebührt aber auch der Holzwerkstoffindustrie, die durch Bereitstellung von Informationen und Material die Sichtung der für die vorgesehenen Zwecke als geeignet erscheinenden Werkstoffe wesentlich erleichterte.

Die Durchführung der Untersuchungen lag in Händen der Herren Dipl.-Ing. R. Freiseis und Dipl.-Ing. R. Hättich. Die Laborarbeiten wurden von den Herren G. Rüd und G. Köhler durchgeführt. Den wissenschaftlichen Hilfskräften des Lehrstuhls für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen, insbesondere den Herren cand.ing. S. Schlütter und cand.ing. M. Waßmer ist für die gewissenhafte Mitarbeit bei der Auswertung und Darstellung der Untersuchungsergebnisse zu danken.

Jürgen Ehlbeck

I N H A L T

1	Ziel der Forschungsarbeit	1
2	Auswertung des Schrifttums	3
3	Kunstharz-Preßholz (KP)	9
3.1	Allgemeines	9
3.2	Herstellungsverfahren, Normtypen und ihre Eigenschaften	9
3.3	Auswahl von KP-Typen für die Versuche	14
3.4	Eigenschaften der ausgewählten KP-Typen nach DIN 7707 Teil 2 sowie Herstellerinformationen	18
4	Versuche	20
4.1	Allgemeines	20
4.1.1	Versuchsprogramm	20
4.1.2	Versuchsdurchführung	21
4.1.3	Bezeichnung der Versuchskörper und Schnittpläne	24
4.2	Ermittlung der mechanischen Eigenschaften	32
4.2.1	Druckfestigkeit rechtwinklig zu den Schichten (Querdruckfestigkeit)	32
4.2.2	Druckfestigkeit parallel zu den Schichten (in Plattenebene)	32
4.2.3	Feuchtigkeitseinfluß auf die Druckfestigkeit	34
4.2.4	Zugfestigkeit	34
4.2.5	Biegefestigkeit und Biege-Elastizitätsmodul	36
4.2.6	Scherfestigkeit rechtwinklig zu den Leimfugen	39
4.2.7	Lochleibungsfestigkeit	41
4.3	Ermittlung physikalischer Eigenschaften	44
4.3.1	Rohdichte	44
4.3.2	Feuchtigkeitsgehalt	46
4.3.3	Quellen und Schwinden	46
4.4	Verleimbarkeit	47
4.5	Bearbeitbarkeit	48

5	Versuchsauswertung	49
5.1	Allgemeines	49
5.2	Die mechanischen Eigenschaften	53
5.2.1	Druckfestigkeit rechtwinklig zu den Schichten (Querdruckfestigkeit)	53
5.2.2	Druckfestigkeit parallel zu den Schichten (in Plattenebene)	55
5.2.3	Ergänzungsversuche zur Abschätzung des Feuchtigkeits- einflusses auf die Druckfestigkeit	57
5.2.4	Zugfestigkeit	58
5.2.5	Biegefestigkeit und Biege-Elastizitätsmodul	59
5.2.5.1	Biegefestigkeit als Platte und Scheibe	59
5.2.5.2	Biege-Elastizitätsmodul als Platte und Scheibe	62
5.2.6	Scherfestigkeit rechtwinklig zu den Leimfugen	65
5.2.7	Lochleibungsfestigkeit	66
5.3	Die physikalischen Eigenschaften	69
5.3.1	Rohdichten	69
5.3.2	Feuchtegehalt im Normalklima	70
5.3.3	Quellen und Schwinden	71
5.4	Verleimbarkeit	73
5.5	Bearbeitbarkeit	73
6	Zusammenfassung	75
7	Schrifttum und Normen	77

Anlagen 1 bis 46

Verwendete Abkürzungen und Zeichen

1 Ziel der Forschungsarbeit

Mit der technischen Weiterentwicklung des Ingenieurholzbaues ist stets die Neuentwicklung wirkungsvoller Verbindungsmittel verbunden. Dies liegt einerseits begründet in dem Bestreben, immer größere Kräfte auf möglichst kleiner Fläche von einem Bauteil auf das andere zu übertragen, liegt aber andererseits auch in der Notwendigkeit, die Verbindungen möglichst wirtschaftlich, d.h. vor allem wenig lohnintensiv, herstellen zu können. Im Zuge dieser Entwicklung wurde vor allem die Verbindungstechnik unter Heranziehung von verschiedenartigen Verbindungsmitteln aus M e t a l l (z.B. Nagelplatten, Stahlbleche und Stahlblechformteile, hochwertige Nägel, Stabdübel) vorangetrieben. Damit verbunden sind zwangsläufig aber Fragen des Korrosionsschutzes, des Brandschutzes sowie der Ästhetik des Holzbaues, wodurch die Anwendung derartiger Verbindungstechniken, trotz aller statischen und konstruktiven Vorteile, oft auf bestimmte Anwendungsbereiche beschränkt bleiben muß, wenn nicht durch ergänzende Maßnahmen (z.B. im Brandschutz) die Kosten wiederum steigen sollen.

Andererseits hat die Holzverarbeitende Industrie mit ursprünglich anderen Zielsetzungen hochwertige holzhaltige Werkstoffe entwickelt, die für tragende Verbindungsmittel durchaus geeignet erscheinen. In Bauwerken und Bauteilen in denen wegen ihrer Leitfähigkeit oder Korrosionsempfindlichkeit Metalle nicht eingesetzt werden können, sind diese metallfreien Werkstoffe ohne zusätzlichen Schutz anwendbar.

Es ist daher das Ziel eines in mehreren Stufen durchzuführenden Forschungsvorhabens, bestehende holzhaltige und aus der Sicht der Tragfähigkeit und der Verformungskennwerte hochwertige Werkstoffe im 1. Abschnitt auf ihre Eignung als mechanische Verbindungsmittel zu untersuchen und aufgrund theoretischer und versuchstechnischer Arbeiten für die Bemessung und Ausführung derartiger Verbindungen im 2. Abschnitt entsprechende Grundlagen zu schaffen. Dieser Bericht enthält die Ergebnisse der Untersuchungen des 1. Forschungsabschnittes.

Aufgrund eines umfassenden Literaturstudiums wurde zunächst der augenblickliche Entwicklungsstand auf dem Gebiet der holzhaltigen Werkstoffe und deren Anwendung im Bereich des Holzbaues festgestellt. Danach wurden geeignet erscheinende holzhaltige Werkstoffe ausgewählt und von den jeweiligen Herstellern weitere Informationen eingeholt. Von den ausgewählten Werkstoffen wurden schließlich die physikalischen und mechanischen Eigenschaften sowie die Bearbeitbarkeit festgestellt.

2 Auswertung des Schrifttums

Ausgehend von einer Literaturrecherche des Informationszentrums Raum und Bau (IRB) der Fraunhofer-Gesellschaft in Stuttgart zu den Themen "Mechanische, metallfreie Holzverbindungen" und "Verwendung von Hartholz bzw. vergütetem Holz für Holzverbindungsmitel im Holzbau" und den Literaturangaben eines im Jahre 1982 an der Forschungs- und Materialprüfungsanstalt Baden-Württemberg Stuttgart abgeschlossenen Forschungsvorhabens [1] sowie weiteren eigenen Nachforschungen über die Literatur aus den genannten Gebieten wurde eine Auswertung vorgenommen, deren Ergebnisse nachfolgend beschrieben werden.

Vergütetes Holz wurde früher als hochwertiger Werkstoff für den Flugzeugbau entwickelt. BRENNER [2] berichtete über Versuche zur Entwicklung von vergüteten Hölzern und teilt Ergebnisse über erreichbare Verbesserungen der mechanischen und physikalischen Eigenschaften durch Kunstharzverleimung mit. Später gab EGNER [3] einen Überblick über die verschiedenen Möglichkeiten der Vergütung der Holzeigenschaften (wie z.B. Pressen, Tränken, Verleimen dünner Furniere mit Kunstharzen u.a.) und beschrieb Anwendungsgebiete für derartige vergütete Hölzer. Über weitere Verfahren zur Vergütung von Hölzern, über Anwendungsmöglichkeiten und über Erfahrungen bei der Prüfung solcher Werkstoffe berichtete auch RIECHERS [4]. KOLLMANN [5, 6 und 7] stellte Werte für die mechanischen Eigenschaften bestimmter vergüteter Hölzer zusammen.

Auch erste Versuche über das Tragverhalten von Verbindungen mit nichtmetallischen Verbindungsmitteln sind aus dieser Zeit bekanntgeworden. So berichtete KRESS [8] über Versuche mit runden Holznägeln (sog. "Biegedübel"), die er 1938 durchführte. Die Holznägel bestanden aus Buchen- und Bongossiholz (\varnothing 20 mm, Länge = 100 mm). Die aus den Bruchlasten unter Annahme einer pauschalen dreifachen Sicherheit ermittelten zulässigen Belastungen wurden jedoch aufgrund

der bei allen Versuchen beobachteten großen Nachgiebigkeiten nicht als maßgebend für die Festlegung der zulässigen übertragbaren Kräfte angesehen. Über die nach CARL BRÖSEL benannte "Cabrölbauweise" wurde in den Lehrbüchern von STOY und MÖNCK [9, 10] und von KOLLMANN [7] berichtet. Für die dabei verwendeten Biegedübel aus Hartholz wurde eine aufgrund von Versuchen entwickelte Formel zur Berechnung der zulässigen Belastung angegeben. Die zylindrischen Dübel aus Eiche, Buche oder Bongossi mit Durchmessern von 20 bis 80 mm wurden in zwei- oder vierschnittigen Verbindungen eingesetzt und griffen in die Seitenhölzer jeweils nur mit einer Länge ein, die ungefähr dem Dübeldurchmesser entsprach. Die zulässige Belastbarkeit der Dübel wurde dabei für alle Holzarten gleich angenommen, obwohl Bongossi bedeutend höhere Festigkeiten aufweist als die europäischen Harthölzer. Um die erforderlichen Heftbolzen für derartige Verbindungen in die Hölzer einzuziehen zu können, wurden auch gebohrte Dübel, sog. Rohrdübel, empfohlen. Dabei werden in der Mittelachse des Biegedübels die Bohrungen für die Heftbolzen vorgenommen. Zum Einbau dieser Dübel aus Hartholz müssen die Bohrlöcher in den zu verbindenden Hölzern gleich dem entsprechenden Dübeldurchmesser gebohrt werden; die Dübel werden auf etwa 12 % Feuchtigkeit vorgetrocknet und füllen die Bohrung satt aus, wenn sie nach dem Einbau etwas nachquellen.

STOY [11] berichtete über die Eignung von Hartholz-Ringdübeln als Holzverbindungsmittel. Diese Ringdübel der Bauart HARTL bestehen aus ringförmig gebogenem Hartholz und besitzen einen rechteckigen oder sechseckigen Querschnitt. Bei in Wien durchgeführten Versuchen an Druckscherprobekörpern sowie vergleichenden Zugscherversuchen mit Ringdübeln aus Hartholz und anderen Dübelarten aus Stahl zeigten diese Ringdübel sowohl hinsichtlich des Tragvermögens als auch hinsichtlich der Verschiebungen ein, auch im Vergleich zu den bisher bekannten Stahldübeln, sehr gutes Verhalten. Dabei wurden auch Versuche durchgeführt bei denen der Zusammenhalt der Verbindung mit einem eingreifenden Hartholzdorn (z.T. eingeleimt) anstelle eines Stahlschraubenbolzens bewirkt wurde.

Eine interessante Möglichkeit einer konstruktiven Verbindung ohne Stahlbolzen wurde von FUCHS [12] entwickelt. Hierbei handelt es sich um Rohrdübel aus Hartholz, Asbestzement oder Kunstpreßstoff mit einem Holzschraubengewinde auf der äußeren Mantelfläche. In die zu verbindenden Hölzer wird ebenfalls ein Gewinde eingeschnitten, wodurch neben der Übertragung von Scherkräften auch der Zusammenhalt der Verbindung ohne zusätzliche Heftbolzen, selbst nach dem Schwinden des Holzes, gewährleistet ist. Über die Tragfähigkeit und praktische Anwendung dieser metallfreien Holzverbindung konnten jedoch keine weiteren Erfahrungsberichte ausfindig gemacht werden. Die praktische Anwendung von Bongossi-Dübeln ist jedoch mehrfach beschrieben worden. TRYSNA [13] berichtete über ihre Verwendung bei der Herstellung von Vollwandträgern für den Bau einer Salzspeicheranlage. Zum Zusammenhalten der Holzteile wurden allerdings Schraubenbolzen aus Stahl verwendet. Für diese stählernen Bolzen könnten aber auch geeignete Bolzen aus anderen Materialien, wie z.B. Kunstharzpreßholz oder Kunststoff eingesetzt werden (siehe auch [1]).

Nach dem 2. Weltkrieg unternahm BRÜNING [14] den Versuch, die in der Fachliteratur weit verstreuten Ergebnisse von Festigkeitsprüfungen vergüteter Hölzer zusammenzutragen und daraus einen Vorschlag zur Festlegung von Rechenwerten für die verschiedenen Klassen vergüteter Hölzer und Holzwerkstoffe zu erarbeiten, um einerseits die Festlegung zulässiger Beanspruchungen im Sinne der Vorschriften der DIN 1052 voranzutreiben und andererseits aufzuzeigen, für welche Werkstoffe und Beanspruchungsarten noch weitere Versuche benötigt werden. Er beschränkte sich dabei auf die für die Anwendung im Bauwesen aussichtsreichsten Arten der vergüteten Hölzer, einschließlich der unverdichteten Furnierhölzer. BRÜNING empfahl, daß in Anbetracht der nicht genügend bekannten Dauerhaltbarkeit der verwendeten Bindemittel unter klimatischen Beanspruchungen und der nach vorliegenden Versuchsergebnissen als recht niedrig zu erwartenden Wechselbiegefestigkeiten eine 4- bis 5-fache pauschale Sicherheit gegenüber der

Bruchbeanspruchung gewährleistet sein müßte. Bei der Beurteilung der von BRÜNING zusammengetragenen Festigkeitswerte ist zu beachten, daß die Ergebnisse aus Versuchen mit verschiedener Versuchskörperform und unter verschiedenen Versuchsbedingungen erhalten wurden, so daß die Übertragbarkeit dieser Werte für die Praxis erschwert wird. Die Mehrzahl der gesammelten Daten stammt aus Versuchen an kleinen Prüfkörpern, meist in Anlehnung an die einschlägigen Prüfnormen für fehlerfreies Vollholz. Deshalb forderte BRÜNING bereits damals systematische Ergänzungsversuche an Versuchskörpern, die in Größe und Beanspruchungsart den Anwendungsfällen der Praxis angeglichen sind.

Neuere Versuche mit eisenfreien Verbindungen wurden von GEHRI [15] in Zürich durchgeführt. Geprüft wurden Fachwerkträger mit Knoten aus zwei- bis vierschnittigen Stabdübelverbindungen. Die Knotenplatten bestanden aus 7-lagigem Buchenfurniersperrholz und die stiftförmigen Verbinder aus Bongossi. Der Bruch trat dabei in der Regel im Sperrholz auf, was auf eine zu beachtende Kerbempfindlichkeit der Sperrholzknotenplatten bei Zugbeanspruchung hindeutet. Die bei diesen Trägern festgestellten Bruchlasten entsprechen etwa $2/3$ der Bruchlast eines mit stählernen Verbindungsmitteln hergestellten Trägers. Die für die Bongossi-Stabdübel zulässige, übertragbare Kraft ergibt sich nach GEHRI zu etwa $1/3$ derjenigen eines Stahlstabdübels gleichen Durchmessers. Bei den geprüften Dübeldurchmessern von 7 bis 12 mm stellte sich für Bongossidübel die gleiche Versagensart mit "Fließgelenkbildung" wie für Stahlstabdübel ein. Bei Verwendung von Preßsperrholzplatten als Knotenplatten läßt sich nach GEHRI die Tragfähigkeit aufgrund der höheren Festigkeitseigenschaften dieses Materials wahrscheinlich erhöhen, obwohl bei Versuchen eine größere Kerbempfindlichkeit von Preßsperrholz gegenüber Sperrholz festgestellt wurde.

Auch von KOLB und EPPLÉ [1] wurden einige Druckscherprüfungen an zweischnittigen Stabdübelverbindungen aus nichtmetallischen Verbin-

dungsmitteln durchgeführt. Als Stabdübel wurden Rundstäbe aus Preßvollholz "Lignostone" der Qualität VAE und für die etwa 27 mm dicke Knotenplatte kreuzweise geschichtetes Kunstharz-Preßholz mit einer Rohdichte von $1,36 \text{ g/cm}^3$ verwendet. Die je vier Stabdübel pro Anschluß hatten einen Durchmesser von 16 mm und die Bohrung in den 148 mm breiten Holzstäben erfolgte mit einem Bohrdurchmesser von 16,5 mm, da sich die Preßvollholzdübel bei Bohrung der Löcher mit dem Nenndurchmesser nicht eintreiben ließen. Die Anzahl der orientierenden Versuche ist noch zu gering, um gesicherte Angaben über die Tragfähigkeit einer solchen Verbindung machen zu können. Die Versuche wurden durchgeführt, um den Tragfähigkeitsbereich abzuschätzen, den eine Verbindung ohne Stahlteile gegenüber einer solchen mit Stahlplatte und Stahlstabdübeln hat. Ein direkter Vergleich dieser Versuche mit den Versuchen von GEHRI ist nicht möglich, da aufgrund der Ausführung als Druckscherprüfkörper mit einer verhältnismäßig dicken Knotenplatte das Kerbverhalten der Knotenplatte für die Tragwirkung keine Rolle spielte. Die Untersuchungen von KOLB und EPPLE reichen daher noch nicht aus, um Kunstharz-Preßholzplatten als für die vorgesehene Anwendung als Knotenplatten uneingeschränkt geeignet zu betrachten. Einerseits muß der Kerbempfindlichkeit dieses Materials offenbar besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden, andererseits muß aufgrund der Stuttgarter Ergebnisse nach Verfahren gesucht werden, die zu einer Tragfähigkeitssteigerung der metallfreien Stabdübel führen.

Aus der vorhandenen Literatur geht hervor, daß sich sowohl Harthölzer als auch durch Tränkung, Pressung oder Tränkung mit anschließender Pressung vergütete Hölzer und Holzwerkstoffe für die Verwendung als Verbindungsmittel besonders eignen. Welche Arten von Verbindungen selbst daraus entwickelt werden können, wird sich erst zeigen, wenn die Werkstoffeigenschaften zuverlässiger bekannt sind. Zwar bietet sich zunächst das Prinzip der Verbindungen mit Knotenplatte und stiftförmigen Verbindungsmitteln als geeignet an, jedoch

sind andere Prinzipien unter Beachtung der von der Herstellung her möglichen geometrischen Formen nichtmetallischer Verbindungsmittel denkbar. Grundsätzlich können zwei Herstellungsformen unterschieden werden:

- 1) Geometrisch begrenzte Formen, die nur unter größerem Aufwand (z.B. mehrfache Verleimung) überschritten werden können. Hierunter fallen die Harthölzer sowie die durch Tränkung, Pressung oder Tränkung und Pressung vergüteten V o l l h ö l z e r. Diese Herstellungsformen sind durch das natürliche Vorkommen und das Auftreten von Wuchsunregelmäßigkeiten und Schwindrissen begrenzt. Hinzu kommt der störende Einfluß der Äste.
- 2) Geometrisch kaum begrenzte Formen, die sich aus durch Tränkung, Pressung oder Tränkung und Pressung vergüteten H o l z w e r k s t o f f e n herstellen lassen. Es handelt sich hierbei in erster Linie um vergütete Buchenfurnierplatten, die nach DIN 7707 Teil 2, Abschnitt 3.1, als Kunstharz-Preßholz (nachfolgend kurz als "KP") bezeichnet werden [16]. KP kann als beliebig dicke Platten in den Längen- und Breitenabmessungen von etwa 100 x 200 cm hergestellt werden und ist als nahezu homogen zu betrachten. Aus einem solchen Halbzeug lassen sich vielfältige Formen von Verbindungsmitteln herstellen.

Da das KP aus den vorgenannten Gründen für holzhaltige Verbindungsmittel als geeigneter erscheint, werden vergütete Vollhölzer zunächst nicht näher hinsichtlich ihrer Materialeigenschaften untersucht. Da für KP nach DIN 7707 Teil 2 die für den Holzbau bedeutenden Eigenschaften noch nicht in genügendem Maße bekannt sind, wurde das Hauptgewicht des 1. Forschungsabschnittes auf die Bestimmung der mechanischen und physikalischen Eigenschaften dieses Kunstharz-Preßholzes gelegt.

3 Kunstharz-Preßholz (KP)

3.1 Allgemeines

KP ist ein Schichtwerkstoff. Es werden derzeit Platten bis zu einer Größe von 2000 x 1000 mm und bis zu einer Dicke von 100 mm hergestellt. Es besteht die Möglichkeit, mehrere Platten aufeinanderzuleimen, um noch dickere Platten zu erhalten. Ausgehend von der Plattenform sind durch weitere Verleimung und anschließende Bearbeitung viele Formgebungen möglich. Von der Vielzahl der Anwendungsformen im Maschinenbau seien genannt: Drückwerkzeuge, Stanzwerkzeuge, Schablonen, Frässhablonen, Rollen, Scheiben, Spulen, Lager, Zahnrücker und Gießmodelle [17].

Wegen des geringen Gewichtes und der hohen Festigkeiten wird KP auch im Flugzeugbau und für den Bau von Transportbehältern verwendet [2]. Auch ein Einsatz in aggressiver Umgebung, z.B. als Überlaufschwelle in Kläranlagen, ist möglich [18].

Die Ausgangsmaterialien von KP sind Rotbuchenfurniere als Harzträger und Kunstharze wie Phenol-, Melamin-, Polyester- und Epoxidharze, die als Füller zur Imprägnierung und Verleimung der Schichten verwendet werden. Ausschlaggebend für die bevorzugte Verwendung von Buchenholz, speziell Rotbuche, ist die gleichmäßige Porenverteilung über den gesamten Stamm. Für den Bereich des Holzbaues sind nur die mit Phenolharzen imprägnierten und verpreßten KP von Bedeutung, da diese die mechanisch hochwertigsten Qualitäten ergeben.

3.2 Herstellungsverfahren, Normtypen und ihre Eigenschaften

Die meist 1,5 bis 2,5 mm, in Sonderfällen bis zu 4 mm dicken Buchenfurniere werden mit einer wässrigen Kunstharzlösung getränkt, aufeinandergeschichtet und mit einem Preßdruck von 20 bis 30 N/mm²

bei Verleimungstemperaturen zwischen 100° und 150 °C verdichtet. Die Dicke des Endproduktes entspricht etwa 1/2 bis 2/3 der Ausgangsdicke im unverdichteten Zustand.

Die Eigenschaften des fertigen Produktes werden von vielen Faktoren beeinflusst. Diese sind in erster Linie

- die Furnierdicke,
- die Furnierrichtung (Schichtaufbau),
- das Kunstharz,
- die Kunstharzlösung,
- der Preßdruck (Verdichtungsstufe),
- die Verleimungstemperatur.

Die Eigenschaften des Endproduktes können durch eine Nachtränkung, z.B. mit Transformatorenöl, noch weiter beeinflusst werden. Dabei werden noch freie Poren ausgefüllt.

Eine systematische Übersicht der vergüteten Hölzer, zu der auch die KP gehören, ist in Bild 1 dargestellt.

In DIN 7707, Teil 2 sind die mechanischen, elektrischen und sonstigen Mindestanforderungen der genormten Typen des KP aufgeführt. Daneben gibt es noch eine große Anzahl nicht genormter KP-Typen und genormter KP-Typen mit besonderen Eigenschaften, die jedoch als Sondertypen nur auf Nachfrage hergestellt werden. Kunstharz-Preßholz nach DIN 7707 Teil 2 besitzt eine Rohdichte von mindestens 0,8 g/cm³. Die wichtigsten mechanischen Eigenschaften der genormten Typen sind als Auszug aus DIN 7707 Teil 2 in Tabelle 1 enthalten.

Die maximale Wasseraufnahme ist typweise verschieden und hängt von der Probendicke ab (siehe Bild 2). Sie wird gegenüber dem Trockenzustand durch eine 24-stündige Wasserlagerung nach DIN 53 495 "Prüfung von Kunststoffen, Bestimmung der Wasseraufnahme nach Lagerung in kaltem Wasser", Verfahren A ermittelt.

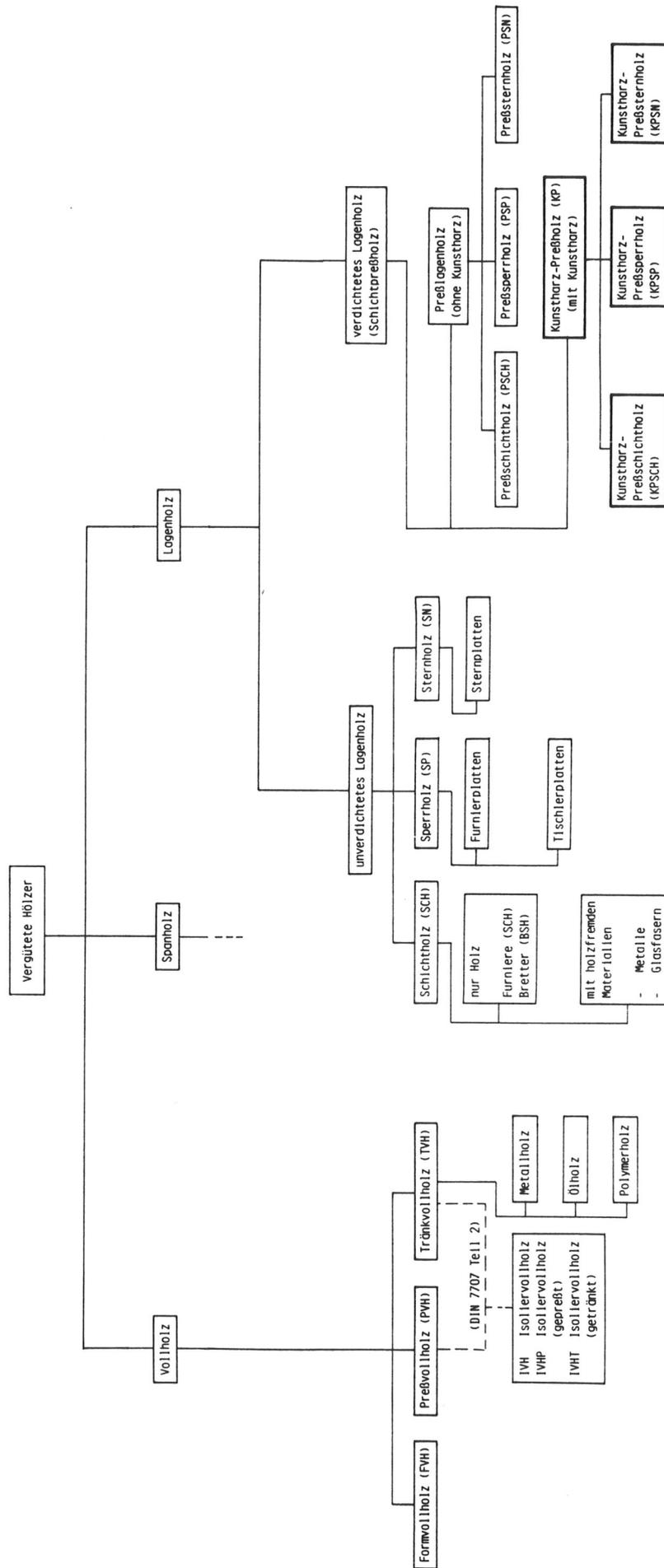


Bild 1: Systematik der vergüteten Hölzer

Tabelle 1: Wichtige mechanische Eigenschaften genormter KP-Typen nach DIN 7707 Teil 2

Typ	Anordnung der Furniere (Faser- richtung)	Rohdichte g/cm ³	Mechanische Eigenschaften ¹⁾						Verhalten beim Druck- versuch senkrecht zu den Schichten	Kugeldruck- härte H/358/60 ³⁾ senkrecht zu den Schichten	Scherfestig- keit in Richtung der Schichten ⁵⁾ (Probe- körper A)	Elastizitäts- modul aus dem Biege- versuch senkrecht zu den Schichten
			Biegefestigkeit ²⁾ senkrecht zu den Schichten	Schlagzähigkeit ²⁾ senkrecht zu den Schichten	Schlagzähigkeit ²⁾ in Richtung der Schichten	Kerbschlag- zähigkeit ²⁾ in Richtung der Schichten	Zugfestigkeit ²⁾ in Längs- richtung (Hauptfaser- richtung)	Druckfestig- keit				
I. Kunstharz-Preßholz												
KP 20211		0,9 bis 1	120	40	30	30	30	110	8	25	7	10 000
KP 20213	parallel	1,1 bis 1,2	160	50	40	40	35	140	9	35	10	13 000
KP 20216		> 1,35	190	55	45	40	40	150	70	—	10	17 000
KP 20217		> 1,35	180	35	30	30	25	120	80	—	20	18 000
KP 20221		0,8 bis 0,9	70	15	10	10	10	60	—	20	5	8 000
KP 20226	kreuzweise	> 1,35	110	40	30	30	25	90	170	80	10	13 000
KP 20227		> 1,35	100	25	20	20	10	60	220	120	15	14 000
KP 20236	sternförmig	> 1,35	110	35	30	30	25	—	170	80	10	—
KP 20237		> 1,35	100	25	20	20	15	—	220	120	15	—
II. Kunstharz-Preßholz für spezielle Anwendung												
KP 20212		0,8 bis 0,9	120	35	30	30	25	100	7	20	7	9 000
KP 20214	parallel	1,2 bis 1,3	180	50	45	40	40	160	10	50	10	15 000
KP 20215		1,2 bis 1,3	170	40	30	30	35	150	24	60	20	16 000
KP 20218		> 1,3	170	40	35	30	30	120	80	120	20	18 000
KP 20222		0,9 bis 1	80	25	20	20	15	60	12	20	7	8 000
KP 20224	kreuzweise	1,2 bis 1,3	110	30	25	20	20	70	18	50	10	9 000
KP 20225		1,2 bis 1,3	100	25	20	20	15	60	40	60	15	13 000
KP 20228		> 1,3	100	15	10	10	10	60	—	120	10	14 000
KP 20242	tangential	0,9 bis 1	100 ⁴⁾	35 ⁴⁾	30 ⁴⁾	30 ⁴⁾	20 ⁴⁾	90 ⁴⁾	15	25	7	10 000
KP 20244		1,2 bis 1,3	140 ⁴⁾	40 ⁴⁾	35 ⁴⁾	35 ⁴⁾	25 ⁴⁾	110 ⁴⁾	24	40	10	13 000
KP 20245		1,2 bis 1,3	130 ⁴⁾	25 ⁴⁾	20 ⁴⁾	20 ⁴⁾	10 ⁴⁾	80 ⁴⁾	45	60	15	14 000
III. Isoler-Vollholz												
IVH (getränkt)	—	0,6 bis 0,8	35	30	—	—	—	30	—	20	—	9 000
IVHP (gepreßt)	—	0,6 bis 1	35	30	—	—	—	30	—	20	—	9 000
		> 1,3	200	50	—	—	—	160	—	80	—	17 000

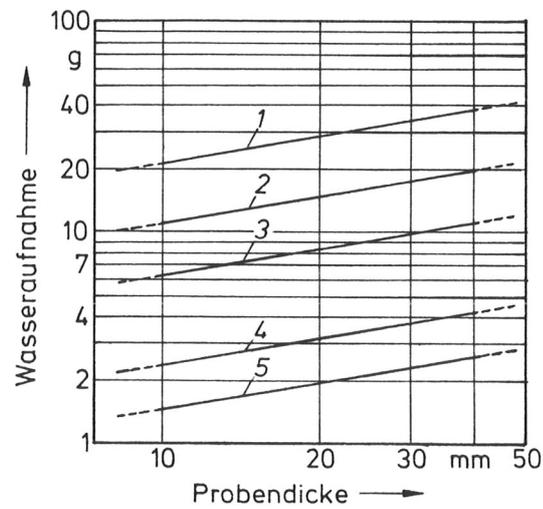
¹⁾ Die angegebenen Werte sind Mindestanforderungen. Unterschreitungen bei den Höchstwerten und Überschreitungen bei den Mindestwerten, also in günstigem Sinne, sind die Regel und in Anbetracht ausreichender Sicherheit auch erwünscht. Erfahrungsgemäß reichen die durch (II) gekennzeichneten Werte für die Abnahmeprüfung aus.

²⁾ In der Außenzone muß die Holzfasern in Längsrichtung des Probekörpers liegen.

³⁾ Frühere Benennung H_{C60}, siehe DIN 53456

⁴⁾ Gilt für tangential und senkrechtsymmetrisch entnommene Probekörper aus Ringen von etwa 1200 mm Durchmesser; für Ringe mit 600 mm Durchmesser sind um 10 % niedrigere Werte, für Ringe mit 2400 mm Durchmesser um 10 % höhere Werte zu erwarten.

⁵⁾ Die Faserrichtung der Deckfurniere verläuft parallel zur Beanspruchungsrichtung.



Zugehörigkeit der Schaulinien zu den Typen

Schaulinie	Typ	Schaulinie	Typ
1	KP 20 211	4	KP 20 216
	KP 20 212		KP 20 226
	KP 20 221		KP 20 236
	KP 20 222	5	KP 20 215
	VH		KP 20 217
2	KP 20 242	KP 20 218	
3		KP 20 225	
		KP 20 227	
		KP 20 228	
		KP 20 237	
		KP 20 245	
		IVHT	
IVHP			

Bild 2: Maximale Wasseraufnahme von genormten KP-Typen nach DIN 7707 Teil 2

3.3 Auswahl von KP-Typen für Versuche

Für die durchzuführenden Versuche mit KP mußte eine Auswahl aus der großen Anzahl der verschiedenen KP-Typen getroffen werden. Folgende Kriterien waren für die Auswahl ausschlaggebend:

a) Anzahl der Versuche pro Eigenschaft und Plattenmaterial

Durch den homogenen Aufbau von KP war eine geringe Streuung der Materialeigenschaften zu erwarten. Daher wurde die Probenzahl pro Eigenschaft und Plattenmaterial auf zehn begrenzt.

b) Finanzieller Rahmen

Versuche mit einer Vielzahl von verschiedenen Plattenmaterialien von unterschiedlichen Herstellern hätten den finanziellen Rahmen der Forschungsarbeit gesprengt. Der Versuchsumfang beschränkte sich daher auf einen möglichst repräsentativen Querschnitt.

c) Schichtaufbau

KP wird auf drei verschiedene Arten geschichtet:

als Kunstharz-Preßschichtholz (KPSCH)

Die Faserrichtungen der einzelnen Furnierschichten verlaufen parallel zueinander. Dabei kann die Faserrichtung von bis zu 15 % der Furniere aus herstellungstechnischen Gründen rechtwinklig zur eigentlichen Faserhaupttrichtung verlaufen.

als Kunstharz-Preßsperrholz (KPSP)

Die Faserrichtungen der benachbarten Furniere sind um jeweils 90° gegeneinander verdreht.

und als Kunstharz-Preßsternholz (KPSN)

Die Faserrichtungen der benachbarten Furniere sind in Winkeln von 15° bis 75° gegeneinander gekreuzt.

Für die weiteren Untersuchungen wurde KPSCHE und KPSP ausgewählt, da sich aus dem unterschiedlichen Aufbau jeweils typische Eigenschaften ergeben (siehe Tabelle 1). KPSEN wurde wegen seiner aufwendigen und teuren Herstellung nicht in dieses Versuchsprogramm aufgenommen.

d) Dicken der Einzelfurniere

Ausgehend von den Dicken der unverdichteten Furniere liegen die verdichteten Furnierdicken zwischen 0,2 mm und 2,0 mm, in Sonderfällen auch bei 3,0 mm.

Um eine eventuell vorhandene Abhängigkeit der Materialeigenschaften von den Furnierdicken feststellen zu können, wurde Plattenmaterial mit drei unterschiedlichen Einzelfurnierdicken für die Versuche vorgesehen.

e) Verschiedene Hersteller

Wegen des vorgegebenen finanziellen Rahmens konnten nicht alle deutschen Hersteller von KP berücksichtigt werden. Ausschließlich herstellungsabhängige Unterschiede konnten daher auch systematisch nicht untersucht werden. Da ein Hersteller bereit war, das Versuchsmaterial kostenlos zur Verfügung zu stellen, war es möglich, insgesamt Material von drei Herstellwerken für die Versuche heranzuziehen.

f) Dicke der KP-Platten

Um Dickenabhängigkeiten der Materialeigenschaften feststellen zu können, wurde Plattenmaterial mit den Dicken 6 mm (8 mm), 12 mm, 20 mm für die Versuche mit Kunstharz-Preßsperrholz (KPSP) vorgesehen. Diese Dicken wurden im Hinblick auf eine mögliche spätere Verwendung als Knotenplatten ausgewählt.

g) Festigkeitseigenschaften des KP nach Herstellerangaben und DIN 7707

Für die Verwendung von Kunstharz-Preßholz als mechanische Verbindungsmittel sind folgende Materialeigenschaften von besonderem Interesse:

Zug- und Druckfestigkeit in Plattenebene, Scherfestigkeiten in Plattenebene und quer dazu, Biegefestigkeiten, Elastizitätsmodul. Die von den Herstellern und in DIN 7707 angegebenen vergleichbaren Materialkennwerte stellen ein weiteres Auswahlkriterium dar.

Aufgrund von Informationen aus der Industrie wurde ermittelt, daß fünf Herstellwerke Kunstharz-Preßholz herstellen, das in etwa den Anforderungen an das Material im Hinblick auf mechanische Verbindungsmittel für den Holzbau entsprechen könnte. Unter den vorgenannten Auswahlkriterien wurden schließlich Materialien von drei dieser Herstellerfirmen ausgewählt. Dabei waren ausschlaggebend die lieferbaren günstigen Abstufungen der Plattendicken und der Einzelfurnierdicken.

Tabelle 2 enthält eine Zusammenstellung des insgesamt bezogenen Versuchsmaterials, insbesondere mit Angaben über die Plattenart (Schichtholz oder Sperrholz), die Plattendicken und -abmessungen, die Furnierdicken der verdichteten Furniere und der gelieferten Mengen. Die Platten erhielten interne Plattenbezeichnungen A bis I. Bild 3 enthält Muster aller neun Plattentypen.

Die Menge des Versuchsmaterials wurde so bemessen, daß über die vorgesehenen Materialprüfungen hinaus genügend Material für spätere, im 2. Forschungsabschnitt vorgesehene Untersuchungen an Holzverbindungen vorhanden ist und auf Lager genommen werden konnte.

Tabelle 2: Das Versuchsmaterial

Firma	Plattenart KP-	Bezeichn. lt. Hersteller	Bezeichn. lt. DIN 7707 Teil 2	Platten- dicke [mm]	Platten- länge u. -breite [mm x mm]	Furnier- dicken (verdichtet) [mm]	Platten- anzahl	Platten- bezeich- nung
I	Sch	8121	KP 20217	12	500 x 1000	0,25 - 0,30	4	A1, A2, A3, A4
	SP	8225	KP 20227	6	500 x 1000	0,25 - 0,30	4	E1, E2 E3, E4
	SP	8225	KP 20227	12	500 x 1000	0,25 - 0,30	4	C1, C2, C3, C4
	SP	8225	KP 20227	20	500 x 1000	0,25 - 0,30	4	F1, F2, F3, F4
II	Sch	HI/2/30	KP 20217	12	500 x 1200	1,5 - 2,0	5	B1, B2, B3, B4, B5
	SP	HI1/2/30	KP 20227	12	600 x 1200	1,5 - 2,0	5	D1, D2, D3, D4, D5
III	SP	-	keine	8	500 x 1000	0,5	1	G1
	SP	-	Angabe	12	500 x 1000	0,5	1	H1
	SP	-		20	500 x 1000	0,5	1	J1

Abkürzungen: Sch - KP-Schichtholz
Sp - KP-Sperrholz

Bild 3: Ausgewählte Plattenarten

3.4 Eigenschaften der ausgewählten KP-Typen nach DIN 7707 Teil 2 sowie Herstellerinformationen

Die mechanischen und physikalischen Materialeigenschaften des ausgewählten Kunstharz-Preßholzmaterials, die von der Herstellerseite und aus der DIN 7707 Teil 2 bekannt sind, sind in Tabelle 3 zusammengestellt.

Dies sind die Rohdichte, die Biegefestigkeiten parallel und rechtwinklig zu den Schichten, die Zugfestigkeiten in Hauptfaserrichtung, die Druckfestigkeiten rechtwinklig zu den Schichten, die Elastizitätsmoduln und die Bearbeitbarkeit.

Die Angaben der Hersteller wurden dem Schrifttum [19, 20, 21] entnommen.

Eine Beurteilung dieser Daten setzt die Beachtung der entsprechenden Prüfnormen voraus. Die Rohdichteangaben nach DIN 7707 Teil 2 beziehen sich auf die Prüfung nach DIN 53 420 "Prüfung von Schaumstoffen, Bestimmung der Rohdichte", während die Hersteller sich auf DIN 53 479 "Prüfung von Kunststoffen, Bestimmung der Rohdichte" beziehen. Die Biegefestigkeiten stellen Werte dar, die nach DIN 53 452 "Prüfung von Kunststoffen, Biegeversuch" bestimmt werden, während die Zugfestigkeit in Hauptfaserrichtung nach DIN 53 455 "Prüfung von Kunststoffen, Zugversuch" und die Druckfestigkeit rechtwinklig zu den Schichten nach DIN 53 454 "Prüfung von Kunststoffen, Druckversuch" geprüft werden. Die Angaben über die Elastizitätsmoduln entsprechen der Prüfung nach DIN 53 457 "Prüfung von Kunststoffen, Bestimmung des Elastizitätsmoduls im Zug-, Druck- und Biegeversuch".

Tabelle 3: Anforderungen nach DIN 7707, Teil 2 an die Kunstharz-Preßhölzer und deren Eigenschaften nach Herstellerangaben

Eigenschaften	KP-Schichtholz, Typ KP 20217		KP-Sperrholz Typ KP 20227		KP-Sperrholz Angaben Hersteller III
	Anforderungen DIN 7707, T2	Angaben der Herst. Herst. I Herst. II	Anforderungen DIN 7707, T2	Angaben der Herst. Herst. I Herst. II	
Rohdichte [g/cm ³]	1,35	1,37 1,40	1,35	1,36 1,40	1,25 - 1,35
Biegefestigkeit \perp ¹⁾ [N/mm ²] ²⁾	180	290 -	100	170 -	200 - 260
	180	260 270	100	160 160	
Zugfestigkeit [N/mm ²] (in Haupt- faserrichtung)	120	210 190	60	130 65	-
Druckfestigkeit [N/mm ²] rechtwink- lig zu den Schichten	80	170 220	220	320 310	-
Elastizitätsmodul \perp ¹⁾ [N/mm ²] (in Haupt- faserrichtung) ²⁾	18000	24000 27500	14000	18000 17500	15000
	-	23000 -	-	19000 -	
Bearbeitbarkeit	Sägen, Bohren, Drehen, Fräsen, Hobeln, Gewindeschneiden, Schleifen, Polieren, Leimen				

¹⁾ \perp = rechtwinklig zu den Schichten (Platte); ²⁾ || = parallel zu den Schichten (Scheibe);

4 Versuche

4.1 Allgemeines

4.1.1 Versuchsprogramm

Das Versuchsprogramm war so aufzubauen, daß mit den zu prüfenden KP-Platten nach Abschnitt 3.3 bzw. Tabelle 2 die für mechanische Verbindungsmittel im Holzbau wichtigen Eigenschaften festgestellt werden können. Dies sind im einzelnen:

Druckfestigkeit rechtwinklig zur Plattenebene,
Druckfestigkeit in Plattenebene,
Zugfestigkeit,
Biegefestigkeit,
Scherfestigkeit rechtwinklig zur Plattenebene,
Lochleibungsfestigkeit,
Biege-Elastizitätsmodul,
Rohdichte,
Quell- und Schwindmaße
Verleimbarkeit,
Bearbeitbarkeit.

Diese Eigenschaften wurden weitgehend in Anlehnung an die Prüfnormen für Kunstharz-Preßholz und Isolier-Vollholz sowie für Kunststoffe und Vollholz ermittelt.

Die Eigenschaften von Kunstharz-Preßschichtholz (KPSCH) in Faser-richtung der Deckfurniere, d.h. in Hauptfurnierfaserrichtung und rechtwinklig dazu sind wegen der Schichtenfolge unterschiedlich (siehe Abschnitt 3.3). Daher erfolgten die Untersuchungen der Materialeigenschaften von KPSCH in beiden Hauptrichtungen.

Die Eigenschaften von Kunstharz-Preßsperrholz (KPSP) in Faserrichtung der Deckfurniere und rechtwinklig dazu sind wegen der großen Anzahl der Furnierlagen nahezu gleich (siehe Abschnitt 3.3). Daher konnten die Prüfungen der Materialeigenschaften von KPSP auf diejenigen in Faserrichtung der Deckfurniere beschränkt bleiben.

Für jede der zu ermittelnden Eigenschaften und Anisotropierichtungen wurden in der Regel 10 Versuche vorgesehen. Eine Übersicht über das gesamte Versuchsprogramm enthält Tabelle 4.

4.1.2 Versuchsdurchführung

Art und Anzahl der Versuche sind in Tabelle 5 zusammengestellt. In Einzelfällen mußte die Anzahl der Versuche reduziert werden, da der Umfang des vorhandenen Versuchsmaterials begrenzt war.

Die Versuchskörper waren zum Zeitpunkt der Prüfung normalklimatisiert, soweit keine anderen Prüfbedingungen gefordert waren. Außer den Querdruckversuchen wurden alle der Ermittlung der mechanischen Eigenschaften dienenden Versuche mit einer weggesteuerten Zug-/Druck-Prüfmaschine (maximale Last = 10 kN) durchgeführt. Nur die Querdruckversuche wurden mit einer kraftgesteuerten Zug/Druck-Prüfmaschine mit einer Höchstlast von 60 kN durchgeführt.

Die Belastungsgeschwindigkeiten lagen zwischen 0,5 mm/min und 1,0 mm/min. Die Belastungsgeschwindigkeiten wurden jeweils so gewählt, daß der Bruch in 1 bis 2 Minuten eintrat.

Tabelle 4: Versuchsprogramm zur Bestimmung der Materialeigenschaften

Eigenschaft	Kurz- bez.	Versuch nach Norm	Versuch ähnlich Norm	Versuchskörper und Versuchsaufbau siehe Bild	Bemerkungen
Druckfestigkeit ⊥ Plattenebene	D _Q	-	DIN 53454	11	Grundfläche eines Versuchskörpers aus her- stellungstechnischen Gründen 20 x 20 mm
Druckfestigkeit Plattenebene	D	DIN 53454	-	12	Versuchskörper nach DIN 53454, Abschnitt 4.1.2
Druckfestigkeit feuchter Proben	D'	DIN 53454	-	10,12	Die Druckproben werden 14 Tage in Wasser (Raumtemperatur) gelagert
Zugfestigkeit	Z	DIN 53455	-	13	Versuchskörper nach DIN 53455, Bild 3, Typ 3
Biegefestigkeit	B ¹⁾	DIN 53452	-	14	Wird an Biegefestigkeitsversuchskörper mit induktivem Wegaufnehmer WZ bestimmt
Biege-Elastizitäts- Modul aus Biegeversuch	E _B ¹⁾	DIN 53457 E	-	14	
Biege-Elastizitäts- Modul aus Grindo-Sonic	E _{dyn} ¹⁾	-	-	14	
Scherfestigkeit	S	-	DIN 7707, T1	16,17	Versuchskörper ähnlich DIN 7707, T 1, Bild 2, Vorversuche mit Scherflächen 1:1, 1:2, 1:3, Hauptversuche mit Scherfläche 1:2 ergibt kleinste Scherfestigkeit
Lochleibungs- festigkeit	L...	-	-	20	Lochleibungsfestigkeit an vereinfachten Versuchskörpern, theoretischer Vergleich mit realen Versuchskörpern
Rohdichte	ρ	-	DIN 52182 DIN 53420	23	Die Rohdichte aus Schwindproben
Quellen	Q	-	-	23	Quellen von KP an Versuchskörpern 20 mm x 20 mm x Plattendicke
Schwinden	T	-	-	23	Schwinden von KP an Versuchskörpern 20 mm x 20 mm x Plattendicke
Verleimbarkeit	V	-	-	24	Exemplarische Prüfung der Verleimbarkeit
Bearbeitbarkeit	-	-	-	-	

1) Biegefestigkeit bzw. Biege-Elastizitätsmodul als Platte und als Scheibe

Tabelle 5: Anzahl der Versuche pro Eigenschaft

Plattenart	Druckfestigkeit I Schichten		Druckfestigkeit II Schichten	Druckfestigkeit feucht	Zugfestigkeit	Biegefestigkeit Platte	Biegefestigkeit Scheibe	E _p Biege-E- Modul-Platte	E _s Biege-E- Modul-Scheibe	S Scherfestigkeit	L ₆ Lochleibungs- festigkeit Ø 6 mm	L ₁₂ Lochleibungs- festigkeit Ø 12 mm	L ₂₀ Lochleibungs- festigkeit Ø 20 mm	Q Quellen	T Schwinden	V Verleimbarkeit	ρ Rohdichte
	D _Q	D															
AII		10	10	-	10	9	10	10	10	10	10	10	-	4	4	9	10
ALI	10	10	10	-	10	10	10	10	10	8	10	10	-			-	
BII		10	10	-	7	10	10	10	10	10	10	10	-	4	4	-	10
BI	10	10	10	-	9	10	10	10	10	9	10	10	-			-	
C	10	10	10	8	10	10	10	10	10	10	10	10	-	4	4	-	10
D	8	10	10	8	8	10	10	10	10	8	10	10	-	4	4	-	10
E	-	10	10	-	10	10	10	10	10	10	10	10	-	-	-	-	10
F	5	10	10	-	10	10	10	10	10	10	10	10	10	-	-	-	10
G	-	10	10	-	10	9	10	9	10	10	10	10	-	-	-	-	10
H	10	10	10	-	10	10	10	10	10	10	10	10	-	4	4	-	10
J	4	8	8	-	4	8	8	8	8	8	8	8	8	-	-	-	10

4.1.3 Bezeichnung der Versuchskörper und Schnittpläne

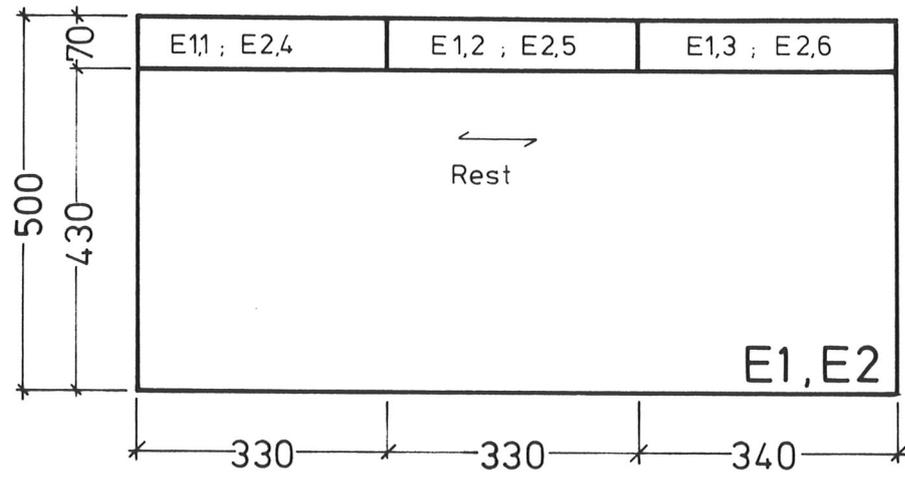
Die Bezeichnung der einzelnen Versuchskörper enthielt jeweils Kurzzeichen für die Eigenschaft (nach Tabelle 4), die Plattenart und -nummer (nach Bild 3 bzw. Tabelle 2) sowie die Probennummer:

zu prüfende Eigenschaft	-	Platten- art (Hersteller)	,	Platten- nummer	,	Proben- nummer
----------------------------	---	---------------------------------	---	--------------------	---	-------------------

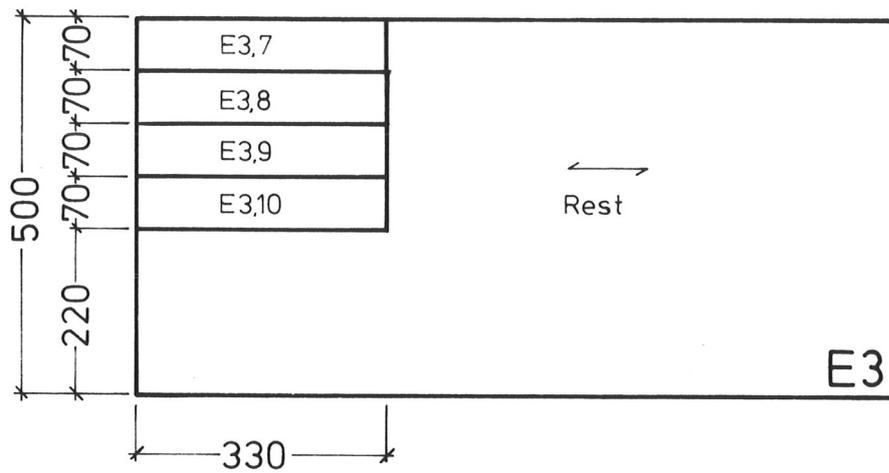
z.B. D-B 5,10, d.h. Druckprobe Nr. 10 aus Platte 5 der Plattenart B.

Da aus dem KPSCHE die Materialeigenschaften parallel und rechtwinklig zur Faserrichtung der Deckfurniere ermittelt wurden, erhielten die Proben zusätzlich die Kennzeichnung "||" und "⊥".

Die Bilder 4 bis 6 enthalten die Grobaufteilung der Versuchsplatten. Das nicht benötigte Material wurde für spätere Versuche im Labor gelagert. Für die verschiedenen Plattendicken wurden die Einzelproben entsprechend den Schnittplänen Bild 7 bis 10 aus den Teilabschnitten der Platten entsprechend den Grob-Schnittplänen entnommen.



← Faserrichtung der Deckfurniere



Alle Maße in mm

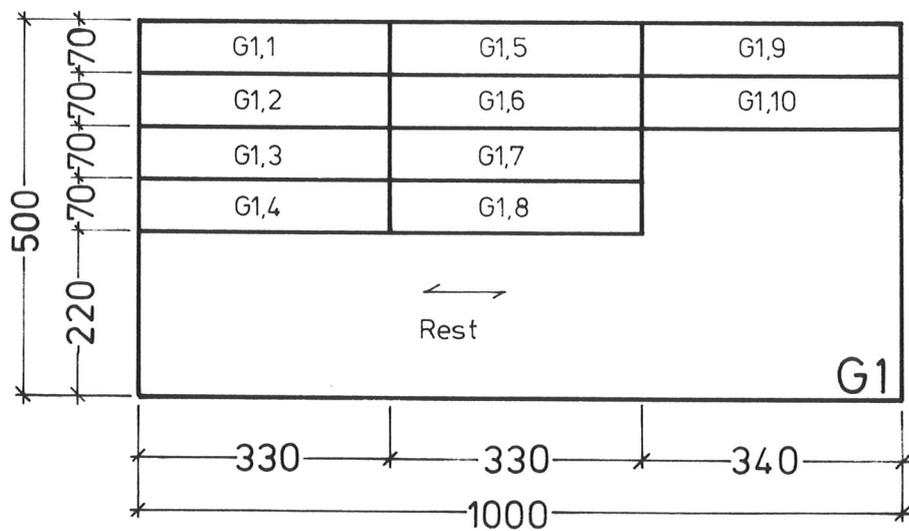
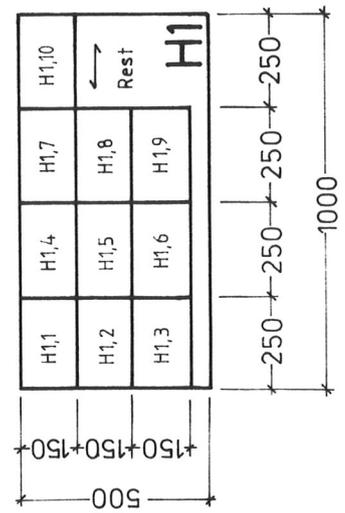
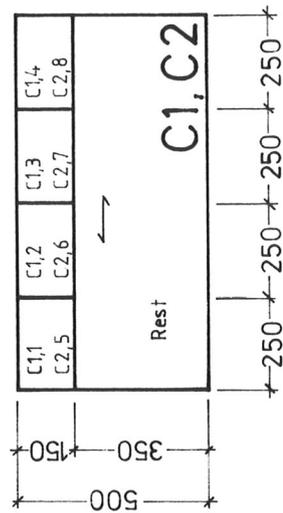
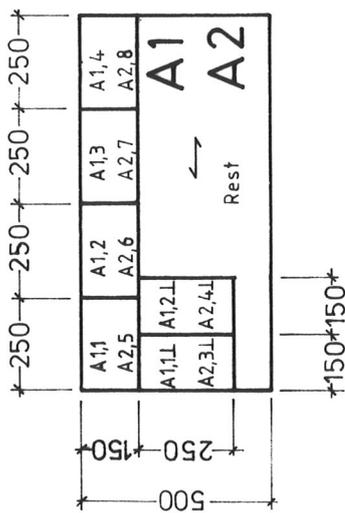
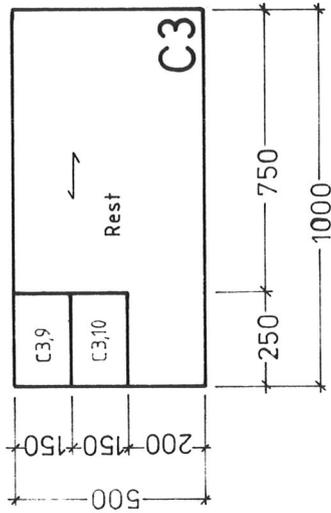
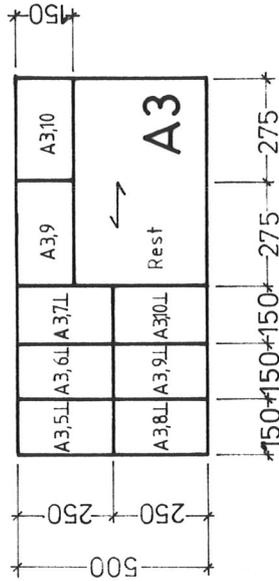
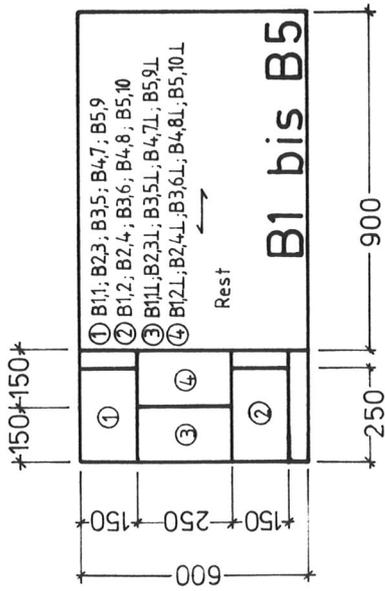
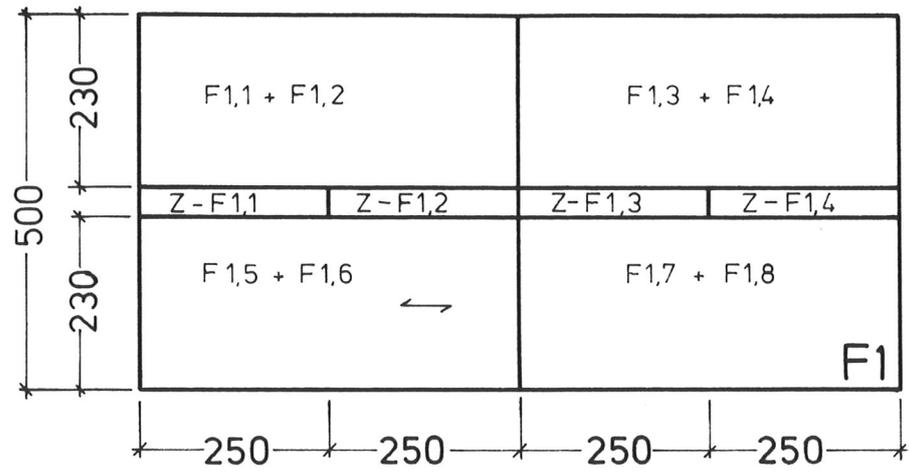


Bild 4: Grobschnittpläne für die Platten E1, E2, E3 (Plattendicke 6 mm) und G1 (Plattendicke 8 mm)

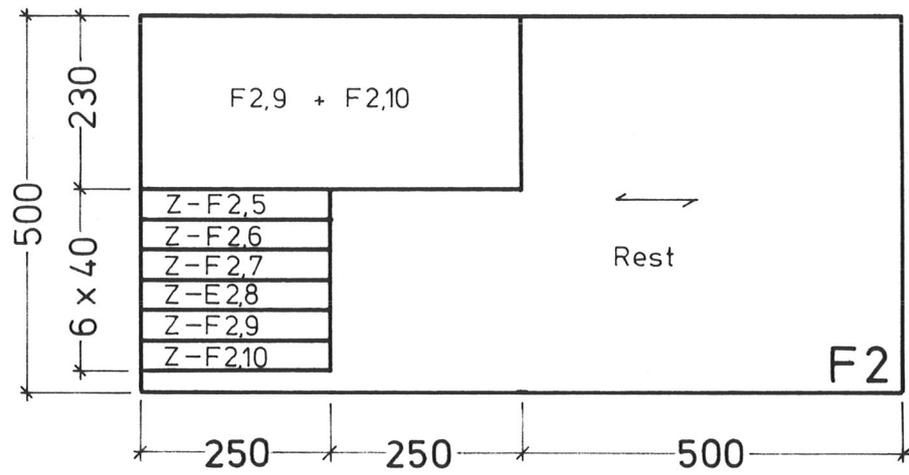


↔ Faserrichtung der Deckfurniere
 Alle Maße in mm

Bild 5: Grobschnittpläne für die Platten A1, A2, A3, B1, B2, B3, B4, B5, C1, C2, C3, D1, D3, D4, H1 (Plattendicke 12 mm)



↖ Faserrichtung der Deckfurniere



Alle Maße in mm

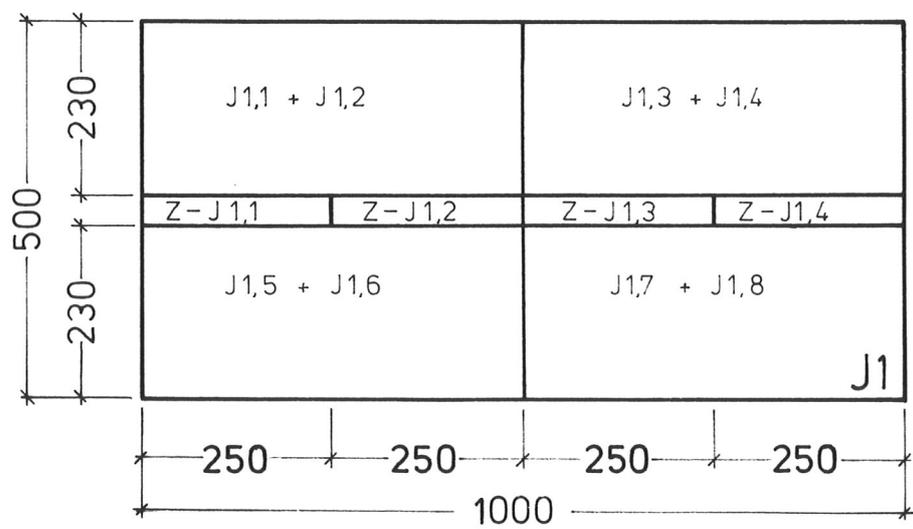
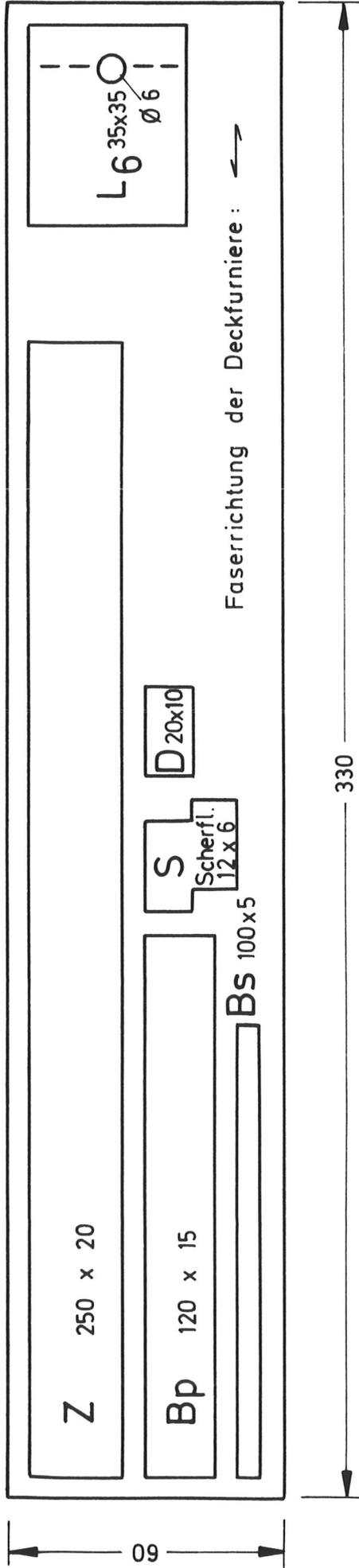


Bild 6: Grobschnittpläne für die Platten F1, F2, J1 (Plattendicke 20 mm)

Platten E



Alle Maße in mm

Platten G

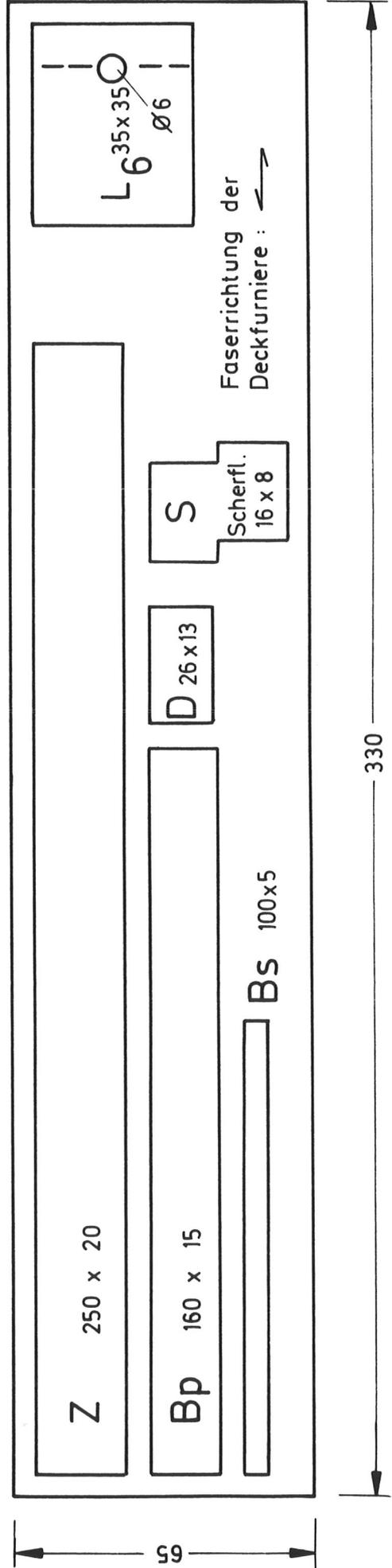


Bild 7: Detailschnittplan für die 6 mm dicken Teilabschnitte der Platten E und die 8 mm dicken Teilabschnitte der Platten G

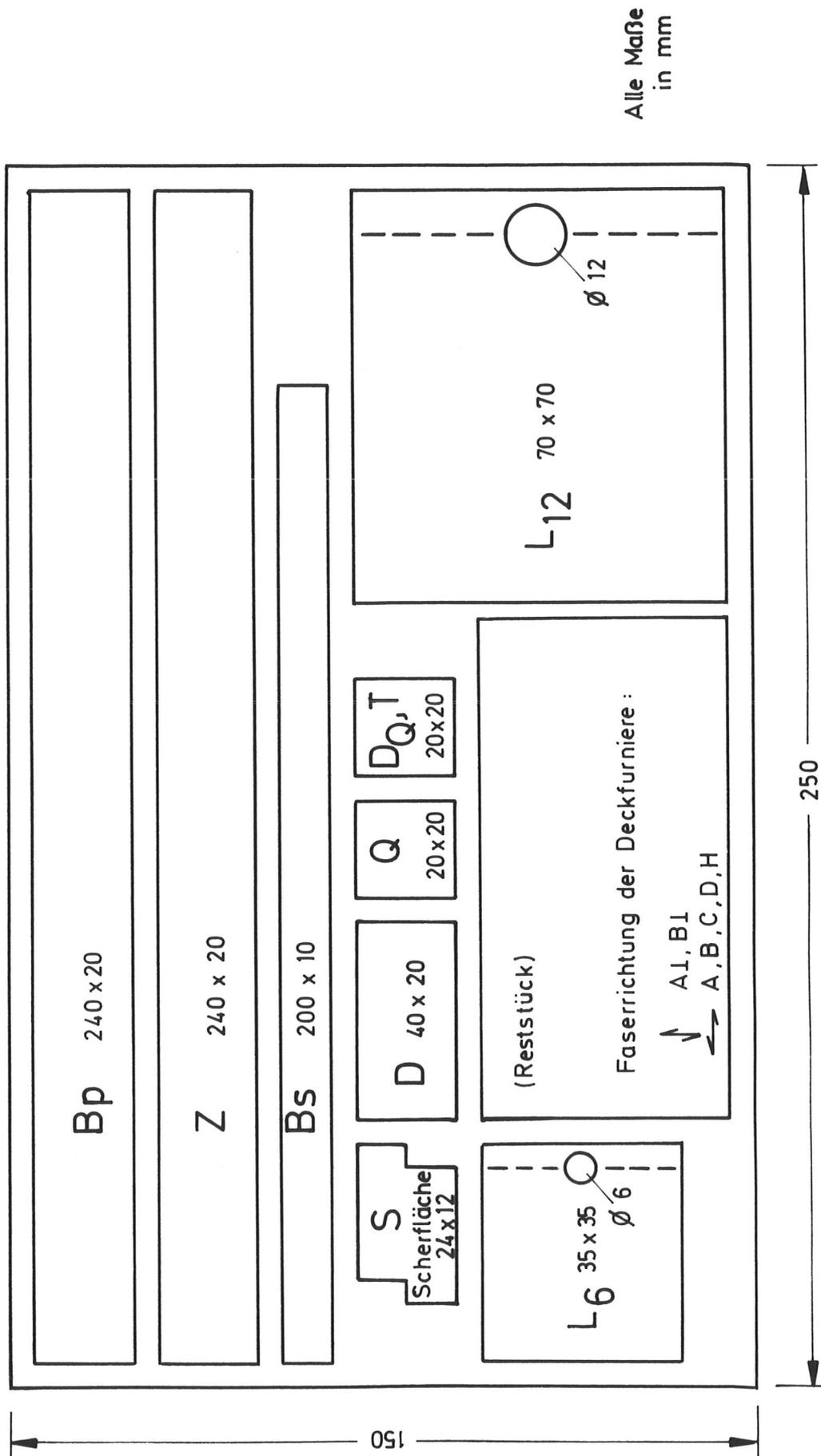


Bild 8: Detailschnittplan für die 12 mm dicken Teilabschnitte der Platten A, B, C, D und H

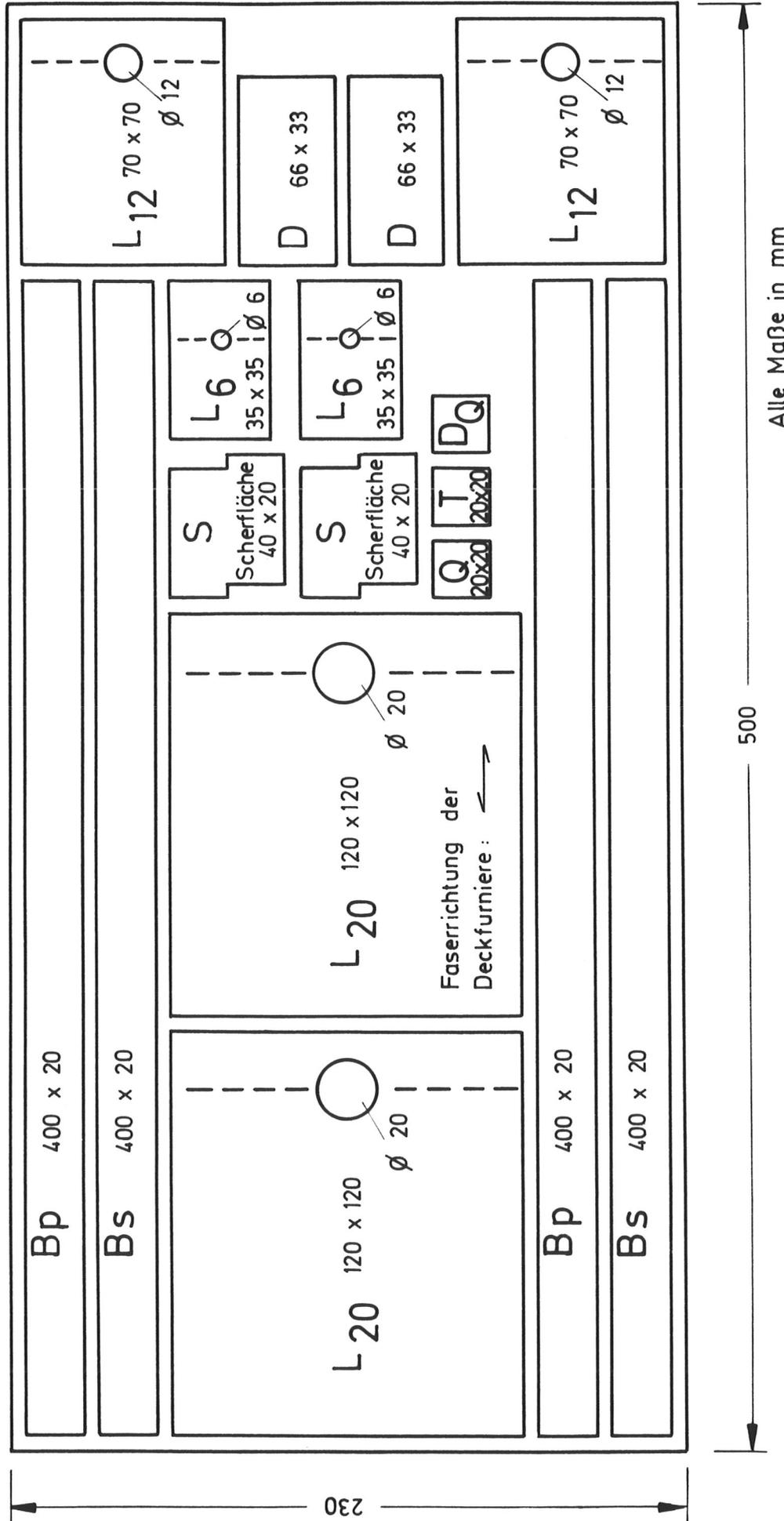
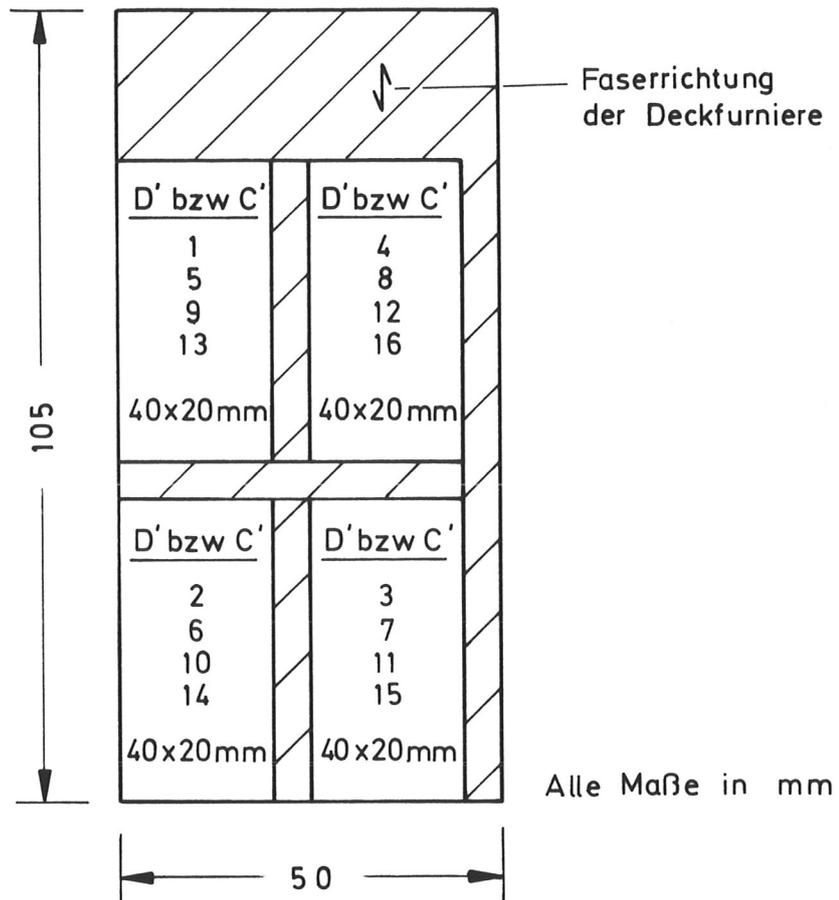


Bild 9: Detailschnittplan für die 20 mm dicken Teilabschnitte der Platten F und J



Plattenreststück	Versuchskörper
D 3,3 R	D' 1 bis D' 4
D 3,4 R	D' 5 bis D' 8
D 3,5 R	D' 9 bis D' 12
D 3,6 R	D' 13 bis D' 16
C 1,1 R	C' 1 bis C' 4
C 1,2 R	C' 5 bis C' 8
C 1,3 R	C' 9 bis C' 12
C 1,4 R	C' 13 bis C' 16

Bild 10: Detailschnittplan für die vergleichenden Druckversuche Normalklima/Wasserlagerung mit den Plattenarten D und C (Plattendicke 12 mm)

4.2 Ermittlung der mechanischen Eigenschaften

4.2.1 Druckfestigkeit rechtwinklig zu den Schichten (Querdruckfestigkeit)

Die Druckfestigkeit rechtwinklig zu den Schichten wurde in Anlehnung an die Prüfnorm für Kunststoffe "DIN 53 454" ermittelt. Dabei wurde die Grundfläche aus herstellungs- und prüftechnischen Gründen zu 20 x 20 mm gewählt.

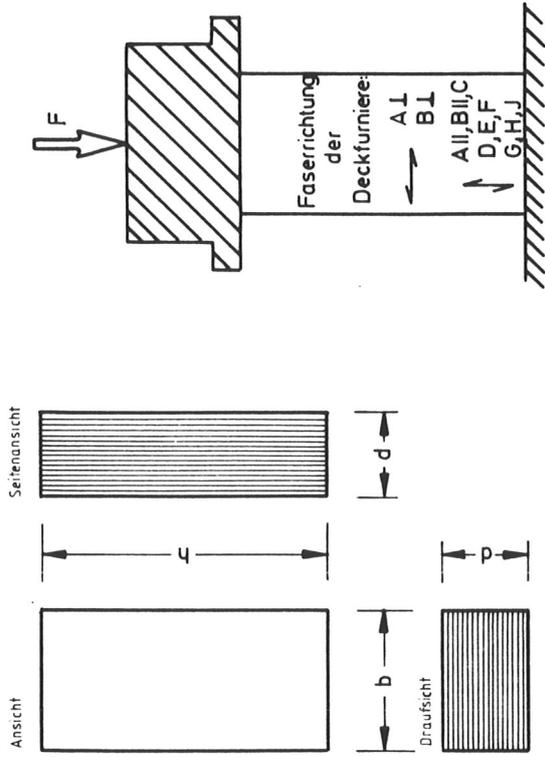
Die Versuchskörperabmessungen und der Versuchsaufbau sind in Bild 11 dargestellt.

Werte für die Druckfestigkeit rechtwinklig zu den Schichten waren bereits aus den Herstellerangaben und der DIN 7077 Teil 2 bekannt (siehe Tabelle 1). Zur Überprüfung dieser Werte wurden Querdruckversuche mit Versuchskörpern aus den Plattenarten A, B, C, D und H (Plattendicke 12 mm) sowie einige Einzelversuche aus den Plattenarten F und J (20 mm dick) durchgeführt. Dabei wurden ohne weitere Verformungsmessungen nur die Bruchlasten ermittelt. Die Ergebnisse sind in Anlage 1 und Anlage 2 dargestellt.

Als Bruchformen der Querdruckproben waren in den meisten Fällen Druckkegel erkennbar. Teilweise wurde das Material auch völlig zerstört. Typische Bruchbilder sind in Anlage 3 dargestellt.

4.2.2 Druckfestigkeit parallel zu den Schichten (in Plattenebene)

Die Druckfestigkeit parallel zu den Schichten (in Plattenebene) wurde nach der Kunststoffprüfnorm DIN 53 454, Abschnitt 4.1.2 - Versuchskörper als rechtwinklige Prismen mit rechteckigen Grundflächen - ermittelt. Bei den Kunstharz-Preßschichtholzplatten (Plattenart A und B) wurden diese Druckfestigkeiten in beiden Anisotropiehauptrichtungen bestimmt, d.h. parallel und rechtwinklig zur Faserrichtung der Deckfurniere. Die Versuchskörperabmessungen und der Versuchsaufbau sind in Bild 12 dargestellt.



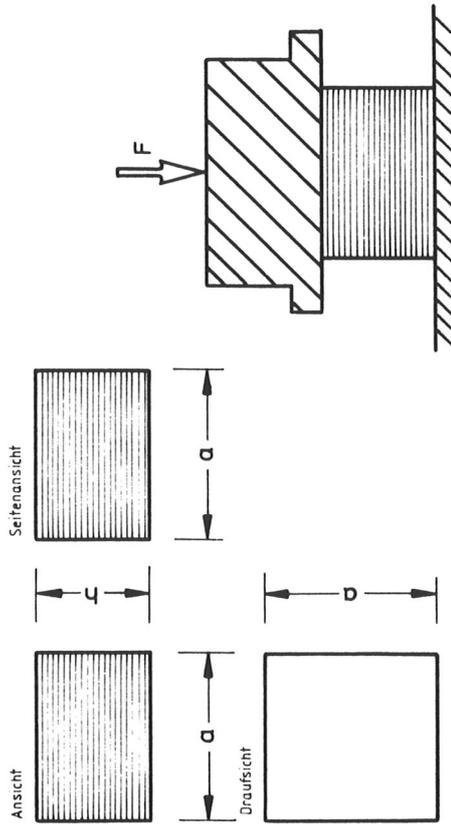
Versuchsaufbau

Versuchskörper

Tabelle: Druckversuchskörper

Plattenart	E	G	AII, AI BII, BII		F J
Plattendicke [mm]	6	8	12	12	20
Versuchskörperabmessungen	b [mm]	10	20	20	33
	d [mm]	6	8	12	20
	h [mm]	20	26	40	66

Bild 12: Versuchskörper und Versuchsaufbau zur Bestimmung der Druckfestigkeit parallel zu den Schichten (in Plattenebene)



Versuchsaufbau

Versuchskörper

Tabelle: Querdruckversuchskörper

Plattenart	A B C D H		F J	
	Kantenlänge a [mm]	20		20
Höhe (=Plattendicke) h [mm]	12		20	

Bild 11: Versuchskörper und Versuchsaufbau zur Bestimmung der Druckfestigkeit rechtwinklig zu den Schichten (Querdruckfestigkeit)

Die Druckfestigkeit parallel zu den Schichten wurde für alle Plattenarten ermittelt. Dabei wurde nur die Bruchlast gemessen. Die Ergebnisse sind in der Anlage 4 und Anlage 6 zusammengestellt.

An einigen Versuchskörpern wurde auch der Feuchtegehalt zum Zeitpunkt der Prüfung ermittelt. Die Ergebnisse sind in Anlage 5 angegeben. Typische Bruchbilder sind in Anlage 7 dargestellt.

4.2.3 Feuchtigkeitseinfluß auf die Druckfestigkeit

Von den Plattenarten C und D wurden nach DIN 53 454, Abschnitt 4.1.2 Versuchskörper hergestellt (siehe auch 4.2.2). Eine Hälfte dieser Versuchskörper wurde zwei Wochen lang in Wasser mit Raumtemperatur gelagert, die andere Hälfte wurde während dieser Zeit im Normalklima 20/65 DIN 50 014 klimatisiert. Alle Proben wurden anschließend zum gleichen Zeitpunkt geprüft. Dabei wurden auch die jeweiligen Feuchten bestimmt. Die Ergebnisse der Prüfungen sind in der Anlage 8 und Anlage 9 zusammengestellt.

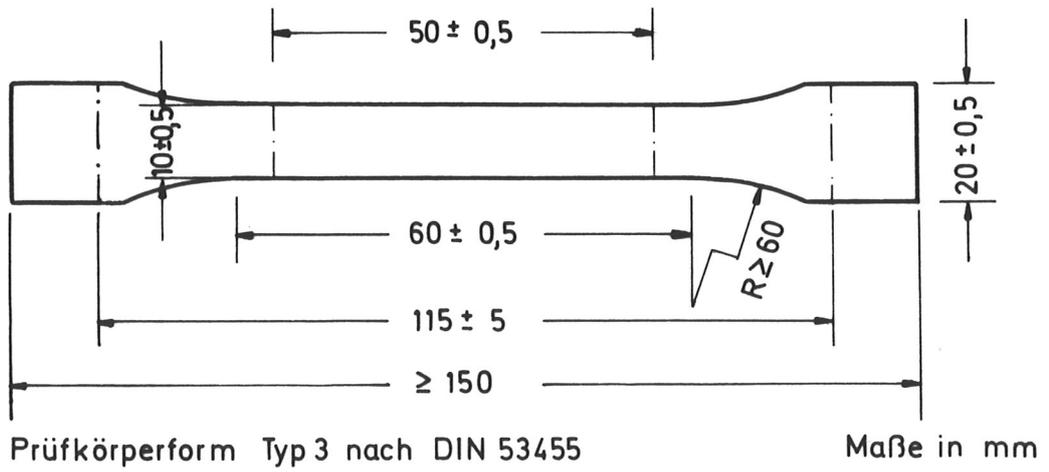
4.2.4 Zugfestigkeit

Die Zugfestigkeit (in Plattenebene) wurde in Übereinstimmung mit der Kunststoffprüfnorm DIN 53 455 ermittelt.

Als Prüfkörperform wurde der Typ 3 aus Bild 3 der DIN 53 455 gewählt.

Für die Kunstharz-Preßschichtholzplatten (Typ A und B) wurde die Zugfestigkeit in beiden Anisotropiehauptrichtungen ermittelt. Die Versuchskörperabmessungen und der Versuchsaufbau sind in Bild 13 dargestellt.

Die Ergebnisse sind in Anlage 10 und Anlage 11 zusammengestellt. In einigen Fällen trat der Zugbruch nicht im Prüfbereich, sondern im Übergangsbereich zum Einspannende auf. Diese Proben wurden nicht in die Auswertung übernommen.



Ansicht

Seitenansicht

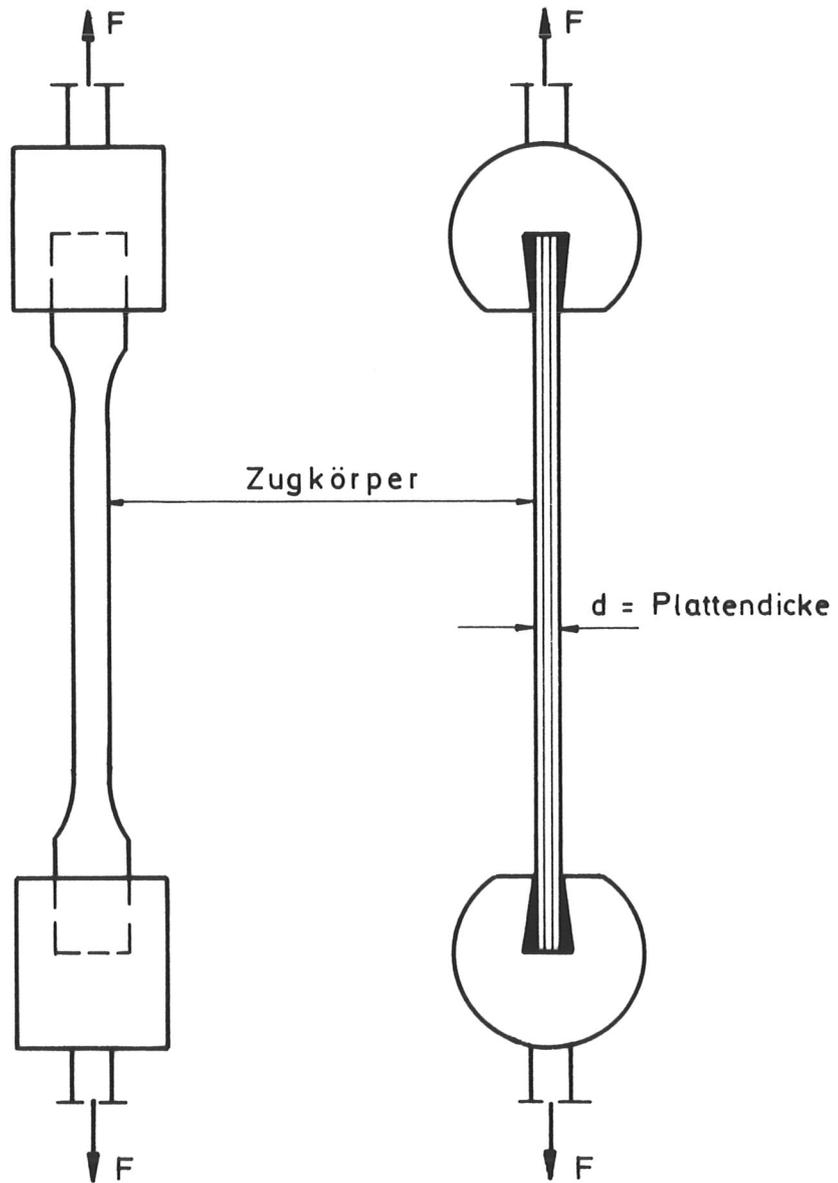


Bild 13: Versuchskörper und Versuchsaufbau zur Bestimmung der Zugfestigkeit

Da in die Prüfmaschine nur Zugproben bis 12 mm Dicke eingespannt werden konnten, mußten die 20 mm dicken Prüfkörper der Plattenarten F und J im Einspannbereich entsprechend abgearbeitet werden. Diese Maßnahmen hatten keinen negativen Einfluß auf das Bruchverhalten der Proben.

Typische Bruchbilder sind in Anlage 12 dargestellt.

4.2.5 Biegefestigkeit und Biege-Elastizitätsmodul

Die Biegefestigkeit wurde in Übereinstimmung mit der Kunststoffprüfnorm DIN 53 452 ermittelt.

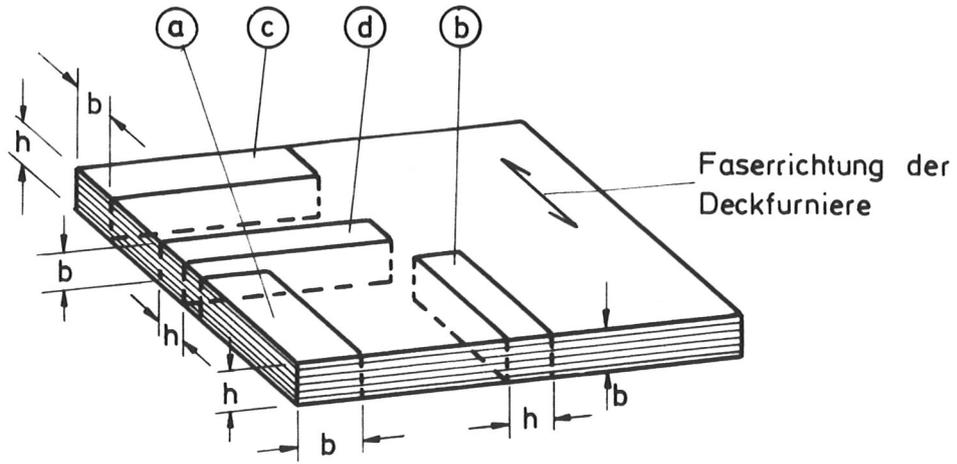
Die Biegefestigkeit für KPSCH (Plattenarten A und B) wurde mit den Versuchskörpertypen a, b, c und d, die Biegefestigkeit für KPSP nur mit den Versuchskörpertypen a und b in Drei-Punkt-Biegeversuchen ermittelt (siehe Bild 14).

Alle Versuchskörperabmessungen und der Versuchsaufbau sind in Bild 14 dargestellt.

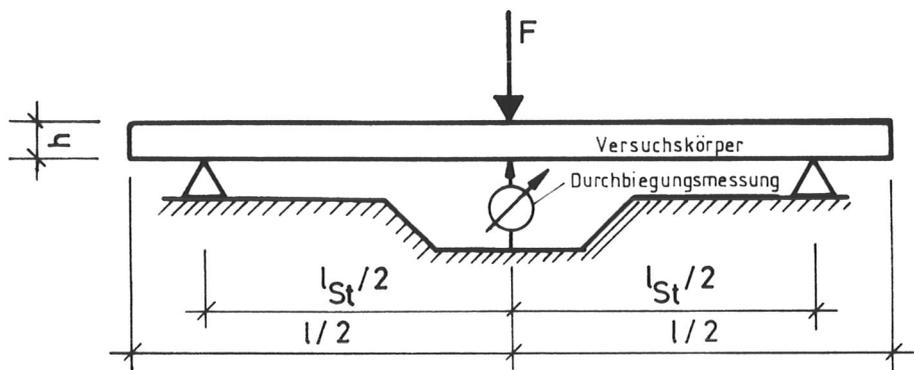
Der Biege-Elastizitätsmodul wurde an den Biegeproben auf zwei unterschiedliche Methoden ermittelt.

Ein zerstörungsfreies Meßverfahren, das von GÖRLACHER (1984) beschrieben wurde, beruht auf der Messung der Frequenz der Eigenschwingungen der Prüfkörper.

Der Versuchsaufbau entspricht dem Bild 15. Länge, Höhe, Breite und Masse des Prüfkörpers werden zunächst bestimmt. Die Messung der Eigenschwingung des Versuchskörpers erfolgt an den in Bild 15 gekennzeichneten Stellen mit einem Taster.



Lage der Versuchskörper in der Platte



Versuchsaufbau

Tabelle : Biegeversuchskörper

Plattenart	E		G		A II B II C D H	A ⊥ B ⊥	A II B II C D H	A ⊥ B ⊥	F J	
	B _p	B _s	B _p	B _s	B _p	B _s	B _p	B _s	B _p	B _s
Plattendicke [mm]	6		8		12				20	
Versuchs- körperab- messungen	l [mm]	120	100	160	100	240	200	400	400	
	l _{St} [mm]	100	80	130	80	190	160	320	320	
	h [mm]	6	5	8	5	12	10	20	20	
	b [mm]	15	6	15	8	20	12	20	20	
Lage der Versuchskörper in der Platte	(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(c)	(b)	(d)	(a)	(b)

Bild 14: Versuchskörper, Versuchskörperabmessungen und Versuchsaufbau zur Bestimmung der Biegefestigkeiten und der Biege-Elastizitätsmoduln

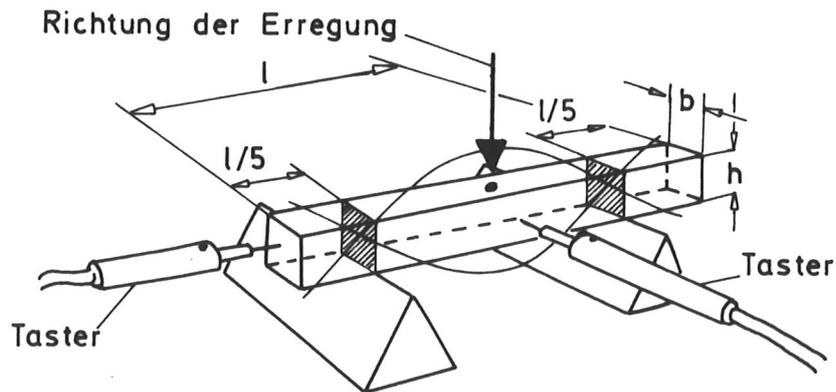


Bild 15: Versuchsaufbau zur Messung der Frequenz der Eigenschwingung eines Rechteckstabes mit zwei möglichen Anordnungen des Tasters.

Mit einem Meßgerät der Bauart Grindo-Sonic wird die Eigenschwingung des angeregten Versuchskörpers bestimmt. Der dynamische Biege-Elastizitätsmodul wird mit den Abmessungen und der Masse des Prüflings sowie dieser Eigenschwingung berechnet. Dieser dynamische Biege-Elastizitätsmodul liegt nach Untersuchungen von GÖRLACHER im Mittel um etwa 9 % über dem statischen Biege-Elastizitätsmodul aus dem Biegeversuch.

Nach dieser Prüfmethode wurden zunächst die Biege-Elastizitätsmoduln aller Biegeproben ermittelt. Anschließend wurde der Biege-Elastizitätsmodul noch nach dem Entwurf zu DIN 53 457, Abschnitt 2.3.1 im Drei-Punkt-Biegeversuch bestimmt. Die Durchbiegungen wurden in Feldmitte mit einem induktiven Wegaufnehmer W2 gemessen.

Die Einzelwerte der Biegefestigkeiten, ihre graphische Darstellung sowie einige typische Biegebruchbilder sind in den Anlagen 13 bis 17 wiedergegeben.

Die Einzeldaten der Biege-Elastizitätsmoduln und ihre graphische Darstellung enthalten die Anlagen 18 bis 23.

4.2.6 Scherfestigkeit rechtwinklig zu den Leimfugen

Die Scherfestigkeit wurde in Anlehnung an die Kunstharz-Preßholzprüfnorm DIN 7707, Teil 1 ermittelt.

Da die Herstellung der Blockscherkörper mit den Abmessungen nach Bild 2 der DIN 7707, Teil 1 mit einem relativ großen Herstellungsaufwand verbunden ist, wurden die Prüfkörperabmessungen (Scherflächen) neu gewählt. In Vorversuchen wurden drei verschiedene Möglichkeiten entsprechend Bild 16 getestet:

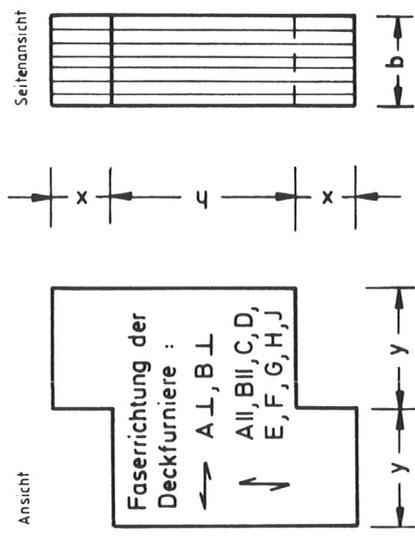
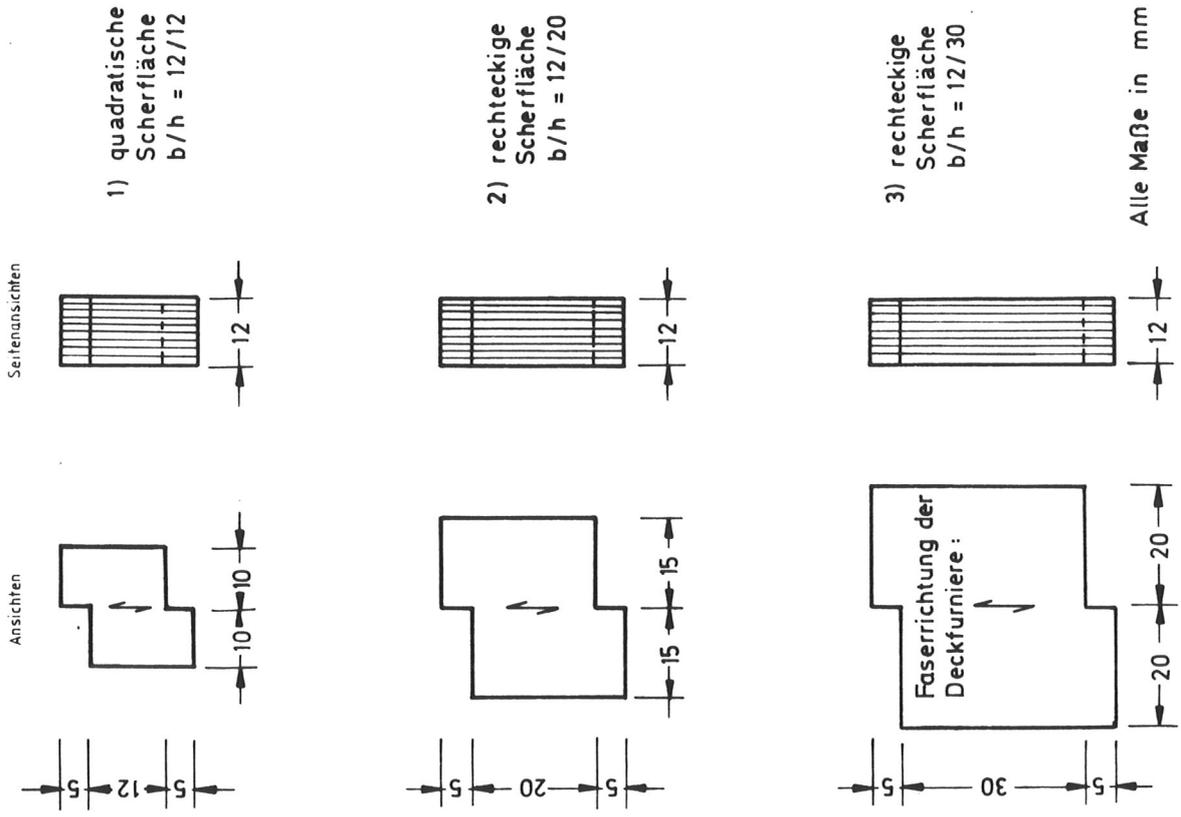
- 1) quadratische Scherfläche
(Seitenverhältnis $b/h = 12/12$ cm)
- 2) rechteckige Scherfläche
(Seitenverhältnis $b/h = 12/20$ cm)
- 3) rechteckige Scherfläche
(Seitenverhältnis $b/h = 12/30$ cm)

Die Seitenlänge b entsprach in allen drei Fällen der Plattendicke d .

Aus dem Versuchskörper mit dem Seitenverhältnis $b/h = 12/20$ ergaben sich die kleinsten Scherfestigkeiten. Die Scherfestigkeiten wurden in den anschließenden Hauptversuchen an Versuchskörpern mit einem Scherflächenseitenverhältnis von $b/h = 1/2$ ermittelt (Bild 17).

Für die KPSCH-Platten (Plattenart A und B) wurde die Scherfestigkeit in beiden Anisotropiehauptrichtungen ermittelt.

Die Versuche wurden mit einem Schergerät für Blockscherkörper durchgeführt, wie es in DIN 7707 Teil 1, Bild 4, dargestellt ist.



Plattenart	$b^{1)}$ [mm]	$h^{1)}$ [mm]	x [mm]	y [mm]
E	6	12	5	10
G	8	16	5	15
AII, BII, C, D, H	12	24	5	15
A, L, B, L	12	12	5	15
F, J	20	40	5	20

¹⁾
 $b \equiv$ Plattendicke
 $h \equiv 2b$

Bild 17: Versuchskörper mit Abmessungen für Scherversuche

Bild 16: Blockscherkörper für Vorversuche

Bei den Versuchskörpern des Typs A₁ und B₁ mußten Probenabmessungen verändert werden, weil keine eindeutigen Scherbrüche auftraten (siehe Bild 17). Bei einer auf die Hälfte reduzierten Scherfläche (Abmessungen b/h = 12/12 cm) ergaben sich eindeutige Scherbrüche. Diese Ergebnisse lassen sich mit den übrigen Scherfestigkeitswerten daher nicht unmittelbar vergleichen. In Anlage 24 und Anlage 25 sind die Einzelwerte zusammengestellt. Anlage 26 zeigt typische Bruchbilder.

4.2.7 Lochleibungsfestigkeit

Für die Bestimmung der Lochleibungsfestigkeiten plattenförmiger Werkstoffe auf Holzbasis gibt es kein genormtes Prüfverfahren. Diese Eigenschaft ist aber für die Verbindungstechnik im Holzbau besonders wichtig. MÖHLER, BUDIANTO und EHLBECK (1978) verwendeten bei der Prüfung der Lochleibungsfestigkeiten von Holzspanplatten Prüfkörper mit "geschlossenem" Bohrloch (siehe Bild 18). Für Werkstoffe mit sehr hoher Lochleibungsfestigkeit bereitet diese Methode Schwierigkeiten, da die stiftartigen Verbindungsmittel unter der Last praktisch keine Verformungen erleiden sollen. Es wurden daher vereinfachend Prüfkörper entsprechend Bild 19 verwendet, um durch die Lasteinleitung eine möglichst gleichmäßige Lochleibungsspannung am Lochrand zu erzeugen. Außerdem ist das Prüfverfahren für Serienversuche erheblich einfacher. Von Nachteil ist allerdings der fehlende Einfluß des über der Lochmitte abgeschnittenen Materiales, wodurch eine geringere als die tatsächliche Lochleibungsfestigkeit ermittelt wird. Um ein Maß für diese Reduzierung abschätzen zu können, wurde mit einem FE-Programm eine Vergleichsrechnung durchgeführt.

Die Lochleibungsversuche wurden mit Lochdurchmessern von 6 mm, 12 mm und 20 mm durchgeführt. Der Lochdurchmesser wurde dabei höchstens gleich der Versuchskörperdicke gewählt (Schlankheit des Verbindungsmittels $\lambda = \frac{a}{d_{St}} \geq 1$).

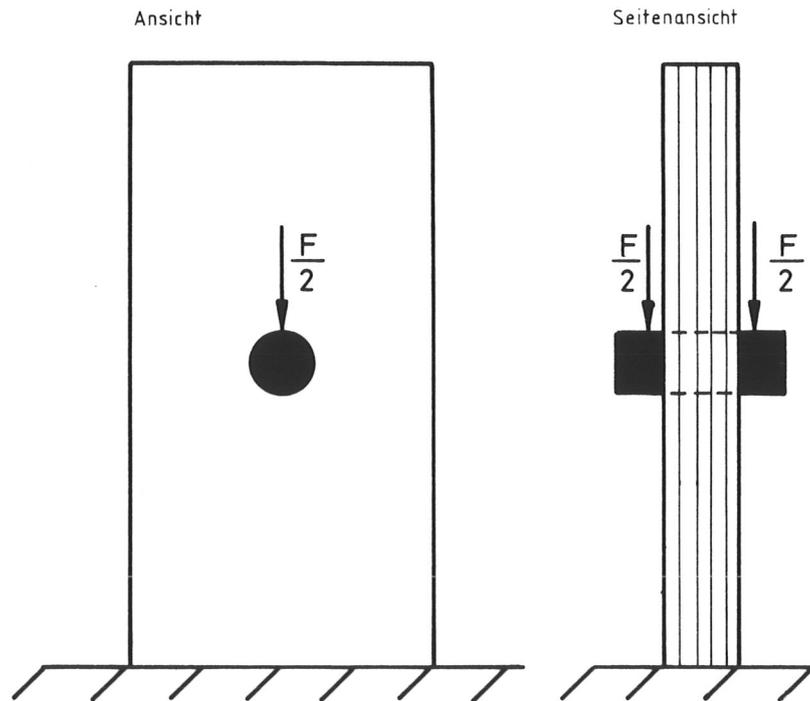


Bild 18: Prüfkörper zur Ermittlung der Lochleibungsfestigkeit mit "geschlossenen" Löchern

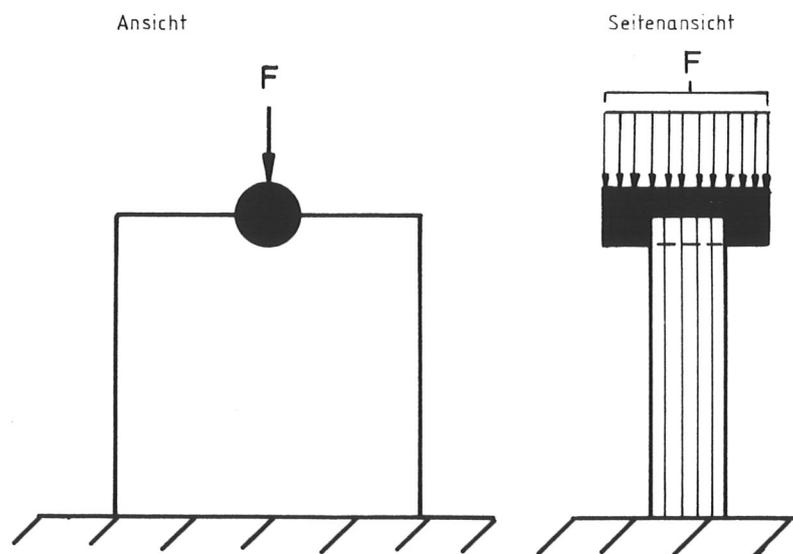
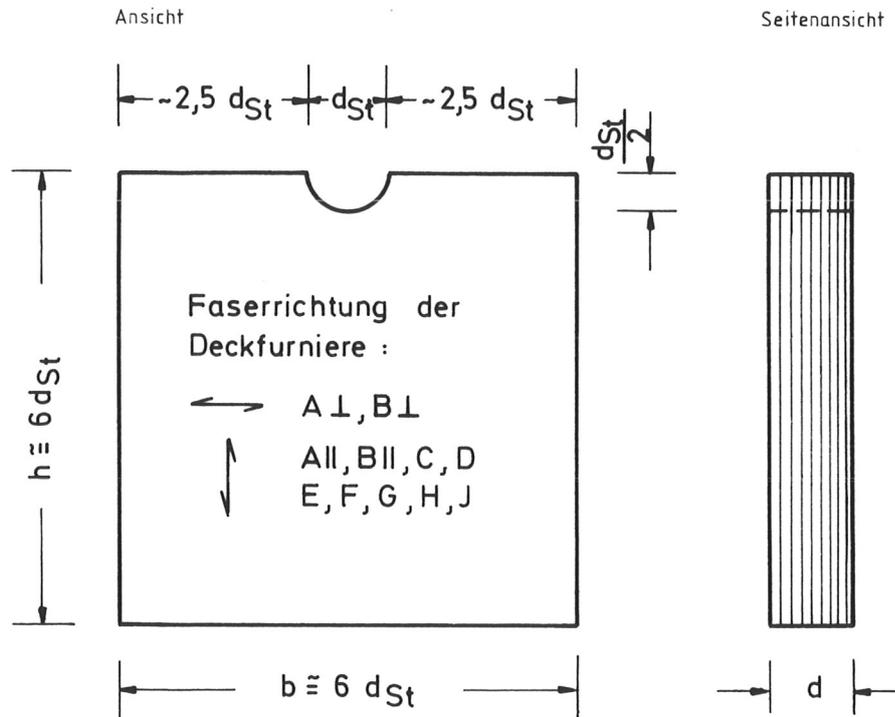


Bild 19: Gewählte Prüfkörperform zur Ermittlung der Lochleibungs-
festigkeit

Die Abmessungen der gewählten Versuchskörper sind in Bild 20 dargestellt. Die relativ großen Prüfkörperabmessungen schließen geometrische Einflüsse auf die Lochleibungsfestigkeit weitgehend aus. Für die KPSCH-Platten (Plattenart A und B) wurde die Lochleibungsfestigkeit in beiden Anisotropiehaupttrichtungen ermittelt.



Plattenart	d_{St} [mm]	h [mm]	b [mm]	d [mm]
E	6	35	35	6
G	6	35	35	8
A B C D H	6	35	35	12
F J	6	35	35	20
A B C D H	12	70	70	12
F J	12	70	70	20
F J	20	120	120	20

Bild 20: Abmessungen der Versuchskörper für die Lochleibungsversuche

Die Lochleibungsfestigkeit wurde für alle Plattenarten und Plattendicken bestimmt. Die Abhängigkeit der Lochleibungsfestigkeit vom Lochdurchmesser wurde bei den 12 mm und 20 mm dicken Platten untersucht. Die Ergebnisse sind in den Anlagen 27 bis 32 zusammengestellt.

Typische Bruchbilder sind in den Anlagen 33 und 34 dargestellt.

Die FE-Vergleichsrechnung wurde an "halben" und "ganzen" Lochleibungskörpern durchgeführt.

Die für das FE-Programm benötigten Elastizitätsmoduln wurden aus den schon durchgeführten Biegeversuchen übernommen (vgl. Abschnitt 4.2.5). Das System im FE-Programm wurde mit einer Last beansprucht, die etwa der Bruchlast aus den vergleichbaren Lochleibungsversuchen (\varnothing 12 mm) entsprach. In der oberen, unmittelbar unter dem Bohrloch durchgehenden Schicht wurden für die "halben" und "ganzen" Lochleibungskörper die Spannungsverteilungen rechnerisch bestimmt.

In Bild 21 und 22 sind die aus der FE-Berechnung resultierenden rechnerischen Deformationen dargestellt, aus denen anschaulich hervorgeht, wie beim "ganzen" Körper mit geschlossenem Bohrloch das oberhalb des Loches vorhandene Material sich an der Kraftaufnahme beteiligt und somit die rechnerische Lochleibungsfestigkeit entscheidend mitbeeinflusst.

4.3 Ermittlung physikalischer Eigenschaften

4.3.1 Rohdichte

Die Rohdichte wurde in Anlehnung an DIN 52 182 ermittelt. Die Probengröße wurde zu 20 x 20 mm x Plattendicke gewählt. Der zugehörige Feuchtigkeitsgehalt wurde ebenfalls ermittelt.

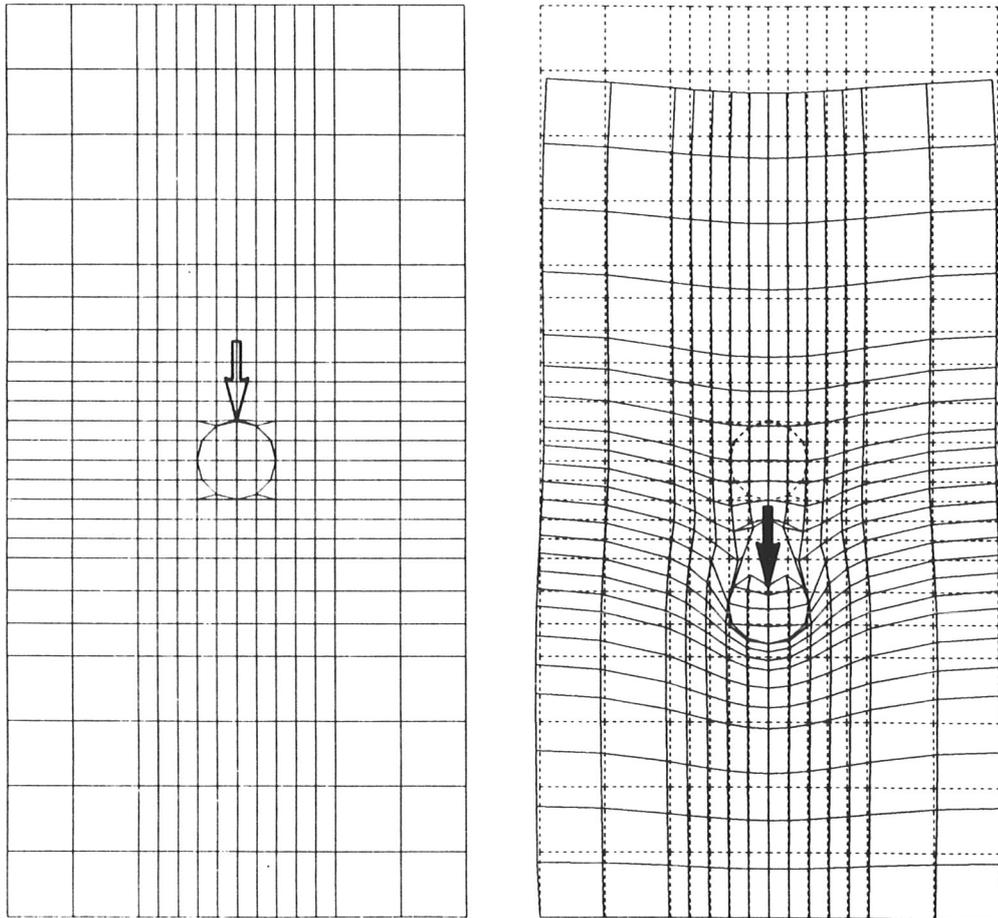


Bild 21: "Ganzer" Lochleibungskörper aus dem FE-Programm ohne und mit Belastung (Die Verformungen sind stark vergrößert dargestellt)

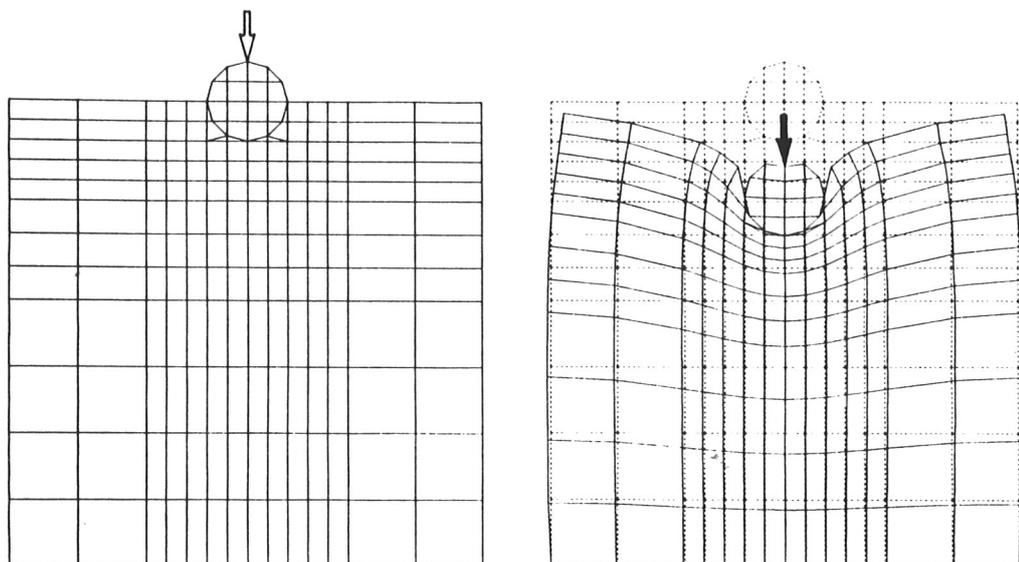


Bild 22: "Halber" Lochleibungskörper aus dem FE-Programm ohne und mit Belastung (Die Verformungen sind stark vergrößert dargestellt)

Die Rohdichte wurde teilweise an den Versuchskörpern zur Bestimmung der Schwindverformungen ermittelt.

Das Versuchsmaterial war zu Beginn der Messungen normalklimatisiert (Klima 20/65; DIN 50 014). Die Ergebnisse sind in Anlage 35 und Anlage 36 zusammengestellt.

4.3.2 Feuchtigkeitsgehalt

Der Feuchtigkeitsgehalt wurde im Normalklima 20/65 an den Rohdichte-proben (siehe Abschnitt 4.3.1 und Anlage 35) sowie zusätzlich nach längerer Wasserlagerung der Quellungsproben ermittelt (siehe Abschnitt 4.3.3 und Anlage 36).

4.3.3 Quellen und Schwinden

Das Quell- und Schwindverhalten wurde an je vier Versuchskörpern mit den Abmessungen 20 x 20 mm x Plattendicke über etwa 20 Tage für die Plattenarten A, B, C, D und H beobachtet. Die Quellungsproben wurden dabei in Wasser bei Raumtemperatur gelagert. Die Schwindungsproben wurden bei einer Temperatur von 105°C gelagert.

Die Dicken der Proben rechtwinklig zu den Schichten wurde an fünf Punkten je Probe gemessen. Die Längen- und Breitenänderungen wurden nur in den Flächenmitten bestimmt (siehe Bild 23). Die Ergebnisse sind in den Anlagen 37 bis 46 dargestellt.

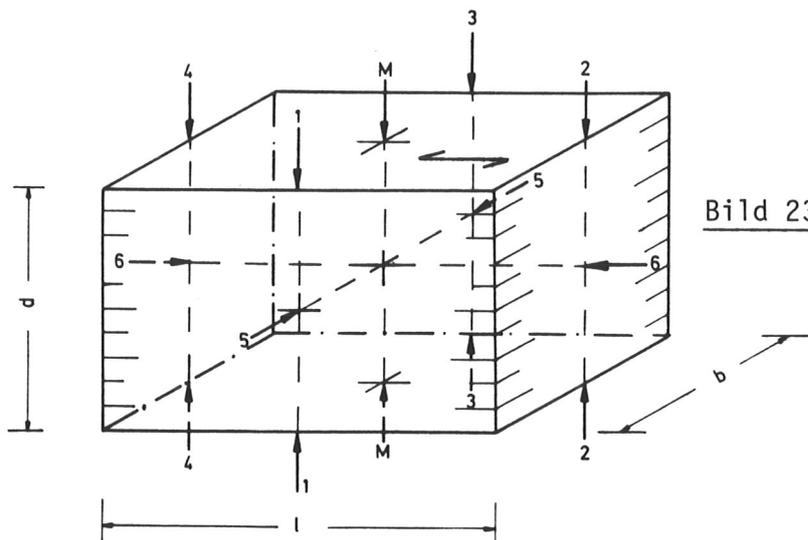


Bild 23: Meßstellen 1 bis 6 und M an den Schwindungs- und Quellungsproben

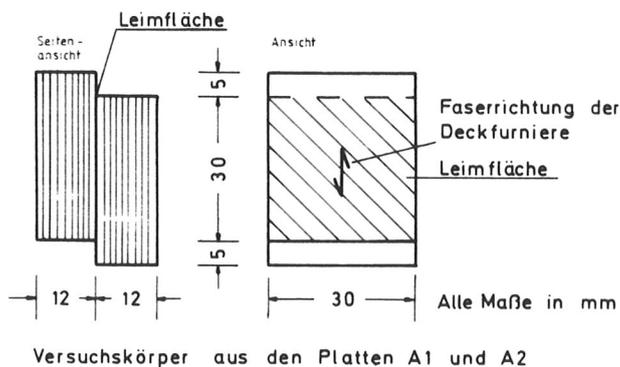
4.4 Verleimbarkeit

Die Verleimbarkeit wurde exemplarisch am Plattentyp A mit Resorcinharzleim (Zwei-Komponenten-Leim) geprüft.

Aus zwei zusammengeleimten KP-Platten wurden Versuchskörper hergestellt, die in der Form denen zur Bestimmung der Scherfestigkeit rechtwinklig zu den Leimfugen entsprachen (siehe Abschnitt 4.2.6), wobei die Scherebene aber in der Leimfuge lag.

Die Versuchskörper und die Versuchsergebnisse sind in Bild 24 dargestellt.

Die Prüfkörper wurden aus Reststücken der Platten A1 und A2 hergestellt. Die zu verleimenden Flächen wurden mit Glaspapier aufgeraut und die Platten mit Resorcinharz verleimt. Die Platten wurden mit Schraubzwingen zusammengepreßt. Die Preßzeit betrug 64 Stunden, die Aushärtezeit 4 Wochen. Die verleimten Platten wurden während dieser Zeit bei etwa 20°C und 65 % relativer Luftfeuchtigkeit gelagert.



Prüfkörper	Leimscherfestigkeit [N/mm ²]
V 1	29,0
V 2	33,0
V 3	29,0
V 4	31,0
V 5	32,0
V 6	35,0
V 7	31,0
V 8	31,0
V 9	31,0

Mittelwert 31,0 N/mm²
 Standardabweichung 1,9 N/mm²
 Variationskoeffizient 6,1 %

Mindestanforderung an die Scherfestigkeit der Plattenart A parallel zu den Schichten nach DIN 7707 Teil 2, Tabelle 1
 min τ = 20 N/mm²

Bild 24: Versuchskörper zur Bestimmung der Leimscherfestigkeit und Ergebnisse der Versuche

4.5 Bearbeitbarkeit

Folgende Bearbeitungsmöglichkeiten sollten überprüft werden:

Sägen, Bohren, Drehen, Fräsen, Hobeln, Gewindeschneiden, Schleifen und Polieren. Die Bearbeitbarkeit wurde fortlaufend während der Herstellung der Versuchskörper geprüft.

5 Versuchsauswertung

5.1 Allgemeines

Die Versuche waren auf bestimmte Typen von Kunstharz-Preßholz (KP) beschränkt und stellen daher nur eine Auswahl des insgesamt auf dem Markt verfügbaren Materials dar.

Es wurde versucht, die Auswahl so zu treffen, daß über die typischen und für die Anwendung als Verbindungsmittel im Holzbau wesentlichen Merkmale zuverlässige Aussagen gemacht werden können.

Kunstharz-Preßholz ist zwar ein relativ homogenes Material, bei größeren Bauteilen muß jedoch gegenüber den an kleinen Proben ermittelten Eigenschaften von veränderten Festigkeiten ausgegangen werden. Der Einfluß der Bauteilgröße auf die Eigenschaften von KP soll später in einem zweiten Forschungsabschnitt weiter untersucht werden.

Die Versuchsauswertung erfolgte unter verschiedenen Gesichtspunkten, die nachstehend erläutert werden. Dabei wurden vor allem herstellungsbedingte Merkmale von KP-Platten einander gegenübergestellt:

- 1) Kunstharz-Preßschichtholz (KPSCH) im Vergleich zu Kunstharz-Preßsperrholz (KPSP)

Es wurden jeweils die Versuchskörper aus den Platten A/C und B/D einander gegenübergestellt (gleiche Plattendicke, gleiche Hersteller). Dadurch kann eine Aussage über die Abhängigkeit der Festigkeiten von der Schichtenfolge der KP-Platten gemacht werden.

2) Unterschiedliche Plattendicken

Für Kunstharz-Preßsperrholz wurden Versuche mit 6 (8), 12 und 20 mm dicken KPSP-Platten gemacht.

Eine mögliche Abhängigkeit der Versuchsergebnisse von den Plattendicken wurde für die Hersteller I (KPSP; Plattenart E, C, F) und III (KPSP; Plattenart G, H, J) untersucht.

3) Unterschiedliche Furnierdicken

Die KP-Platten der drei Hersteller sind aus unterschiedlich dicken Furnieren aufgebaut. Die Furnierdicken von KP des Herstellers I lagen zwischen 0,25 und 0,30 mm, des Herstellers II zwischen 1,5 und 2,0 mm und des Herstellers III zwischen 0,5 und 0,6 mm.

Eine mögliche Abhängigkeit der Eigenschaftswerte von diesen Furnierdicken wurde getrennt für KPSCHE und KPSP für jeweils gleiche Plattendicken untersucht.

Die Versuchsdaten sind in Tabelle 6 dargestellt. Mit Ausnahme der Rohdichte handelt es sich hierbei um 5 %-Fraktilwerte als sog. "charakteristische" Werte, die auf 10 N/mm^2 gerundet angegeben sind.

In Tabelle 7 sind Werte aus der Literatur und für die Materialien BFU-BU (Bau-Furniersperrholz aus Buche), Bongossi und Stahl St 37 vergleichend zu den Werten nach Tabelle 6 zusammengestellt.

Tabelle 6: Gerundete 5%-Fraktilwerte der Versuchsergebnisse

Platenart	Druckfestigkeit I Schichten		Druckfestigkeit II Schichten		Druckfestigkeit feucht		Zugfestigkeit		Biegefestigkeit Platte		Biegefestigkeit Scheibe		Biege-E- Modul-Platte		Biege-E- Modul-Scheibe		Scherfestigkeit		Lochleibungs- festigkeit			Quellen	Schwinden	Verleimbarkeit	Rohdichte ¹⁾ (bei % Feuchtigkeith)
	D _Q [N/mm ²]	D [N/mm ²]	D	D'	Z	B _p [N/mm ²]	B _s [N/mm ²]	$\frac{E_{dyn}}{E_B}$ [N/mm ²]	$\frac{E_{dyn}}{E_B}$ [N/mm ²]	S	L ₆ [N/mm ²]	L ₁₂ [N/mm ²]	L ₂₀ [N/mm ²]	Q	T	V [N/mm ²]	[g/cm ³] (u [%])								
A II	150	170	170	-	200	250	230	24200 22100	24500 21900	50	240	260	-	stehe Anlagen 37 bis 41	stehe Anlagen 42 bis 46	28	1,30 (6,3)								
A I		130	60	-	20	50	60	7600 6100	8100 6900	100	300	260	-												
B II	190	200	200	-	140	190	200	22100 20500	24000 22900	50	310	210	-	stehe Anlagen 37 bis 41	stehe Anlagen 42 bis 46	-	1,33 (4,0)								
B I		160	50	-	20	70	50	10100 8600	8900 7500	100	320	290	-												
C	220	140	190	70	170	210	190	21600 18600	18300 16300	70	260	240	-	stehe Anlagen 37 bis 41	stehe Anlagen 42 bis 46	-	1,34 (5,8)								
D	260	170	110	120	60	140	110	19200 17600	15900 14600	70	290	260	-												
E	-	130	210	-	180	180	210	22700 20200	19600 16800	60	220	-	-	stehe Anlagen 37 bis 41	stehe Anlagen 42 bis 46	-	1,33 (5,3)								
F	210	120	170	-	140	190	170	20200 17000	19200 15900	70	290	240	200												
G	-	160	90	-	110	140	90	17000 14800	15300 13300	70	250	-	-	stehe Anlagen 37 bis 41	stehe Anlagen 42 bis 46	-	1,33 (6,0)								
H	240	150	110	-	100	140	110	15200 13800	15000 13900	70	280	250	-												
J	240	110	90	-	80	110	90	14200 12300	13000 11200	60	240	220	220	stehe Anlagen 37 bis 41	stehe Anlagen 42 bis 46	-	1,33 (8,9)								

1) Mittelwert

Tabelle 7: Vergleich der eigenen Ergebnisse mit Literaturwerten und anderen Werkstoffen

Bezeichnung [Quelle]	KPSP I 5%-Fraktile [aus Tabelle 6]	PSCH-T-BU 40/10 [nach Brüning]	KPSP II 5%-Fraktile [aus Tabelle 6]	PSCH-T-BU 7/20 [nach Brüning]	PSCH-T-BU 7/20 [nach Kollmann]	KP Klasse A (Schicht) [nach Brüning]	KPSP I 5%-Fraktile [aus Tabelle 6]	PSP-T-BU 40/10 [nach Brüning]	KPSP II 5%-Fraktile [aus Tabelle 6]	PSP-T-BU 7/20 [nach Brüning]	KP Klasse B Preßsperrholz Lignofol L 90 [nach Kollmann]	KP Klasse B Lignofol L 90 [nach Brüning]	BFU-BU [nach DIN 68705 Teil 5]	Rongossi (u. a.) [nach Kollmann]	Stahl St 37
Furnierdicke [mm]	0,2	0,25	2,0	1,5	1,5	1,30/1,45	0,2	0,25	2,0	1,5	1,42	1,35	1)	-	-
Rohdichte [g/cm ³]	1,35	1,38	1,37	1,41	1,41		1,37	1,39	1,37	1,36			0,8	1,05	7,81
Druckfestigkeit [N/mm ²]	170	180	200	180	180	120/230	130	120	170	110	170	110	40	95	
Querdruddruckfestigkeit [N/mm ²]	130	130	160	100	100	70/150	-	120	-	110	170	110	30	-	300
	150	160	190	110	-	120/340	220	280	260	280	320	280	-	-	
Zugfestigkeit [N/mm ²]	200	330	140	320	250	160/370	160	140	60	110	150	90	70	220 3)	350
	20	40	20	25	15	12/ 35	-	140	-	110	160	90	60	3,5 4)	
Biege- festigkeit [N/mm ²]	250	270	190	350	350	230/420	190	150	140	170	240	160	85		350
	50	-	70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	55	210	
	230	270	200	280	-	-	190	130	110	180	220	120	70		
	60	-	50	-	-	30/ 50	-	-	-	-	-	-	60		
Biege- Elastizitäts- modul [N/mm ²]	22000	28000	21000	33000	29000	19000/36000	19000	17000	18000	15000	16000	12000	9500	24000	210000
	6000	-	8500	4200	-	3000/ 4200	-	17000	-	16000	-	10000	5000		
	22000	-	23000	-	-	-	16000	-	15000	-	-	-	8000		
	7000	-	7500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6500		
Scherfestigkeit senkrecht zu den Leimfugen [N/mm ²]	50	60	50	50	45	15/ 70	70	70	70	70	-	60	15 2)	15	200
	100	110	100	130	130	120/130	-	80	-	70	-	70	-	-	
Lochleibungsfestigkeit [N/mm ²]	250	210	260	170	-	-	250	190	280	190	-	-	-	-	-
	280	160	310	90	-	-	-	190	-	190	-	-	-	-	-

1) Größtmögliche Festigkeiten ohne Rücksicht auf Furnierdicke und Anzahl
 2) aus FA "Ermittlung fehlender Festigkeitswerte von Buchenfurnierplatten"
 3) infolge schräger Faser oft geringere Werte von 120 - 160 N/mm²
 4) bei u = 10 %

Die Werte aus der Literatur sind nur unter Vorbehalt mit den aktuellen Versuchsergebnissen vergleichbar, da sich die Materialeigenschaften von Kunstharz-Preßholz durch die technische und chemische Weiterentwicklung in der Herstellung von KP geändert haben und auch die Prüfverfahren nicht durchweg einheitlich waren.

5.2 Die mechanischen Eigenschaften

5.2.1 Druckfestigkeit rechtwinklig zu den Schichten (Querdruckfestigkeit)

Unterschiedlicher Schichtaufbau (KPSCH / KPSP)

$$A/C = 150/220 \text{ N/mm}^2$$

$$B/D = 190/260 \text{ N/mm}^2$$

Die Werte von KPSCH liegen um etwa 30 % unter denen von KPSP.

Unterschiedliche Plattendicken (6(8)/12/20 mm)

$$E/C/F = -/220/210 \text{ N/mm}^2$$

$$G/H/J = -/240/240 \text{ N/mm}^2$$

Eine Abhängigkeit der Querdruckfestigkeit von der Plattendicke ist nicht zu erkennen.

Unterschiedliche Furnierdicken (I/III/II = 0,2/0,5/2,0 mm)

$$C/H/D = 220/240/260 \text{ N/mm}^2$$

$$A/-/B = 150/ - /190 \text{ N/mm}^2$$

$$F/J/- = 210/240/- \text{ N/mm}^2$$

Die Querdruckfestigkeit steigt mit zunehmender Furnierdicke.

Beschreibung der Bruchbilder

Es traten zwei Bruchformen auf (Bild 25):

Bruchform 1

Schubbruch in Ebenen parallel zu den Deckfurnierfaserrichtungen.

Bruchform 2

Schubbruch in Ebenen parallel und rechtwinklig zur Deckenfurnierfaserrichtung.

Die erste Bruchform trat vor allem bei den KP-SCH auf (Plattenarten A und B). Ungewöhnlich ist, daß diese erste Bruchform auch bei den KPSP mit sehr dünnen Furnieren (KP-Platten C und F, Furnierdicke $\sim 0,2$ mm) zu beobachten war.

Die zweite Bruchform trat beim KPSP mit größeren Furnierdicken auf (KP-Platten D, H und J. Furnierdicke $\sim 0,5$ mm und $\sim 2,0$ mm).

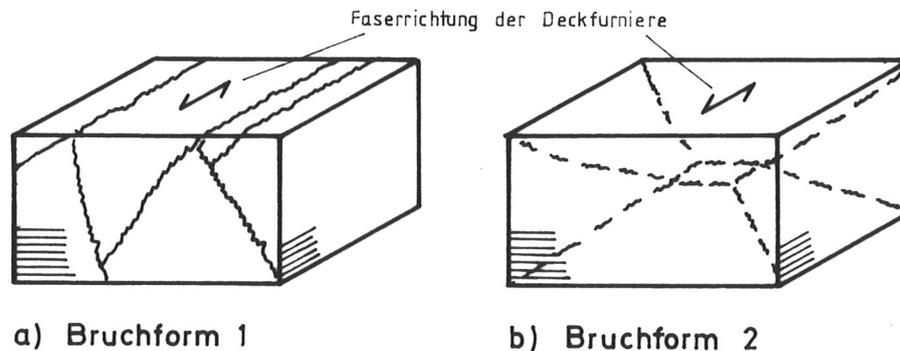


Bild 25: Bruchformen von KP-Holz unter Druck rechtwinklig zur Plattenebene (schematisch)

Gesamtbeurteilung

Die Querdruckfestigkeit der KP-Platten hängt vom Schichtaufbau und von der Furnierdicke der KP-Platten ab. Eine große Querdruckfestigkeit besitzt KPSP-Material mit großen Furnierdicken. Der innere Widerstand solcher Platten ist wegen der kreuzweisen Anordnung der Furniere größer als bei Schichtholz, bei dem die Brüche in Richtung der Holzfasern auftreten.

5.2.2 Druckfestigkeit parallel zu den Schichten (in Plattenebene)

Unterschiedlicher Schichtaufbau (KPSCH II /KPSCH \perp /KPSP)

$$A II /A \perp /C = 170/130/140 \text{ N/mm}^2$$

$$B II /B \perp /D = 200/160/170 \text{ N/mm}^2$$

Die Werte von KPSCH \perp liegen etwa 20% und die von KPSP etwa 15 % unter denen von KPSCH II .

Unterschiedliche Plattendicken (6(8)/12/20 mm)

$$E/C/F = 130/140/120 \text{ N/mm}^2$$

$$G/H/J = 160/150/110 \text{ N/mm}^2$$

Eine eindeutige Abhängigkeit der Druckfestigkeit von der Plattendicke ist nicht zu erkennen, ein geringer Festigkeitsverlust mit zunehmender Plattendicke ist jedoch wahrscheinlich.

Unterschiedliche Furnierdicken (I/III/II = 0,2/0,5/2,0 mm)

$$C/H/D = 140/150/170 \text{ N/mm}^2$$

$$F/J/- = 120/110/ - \text{ N/mm}^2$$

$$A II /-/B II = 170/ - /200 \text{ N/mm}^2$$

$$A \perp /-/B \perp = 130/ - /160 \text{ N/mm}^2$$

Die Festigkeiten des KP-Materials mit dünnen Furnieren liegen 15 bis 20 % unter den Festigkeiten der KP-Platten mit dicken Furnieren.

Beschreibung der Bruchbilder

Es treten zwei Bruchformen auf (Bild 26):

Bruchform 1

Schubbruch unter 45° mit teilweiser Ausbildung eines Druckkegels. In der Bruchebene sind die Furniere voneinander getrennt. Eine teilweise vollständige Spaltung der Versuchskörper war eine sekundäre Brucherscheinung.

Bruchform 2

"Schubknickbruch" unter 45° . In der "Bruchebene" lösen sich die einzelnen Furniere voneinander und knicken aus.

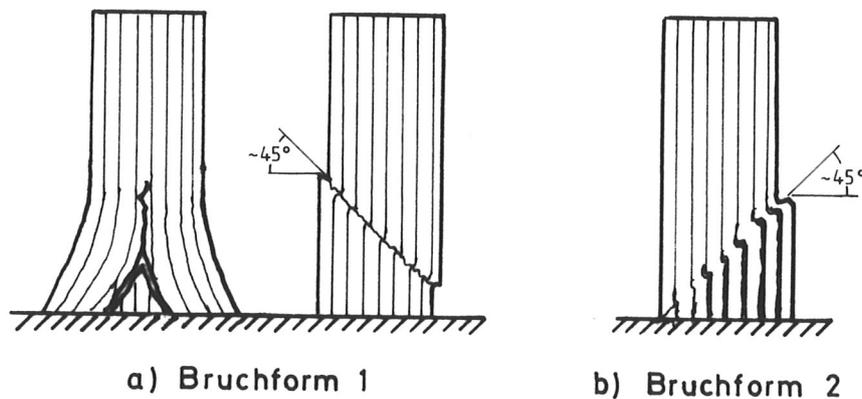


Bild 26: Bruchformen von KP-Holz unter Druck in Plattenebene (schematisch)

Die Versuchskörper A \perp , B \perp , D, G, H und J versagten entsprechend Bruchform 1, die Versuchskörper A \parallel , B \parallel , C, E und F entsprechend Bruchform 2.

Gesamtbeurteilung

Die Druckfestigkeit parallel zu den Schichten (in Plattenebene) ist vor allem vom Schichtaufbau und von der Furnierdicke abhängig.

Die größte Druckfestigkeit wird bei KPSP II mit dicken Furnieren erreicht.

Das in Furnierfaserrichtung beanspruchte KPSP-Holz sowie KPSP-Holz versagte durch einen "Schubknickbruch" entsprechend Bild 26b, während bei KPSP-Holz unter Beanspruchung rechtwinklig zur Furnierfaserrichtung und KPSP-Holz mit dicken Furnieren ein reiner Schubbruch eintrat (Bild 26a).

5.2.3 Ergänzungsversuche zur Abschätzung des Feuchtigkeitseinflusses auf die Druckfestigkeit

Die Druckfestigkeit der Plattenart C lag bei einer Feuchtigkeit von 16 % (nach 14-tägiger Wasserlagerung) bei 70 N/mm². Die vergleichbaren Proben hatten bei einer Feuchtigkeit von 7,5 % (Lagerung im Normalklima) eine Druckfestigkeit von 130 N/mm².

Die Druckfestigkeit der Plattenart D lag bei einer Feuchtigkeit von 8 % (nach 14-tägiger Wasserlagerung) bei 120 N/mm². Die vergleichbaren Proben hatten bei einer Feuchtigkeit von 5,5 % (Lagerung im Normalklima) eine Druckfestigkeit von 160 N/mm².

Bei Plattenart C ist mit einer Feuchtigkeitzunahme um 100 % ein Druckfestigkeitsabfall um etwa 50 % verbunden, bei Plattenart D dagegen betrug bei gleicher 14-tägiger Wasserlagerung die Feuchtigkeitzunahme nur etwa 45 % und der Druckfestigkeitsabfall dabei etwa 25 %. Die KP-Platten aus dicken Furnieren besaßen demnach eine deutlich geringere Wasseraufnahme und damit verbunden einen geringeren Druckfestigkeitsabfall infolge Wasserlagerung.

5.2.4 Zugfestigkeit

Unterschiedlicher Schichtaufbau (KPSCH II /KPSCH \perp /KPSP)

$$A \parallel / A \perp / C = 200 / 20 / 170 \text{ N/mm}^2$$

$$B \parallel / B \perp / D = 140 / 20 / 60 \text{ N/mm}^2$$

Die Zugfestigkeit von KPSP liegt um etwa 15 % unter der von KPSCH II .
Die Zugfestigkeit von KPSCH \perp ist bis zu 90 % geringer als die von KPSCH II .

Unterschiedliche Plattendicken (6(8)/12/20 mm)

$$E/C/F = 180/170/140 \text{ N/mm}^2$$

$$G/H/J = 110/100/ 80 \text{ N/mm}^2$$

Mit zunehmender Plattendicke nimmt die Zugfestigkeit ab. Die Werte für die 20 mm dicken KP-Platten liegen etwa 20 bis 30 % unter denen der 6 (8) mm dicken KP-Platten.

Unterschiedliche Furnierdicken (I/III/II = 0,2/0,5/2,0 mm)

$$C/H/D = 170/100/ 60 \text{ N/mm}^2$$

$$F/J/- = 140/ 80/ - \text{ N/mm}^2$$

$$A \parallel /-/B \parallel = 200/ - /140 \text{ N/mm}^2$$

$$A \perp /-/B \perp = 20/ - / 20 \text{ N/mm}^2$$

Mit zunehmender Furnierdicke nehmen die Zugfestigkeiten erheblich ab. Nur bei KPSCH \perp wurden keine Unterschiede festgestellt. Die Werte für KP-Holz aus dicken Furnieren liegen um 30 % beim KPSCH und um 60 % beim KPSP unter den Werten des KP-Holzes mit den dünnsten Furnieren.



Bild 27: Bruchbilder der Zugproben A \parallel , A \perp und C (von links nach rechts)

Beschreibung der Bruchbilder

Furniere, deren Fasern rechtwinklig zur Krafrichtung verlaufen, brechen glatt, während die übrigen Furniere, die den Hauptanteil der Kraft in Faserrichtung zu übertragen haben, ungleichmäßig und faserig brechen (siehe Bild 27). Danach ergeben sich verschiedene Bruchbilder je nach dem Aufbau des KP-Holzes.

Gesamtbeurteilung

Die Zugfestigkeit ist vom Schichtaufbau, von der Plattendicke und von der Furnierdicke abhängig. Hohe Zugfestigkeiten sind mit dünnem KPSCH-Holz aus dünnen Einzelfurnieren in Faserrichtung der Furniere zu erzielen, während mit zunehmender Furnierdicke ein erheblicher Zugfestigkeitsverlust verbunden ist.

5.2.5 Biegefestigkeit und Biege-Elastizitätsmodul

5.2.5.1 Biegefestigkeit als Platte und Scheibe

Unterschiedlicher Schichtaufbau (KPSCH II / KPSCH \perp / KPSP)

	als Platte	als Scheibe
A II / A \perp / C	= 250/ 50/170	230/ 60/190 N/mm ²
B II / B \perp / D	= 190/ 70/140	190/ 70/110 N/mm ²

Die Biegefestigkeit der KPSP-Platten lag um 20 bis 40 % unter der der KPSCH II -Platten. Die Biegefestigkeit der KPSCH \perp -Platten lag um 60 bis 80 % unter der der KPSCH II -Platten. Ein deutlicher Unterschied zwischen den Biegefestigkeiten des KP-Holzes als Platte oder Scheibe wurde jedoch nicht festgestellt.

Unterschiedliche Plattendicken (6(8)/12/20 mm)

	als Platte	als Scheibe
E/C/F =	180/210/190	210/190/170 N/mm ²
G/H/J =	140/140/110	90/110/ 90 N/mm ²

Die Plattendicken wirken sich auf die Biegefestigkeiten praktisch nicht aus.

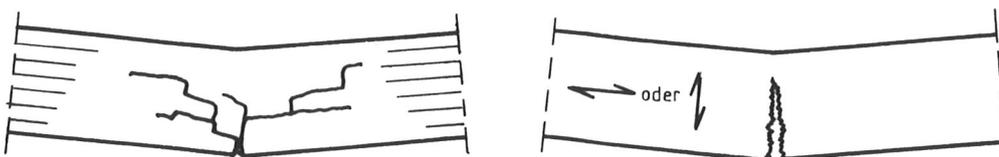
Unterschiedliche Furnierdicken (I/III/II = 0,2/0,5/2,0 mm)

	als Platte	als Scheibe
C/H/D =	210/140/140	190/110/110 N/mm ²
F/J/- =	190/110/ -	170/ 90/ - N/mm ²
AII /-/BII =	250/ - /190	230/ - /200 N/mm ²
A _⊥ /-/B _⊥ =	50/ - / 70	60/ - / 50 N/mm ²

Dickere Furniere reduzieren die Biegefestigkeiten um 20 bis 40 %.

Beschreibung der Bruchbilder

Zwei typische Bruchbilder der Biegeproben sind in Bild 28 dargestellt.



a) Bruchform 1

b) Bruchform 2

Bild 28: Bruchformen von KP-Holz unter Biegebeanspruchung rechtwinklig zur Plattenebene (Bruchform 1) und in Plattenebene (Bruchform 2)

Die Bruchform 1 ist ein mehr oder weniger deutlich ausgeprägter "treppenförmiger" Bruch, der bei der Biegung als Platte auftritt.

Die Bruchform 2 ist typisch für die Biegebeanspruchung als Scheibe. Der Bruch ist durchgehend und unverzweigt, die Bruchflächen sind kurzfasrig.

Gesamtbeurteilung

Hohe Biegefestigkeiten erreicht das KPSC-Holz bei Beanspruchung parallel zur Faserrichtung der Furniere, besonders bei dünnen Furnieren. Die Plattendicke insgesamt hat jedoch keinen wesentlichen Einfluß auf die Biegefestigkeit.

Teilweise ist auch KPSP-Holz mit dünnen Furnieren für biegebeanspruchte Bauteile geeignet. Dies gilt besonders für eine Biegebeanspruchung in zwei Richtungen.

5.2.5.2 Biege-Elastizitätsmodul als Platte und Scheibe

Im folgenden sind der dynamische Elastizitätsmodul E_{dyn} und der Biege-Elastizitätsmodul nach DIN E 53457 $-E_B-$ sowie das Verhältnis E_{dyn}/E_B angegeben. Außerdem ist nach Platten-Elastizitätsmodul und Scheiben-Elastizitätsmodul unterschieden.

Eine exakte Bestimmung des Elastizitätsmodules ist sowohl im statischen Biegeversuch als auch im Schwingungsversuch schwierig, da geringe Schwankungen der geometrischen Abmessungen bereits Schwankungen im Zahlenwert zwischen 500 und 1000 N/mm² ergeben. Je kleiner die Versuchskörper sind, umso stärker wirken sich solche Schwankungen aus. Die nachfolgend angegebenen Werte stellen auf 1000 N/mm² gerundete (bei Werten unter 10000 N/mm² auf 500 N/mm² gerundete) 5%-Fraktilen dar. Zur Berechnung dieser Werte wurden die Einzelwerte unter Berücksichtigung der genauen Abmessungen jeder Einzelprobe aus den Durchbiegungsmessungen auf 10 N/mm² genau berechnet.

Unterschiedlicher Schichtaufbau (KPSCH II / KPSCH ⊥ / KPSP)

	A II / A ⊥ / C	B II / B ⊥ / D
Biege-Elastizitätsmodul <u>Platte</u> (N/mm ²)		
E_{Bp}	22000/ 6000/19000	21000/ 8500/18000
E_{dynp}	24000/ 7500/22000	22000/10000/19000
E_{dynp}/E_{Bp}	1,09/ 1,25/ 1,16	1,05/ 1,18/ 1,06
Biege-Elastizitätsmodul <u>Scheibe</u> (N/mm ²)		
E_{Bs}	22000/ 7000/16000	23000/ 7500/15000
E_{dyns}	25000/ 8000/18000	24000/ 9000/16000
E_{dynp}/E_{Bp}	1,14/ 1,14/ 1,13	1,04/ 1,20/ 1,07
E_{Bp}/E_{Bs}	1,00/ 0,86/ 1,19	0,91/ 1,13/ 1,20
E_{dynp}/E_{dyns}	0,96/ 0,94/ 1,22	0,92/ 1,11/ 1,19

Der Platten-Elastizitätsmodul von KPSP ist um etwa 15 %, der Scheiben-Elastizitätsmodul um etwa 30 % geringer als der von KP SCH II.

Sowohl der Platten- als auch der Scheiben-Elastizitätsmodul der Plattenart A ist rechtwinklig zur Faserrichtung der Furniere um etwa 60 bis 70 % geringer als in Faserrichtung der Furniere.

Unterschiedliche Plattendicken (6(8)/12/20 mm)

	E / C / F	G / H / J
Biege-Elastizitätsmodul <u>Platte</u> (N/mm ²)		
E_{Bp}	20000/19000/17000	15000/14000/12000
E_{dynp}	23000/22000/20000	17000/15000/14000
E_{dynp}/E_{Bp}	1,15/ 1,16/ 1,18	1,13/ 1,07/ 1,17
Biege-Elastizitätsmodul <u>Scheibe</u> (N/mm ²)		
E_{Bs}	17000/16000/16000	13000/14000/11000
E_{dyns}	20000/18000/19000	15000/15000/13000
E_{dyns}/E_{Bs}	1,18/ 1,13/ 1,19	1,15/ 1,07/ 1,18
E_{Bp}/E_{Bs}	1,18/ 1,19/ 1,06	1,15/ 1,00/ 1,09
E_{dynp}/E_{dyns}	1,15/ 1,22/ 1,05	1,13/ 1,00/ 1,08

Beim Platten-Elastizitätsmodul wurde mit zunehmender Plattendicke ein geringer Abfall der Werte festgestellt, bei den Scheiben-Elastizitätsmoduln ist dieser Einfluß jedoch nicht eindeutig erkennbar. Die Elastizitätsmoduln des KP-Holzes als Platte sind durchweg etwas größer als die des KP-Holzes als Scheibe. Dies hat sich sowohl bei den dynamischen als auch bei den statischen Messungen ergeben.

Unterschiedliche Furnierdicken (I/III/II = 0,2/0,5/2,0 mm)

	C / H / D	AII /-/ BII	A _I /-/ B _I	F / J / -
Biege-Elastizitätsmodul <u>Platte</u> (N/mm ²)				
E _{Bp}	19000/14000/18000	22000/-/21000	6000/-/ 8500	17000/12000/ -
E _{dynp}	22000/15000/19000	24000/-/22000	7500/-/10000	20000/14000/ -
E _{dynp} /E _{Bp}	1,16/ 1,07/ 1,06	1,09/-/ 1,05	1,25/-/ 1,18	1,18/ 1,17/ -
Biege-Elastizitätsmodul <u>Scheibe</u> (N/mm ²)				
E _{Bs}	16000/14000/15000	22000/-/23000	7000/-/ 7500	16000/11000/ -
E _{dyns}	18000/15000/16000	25000/-/24000	8000/-/ 9000	19000/13000/ -
E _{dyns} /E _{Bs}	1,13/ 1,07/ 1,07	1,14/-/ 1,04	1,14/-/ 1,20	1,19/ 1,18/ -
E _{Bp} /E _{Bs}	1,19/ 1,00/ 1,20	1,00/-/ 0,91	0,86/-/ 1,13	1,06/ 1,09/ -
E _{dynp} /E _{dyns}	1,22/ 1,00/ 1,19	0,96/-/ 0,92	0,94/-/ 1,11	1,05/ 1,08/ -

Eine Abhängigkeit der Elastizitätsmoduln von der Furnierdicke ist nicht erkennbar.

Verhältnswert E_{dyn}/E_B

Das Verhältnis E_{dyn}/E_B schwankt zwischen 1,04 und 1,25 und hängt wahrscheinlich vom Aufbau des jeweiligen KP-Holzes ab.

Gesamtbeurteilung

Die größten Biege-Elastizitätsmoduln haben die KPSCHII, die aber vom KPSP mit dünnen Furnieren teilweise auch erreicht werden können.

5.2.6 Scherfestigkeit rechtwinklig zu den Leimfugen

Unterschiedlicher Schichtaufbau (KPSCH II /KPSCH \perp /KPSP)

$$A II /A \perp /C = 50/100/ 70 \text{ N/mm}^2$$

$$B II /B \perp /D = 50/100/ 70 \text{ N/mm}^2$$

Die Scherfestigkeiten des KPSP liegen um 30 % unter denen von KPSCH \perp . Die abweichende Prüfkörperform der Versuchskörper aus KPSCH für die Prüfrichtung rechtwinklig zur Holzfaserrichtung kann in diesem Fall geringfügig von Einfluß gewesen sein.

Unterschiedliche Plattendicken (6(8)/12/20 mm)

$$E/C/F = 60/ 70/ 70 \text{ N/mm}^2$$

$$G/H/J = 70/ 70/ 60 \text{ N/mm}^2$$

Eine Abhängigkeit der Scherfestigkeit von der Plattendicke hat sich nicht ergeben.

Unterschiedliche Furnierdicken (I/III/II = 0,2/0,5/2,0 mm)

$$C/H/D = 70/ 70/ 70 \text{ N/mm}^2$$

$$F/J/- = 70/ 60/ - \text{ N/mm}^2$$

$$A II /-/B II = 50/ - / 50 \text{ N/mm}^2$$

$$A \perp /-/B \perp = 100/ - /100 \text{ N/mm}^2$$

Eine Abhängigkeit der Scherfestigkeit von der Furnierdicke hat sich nicht ergeben.

Beschreibung der Bruchbilder

Die Scherkörper versagten im allgemeinen in der vorgesehenen Scherebene, ausgenommen im Falle der Krafrichtung rechtwinklig zu der Hauptfaserrichtung bei KPSCH-Holz. Parallel zur Krafrichtung verlaufende Furniere werden in der Regel aufgespalten, während rechtwinklig zur Krafrichtung verlaufende Furniere kurzfaserig reißen. Das typische Bruchbild von Scherkörpern aus KPSCH-Holz mit Krafrichtung rechtwinklig zur Faserrichtung der Furniere zeigt Bild 29.

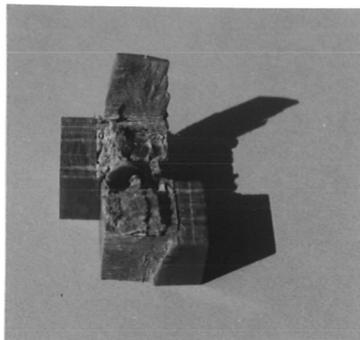


Bild 29: Bruchbild von KPSCH-Holz mit Krafrichtung rechtwinklig zur Faserrichtung der Furniere (hier Scherkörper B \perp)

Gesamtbeurteilung

Ein hoher Scherwiderstand ergab sich erwartungsgemäß, wenn die Holzfaserrichtung rechtwinklig zur Krafrichtung verläuft. Aber auch das KPSP-Holz und das Schichtholz mit Kraft in Faserrichtung haben verhältnismäßig hohe Scherfestigkeitswerte nachgewiesen.

5.2.7 Lochleibungsfestigkeit

Unterschiedlicher Schichtaufbau (KPSCH II /KPSCH \perp /KPSP)

	Ø 6 mm	Ø 12 mm
A II /A \perp /C	= 240/300/260	260/260/240 N/mm ²
B II /B \perp /D	= 310/320/290	210/290/260 N/mm ²

Die Lochleibungsfestigkeiten von KPSP und KPSCH II liegen um bis zu 25 % unter den Werten von KPSCH \perp .

Unterschiedliche Plattendicken (6(8)/12/20 mm)

	Ø 6 mm	Ø 12 mm	Ø 20 mm
E/C/F =	220/260/290	- /240/240	- / - /200 N/mm ²
G/H/J =	250/280/240	- /250/220	- / - /220 N/mm ²

Eine deutliche Abhängigkeit der Lochleibungsfestigkeit von der Plattendicke war nur für die Versuchskörper aus dem KP-Holz mit den dünnsten Furnieren und einem Lochdurchmesser von 6,0 mm festzustellen. Hier liegen die Lochleibungsfestigkeiten der 6,0 mm dicken Platten um 25 % und die der 12,0 mm dicken Platten um 10 % unter der der 20,0 mm dicken Platten.

Unterschiedliche Furnierdicken (I/III/II = 0,2/0,5/2,0 mm)

	Ø 6 mm	Ø 12 mm	Ø 20 mm
C/H/D =	260/280/290	240/250/260	- / - / - N/mm ²
F/J/- =	290/240/ -	240/220/ -	200/220/ - N/mm ²
All / - /BII =	240/ - /310	260/ - /210	- / - / - N/mm ²
A⊥/ - /B⊥ =	300/ - /320	260/ - /290	- / - / - N/mm ²

Der Unterschied der Lochleibungsfestigkeiten zwischen KP-Holz aus den dünnsten und den dicksten Furnieren betrug bis zu 20 %. Dicke Furniere erwiesen sich dabei als etwas vorteilhafter.

Einfluß der Prüfkörperform

Die Lochleibungsfestigkeiten die mit den "halben" Lochleibungsversuchskörpern bestimmt wurden, liegen aufgrund einer vergleichenden FE-Berechnung (siehe Abschnitt 4.2.7) unter denen, die bei Versuchen mit "ganzen" Lochleibungsversuchskörpern zu erzielen sind.

Gesamtbeurteilung

Die Plattendicken beeinflussen die Lochleibungsfestigkeiten kaum, jedoch sind dickere Furniere günstiger als besonders dünne. Bei Beanspruchung rechtwinklig zur Faserrichtung der Furniere besitzt KPSCH-Holz höhere Lochleibungsfestigkeiten als in Faserrichtung oder als KPSP-Holz.

Mit steigendem Lochdurchmesser nimmt die Lochleibungsfestigkeit ab.

Berücksichtigt man den Einfluß der Prüfkörperform, so kann davon ausgegangen werden, daß die Lochleibungsfestigkeiten an Lochrändern geschlossener Löcher, wie sie in Wirklichkeit vorkommen, um etwa 30% höher sind, als die an den "halben" Versuchskörpern ermittelten Werte.

5.3 Die physikalischen Eigenschaften

5.3.1 Rohdichten

Unterschiedlicher Schichtaufbau

$$A/C = 1,35 / 1,36 \text{ g/cm}^3$$

$$B/D = 1,37 / 1,37 \text{ g/cm}^3$$

Die Rohdichten (im normalklimatisierten Zustand) werden durch den Schichtaufbau nicht beeinflusst.

Unterschiedliche Plattendicken (6(8)/12/20 mm)

$$E/C/F = 1,38 / 1,36 / 1,37 \text{ g/cm}^3$$

$$G/H/J = 1,35 / 1,36 / 1,35 \text{ g/cm}^3$$

Die Plattendicken beeinflussen die Rohdichte nicht.

Unterschiedliche Furnierdicken (I/III/II = 0,2/0,5/2,0 mm)

$$C/H/D = 1,36 / 1,36 / 1,37 \text{ g/cm}^3$$

$$F/J/- = 1,37 / 1,35 / - \text{ g/cm}^3$$

$$A/ /B = 1,35 / - / 1,37 \text{ g/cm}^3$$

Die Furnierdicken beeinflussen die Rohdichte nicht.

Gesamtbeurteilung

Die Rohdichten im normalklimatisierten Zustand schwanken für die ausgewählten KP-Hölzer nur in engen Grenzen zwischen $1,35 \text{ g/cm}^3$ und $1,38 \text{ g/cm}^3$. Merkliche Abhängigkeiten von der Plattenart, der Plattendicke oder der Furnierdicke wurden nicht festgestellt.

5.3.2 Feuchtegehalt im Normalklima

Unterschiedlicher Schichtaufbau (KPSCH-KPSP)

$$A/C = 7,2 / 7,4 \%$$

$$B/D = 5,0 / 5,6 \%$$

Der Feuchtegehalt im normalklimatisierten Zustand ist vom Schichtaufbau unabhängig.

Unterschiedliche Plattendicken (6(8)/12/20 mm)

$$E/C/F = 6,1 / 7,4 / 6,5 \%$$

$$G/H/J = 6,8 / 8,4 / 9,3 \%$$

Der Feuchtegehalt im normalklimatisierten Zustand nimmt mit der Plattendicke zu.

Unterschiedliche Furnierdicken (I/III/II = 0,2/0,5/2,0 mm)

$$C/H/D = 7,4 / 8,4 / 5,6 \%$$

$$F/J/- = 6,5 / 9,3 / - \%$$

$$A/-/B = 7,2 / - / 5,0 \%$$

Der Feuchtegehalt ist je nach Furnierdicke unterschiedlich; eine Gesetzmäßigkeit war aber nicht festzustellen.

Gesamtbeurteilung

Der Feuchtegehalt von KP-Holz im normalklimatisierten Zustand liegt zwischen 5,0 % und 9,3 %. Dickere Platten neigen zu einer etwas höheren Feuchte im Normalklima.

5.3.3 Quellen und Schwinden

Quellen

Unterschiedlicher Schichtaufbau (KPSCH/KPSP)

A/C: Die Dickenzunahmen in den Punkten M, 5 und 6 sind in etwa gleich; in den Punkten 1,3 und 2,4 liegen die Dickenzunahmen von KRSCH unter denen von KPSP.
(Anlagen 37 und 39)

B/D: Das Quellverhalten der Platten B (KPSCH) und D (KPSP) ist in etwa gleich.
(Anlagen 38 und 40)

Eine Abhängigkeit des Quellverhaltens vom Schichtaufbau hat sich nicht ergeben.

Unterschiedliche Furnierdicken (I/III/II = 0,4/0,5/2,0 mm)

C/H/D: Die Dickenzunahme von KP mit mittlerer und größter Furnierdicke ist am geringsten, die von KP mit kleiner Furnierdicke am größten (Anlagen 41, 40 und 39).

Das Quellverhalten von KP mit sehr kleiner Furnierdicke ist am ungünstigsten.

Schwinden

Unterschiedlicher Schichtaufbau (KPSCH/KPSP)

A/C: Die Dickenabnahme in den Punkten 5 (rechtwinklig zur Faserrichtung der Deckfurniere) und 2,4 ist beim KPSCH etwas größer als beim KPSP. In den übrigen Punkten ist im Schwindverhalten von KPSCH und KPSP kein Unterschied zu erkennen.

(Anlagen 42 und 44)

B/D: Schwindverhalten wie bei A/C

(Anlagen 43 und 45)

Eine merkliche Abhängigkeit des Schwindverhaltens vom Schichtaufbau hat sich nicht ergeben.

Unterschiedliche Furnierdicken (I/III/II = 0,2/0,5/2,0 mm)

C/H/D: Die Dickenabnahme von KP mit der größten Furnierdicke ist am geringsten, bei kleinen und mittleren Furnierdicke ist sie etwa gleich groß.

Das Schwindverhalten von KP mit dicken Furnieren ist am günstigsten.

Gesamtbeurteilung

Das Quell- und Schwindverhalten von KP ist hauptsächlich abhängig von der Furnierdicke. KP aus dickeren Furnieren erscheint günstiger als solches mit dünnen Furnieren.

Aus Erfahrung kann gesagt werden, daß das Schwind- und Quellverhalten von KP günstiger ist als das von Holz.

Um genaue Rechenwerte zu erhalten sind exakte Untersuchungen notwendig, die im Rahmen dieses ersten Forschungsabschnittes aus finanziellen Gründen nicht durchgeführt wurden.

5.4 Verleimbarkeit

Der Mittelwert der Leimscherfestigkeit betrug $31,0 \text{ N/mm}^2$ bei einer Standardabweichung von $1,9 \text{ N/mm}^2$. Die 5%-Fraktile der Leimscherfestigkeit beträgt bei Annahme einer Normalverteilung $27,5 \text{ N/mm}^2$.

Ein Vergleich mit den Mindestanforderungen an KPSCHE in Richtung der Schichten nach DIN 7707 Teil 2, Tabelle 1, wonach eine Mindestscherfestigkeit in Richtung der Schichten von 20 N/mm^2 gefordert ist, deutet auf eine hinreichende Verleimbarkeit mit dem geprüften Resorcinharzleim hin.

Untersuchungen mit anderen Leimen müssen bei Bedarf durchgeführt werden.

5.5 Bearbeitbarkeit

Die in Abschnitt 4.5 beschriebenen Bearbeitungsmöglichkeiten lassen sich mit hartmetallbestücktem Werkzeug sehr gut ausführen. Eine Verwendung hochtouriger Maschineneinheiten ist zu empfehlen.

Bei spanabhebender Bearbeitung (z.B. Sägen, Fräsen, Durchbohren usw.) ist zu empfehlen, ein Aussplittern des KP-Holzes beim Werkzeugaustritt durch geeignete Maßnahmen (z.B. Schutz der gefährdeten Flächen durch Holzauflage) zu verhindern.

Weitere Bearbeitungshinweise sind in [19], [20], [21], [22], [23] zu finden.

6 Zusammenfassung

Mit der Zielsetzung, neue, metallfreie Verbindungsmittel zu entwickeln, um die Möglichkeiten der Verbindungstechnik im Ingenieurbau zu erweitern, wurden aufgrund einer umfassenden Literaturstudie und einer Kontaktaufnahme mit der Industrie als geeignet erscheinende Werkstoffe auf Holzbasis für systematische Festigkeitsuntersuchungen ausgewählt. Es kam dabei darauf an, diejenigen mechanischen und physikalischen Eigenschaften zu erfassen, die für das Trag- und Verformungsverhalten von Verbindungen des Holzbaues besonders wichtig sind.

Es stellte sich heraus, daß Kunstharz-Preßholz den gewünschten Eigenschaften sehr nahe kommt, auch wenn die Kerbempfindlichkeit bei Zugbeanspruchung plattenförmiger Kunstharz-Preßhölzer noch näher zu untersuchen und gegebenenfalls durch strukturelle Modifizierungen des Werkstoffes zu verbessern sein wird.

Da das Kunstharz-Preßholz im Hinblick auf mannigfache Einsatzmöglichkeiten in der Technik in vielerlei Varianten hergestellt wird, lag das Schwergewicht der Untersuchungen in diesem 1. Forschungsabschnitt darin, die Einflüsse wichtiger Parameter - wie Schichtaufbau, Plattendicke, Furnierdicken - auf die mechanischen und physikalischen Eigenschaften zu erfassen. Es hat sich dabei gezeigt, daß durch Veränderungen des Werkstoffes, insbesondere der Furnierdicken und des Schichtaufbaues die Eigenschaften merklich verändert und gesteuert werden können.

Kunstharz-Preßhölzer als Schichthölzer oder als Sperrhölzer eignen sich für zug- und biegebeanspruchte Bauteile offenbar in besonderem Maße, wenn sie aus sehr dünnen Einzelfurnieren hergestellt sind. Solche aus dicken Furnieren haben sich dagegen bei Druck- und Lochleibungsbeanspruchungen als tragfähiger erwiesen.

Das Schwind- und Quellverhalten des Kunstharz-Preßholzes hängt weniger vom Schichtaufbau (Schichtholz oder Sperrholz), dagegen aber entscheidend vom Harzgehalt ab. Die Wasseraufnahme kann sehr niedrig gehalten werden, so daß Verbindungsmittel aus Kunstharz-Preßhölzern auch für Anwendungsbereiche geeignet erscheinen, in denen die Holzbauteile großen Feuchteschwankungen ausgesetzt sind.

Hinsichtlich der Einstufung des Kunstharz-Preßholzes nach der Brennbarkeit entsprechend den Baustoffklassen nach DIN 4102 werden gegebenenfalls zusätzliche Untersuchungen notwendig sein. Herstellungstechnisch sollte die Baustoffklasse B1 (Schwerentflammbarkeit) erreichbar sein.

Weitere Beachtung muß man bei der Untersuchung des Verhaltens von Holzverbindungen dem Langzeiteinfluß schenken, um einerseits zuverlässige Aussagen über eventuelle Verformungszunahmen unter ständiger Last (Gebrauchstauglichkeit) und andererseits Angaben über mögliche Reduzierungen der Festigkeiten durch Langzeitbeanspruchung machen zu können.

Auf der Grundlage der vorliegenden Daten über die mechanischen und physikalischen Eigenschaften des Kunstharz-Preßholzes lassen sich Tragfähigkeitshypothesen über Holzverbindungen erstellen, die durch gezielte Versuche verifiziert werden können. Gleichzeitig müssen weitere Untersuchungen die Frage der Kerbempfindlichkeit klären. Diese Aufgaben sollen in einem 2. Forschungsabschnitt bearbeitet werden.

7 Schrifttum und Normen

- [1] Kolb, H. und A. Epple: Mechanische metallfreie Holzverbindungen. Forschungsbericht Nr. I.4-34435 der FMFA Baden-Württemberg, Stuttgart, 1982 (siehe auch gekürzte Fassung in Ehlbeck, J. und G. Steck: Ingenieurholzbau in Forschung und Praxis).

- [2] Brenner, P.: Ein neues Vergütungsverfahren für Bauhölzer. Mitteilungen des Fachausschusses für Holzfragen beim VDI und Deutschen Forstverein, Nr. 12, Berlin, 1935.

- [3] Egner, K.: Neuere Erkenntnisse über die Vergütung der Holzeigenschaften. Mitteilungen des Fachausschusses für Holzfragen beim VDI und Deutschen Forstverein, Nr. 18, Berlin, 1937.

- [4] Riechers, K.: Über Verwendung und Prüfung von hochverdichtetem Holz. Holz als Roh- und Werkstoff 2 (1939), Nr. 3, S. 109/116.

- [5] Kollmann, F.: Vergütete Hölzer und holzhaltige Bau- und Werkstoffe, Begriffe und Zeichen. Erläuterungen zum Normblatt DIN 4076. Holz als Roh- und Werkstoff 5 (1942), Nr. 2/3, S. 41-59.

- [6] Kollmann, F.: Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe, Bd. I, 2. Aufl., Springer-Verlag, Berlin-Göttingen-Heidelberg, 1951.

- [7] Kollmann, F.: Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe, Bd. II, 2. Aufl., Springer-Verlag, Berlin-Göttingen-Heidelberg, 1955.

- [8] Kress, F.: Der Zimmerpolier, 11. Aufl., Otto Maier Verlag, Ravensburg, 1959.
- [9] Stoy, W.: Der Holzbau, 3. Aufl., Berlin, 1942.
- [10] Mönck, W.: Holzbau I, 2. Aufl., VEB Verlag, Berlin, 1961.
- [11] Stoy, W.: Hartholz-Ringdübel und ihre Eignung als Holzverbindungsmittel. Die Technik 1 (1946), Nr. 2, S. 67/71.
- [12] Fuchs, H.: Eisensparende Stabverbindungsmittel für den Holzbau. Bauwelt 28 (1937), Nr. 47, S. 1060/1061.
- [13] Trysna, F.: Binder einer Salzspeicheranlage. Der Bauingenieur 20 (1939), Nr. 25/26, S. 333/339.
- [14] Brüning, H.: Festigkeitseigenschaften vergüteter Hölzer. Fortschritte und Forschungen im Bauwesen, Reihe D, Heft Nr. 20, Franckh'sche Verlagshandlung, Stuttgart, 1955.
- [15] Gehri, E.: Betrachtungen zum Tragverhalten von Bolzenverbindungen im Holzbau. Schweizer Ingenieur und Architekt 51, 52 (1980), S. 1336-1344.
- [16] DIN 7707 Teil 2, Januar 1979: Kunstharz-Preßholz und Isolier-Vollholz, Typen.
- [17] Hauck, K.-H.: Kunstharzpreßholz: Ein Werkstoff der Industrie. In: Ingenieur digest 7 (1978), 17. Jahrgang.
- [18] PAG-Holz[®]-Material für Kläranlagen. Informationsschriften der Firma PAG Preßwerk, Aktiengesellschaft Essen Nr. 03 07 74 und Nr. 01 02 80.

- [19] Obo Festholz[®] -Info Nr. 81. Otto Bosse GmbH + Co. KG, Stadthagen.
- [20] Technische Werte des Kunstharzpreßholzes RÖCHLING-LIGNOSTONE[®] Röchling Haren KG, Haren, Ems.
- [21] Richtlinien für die Anwendung und Bearbeitung von PAGHOLZ[®] Material. PAG Preßwerk, Aktiengesellschaft Essen.
- [22] Niklarz, M.: Kunstharz-Preßholz - Alternative zu herkömmlichen Werkstoffen. In: Werkstatt und Betrieb 109 (1976) 12, S. 725-728.
- [23] Richtlinien für die Bearbeitung von RÖCHLING-LIGNOSTONE[®] Röchling Haren KG, Haren, Ems.

Normen

DIN 7707 Kunstharz-Preßholz und Isolier-Vollholz-
Teil 1 Prüfverfahren

DIN 7707 Kunstharz-Preßholz und Isolier-Vollholz-
Teil 2 Typen

Prüfung von Kunststoffen

DIN 53 452 Biegeversuch
DIN 53 454 Druckversuch
DIN 53 455 Zugversuch
DIN 53 457 Bestimmung des Elastizitätsmoduls im Zug-,
Druck- und Biegeversuch
DIN 53 457 E Bestimmung des Elastizitätsmoduls im Zug-,
Druck- und Biegeversuch
(Entwurf)
DIN 53 479 Bestimmung der Rohdichte

Prüfung von Holz

DIN 52 182 Bestimmung der Rohdichte
DIN 52 183 Bestimmung des Feuchtigkeitsgehaltes

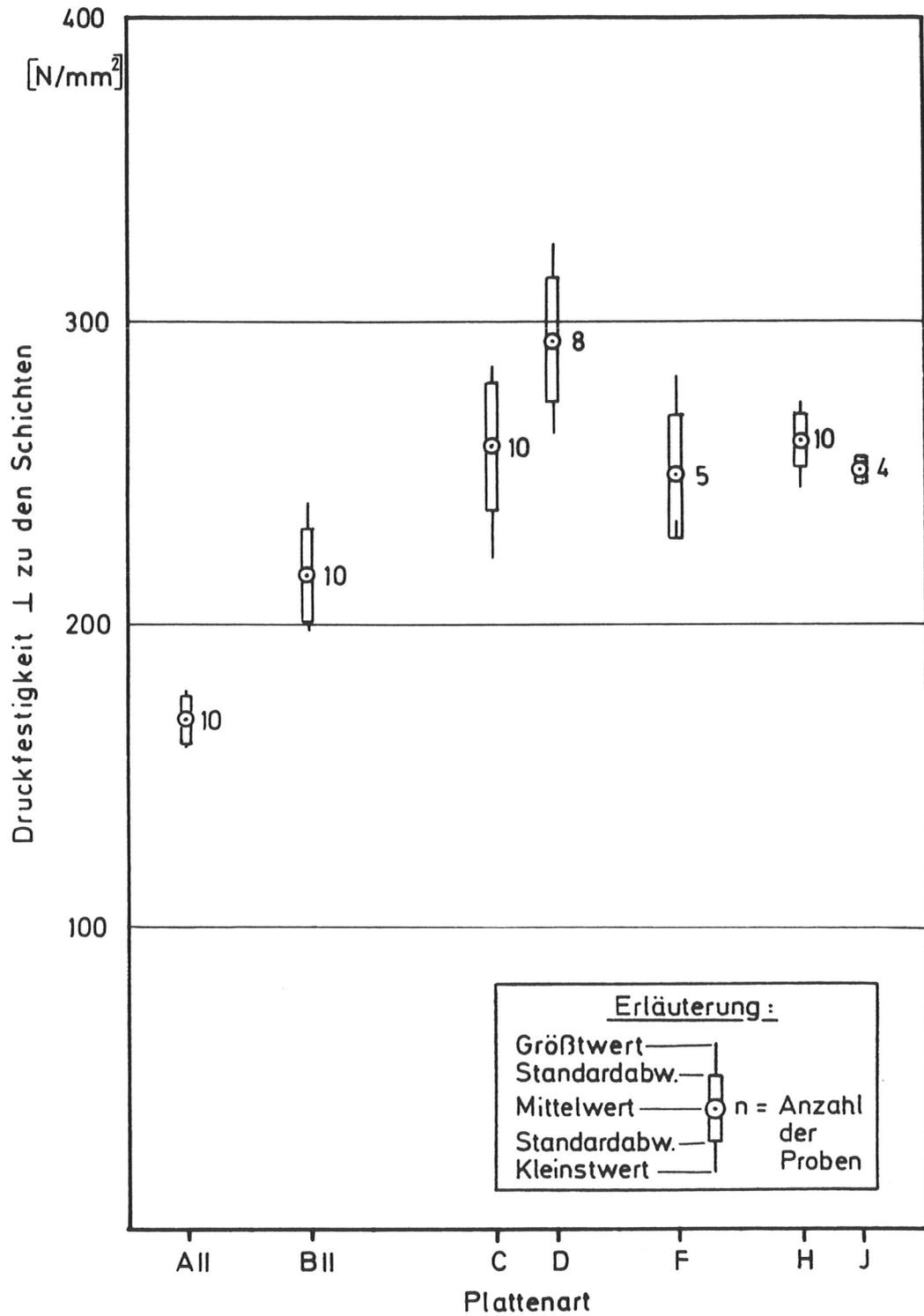
Prüfung von Schaumstoffen

DIN 53 420 Bestimmung der Rohdichte

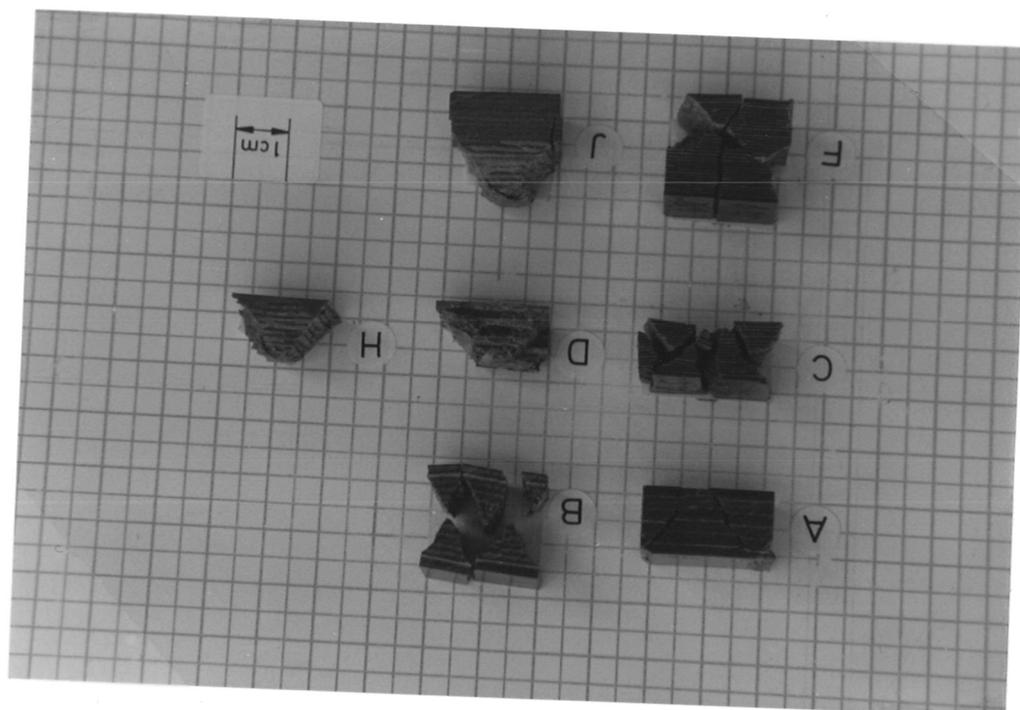
Klimate und ihre technische Anwendung

DIN 50 014 Normalklimate

ANLAGEN



Druckfestigkeiten \perp zu den Schichten (Querdruckfestigkeit)

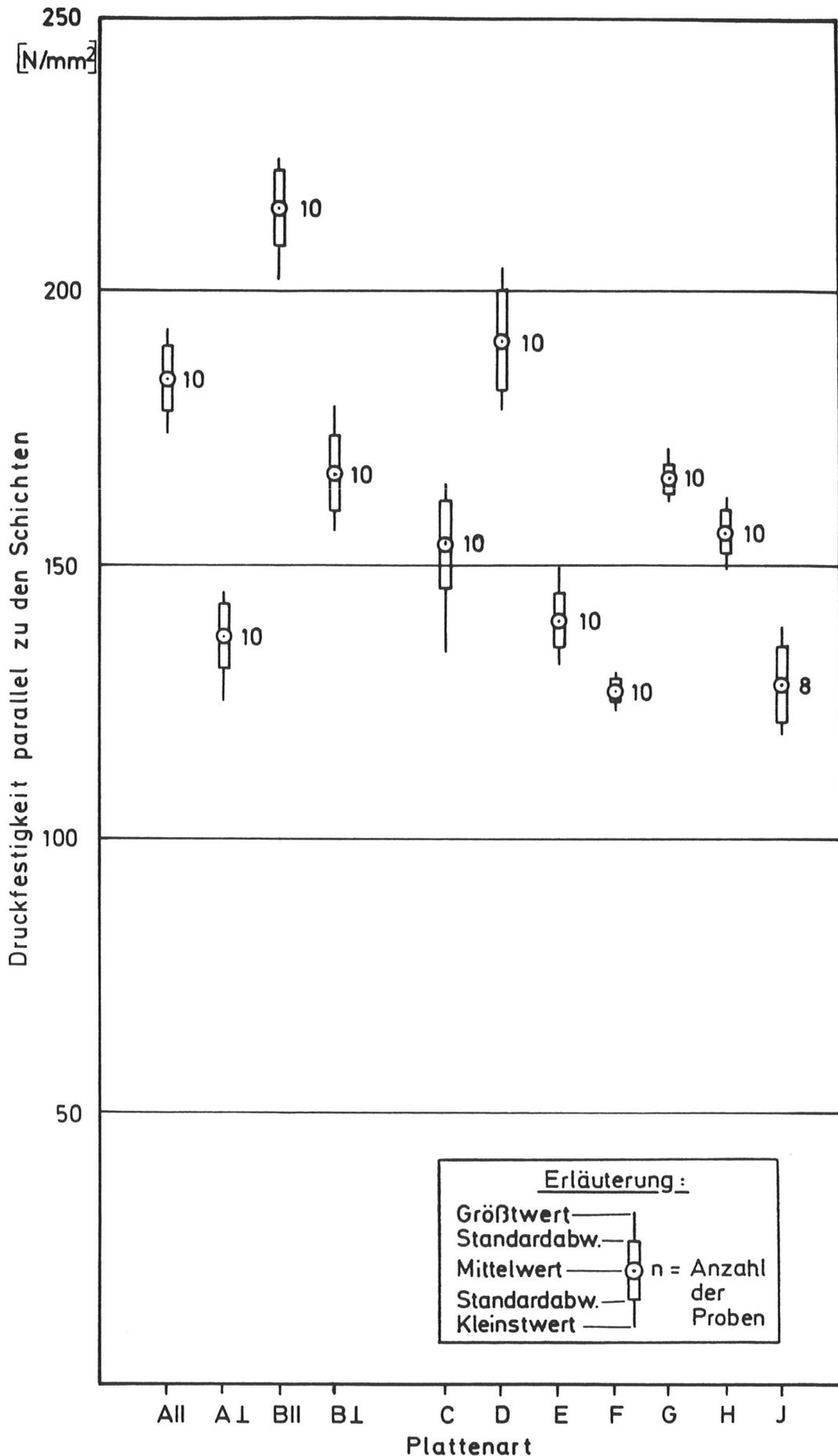


Typische Bruchbilder von Querdruckprüfkörpern
(Reststücke; Ansichten)

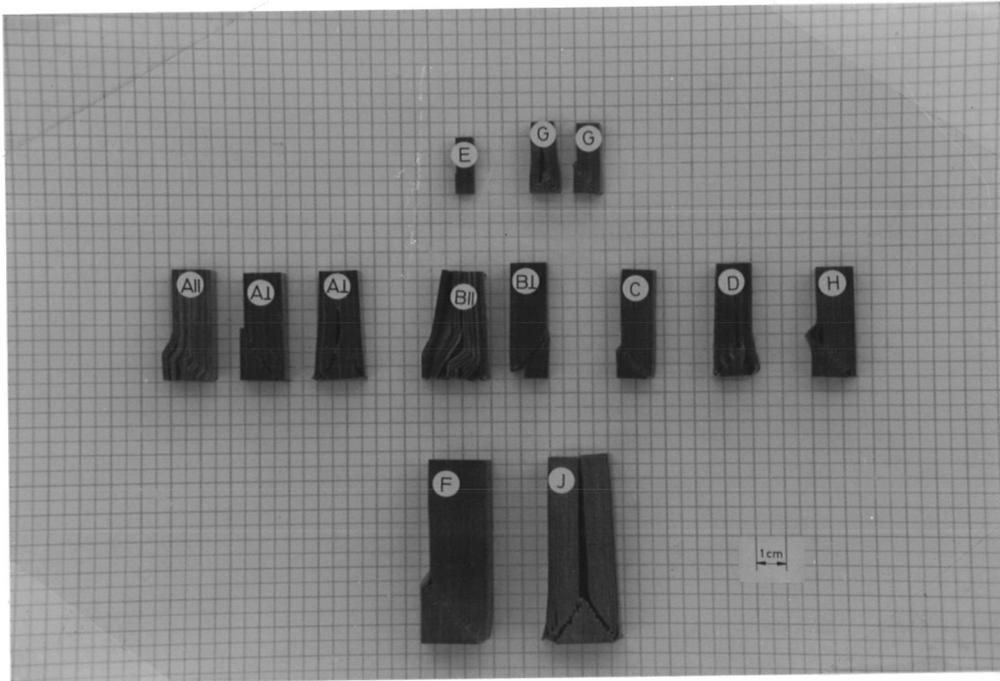
Zusammenstellung der Einzelversuchsergebnisse der Druckfestigkeit [N/mm^2] parallel zu den Schichten (in Plattenebene)

Plattenart	Kunstharz-Preßschichtholz						Kunstharz-Preßsperrholz					
	All	BII	A _⊥	B _⊥	E	G	C	D	H	F	J	
	I	II	I	II	I	III	I	II	III	I	III	
Plattendicke [mm]	12	12	12	12	6	8	12	12	12	20	20	
1	174	218 ¹⁾	133	157	150	162	134 ¹⁾	196	149	127 ¹⁾	135	
2	187	211	125	162	144 ¹⁾	165	155	202	157	127	138	
3	185	222 ¹⁾	136	168	142	167	157	198	162	126	122	
4	176 ¹⁾	218	136	162	142	168	165	204	154	127	121	
5	187	202 ¹⁾	145	163	140 ¹⁾	171	159 ¹⁾	199	152	130	133	
6	182	212	145	175	142	167	155	180	162	127	134	
7	183 ¹⁾	222	140	169	132	163	156	178	155	128	123	
8	193	215 ¹⁾	138	179	136	164	157	184	155	128	120	
9	187	224	132	163	135 ¹⁾	164	153 ¹⁾	183	156	123 ¹⁾	-	
10	188 ¹⁾	207	140	172	136	170	152	189	158	123	-	
Mittelwert	184	215	137	167	140	166	154	191	156	127	128	
Standardabweichung	5,7	7,1	6,1	6,8	5,3	3,0	8,0	9,6	4,1	2,2	7,4	
Variationskoeffizient [%]	3,1	3,3	4,6	4,1	3,8	1,8	5,2	5,0	2,6	1,7	5,8	
Probenanzahl	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	8	
5 %-Fraktile	174	202	126	155	130	161	139	173	148	123	114	

1) gleichzeitig zur Prüfung des Feuchtegehalts



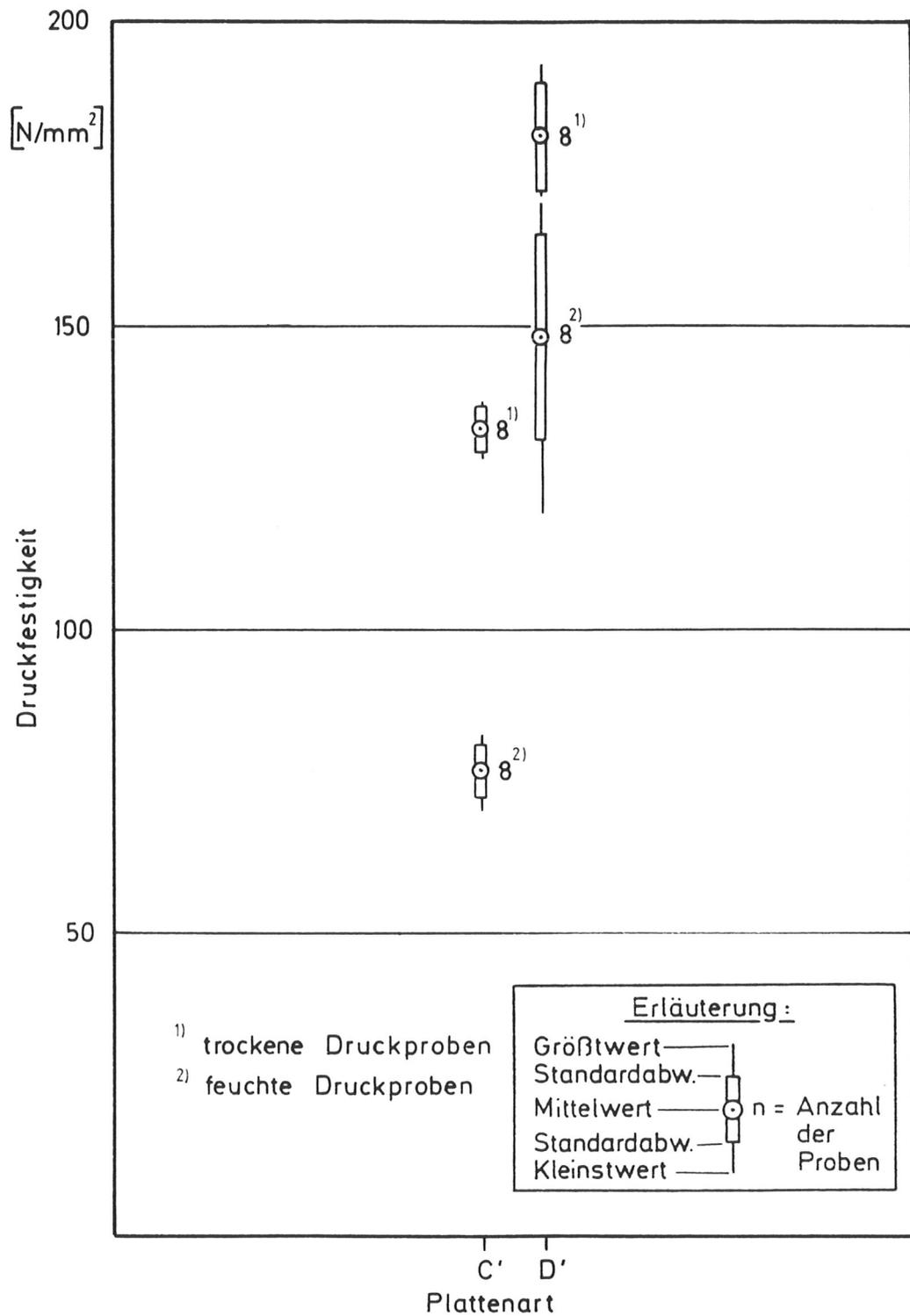
Druckfestigkeit parallel zu den Schichten



Typische Bruchbilder von Druckprüfkörpern
(parallel zu den Schichten; Ansichten)

Druckfestigkeiten und Feuchtegehalt trockener und feuchter Druckproben

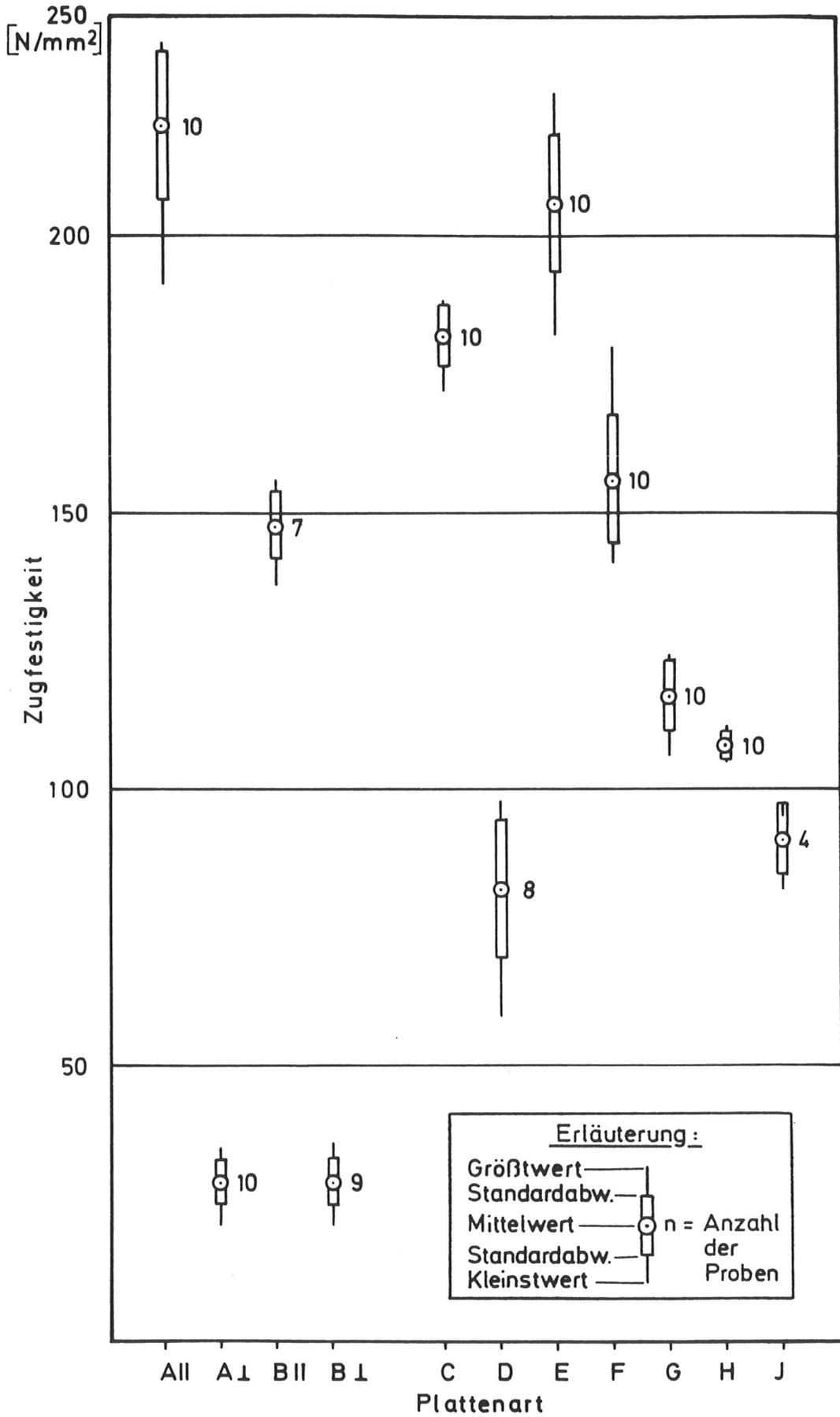
Plattenart/Hersteller	C / I						D / II								
	12						12								
	Normal Lagerung		Wasser Lagerung		u [%]		Normal Lagerung		Wasser Lagerung		u [%]				
Nr.	σ_D [N/mm ²]	Nr.	σ_D [N/mm ²]	Nr.	σ_D [N/mm ²]	Nr.	σ_D [N/mm ²]	Nr.	σ_D [N/mm ²]	Nr.	σ_D [N/mm ²]	Nr.	σ_D [N/mm ²]	Nr.	σ_D [N/mm ²]
C'4	129,0	7,5	C'1	70,0	17,4	D'1	177,0	5,7	D'4	147,0	8,7				
C'2	128,0	7,4	C'3	73,0	16,8	D'3	185,0	5,6	D'2	161,0	7,3				
C'8	134,0	7,4	C'5	78,0	15,5	D'5	192,0	5,2	D'8	162,0	7,1				
C'6	137,0	7,7	C'7	81,0	15,3	D'7	193,0	-	D'6	172,0	-				
C'12	134,0	7,4	C'9	73,0	14,7	D'9	186,0	5,3	D'12	131,0	8,6				
C'10	136,0	7,3	C'11	83,0	14,7	D'11	168,0	5,6	D'10	141,0	-				
C'16	132,0	7,3	C'13	74,0	16,1	D'13	172,0	5,7	D'16	119,0	9,6				
C'14	137,0	7,7	C'15	80,0	15,0	D'15	177,0	5,5	D'14	147,0	8,7				
Mittelwert	133,0	7,5		77,0	15,7		181,0	5,5		148,0	8,3				
Standardabweichung	3,5	0,16		4,6	1,0		9,2	0,20		17,4	0,95				
Variationskoeffizient [%]	2,6	2,1		6,0	6,4		5,1	3,6		11,8	11,45				
Probenanzahl	8	8		8	8		8	7		8	6				
5 %-Fraktile	126,0			68,0			163,0			115,0					



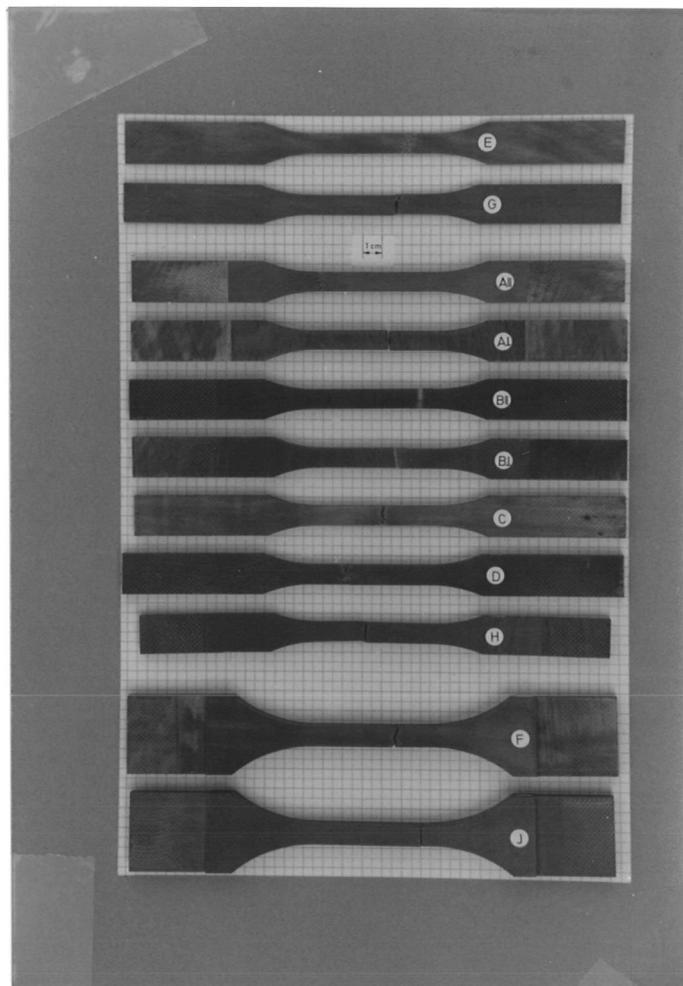
Druckfestigkeit trockener und feuchter Proben parallel zu den Schichten

Zusammenstellung der Einzelversuchsergebnisse der Zugfestigkeit [N/mm²]

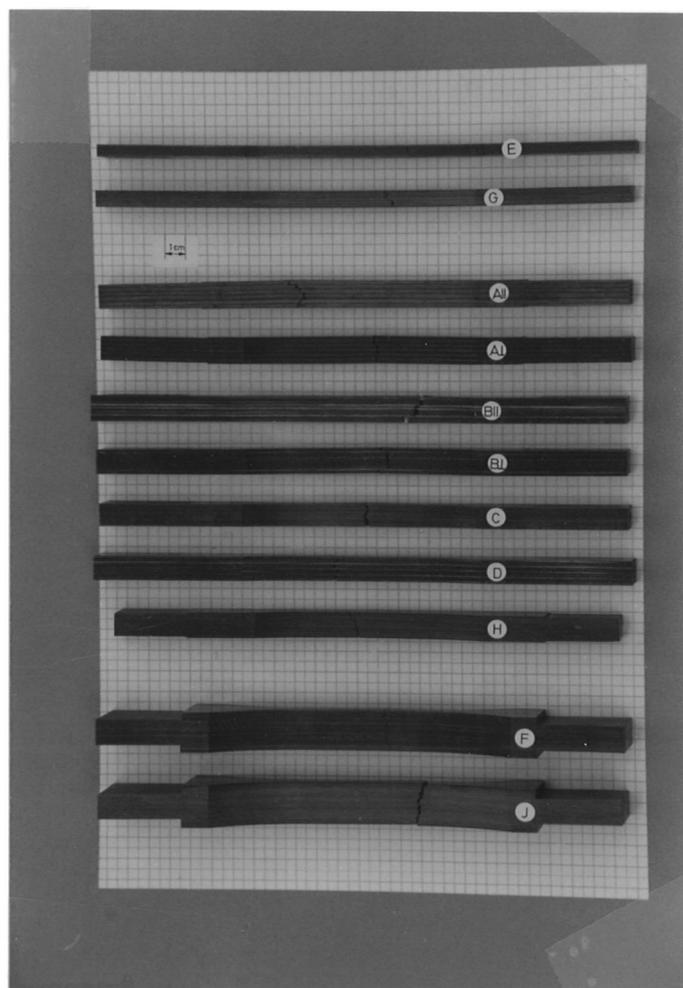
Plattenart	Kunstharz-Preßschichtholz				Kunstharz-Preßsperrholz						
	All	BII	A _⊥	B _⊥	E	G	C	D	H	F	J
Plattenbezeichnung	I	II	I	II	I	III	I	II	III	I	III
Plattenhersteller	12	12	12	12	6	8	12	12	12	20	20
Plattendicke [mm]	12	12	12	12	6	8	12	12	12	20	20
Probekörper Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	223	156	27	31	207	113	172	85	110	157	92
	191	149	31	27	199	113	187	-	107	180	95
	229	145	33	21	226	124	185	88	109	161	95
	203	-	24	36	212	124	181	88	108	161	82
	232	151	29	31	215	111	176	81	106	158	-
	225	137	30	27	209	119	181	89	104	141	-
	228	151	31	28	202	117	188	-	107	162	-
	212	-	21	32	182	124	177	59	111	144	-
	235	-	35	25	194	106	185	68	105	142	-
	223	145	29	-	214	121	186	98	111	157	-
Mittelwert	220	148	29	29	206	117	182	82	108	156	91
Standardabweichung	13,9	6,1	4,1	4,4	12,4	6,4	5,4	12,6	2,4	11,7	6,1
Variationskoeffizient [%]	6,3	4,1	14,3	15,1	6,0	5,5	2,9	15,4	2,3	7,5	6,8
Probenanzahl	10	7	10	9	10	10	10	8	10	10	4
5 %-Fraktile	195	137	21	21	183	105	172	58	104	135	-



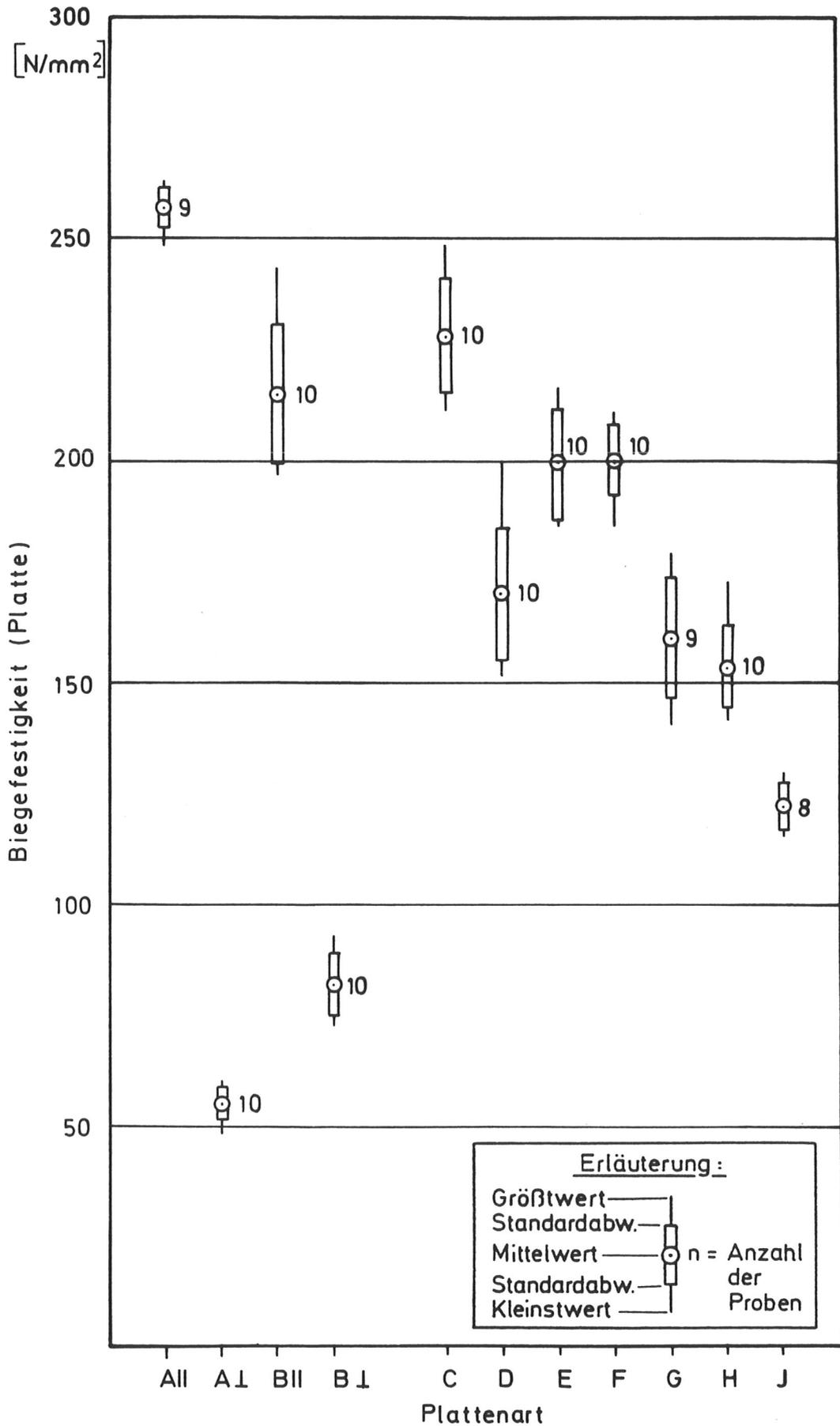
Zugfestigkeiten



Typische Bruchbilder
von Zugprüfkörpern
(Ansichten)



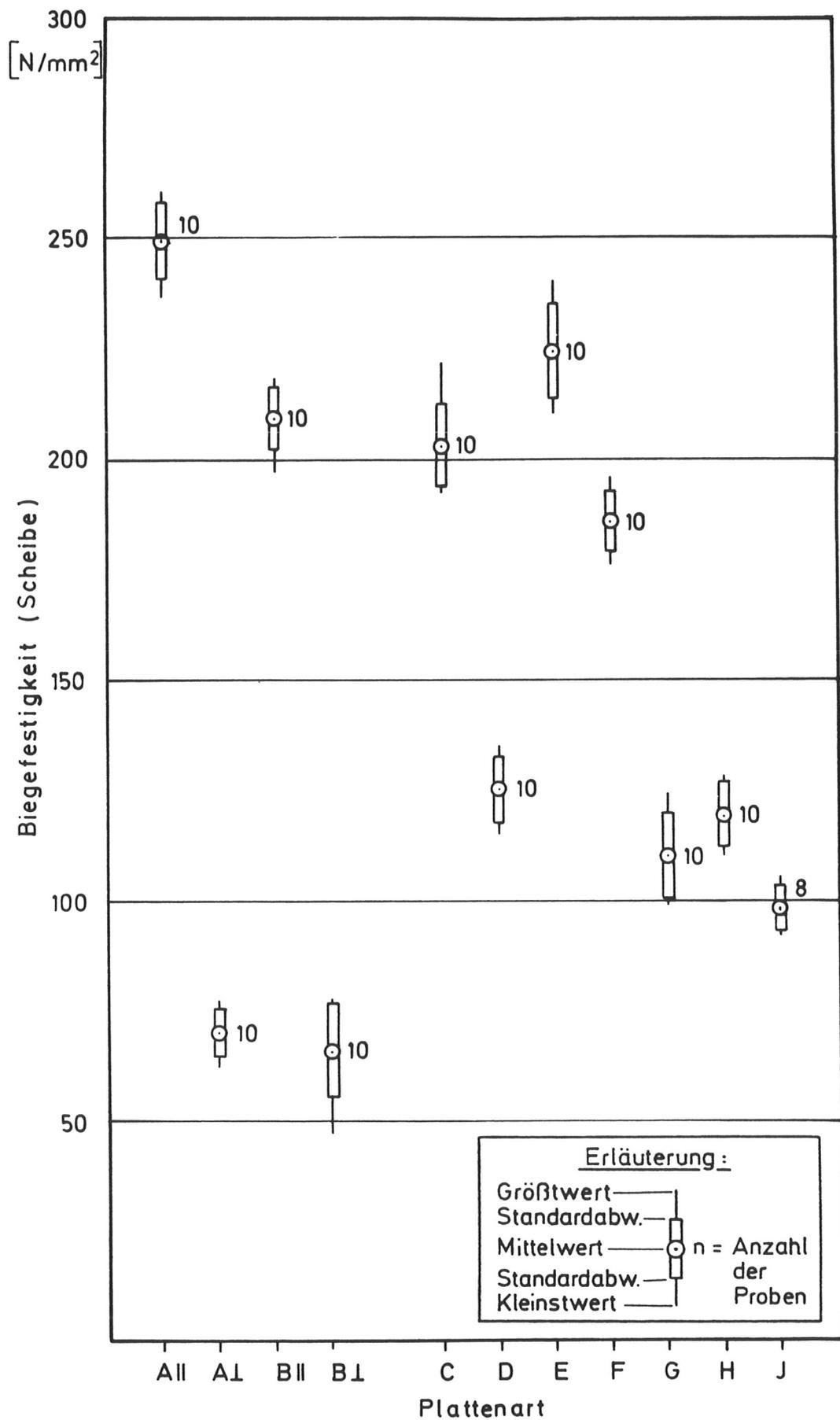
Typische Bruchbilder
von Zugprüfkörpern
(Seitenansichten)



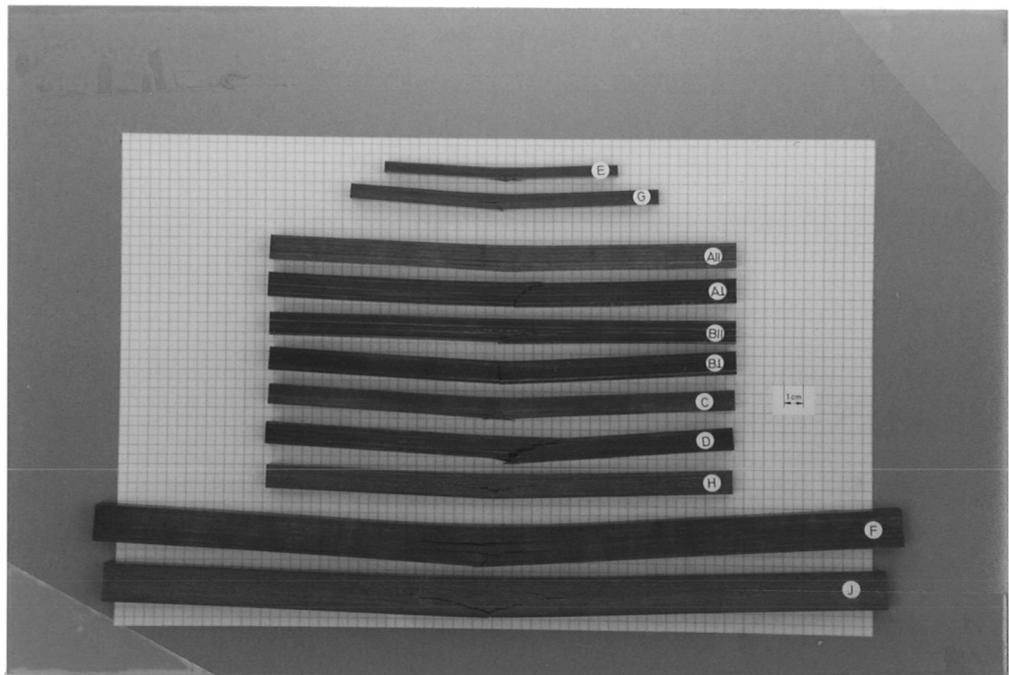
Biegefestigkeiten (Platte)

Zusammenstellung der Einzelversuchsergebnisse der Biegefestigkeit [N/mm^2] (Scheibe)

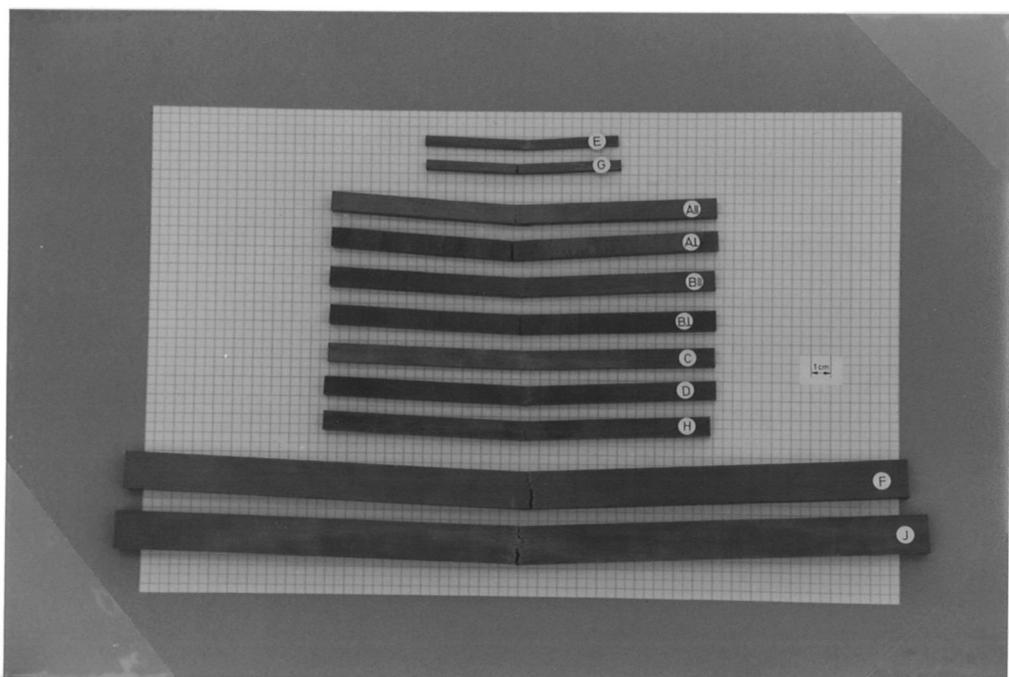
Plattenart	Kunstharz-Preßsichtholz						Kunstharz-Preßsperrholz					
	All	BII	A \perp	B \perp	E	G	C	D	H	F	J	
	I	II	I	II	I	III	I	II	III	I	III	
Plattendicke [mm]	12	12	12	12	6	8	12	12	12	20	20	
1	236	214	62	54	231	99	213	124	126	196	104	
2	260	218	73	64	226	101	207	118	114	196	101	
3	246	197	74	68	233	103	193	131	110	185	100	
4	251	213	68	71	210	124	199	127	124	176	92	
5	236	212	77	54	231	105	192	120	128	180	94	
6	254	210	75	77	240	118	202	124	115	188	105	
7	258	216	65	72	214	112	199	115	122	190	97	
8	252	205	75	75	210	99	207	123	128	187	93	
9	242	203	63	74	217	115	222	134	116	185	-	
10	251	202	69	47	223	123	199	135	108	180	-	
Mittelwert	249	209	70	66	224	110	203	125	119	186	98	
Standardabweichung	8,4	6,9	5,4	10,4	10,4	9,7	9,2	6,7	7,4	6,8	5,0	
Variationskoeffizient [%]	3,4	3,3	7,7	15,8	4,6	8,9	4,5	5,3	6,2	3,7	5,1	
Probenanzahl	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	8	
5 %-Fraktile	234	196	60	47	205	92	186	113	107	174	89	



Biegefestigkeiten (Scheibe)



Typische Bruchbilder von Biegeprüfkörpern
(Platte; Ansichten)



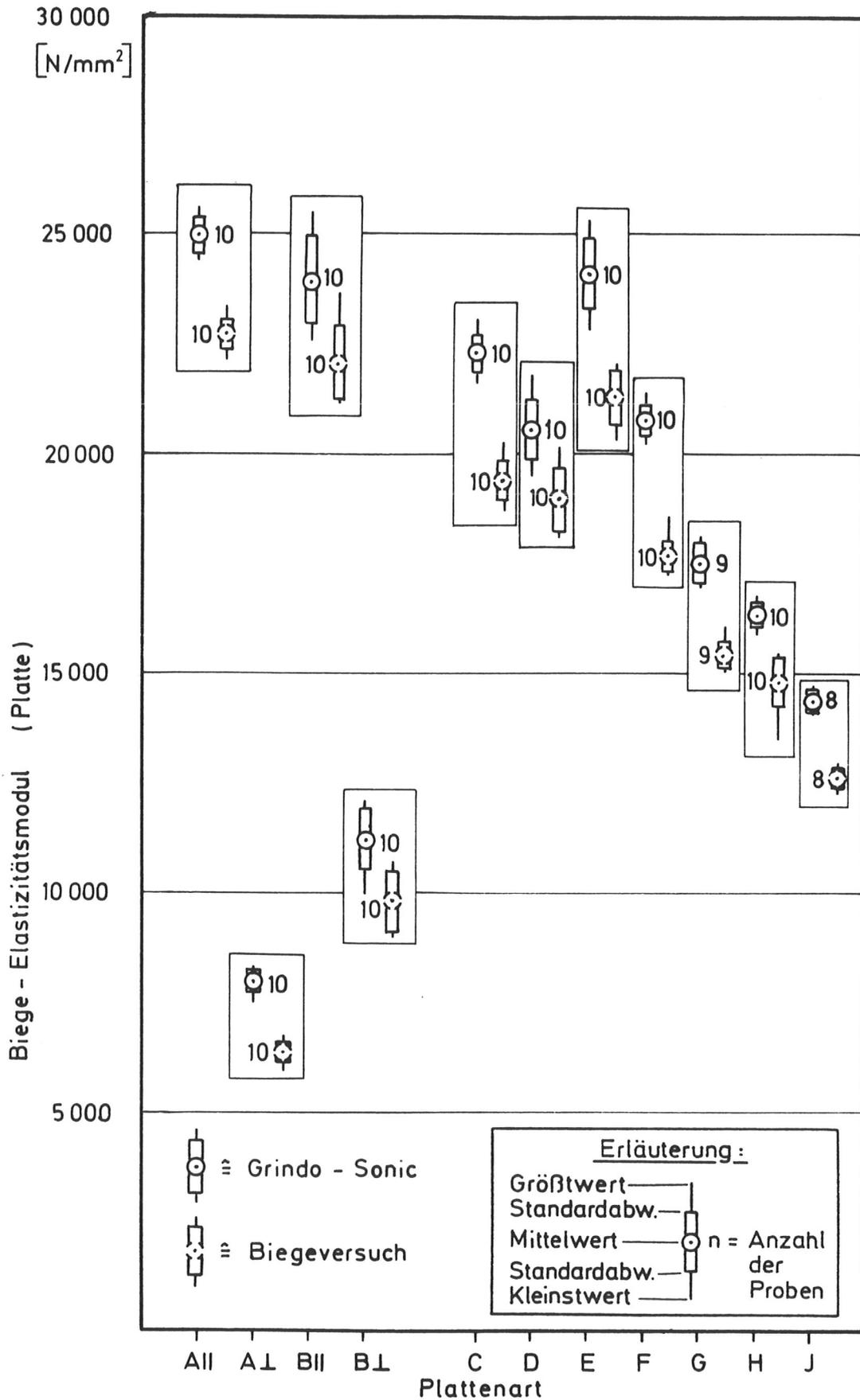
Typische Bruchbilder von Biegeprüfkörpern
(Scheibe; Ansichten)

Zusammenstellung der Einzelversuchsergebnisse der E-Moduln $[N/mm^2]$ (Grindo-Sonic, Platte)

Plattenart	Kunstharz-Preßschichtholz						Kunstharz-Preßsperrholz							
	A \perp		B \parallel		B \perp		C		D		H		J	
	I	II	II	II	I	II	I	II	III	I	II	III	I	III
Plattenbezeichnung	I		II		I		I		II		III		I	
Plattenhersteller	12		12		12		12		12		12		20	
Plattendicke [mm]	12		12		12		12		12		12		20	
Probekörper Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
	25620	24800	8060	11090	25360	17330	22550	19640	16590	20960	14610			
	25490	24810	7760	10830	24360	17480	22880	20120	16130	20790	14550			
	24660	22950	7510	9960	25190	17780	22400	20220	16530	20880	14270			
	24430	23490	7860	10570	24030	18120	21920	20470	16070	20720	14420			
	25050	25610	8030	11750	24190	17430	22380	19780	16770	20290	14500			
	25110	23210	8200	12070	24070	17800	22020	20090	16520	21430	14470			
	24870	24990	8130	11530	24240	17170	22220	21340	16610	20720	14290			
	24570	23580	7970	11420	23380	17550	21740	21370	16260	20860	14490			
	24960	23640	8000	11600	22860	17680	23100	21480	16320	21050	-			
	24550	22640	8110	11700	23500	17080	22250	21870	15900	20250	-			
Mittelwert	24930	23970	7960	11250	24120	17540	22350	20640	16370	20800	14450			
Standardabweichung	400	1000	200	640	770	310	420	800	280	350	120			
Variationskoeffizient [%]	1,6	4,2	2,6	5,7	3,2	1,8	1,9	3,9	1,7	1,7	0,8			
Probenanzahl	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	8			
5 %-Fraktile	24200	22100	7600	10100	22700	17000	21600	19200	15200	20200	14200			

Zusammenstellung der Einzelversuchsergebnisse der E-Moduln $[N/mm^2]$ (Biegeversuch, Platte)

Plattenart	Kunstharz-Preßsichtholz						Kunstharz-Preßsperrholz						
	AII	BII	A \perp	B \perp			E	G	C	D	H	F	J
	I	II	I	II			I	III	I	II	III	I	III
Plattendicke [mm]	12	12	12	12			6	8	12	12	12	20	20
1	22800	22680	6470	9660			21970	15400	19650	18300	15200	17360	12900
2	22570	22610	6210	9280			21420	15200	19820	18660	13400	17450	12700
3	22150	21250	6120	8532			21750	15600	19420	18130	15200	17770	12600
4	22330	21920	6280	9100			21420	16100	19550	18930	14500	17600	12800
5	23410	23790	6460	10550			20400	15300	19330	18130	15300	17390	12700
6	23080	21510	6670	10650			21240	15500	19020	18510	15200	18620	12400
7	22640	22790	6670	10250			21990	15000	19420	19630	15200	17470	12300
8	22820	21800	6310	9970			20870	15200	18730	19630	14900	17600	12700
9	22990	21910	6360	10200			20340	15800	20290	20150	15000	18030	-
10	22730	20880	6610	10350			21410	-	19060	19890	14500	17590	-
Mittelwert	22750	22110	6420	9850			21280	15460	19430	19000	14840	17690	12640
Standardabweichung	360	860	190	690			590	340	440	770	580	380	200
Variationskoeffizient [%]	1,6	3,9	3,0	6,5			2,8	2,2	2,3	4,1	3,9	2,2	1,6
Probenanzahl	10	10	10	10			10	9	10	10	10	10	8
5 %-Fraktile	22100	20500	6100	8600			20200	14800	18600	17600	13800	17000	12300



Biege - Elastizitätsmoduln (Platte)

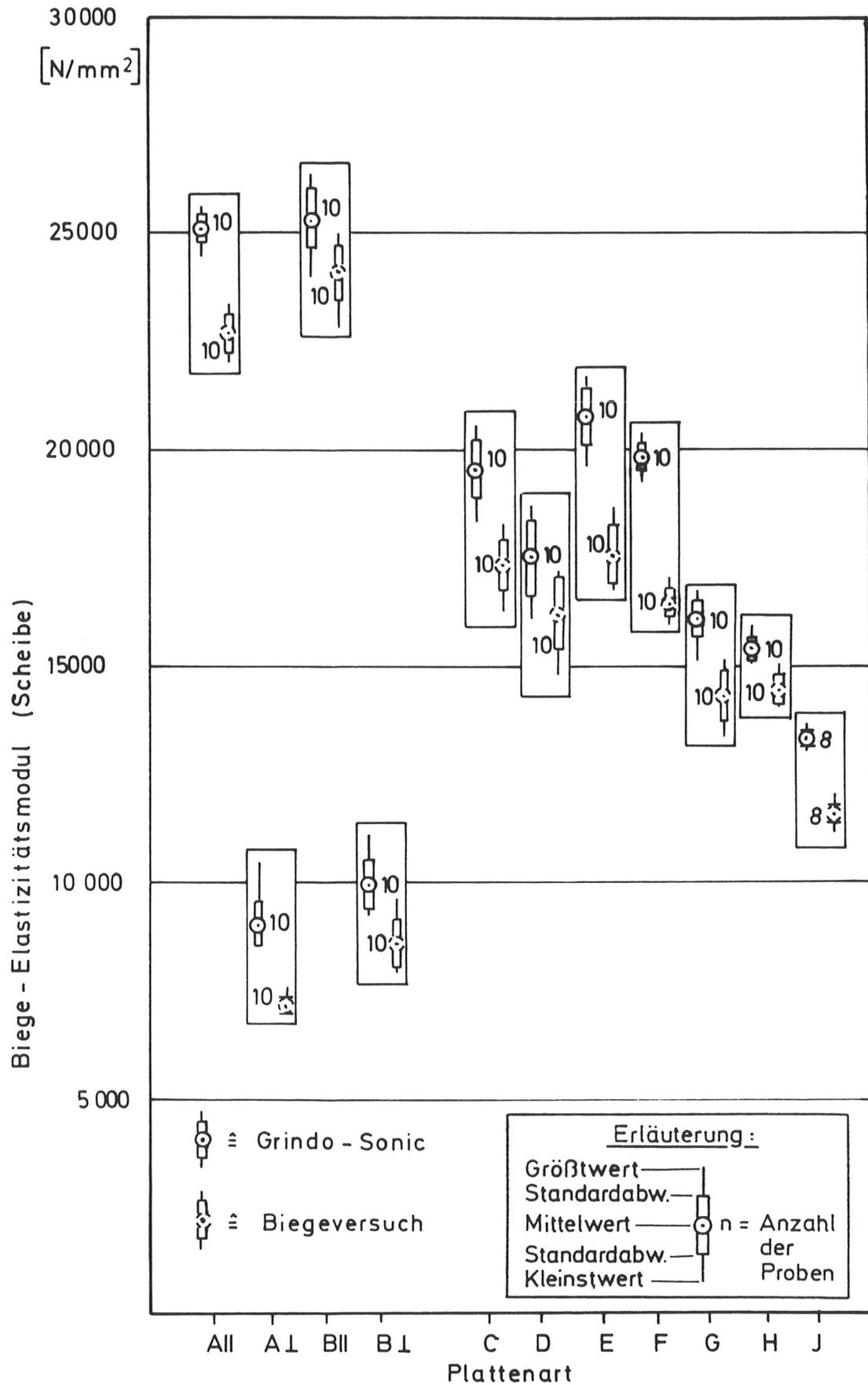
(mit Grindo - Sonic und im Biegeversuch bestimmt)

Zusammenstellung der Einzelversuchsergebnisse der E-Moduln $[N/mm^2]$ (Grindo-Sonic, Scheibe)

Plattenart	Kunstharz-Preßschichtholz						Kunstharz-Preßsperrholz						
	All	BII	A \perp	B \perp			E	G	C	D	H	F	J
	I	II	I	II	12	12	I	III	I	II	III	I	III
Plattendicke [mm]	12	12	12	12	12	12	6	8	12	12	12	20	20
1	25130	25250	8800	9450	20790	16270	19650	16010	15420	20340	13450		
2	25630	24710	8680	9640	20780	16230	20080	16010	15600	19840	13570		
3	25000	25440	8630	9290	21680	16010	19060	18020	15200	19960	13100		
4	25250	25270	8880	9510	20940	16460	19630	17950	15460	19820	13310		
5	24450	25760	9280	10010	21360	16220	18660	17230	15370	19440	13250		
6	25430	26060	9120	11080	21330	16640	19770	17180	15250	19990	13410		
7	25300	26260	8940	10200	19870	16090	20120	18180	15290	20160	13320		
8	25020	25470	8990	10210	19630	15100	18380	18040	15880	19730	13210		
9	25240	24750	8710	10410	20360	16010	20520	17890	15160	19810	-		
10	24840	23940	10400	9370	20960	15610	19490	18700	15130	19190	-		
Mittelwert	25130	25290	9040	9920	20770	16060	19540	17520	15380	19830	13330		
Standardabweichung	330	690	520	570	650	440	670	910	230	330	150		
Variationskoeffizient [%]	1,3	2,7	5,7	5,7	3,1	2,7	3,4	5,2	1,5	1,7	1,1		
Probenanzahl	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	8		
5 %-Fraktile	24500	24000	8100	8900	19600	15300	18300	15900	15000	19200	13000		

Zusammenstellung der Einzelversuchsergebnisse der E-Moduln $[N/mm^2]$ (Biegeversuch, Scheibe)

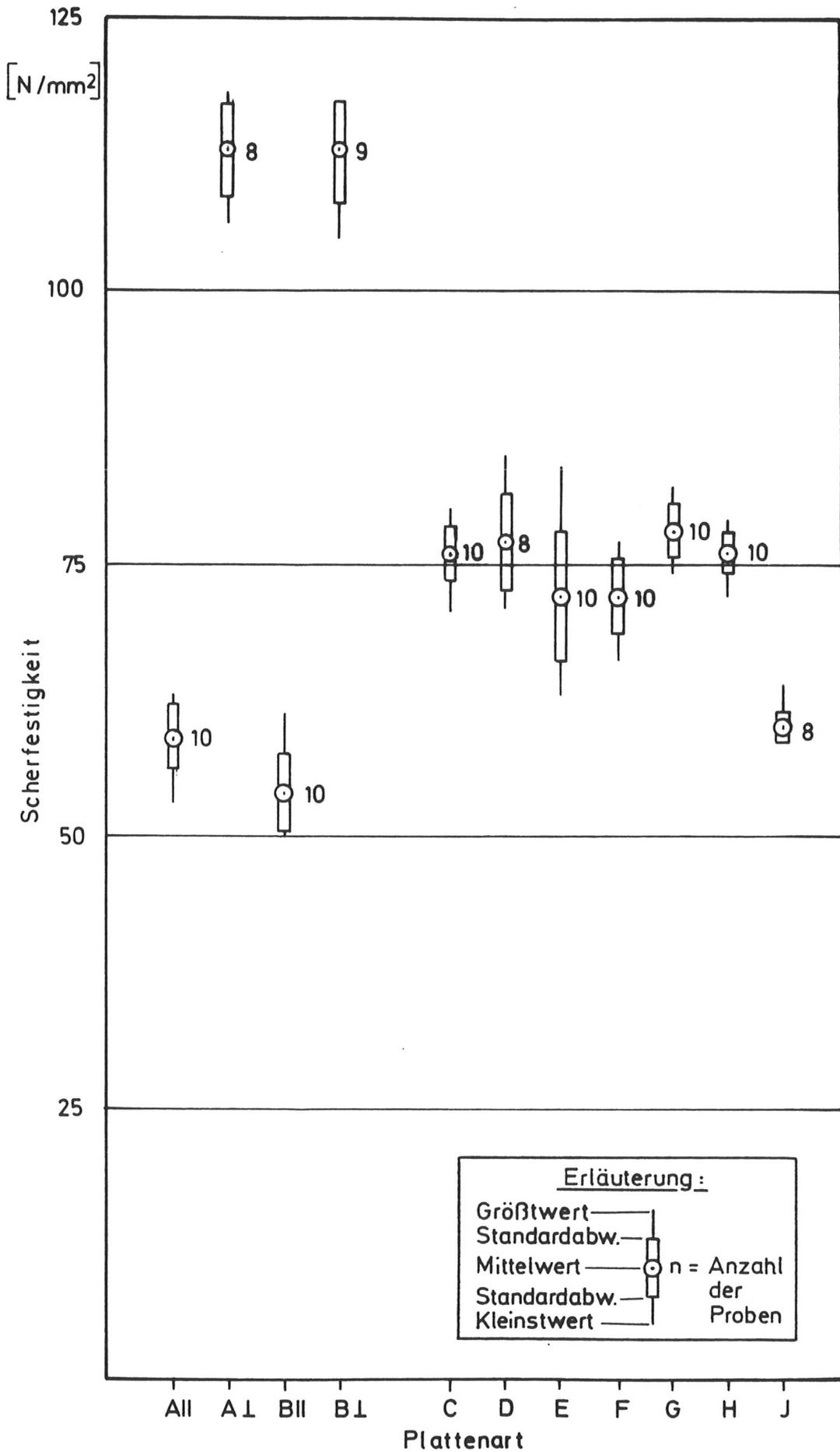
Plattenart	Kunstharz-Preßschichtholz				Kunstharz-Preßsperrholz							
	AII	BII	A \perp	B \perp	E	G	C	D	H	F	J	
Plattenbezeichnung	I	II	I	II	I	III	I	II	III	I	III	
Plattenhersteller	12	12	12	12	6	8	12	12	12	20	20	
Plattendicke [mm]												
1	22070	24030	7200	7910	17570	14300	17370	14790	14200	16090	11800	
2	23130	23380	7150	8450	17930	14700	17860	14690	14800	16740	11900	
3	22400	24320	7190	8080	18600	14000	16930	16290	14300	16600	11300	
4	22860	24050	7070	8370	18400	15100	17550	16830	14400	16360	11400	
5	22220	24430	7170	8470	17980	14400	16220	16350	14200	16180	11800	
6	22770	24690	7270	9610	18090	15100	17510	15700	14400	17040	11700	
7	23260	25080	7270	8830	16830	14500	17580	16820	14400	16560	11400	
8	22590	24050	7120	8820	17410	13300	16780	17030	15100	16360	11600	
9	23140	23760	7010	9380	17310	13800	18280	16900	14100	16200	-	
10	22510	22850	7610	7910	18090	14000	17240	17050	14500	16090	-	
Probekörper Nr.												
Mittelwert	22670	24060	7200	8580	17830	14320	17330	16250	14440	16420	11610	
Standardabweichung	410	640	160	580	550	570	580	900	300	310	220	
Variationskoeffizient [%]	1,8	2,7	2,3	6,8	3,1	4,0	3,4	5,5	2,1	1,9	1,9	
Probenanzahl	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	8	
5 %-Fraktile	21900	22900	6900	7500	16800	13300	16300	14600	13900	15900	11200	



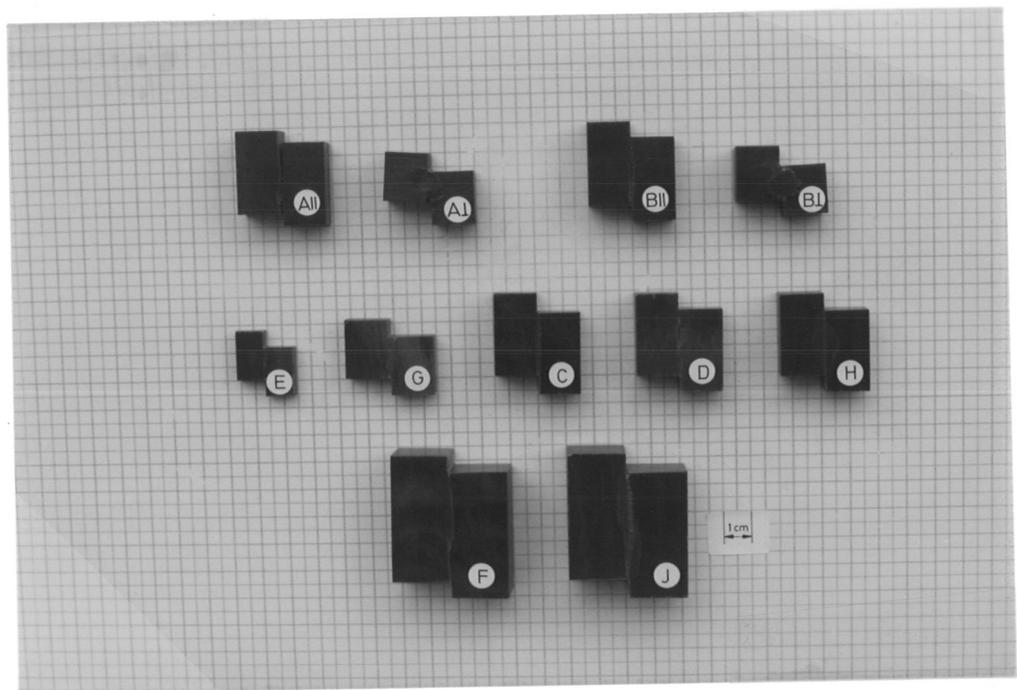
Biege - Elastizitätsmoduln (Scheibe)
(mit Grindo-Sonic und im Biegeversuch bestimmt)

Zusammenstellung der Einzelversuchsergebnisse der Scherfestigkeit [N/mm²]

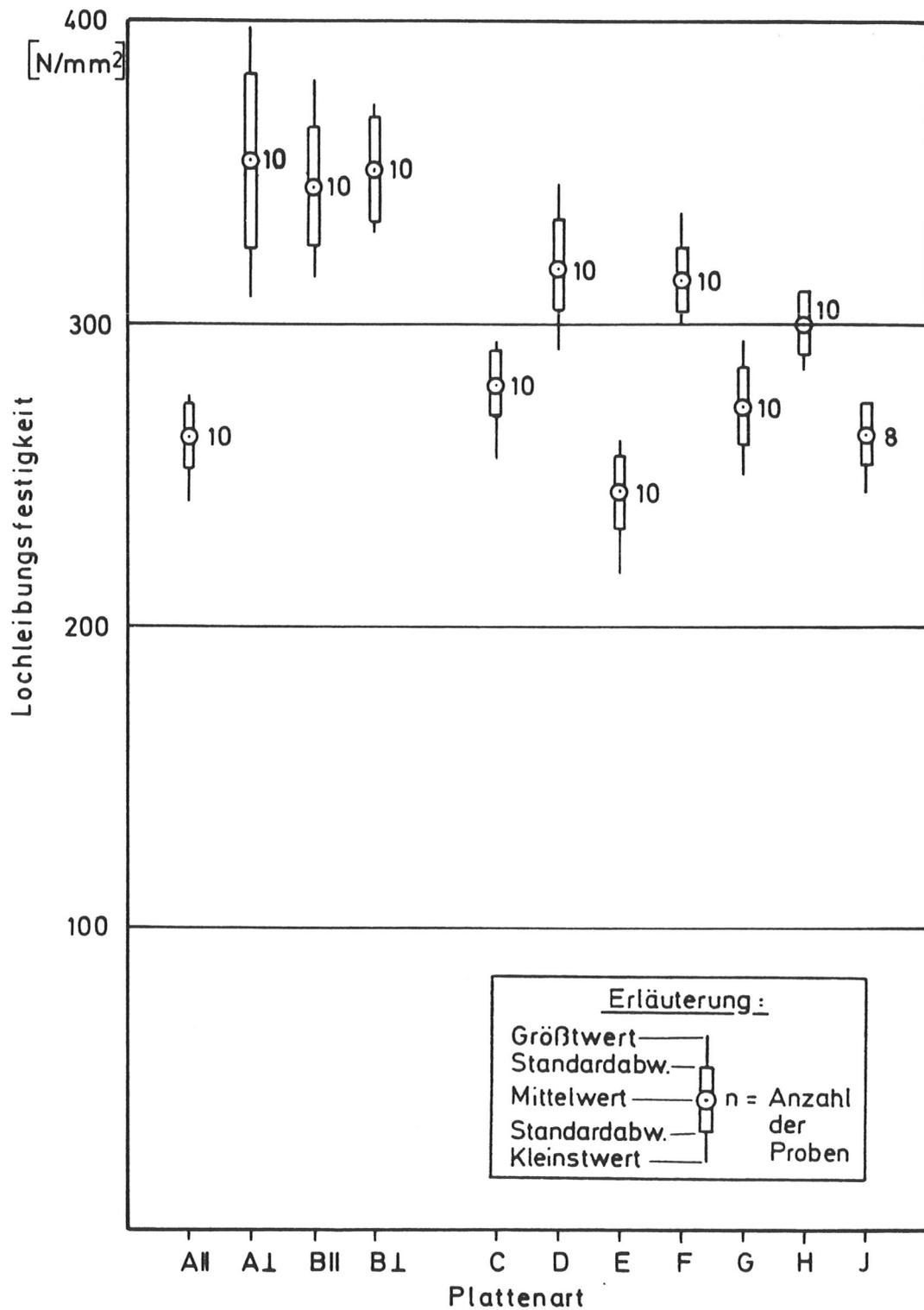
Plattenart	Kunstharz-Preßschichtholz						Kunstharz-Preßsperrholz									
	AII		BII		B _L		E	G	C	D	H	F	J			
	I	II	I	II	III	I								III	I	III
	12	12	12	12	8	12								12	12	20
1	53	52	-	107	84	78	71	-	72	68	59					
2	63	53	-	112	77	74	75	-	74	66	61					
3	60	51	110	122	66	77	74	80	76	69	60					
4	56	52	109	114	72	76	80	85	78	72	61					
5	58	50	106	105	68	78	77	79	76	76	59					
6	62	52	117	111	74	82	75	76	78	74	59					
7	60	59	112	110	63	78	73	71	76	75	59					
8	59	61	118	-	69	77	77	73	78	75	64					
9	60	57	114	110	71	82	77	73	74	72	-					
10	61	52	118	118	73	76	78	76	79	77	-					
Mittelwert	59	54	113	112	72	78	76	77	76	72	60					
Standardabweichung	2,9	3,7	3,7	4,5	5,9	2,4	2,6	4,6	2,1	3,7	1,6					
Variationskoeffizient [%]	4,9	6,9	4,0	4,7	8,2	3,1	3,4	6,0	2,7	5,1	2,7					
Probenanzahl	10	10	8	9	10	10	10	8	10	10	8					
5 %-Fraktile	54	47	-	-	61	74	71	68	72	65	55					



Scherfestigkeit \perp zu den Schichten



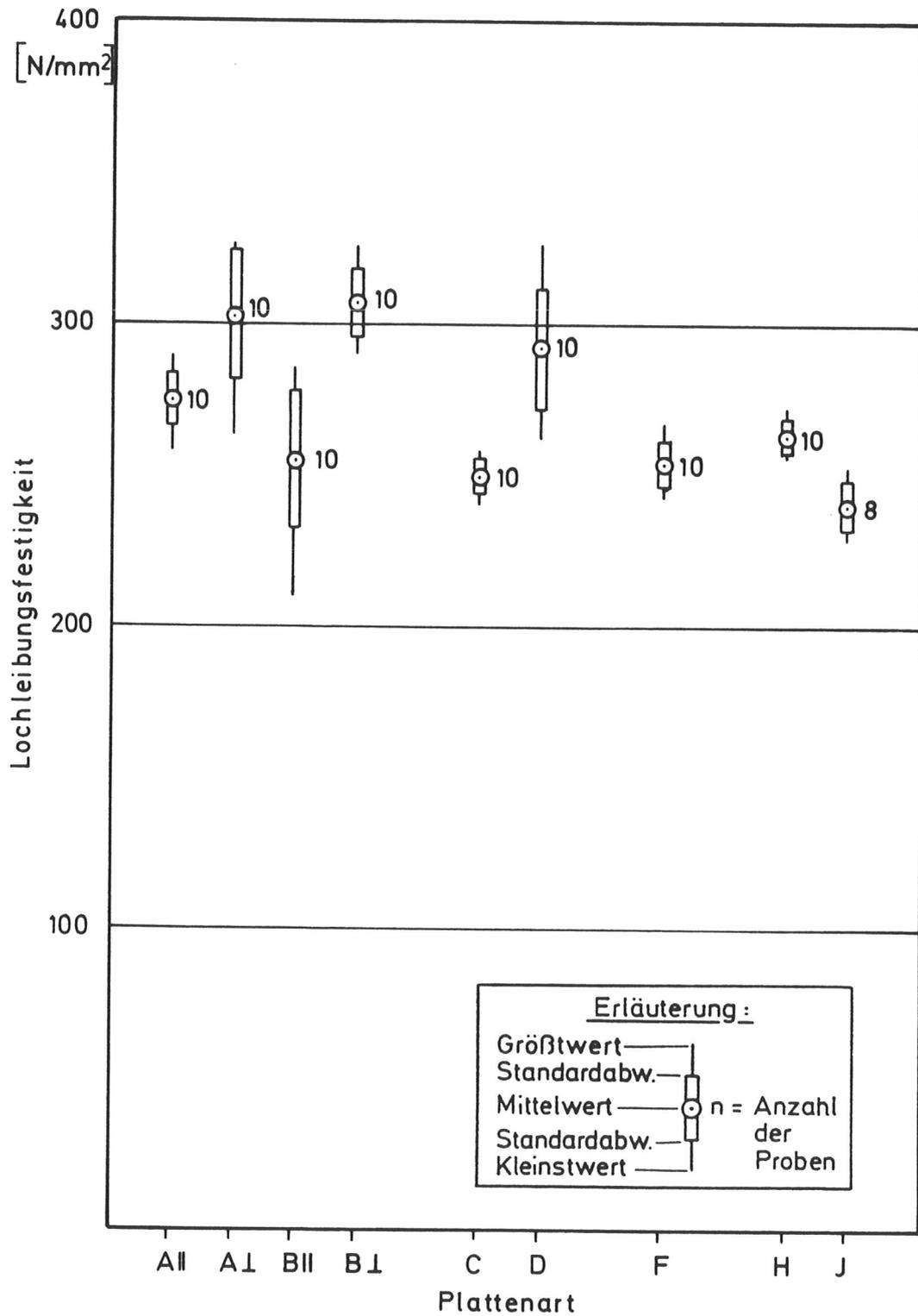
Typische Bruchbilder von Scherprüfkörpern
(Ansichten)



Lochleibungsfestigkeiten ϕ 6 mm

Zusammenstellung der Einzelversuchsergebnisse der Lochleibungsfestigkeit $[N/mm^2]$ (\emptyset 12 mm)

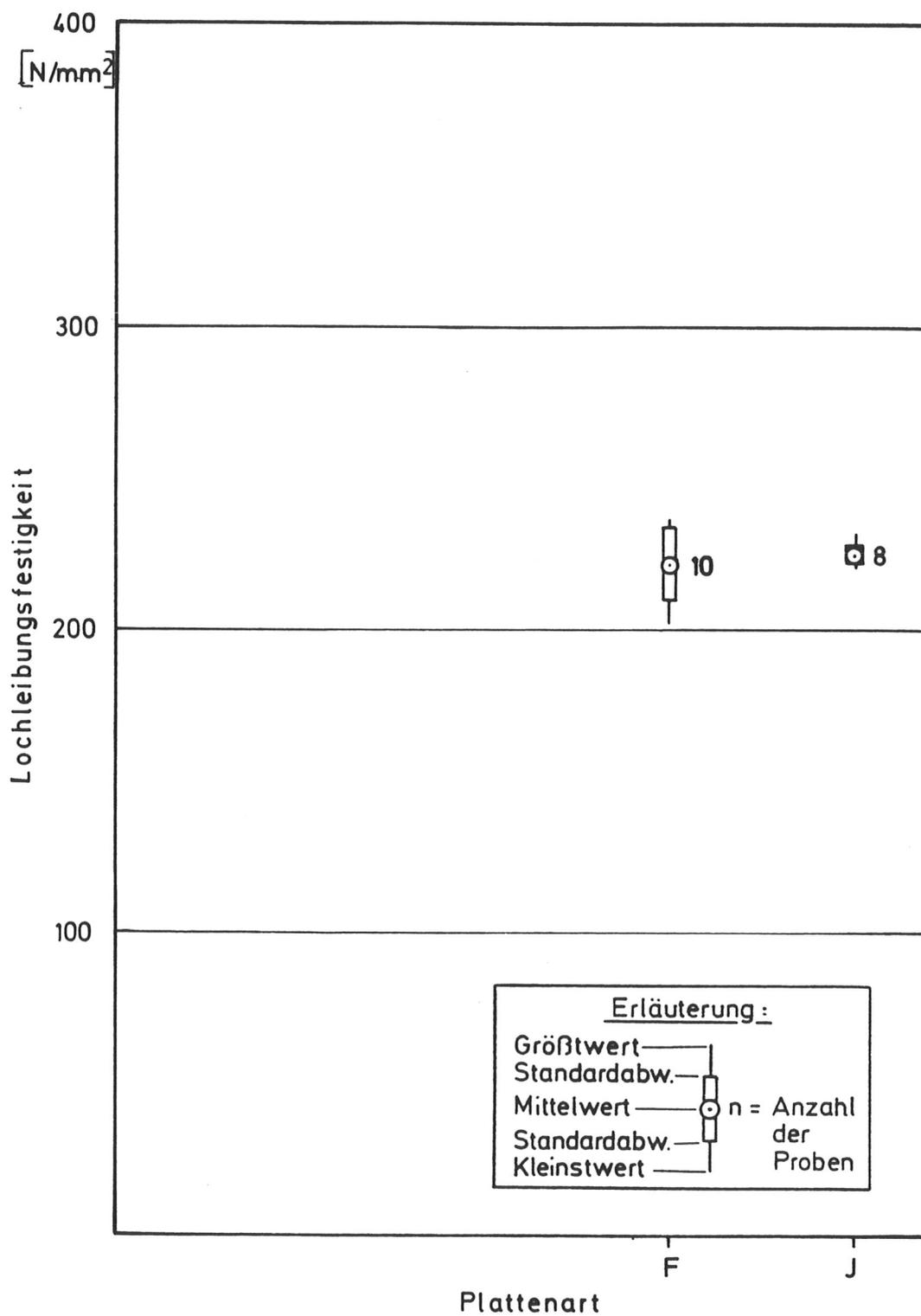
Plattenart	Kunstharz-Preßsichtholz						Kunstharz-Preßsperrholz					
	AII	BII	A \perp	B \perp	E	G	C	D	H	F	J	
	I	II	I	II	I	III	I	II	III	I	III	
Plattenbezeichnung	12	12	12	12	6	8	12	12	12	20	20	
Plattenhersteller												
Plattendicke [mm]												
	258	234	246	307	-	-	255	262	259	256	238	
1	273	246	320	293	-	-	246	264	266	261	253	
2	290	210	326	303	-	-	253	291	256	249	229	
3	278	286	305	290	-	-	255	326	256	243	234	
4	273	239	263	297	-	-	245	306	261	245	248	
5	276	281	276	301	-	-	246	312	258	259	251	
6	272	268	288	320	-	-	247	272	267	244	233	
7	276	265	305	325	-	-	241	299	263	258	235	
8	285	269	321	312	-	-	257	300	273	255	-	
9	270	255	325	317	-	-	258	288	269	267	-	
10												
Mittelwert	275	255	303	307	-	-	250	292	263	254	240	
Standardabweichung	8,6	23,3	21,7	11,8	-	-	5,9	20,1	5,8	8,1	9,2	
Variationskoeffizient [%]	3,1	9,1	7,2	3,8	-	-	2,4	6,9	2,2	3,2	3,8	
Probenanzahl	10	10	10	10	-	-	10	10	10	10	8	
5 %-Fraktile	259	212	263	285	-	-	239	255	252	239	223	



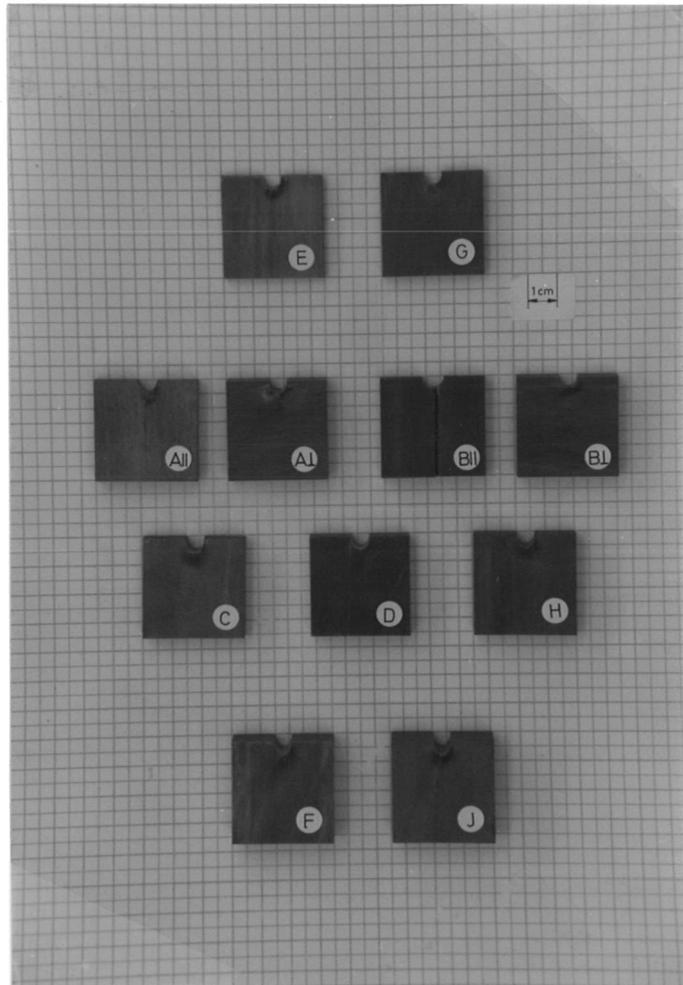
Lochleibungsfestigkeiten $\phi 12$ mm

Zusammenstellung der Einzelversuchsergebnisse der Lochleibungsfestigkeit [N/mm^2] (\emptyset 20 mm)

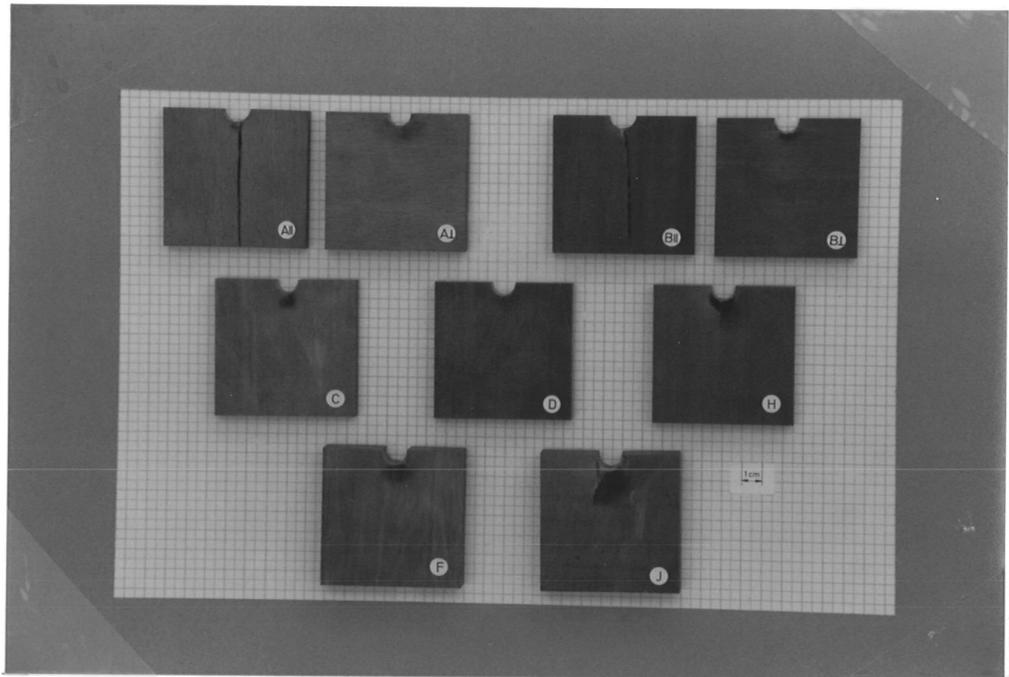
Plattenart	Kunstharz-Preßschichtholz						Kunstharz-Preßsperrholz						
	A II	B II	A ⊥	B ⊥	I	II	E	G	C	D	H	F	J
	I	II	I	II	I	II	I	III	I	II	III	I	III
Plattendicke [mm]	12	12	12	12	12	12	6	8	12	12	12	20	20
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	216	222
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	229	226
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	218	222
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	202	225
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	216	226
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	236	231
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	230	224
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	230	221
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	235	-
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	208	-
Mittelwert	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	222	225
Standardabweichung	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11,7	3,2
Variationskoeffizient [%]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,3	1,3
Probenanzahl	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	8
5 %-Fraktile	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	201	219



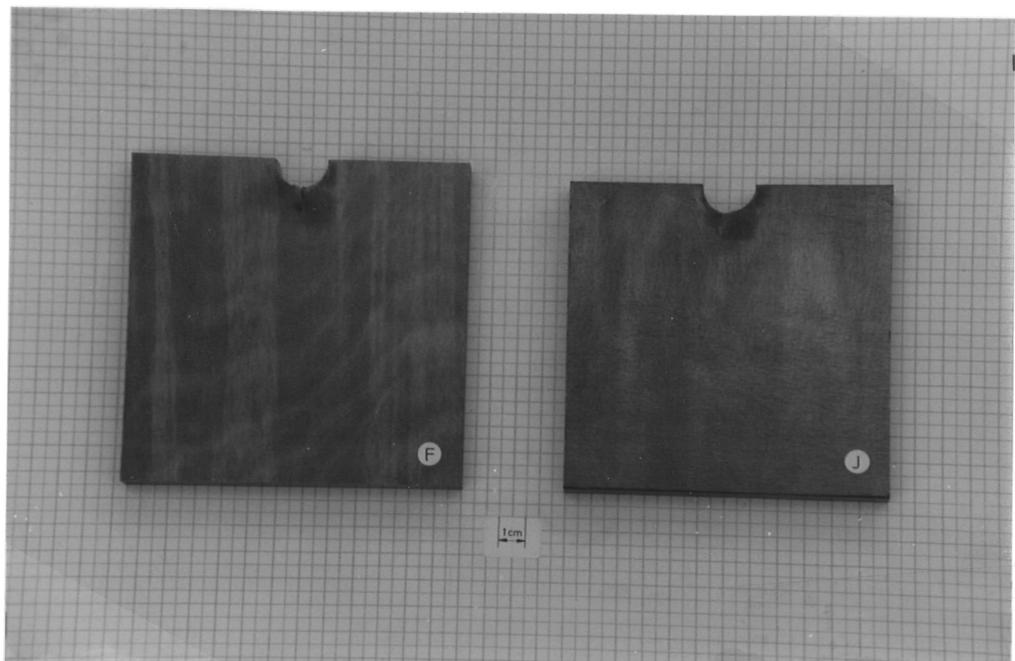
Lochleibungsfestigkeiten ϕ 20 mm



Typische Bruchbilder von Lochleibungs-
prüfkörpern \varnothing 6mm (Ansichten)



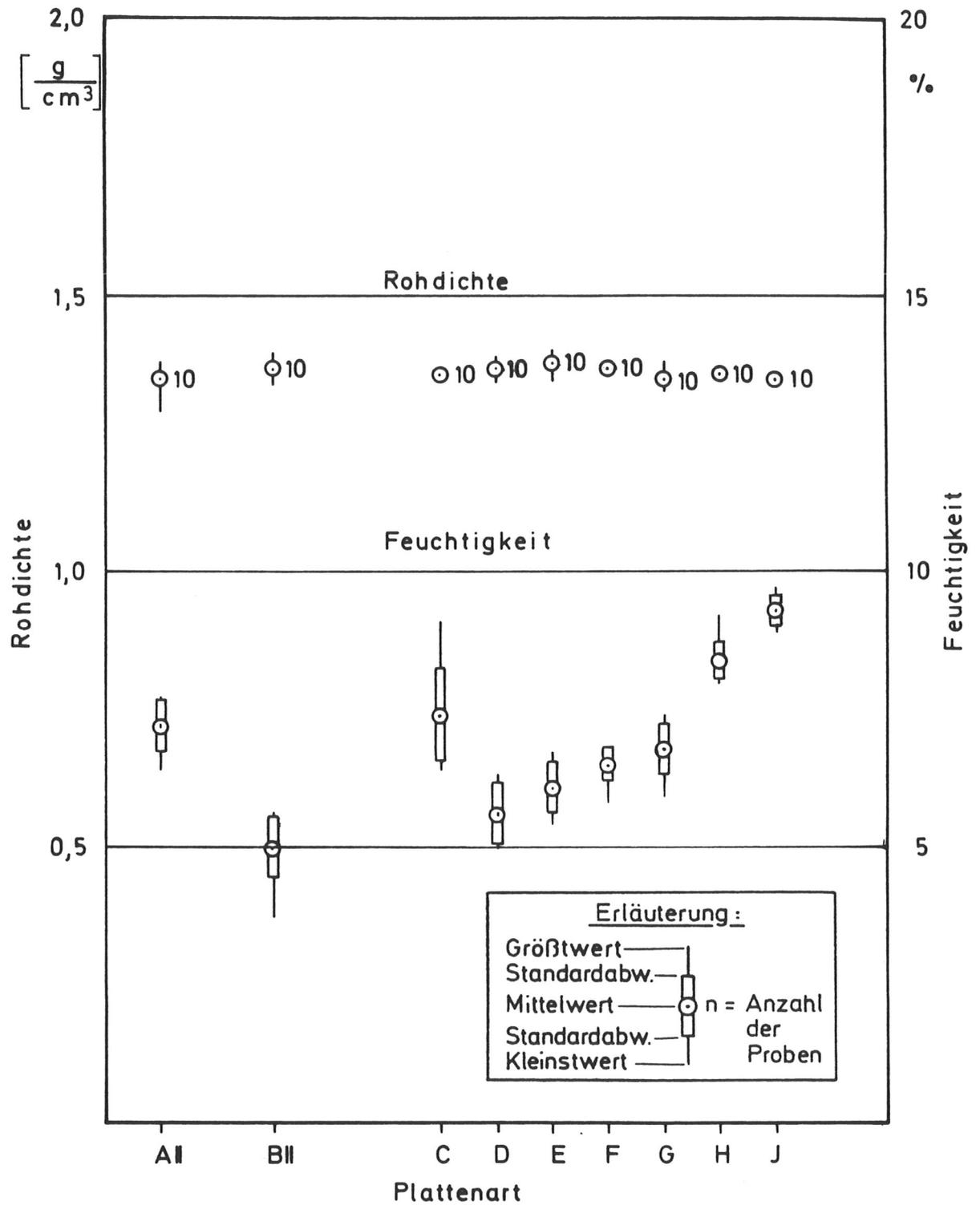
Typische Bruchbilder von Lochleibungsprüf-
körpern Ø 12 mm (Ansichten)



Typische Bruchbilder von Lochleibungsprüf-
körpern Ø 20 mm (Ansichten)

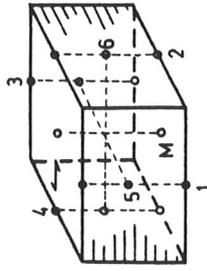
Zusammenstellung der Einzelversuchsergebnisse der Rohdichte [g/cm^3] mit Angabe der zugehörigen Feuchtigkeit [%]

Plattenart	Kunstharz-Preßschichtholz						Kunstharz-Preßsperrholz						
	All	BII	ALI	ALI	BII	BII	E	G	C	D	H	F	J
	I	II	I	I	II	II	I	III	I	II	III	I	III
Plattendicke [mm]	12	12	12	12	12	12	6	8	12	12	12	20	20
1	1,35 7,7	1,34 5,6	-	-	-	-	1,39 6,3	1,36 6,9	1,36 9,1	1,39 6,3	1,36 8,4	1,36 6,5	1,36 9,2
2	1,38 7,6	1,37 4,8	-	-	-	-	1,39 5,5	1,35 6,7	1,34 8,2	1,38 4,7	1,36 8,3	1,36 6,5	1,35 9,7
3	1,37 7,6	1,35 4,8	-	-	-	-	1,36 6,6	1,35 5,9	1,37 8,0	1,39 6,3	1,36 9,2	1,37 6,3	1,36 9,3
4	1,34 7,7	1,37 5,6	-	-	-	-	1,36 6,5	1,35 6,7	1,37 8,0	1,37 5,6	1,36 8,4	1,38 6,7	1,35 9,4
5	1,36 6,8	1,36 5,3	-	-	-	-	1,38 6,7	1,36 6,7	1,34 7,0	1,38 5,3	1,35 8,4	1,36 6,7	1,36 8,9
6	1,37 7,4	1,37 5,4	-	-	-	-	1,46 6,0	1,35 6,7	1,35 7,0	1,38 5,0	1,35 8,4	1,33 5,8	1,35 9,4
7	1,29 7,3	1,39 4,8	-	-	-	-	1,38 6,0	1,36 7,2	1,36 6,8	1,36 5,9	1,36 8,0	1,37 6,6	1,36 9,0
8	1,36 6,4	1,37 5,2	-	-	-	-	1,35 5,8	1,34 6,2	1,36 7,0	1,37 5,2	1,36 8,2	1,38 6,8	1,35 9,1
9	1,35 7,0	1,39 3,7	-	-	-	-	1,35 5,4	1,36 7,2	1,35 7,0	1,34 5,9	1,37 8,2	1,38 6,7	1,35 9,2
10	1,34 6,7	1,34 5,1	-	-	-	-	1,37 6,3	1,36 7,4	1,35 6,3	1,36 5,9	1,37 8,1	1,37 6,4	1,34 9,3
Mittelwert	1,35 7,2	1,37 5,0	-	-	-	-	1,38 6,1	1,35 6,8	1,36 7,4	1,37 5,6	1,36 8,4	1,37 6,5	1,35 9,3
Standardabweichung	0,03 0,47	0,02 0,56	-	-	-	-	0,03 0,45	0,01 0,46	0,01 0,85	0,02 0,54	0,01 0,33	0,02 0,29	0,01 0,23
Variationskoeffizient [%]	1,9 6,5	1,5 11,2	-	-	-	-	2,2 7,4	0,5 6,8	0,7 11,5	1,5 9,6	0,7 3,9	1,5 4,5	0,7 2,5
Probenanzahl	10	10	-	-	-	-	10	10	10	10	10	10	10

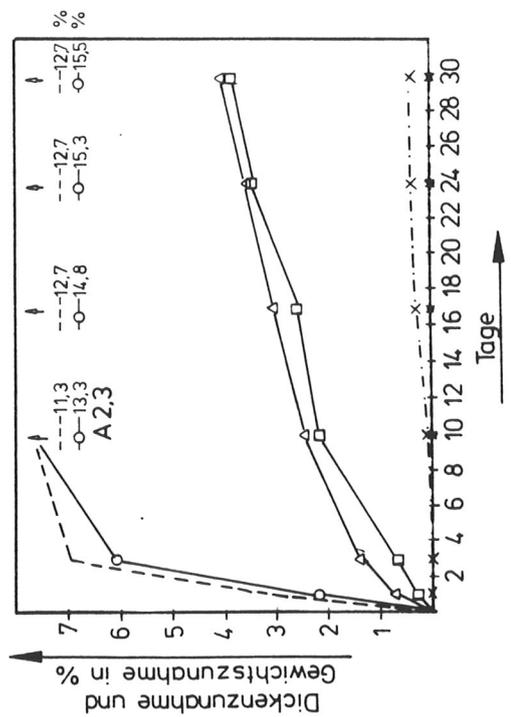
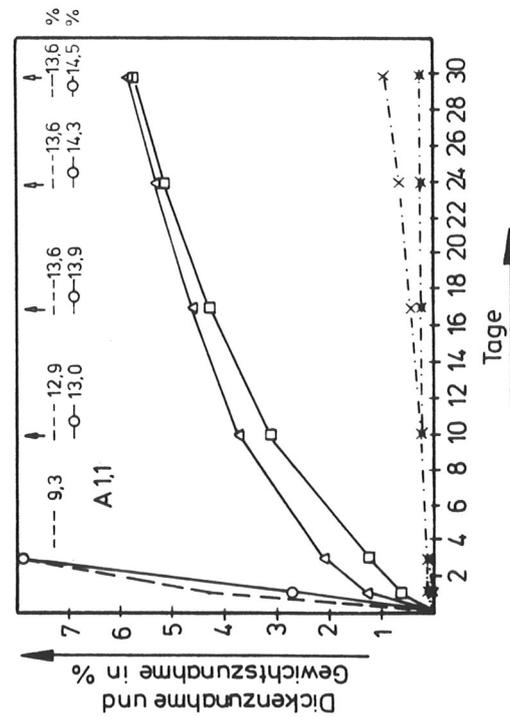
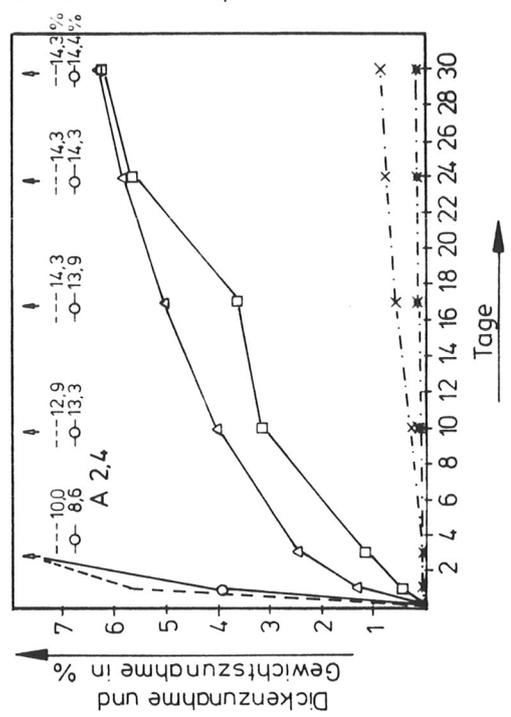
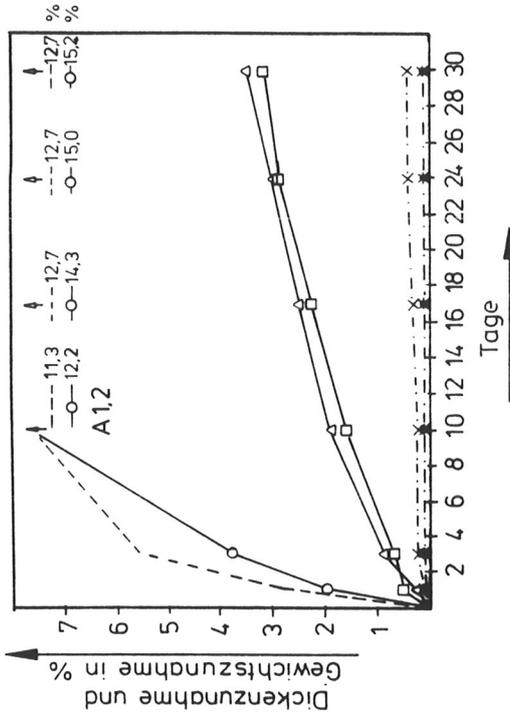


Rohdichten mit den jeweiligen
 Feuchtigkeiten

Erläuterung:

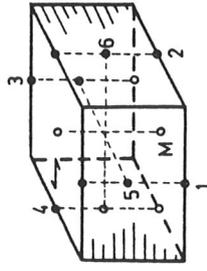


- G (Gewichtszunahme)
- Dickenzunahme in M
- Dickenzunahme in 1,3
- △ Dickenzunahme in 2,4
- x Dickenzunahme in 5
- * Dickenzunahme in 6

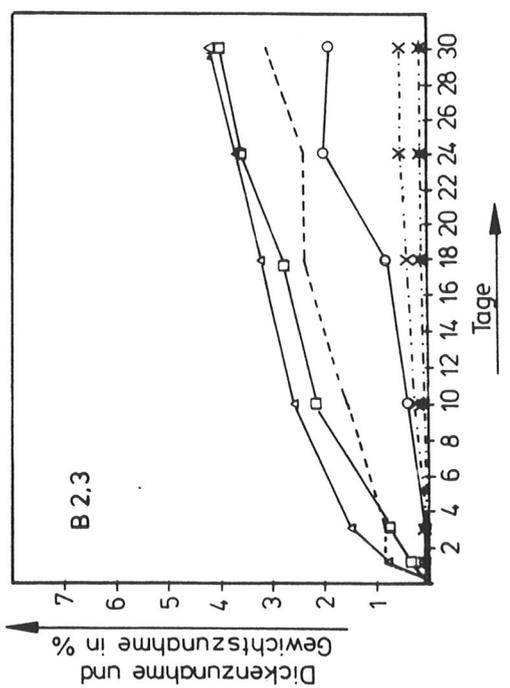
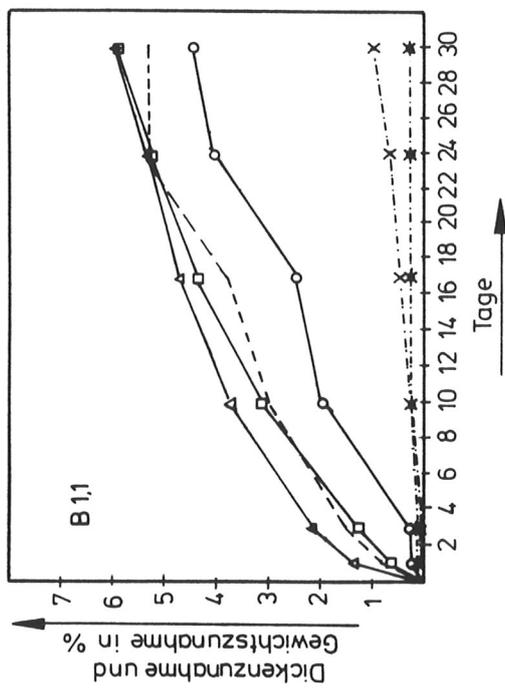
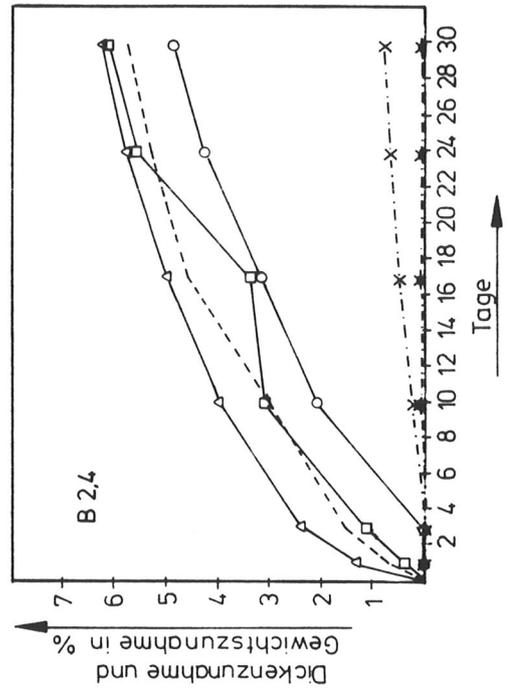
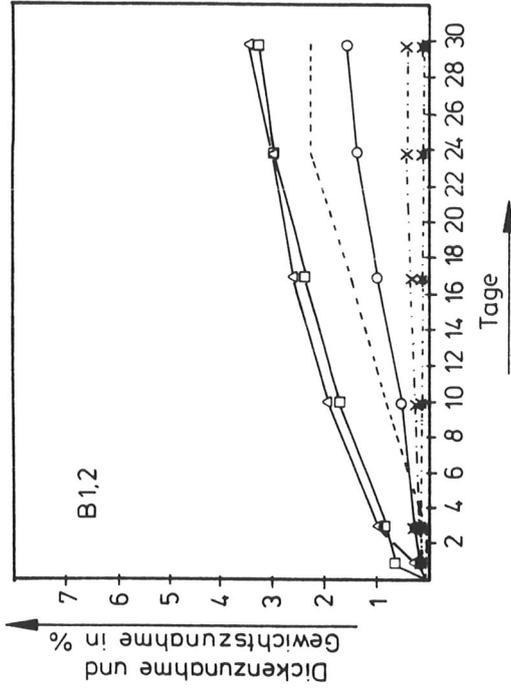


Dicken- und Gewichtszunahme der Prüfkörper A1,1, A1,2, A2,3 und A2,4

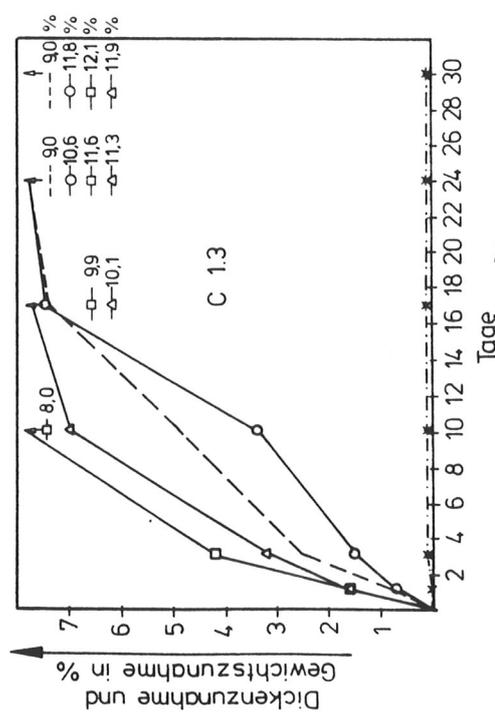
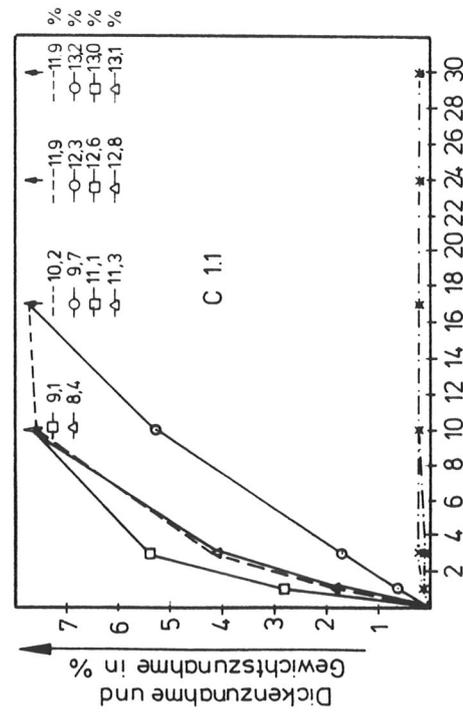
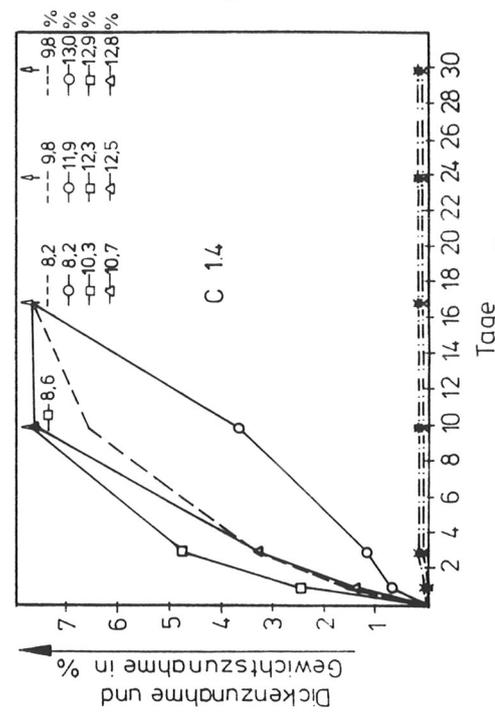
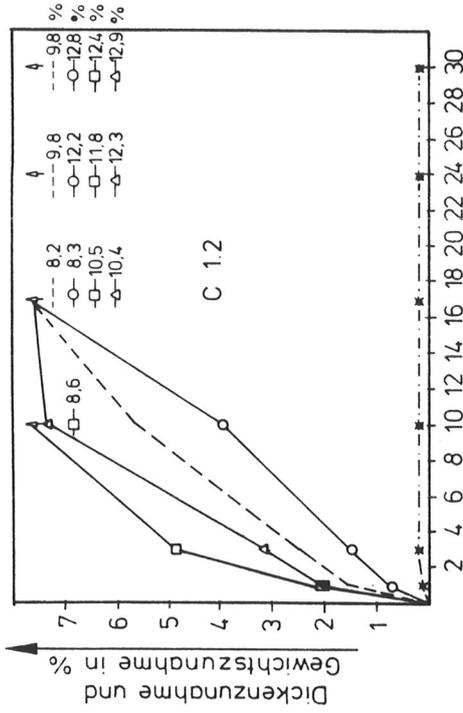
Erläuterung:



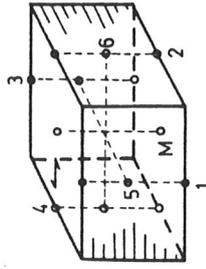
- G (Gewichtszunahme)
- Dickenzunahme in M
- Dickenzunahme in 1,3
- △ Dickenzunahme in 2,4
- x Dickenzunahme in 5
- * Dickenzunahme in 6



Dicken- und Gewichtszunahme der Prüfkörper B1.1, B1.2, B2.3 und B2.4



Erläuterung:



--- G (Gewichtszunahme)

○ Dickenzunahme in M

□ Dickenzunahme in 1,3

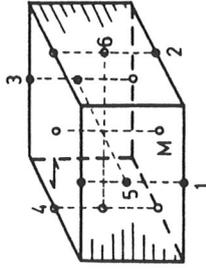
△ Dickenzunahme in 2,4

x Dickenzunahme in 5

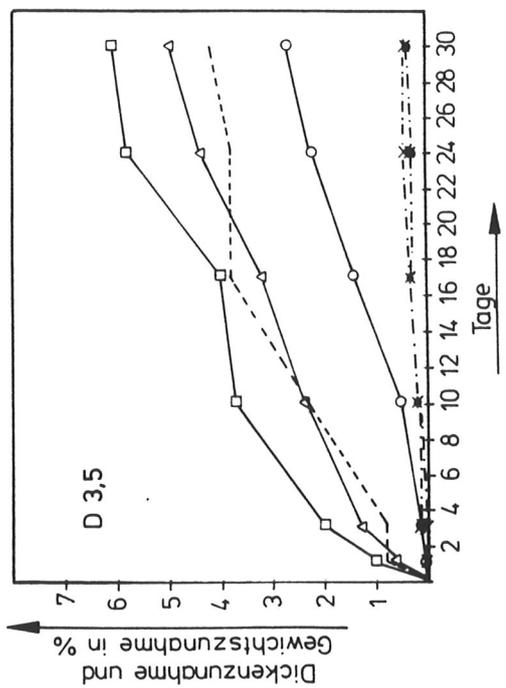
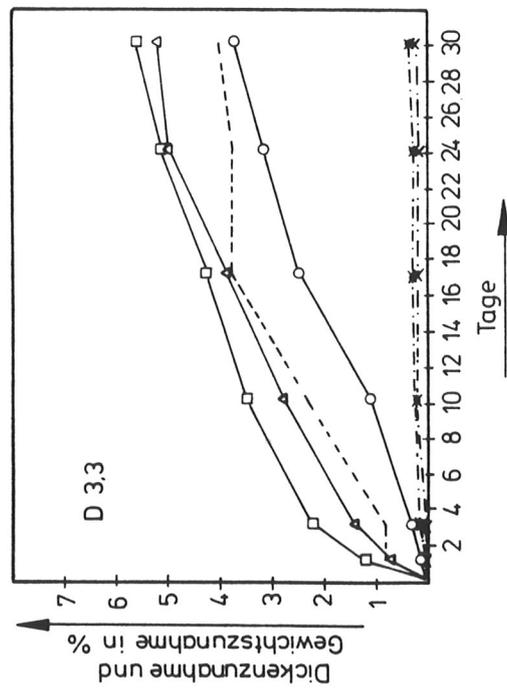
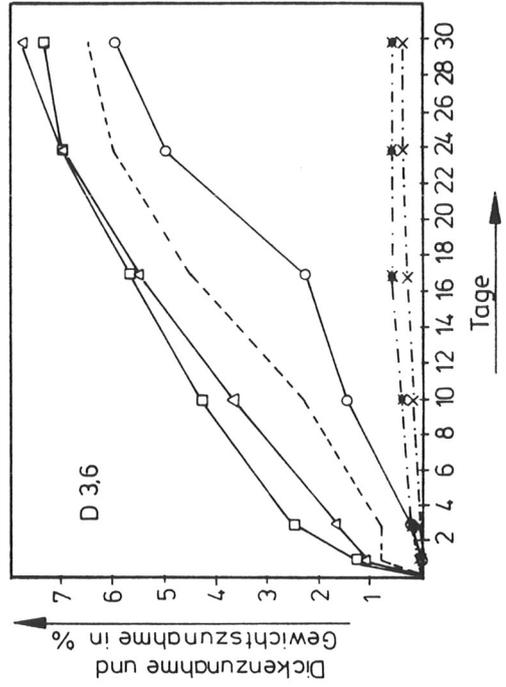
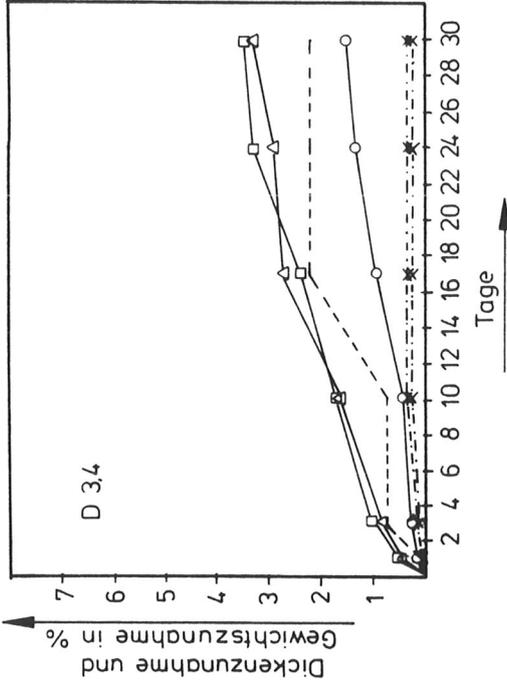
* Dickenzunahme in 6

Dicken- und Gewichtszunahme der Prüfkörper C1.1, C1.2, C1.3 und C1.4

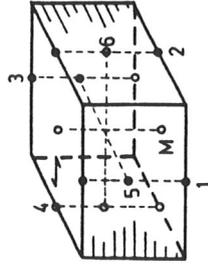
Erläuterung:



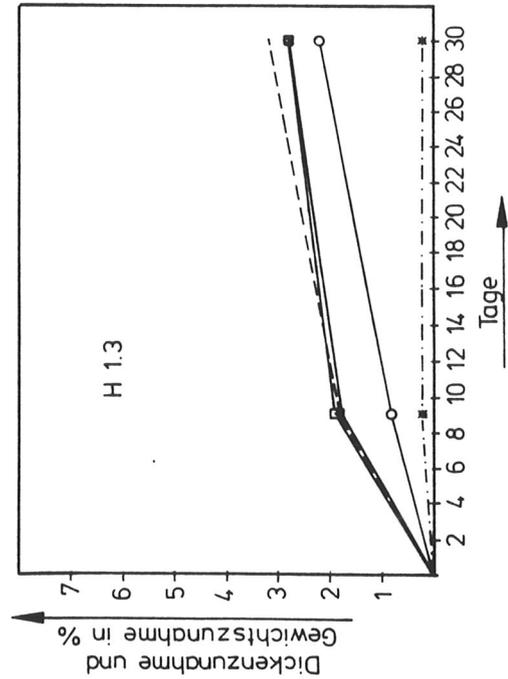
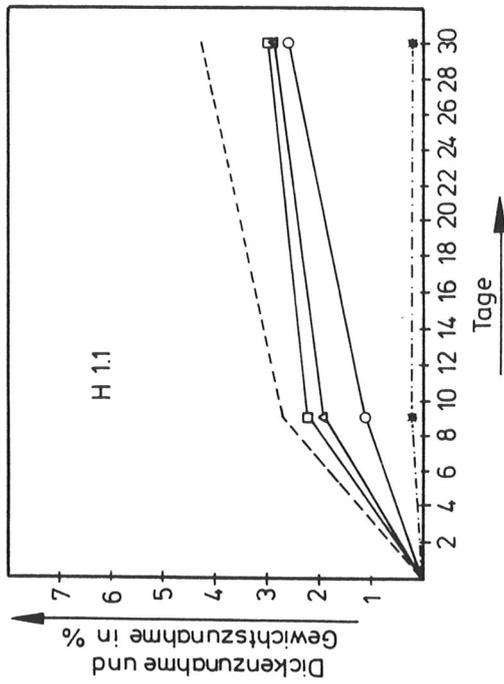
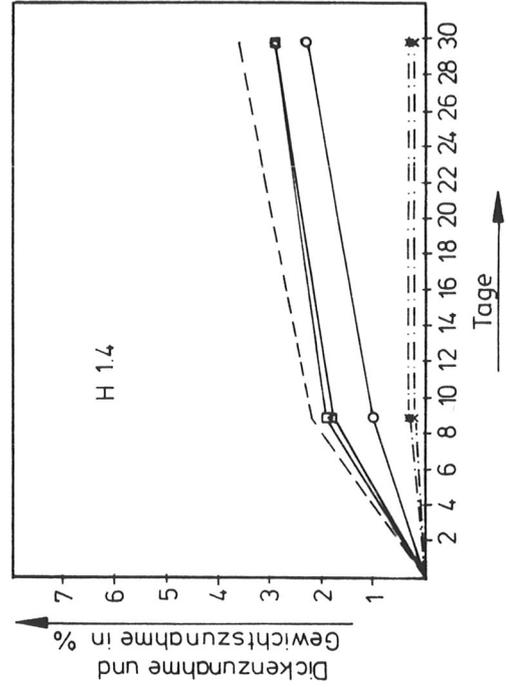
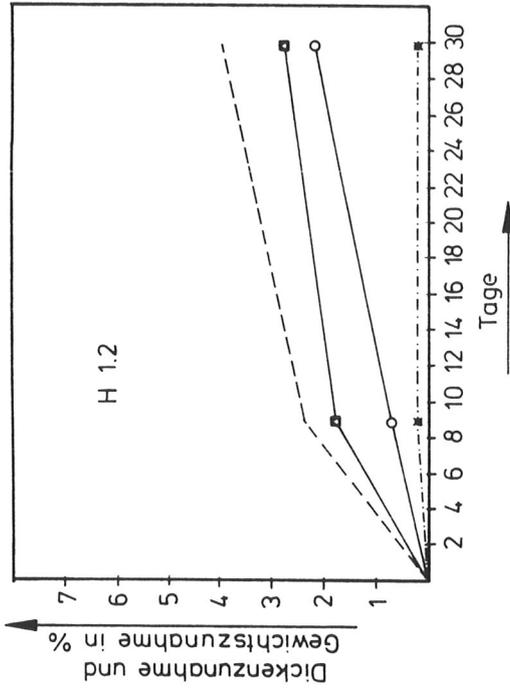
- G (Gewichtszunahme)
- Dickenzunahme in M
- Dickenzunahme in 1,3
- △ Dickenzunahme in 2,4
- x Dickenzunahme in 5
- * Dickenzunahme in 6



Erläuterung:

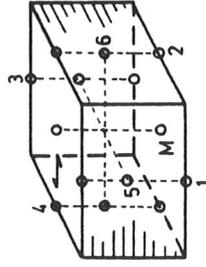


- G (Gewichtszunahme)
- Dickenzunahme in M
- Dickenzunahme in 1,3
- △ Dickenzunahme in 2,4
- x Dickenzunahme in 5
- * Dickenzunahme in 6

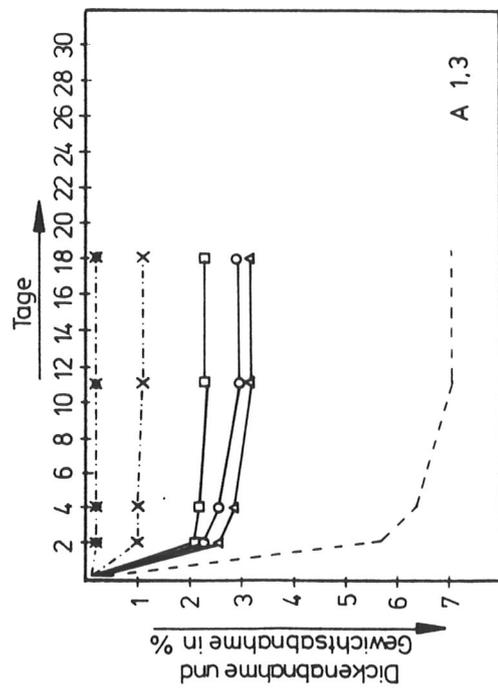
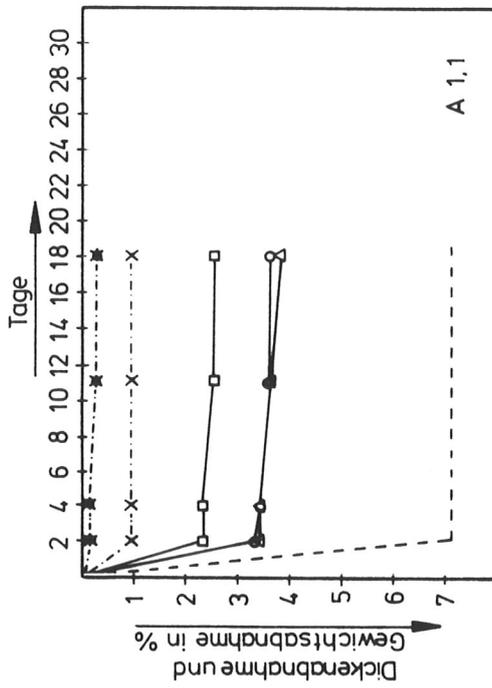
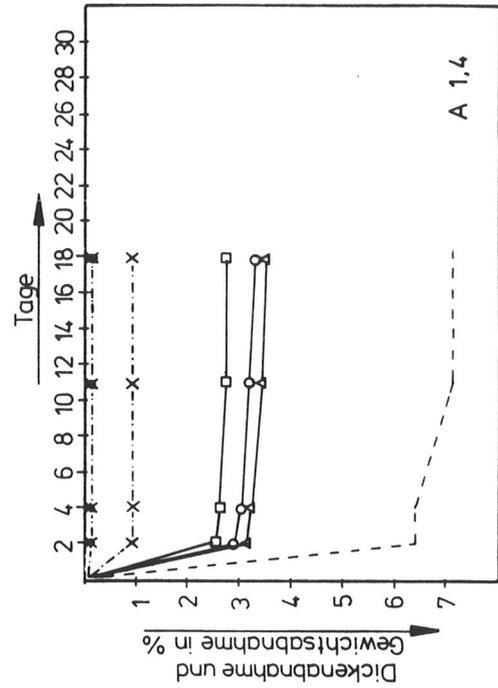
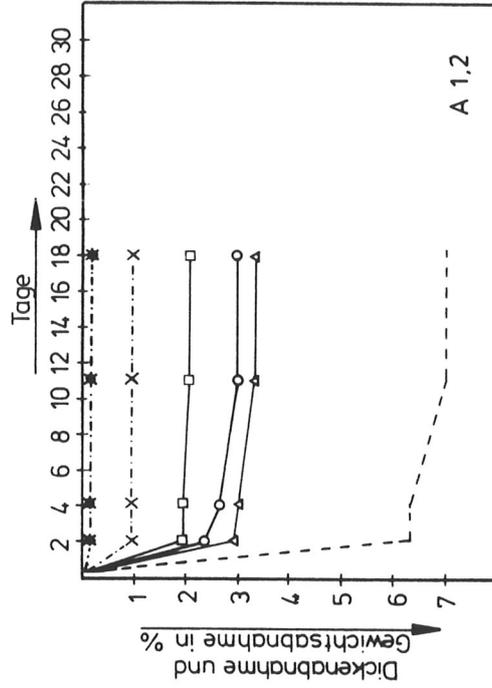


Dicken- und Gewichtszunahme der Prüfkörper H1.1, H1.2, H1.3 und H1.4

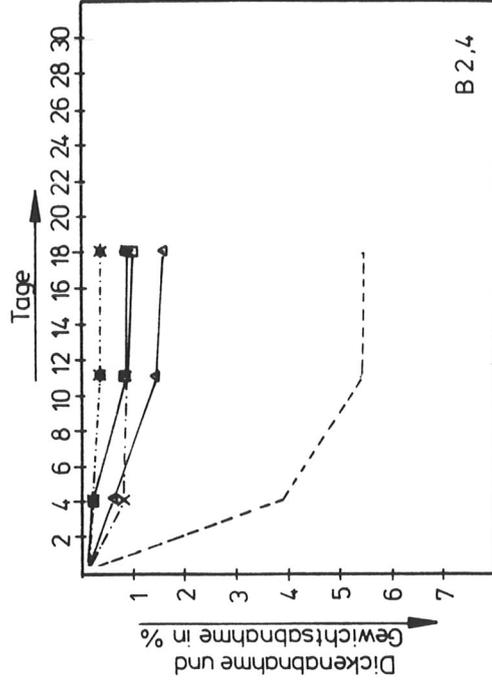
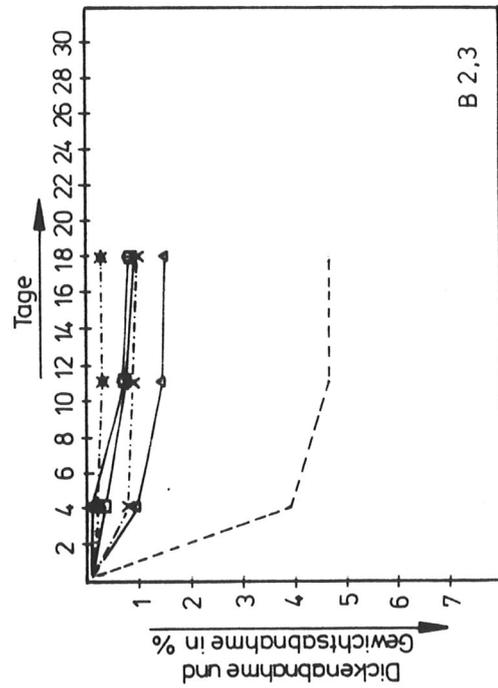
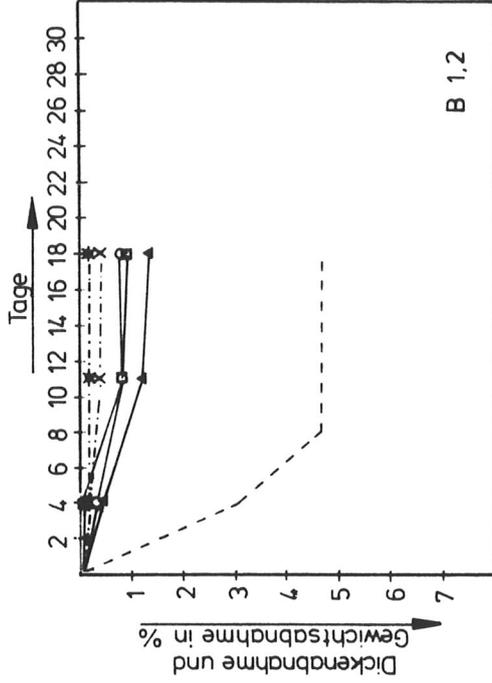
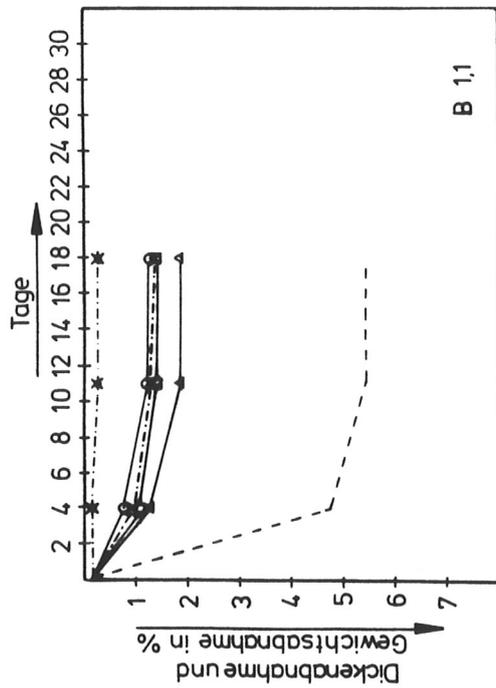
Erläuterung:



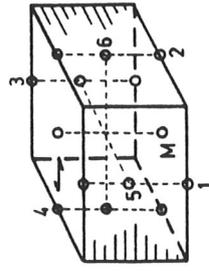
- G (Gewichtsabnahme)
- Dickenabnahme in M
- Dickenabnahme in 1,3
- △ Dickenabnahme in 2,4
- x Dickenabnahme in 5
- ★ Dickenabnahme in 6



Dicken- und Gewichtsabnahme der Prüfkörper A1.1, A1.2, A1.3 und A1.4



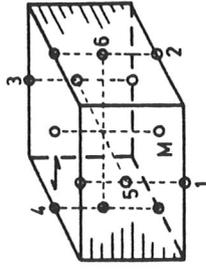
Erläuterung:



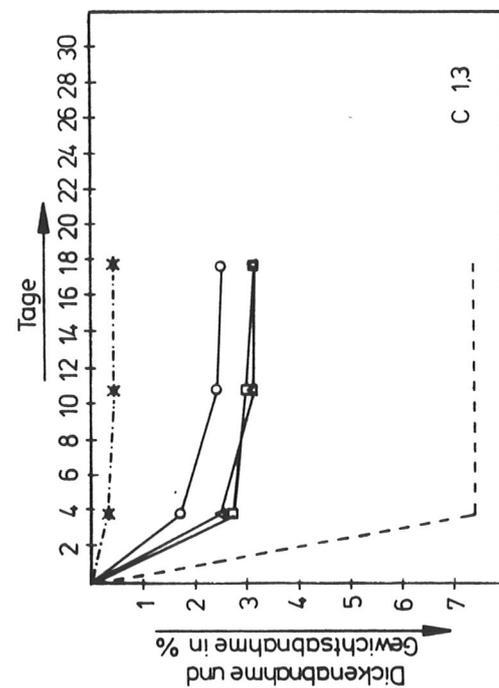
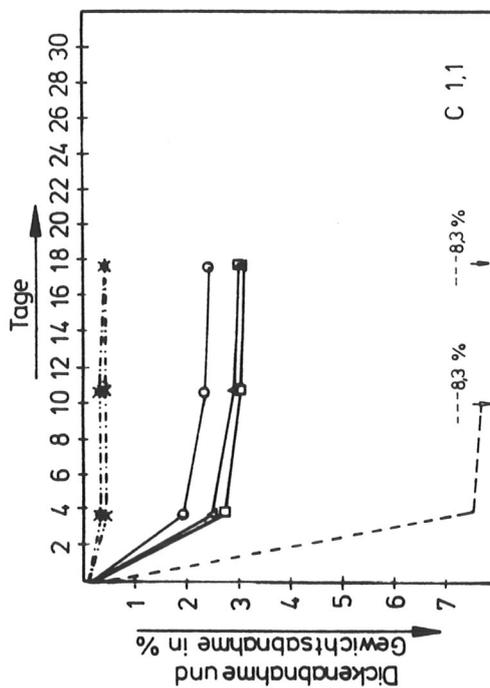
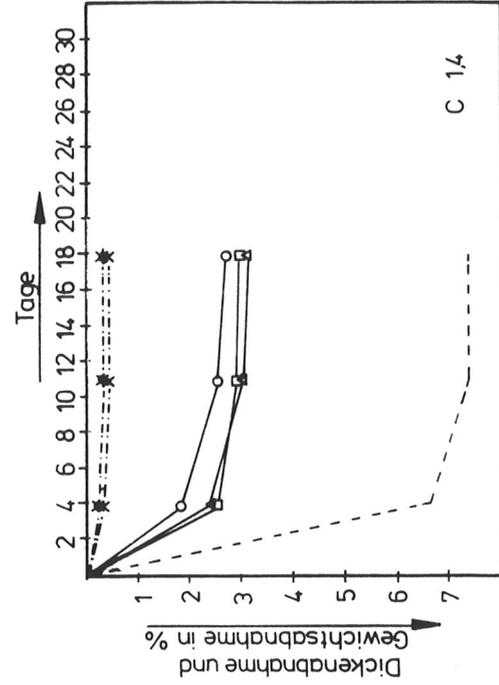
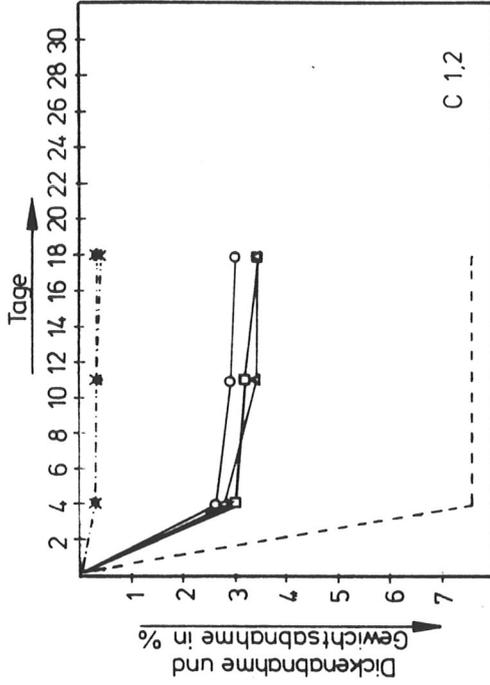
- G (Gewichtsabnahme)
- Dickenabnahme in M
- Dickenabnahme in 1,3
- △ Dickenabnahme in 2,4
- x Dickenabnahme in 5
- ★ Dickenabnahme in 6

Dicken- und Gewichtsabnahme der Prüfkörper B 1,1, B 1,2, B 2,3 und B 2,4

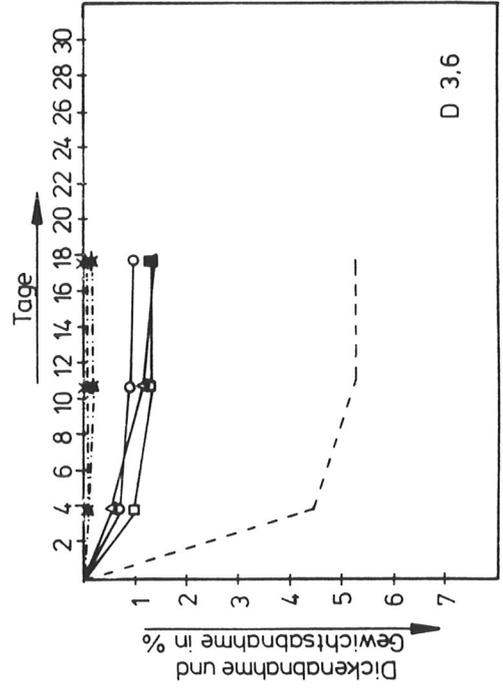
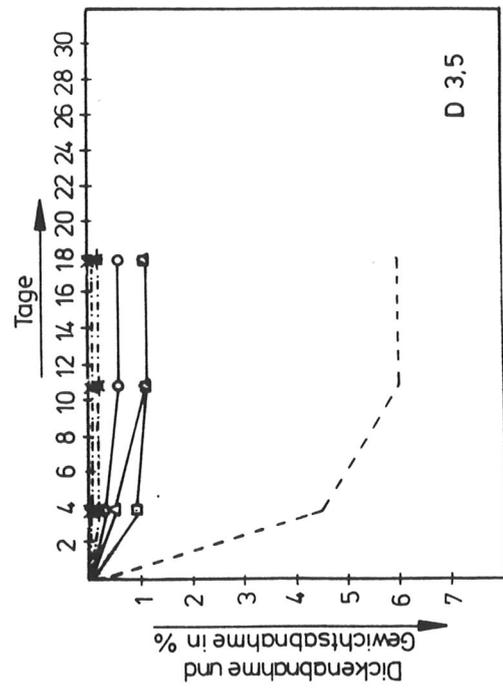
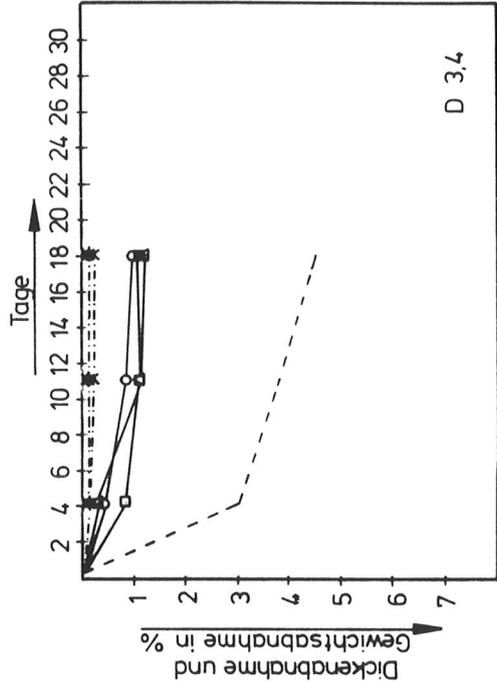
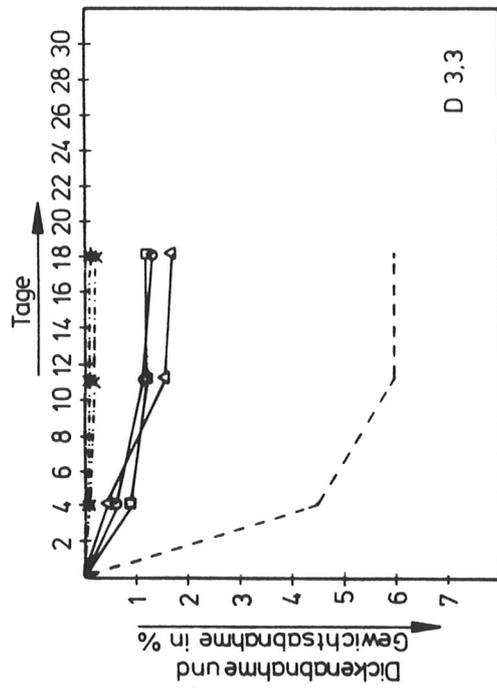
Erläuterung:



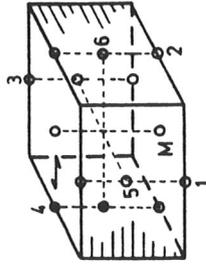
- G (Gewichtsabnahme)
- Dickenabnahme in M
- Dickenabnahme in 1,3
- △ Dickenabnahme in 2,4
- x Dickenabnahme in 5
- * Dickenabnahme in 6



Dicken- und Gewichtsabnahme der Prüfkörper C1,1, C1,2, C1,3 und C1,4

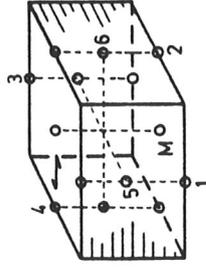


Erläuterung:

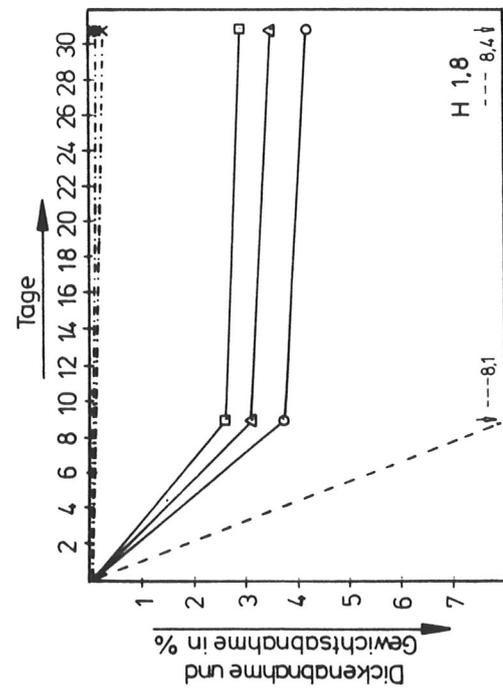
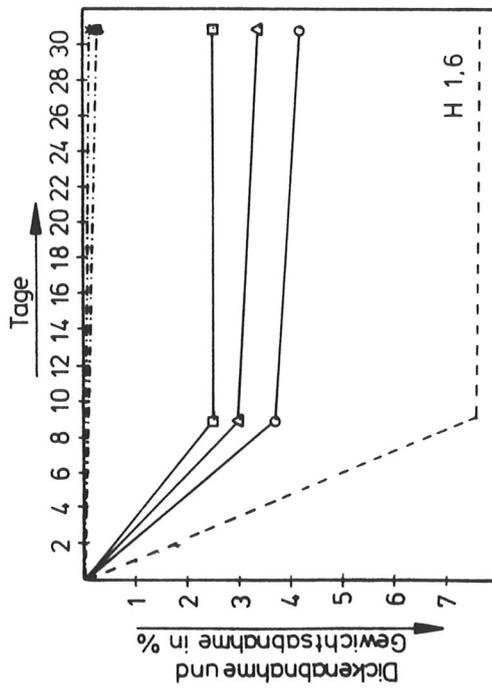
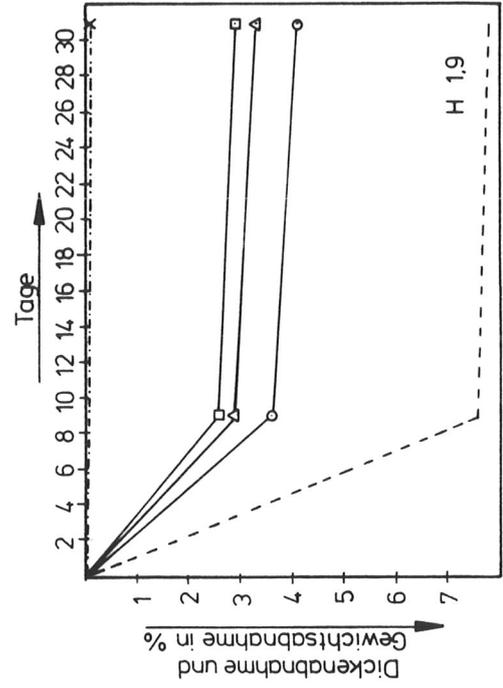
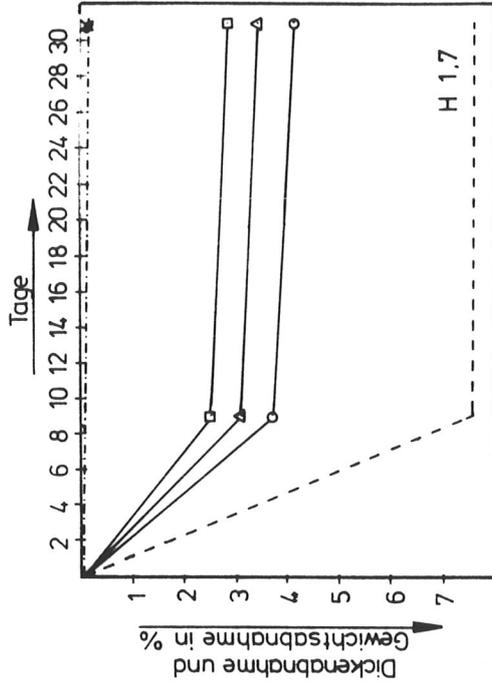


- G (Gewichtsabnahme)
- Dickenabnahme in M
- Dickenabnahme in 1,3
- △ Dickenabnahme in 2,4
- x Dickenabnahme in 5
- ★ Dickenabnahme in 6

Erläuterung:



- G (Gewichtsabnahme)
- Dickenabnahme in M
- Dickenabnahme in 1,3
- △ Dickenabnahme in 2,4
- x Dickenabnahme in 5
- ★ Dickenabnahme in 6



Dicken- und Gewichtsabnahme der Prüfkörper H1.6, H1.7, H1.8 und H1.9

Verwendete Abkürzungen und Zeichen

Materialbezeichnungen

KP	=	Kunstharz-Preßholz
KPSCH	=	Kunstharz-Preß <u>schich</u> tholz
KPSP	=	Kunstharz-Preß <u>sperr</u> holz
KPSN	=	Kunstharz-Preß <u>stern</u> holz
I	=	KP vom Hersteller I
II	=	KP vom Hersteller II
III	=	KP vom Hersteller III
A...	=	KPSCH-Platte, Hersteller I, Plattendicke = 12 mm
B...	=	KPSCH-Platte, Hersteller II, Plattendicke = 12 mm
C...	=	KPSP-Platte, Hersteller I, Plattendicke = 12 mm
D...	=	KPSP-Platte, Hersteller II, Plattendicke = 12 mm
E...	=	KPSP-Platte, Hersteller I, Plattendicke = 6 mm
F...	=	KPSP-Platte, Hersteller I, Plattendicke = 20 mm
G...	=	KPSP-Platte, Hersteller III, Plattendicke = 8 mm
H...	=	KPSP-Platte, Hersteller III, Plattendicke = 12 mm
J...	=	KPSP-Platte, Hersteller III, Plattendicke = 20 mm
...	=	Plattenummer
C'1 bis C'16	=	Druckversuchskörper aus KPSP-Platte C1
D'1 bis D'16	=	Druckversuchskörper aus KPSP-Platte D3
BFU-BU	=	Baufurniersperrholz aus Buche

Eigenschaftsbezeichnungen

D_Q	=	Druckfestigkeit rechtwinklig zu den Schichten (Querdruckfestigkeit)
D	=	Druckfestigkeit parallel zu den Schichten (in Plattenebene)
D'	=	Druckfestigkeit feuchter Druckproben
Z	=	Zugfestigkeit
B_p	=	Biegefestigkeit als Platte (rechtwinklig zu den Schichten)
B_s	=	Biegefestigkeit als Scheibe (parallel zu den Schichten)
E_B	=	Biege-Elastizitätsmodul aus Biegeversuch
E_{Bp}	=	Biege-Elastizitätsmodul als Platte aus Biegeversuch
E_{Bs}	=	Biege-Elastizitätsmodul als Scheibe aus Biegeversuch
E_{dyn}	=	Biege-Elastizitätsmodul aus Schwingungsmessung
E_{dynp}	=	Biege-Elastizitätsmodul als Platte aus Schwingungs- messung
E_{dyns}	=	Biege-Elastizitätsmodul als Scheibe aus Schwingungs- messung
E_p	=	Biege-Elastizitätsmodul als Platte
E_s	=	Biege-Elastizitätsmodul als Scheibe
S	=	Scherfestigkeit
L_{\dots}	=	Lochleibungsfestigkeit (... Angabe des Lochdurchmessers)
ρ	=	Rohdichte
Q	=	Quellverhalten
T	=	Schwindverhalten
V	=	Verleimbarkeit
$\dots \parallel$	=	...Eigenschaft bei Beanspruchung parallel zu den Furnierschichten
$\dots \perp$	=	...Eigenschaft bei Beanspruchung rechtwinklig zu den Furnierschichten