

BESTIMMUNG DER FESTIGKEITSEIGENSCHAFTEN
VON EINHEIMISCHEM DOUGLASIENHOLZ

Untersuchungen
durchgeführt im Auftrage
der Entwicklungsgemeinschaft Holzbau (EGH)
in der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung e.V.(DGfH)

von
K. Möhler und P. Beyersdorfer
Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen
Universität Karlsruhe (TH)
1984

Inhaltsverzeichnis

		Seite
1	Ziel des Forschungsvorhabens	1
2	Literaturlauswertung für Bauholz aus europäischer Douglasie	2
3	Ermittlung der Material- und Festigkeitseigenschaften von Douglasienholz an Bauholzdimensionen	5
3.0	Vorversuche an astfreien Probekörpern aus einem Stammabschnitt \varnothing ca. 50 cm, Stadtwald Freiburg	5
3.1	Auswahl und Einschnitt des Stammholzes für die Hauptversuche	6
3.2	Sortierung des Versuchsmaterials nach DIN 4074	9
3.3	Versuchsdurchführung zur Ermittlung der Material- und Festigkeitseigenschaften	11
3.3.1	Biegeelastizitätsmodul und Biegefestigkeit	11
3.3.2	Druckfestigkeit nach dem ISO-Normenentwurf TC165 N52	13
3.4	Versuchsergebnisse, Auswertung und Diskussion	14
3.4.1	Biegeelastizitätsmodul	14
3.4.2	Biegebruchfestigkeit	16
3.4.3	Druckfestigkeit parallel zur Faserrichtung	17
3.4.4	Scherfestigkeit	18
3.5	Stichprobenartige Untersuchungen	20
3.5.1	Druckfestigkeit quer zur Faserrichtung	20
3.5.1.1	Würfeldruckversuche	20
3.5.1.2	Schwellendruckversuche	21
3.5.2	Festigkeitseigenschaften ermittelt an Seitenware 4 cm dicke	22
3.5.3	Untersuchung der Spaltgefahr beim Nageln ohne und mit Vorbohren	23
3.5.3.1	Nagelkörper aus Einzelbrettern	23

	Seite	
3.5.3.2	Nagelkörper aus Kanthölzern	24
3.5.3.3	Beurteilung	24
3.5.4	Verleimfestigkeit	25
4	Vergleichende Beurteilung der Biege- und Druckfestigkeit des untersuchten Douglasienholzes mit den für die Festlegung der zul σ -Werte von Fichtenholz maßgebenden Festigkeiten unter Berücksichtigung der Holzfeuchtigkeit	26
5	Zusammenfassung und Schlußfolgerungen	29
	Schrifttum	31
	41 Anlagen	

Bestimmung der Festigkeitseigenschaften von einheimischem Douglasienholz

1 Ziel des Forschungsvorhabens

Es sollten die wichtigsten Festigkeitseigenschaften der einheimischen Douglasie an Bauholzdimensionen festgestellt werden, da Douglasienholz in den nächsten Jahren in stark steigenden Mengen bei teilweise erheblich streuender Qualität aus Wuchsgebieten der Bundesrepublik zur Verfügung stehen und das aus diesem Vorkommen überwiegend hergestellte Schnittholz in der Holzbe- und -verarbeitenden Industrie sehr unterschiedlich beurteilt wird.

Große Unsicherheit besteht bei vielen Be- und Verarbeitern aufgrund der unterschiedlich anfallenden Qualitäten im Hinblick auf die Gütesortierung nach DIN 4074 und den Einsatz als Konstruktionsholz nach den Bestimmungen der derzeit geltenden Holzbaunormen DIN 1052, in der die Douglasie zwar nicht ausdrücklich erwähnt ist, aber als einheimisch gewachsenes Nadelholz streng genommen zu den darin behandelten europäischen Nadelhölzern zählt.

in neuer
DIN
Douglasie
aufgenommen

Bei den bisher bekannt gewordenen Untersuchungen wurden die Festigkeitseigenschaften des Douglasienholzes vorwiegend an fehlerfreien Normproben ermittelt. Für die Beurteilung von Bauholz sind diese Ergebnisse jedoch nur bedingt aussagefähig, weil gerade den dabei nicht berücksichtigten besonderen Wuchseigenheiten der Douglasie wie Neigung zur Grobastigkeit und zur ungleichmäßigen Wuchsleistung (ungleichmäßiger Jahringaufbau) über ihr Lebensalter bei der Beurteilung von Konstruktionsholz große Bedeutung zukommt. Die durchgeführten Untersuchungen haben das Ziel, die Bemessungsgrundlagen für die einheimische Douglasie als Bauholz im Vergleich zu den Festlegungen für Fichte, Tanne zu überprüfen und gegebenenfalls zu erweitern. Nachdem die Douglasie gerade in Baden-Württemberg in den nächsten Jahren in zunehmendem Maße anfallen wird, wurde das Versuchsholz aus diesem Bundesland herangezogen.

2 Literatúrauswertung für Bauholz aus europäischer Douglasie

Die Douglasie, die bereits vor der Eiszeit schon in Europa heimisch war, wurde ab 1827 von England aus auch auf dem Kontinent wieder eingeführt. Die nachweislich ältesten Douglasien in Baden-Württemberg wurden 1868, wahrscheinlich dreijährig, im Forstamt Bad Herrenalb gepflanzt. Die raschwüchsige Küstendouglasie - *Pseudotsuga menziesii variation viridis* - hat sich in Baden-Württemberg bewährt und wird ausschließlich angebaut, insbesondere auf leistungsschwachen Standorten im mäßig-trockenen Bereich (Weidenbach 1980). Das schnelle Jugendwachstum verbunden mit breiten Jahrringen beschränkt sich bei Douglasie auf die ersten 30 bis 40 Lebensjahre, um sich dann mit meist abrupt enger werdenden Jahrringen der Wuchsleistung der Fichte und Kiefer anzunähern (Neusser 1977).

Die Douglasie ist geradwüchsig, jedoch stärker abholzig als die Fichte oder Tanne. Die Bildung des Kernholzes, das rotbraun ist und an der Luft nachdunkelt, setzt bei der Douglasie frühzeitig ein. Die Dicke des hellgelben Splints ist unterschiedlich, bleibt aber meist unter 5 cm. Die Douglasie wird allgemein als harzreiches Holz beschrieben, was für die Verwendung von Bauholz nicht unbedingt ein Nachteil sein muß. Inwieweit das bei der Trocknung austretende Harz die Verleimfestigkeit beeinflusst, ist noch nicht untersucht worden.

Neben der ungleichmäßigen Jahrringverteilung über den Stammquerschnitt ist bei der Douglasie das geringe natürliche Astreinigungsvermögen besonders nachteilig.

Zur Erzielung von möglichst gleichmäßig gewachsenem Douglasienholz werden daher waldbauliche Maßnahmen als unerlässlich angesehen, wie die Beschränkung des Douglasienanbaus auf mäßige Standorte, die geeignete soziologische Stellung der Bäume im Bestand und rechtzeitige künstliche Entlastung bis in mindestens 9 bis 10 m Höhe (Göhre 1958, Knigge 1958, Hilf 1959, Löffler 1966, Hapla 1982).

Die ausgeprägte Inhomogenität des Douglasienholzes zeigt sich im Rohdichteunterschied zwischen dem leichten Frühholz und dem schweren Spätholz, sowie in der mangelnden Verzahnung beider Zonen miteinander. Der Dichtekontrast zwischen dem Früh- und Spätholz wird mit 2,6 bis 3,9 angegeben und liegt damit deutlich höher als bei Fichte und Kiefer (Klauditz 1957, Göhre 1958, Knigge 1958, Koltzenburg 1979). Den durch Nadelstichhärteprüfung festgestellten Spätholzanteil geben Göhre und Knigge mit etwa 40 % an.

Das natürliche wie das künstliche Trocknungsverhalten ist in etwa mit dem der gebräuchlichen Nadelhölzer zu vergleichen. Die gelegentlich auftretenden leichten End- und Oberflächenrisse haben nur geringe Bedeutung (Göhre 1958, Neusser 1977, Koltzenburg 1979).

Die relativ geringe Schwindungs- bzw. Quellungsanisotropie, die durch das Verhältnis von tangentialer zu radialer Schwindung/Quellung = 1,3 bis 1,8 (Fichte ≥ 2) ausgedrückt wird, wirkt sich auf die Dimensionsstabilität positiv aus (Göhre 1958, Knigge 1958, Neusser 1977, Noack 1979). Der Bearbeitungswiderstand nimmt beim Einschnitt von Douglasienholz mit fortschreitender Austrocknung, die ein Nachhärten und Verspröden des hohen Spätholzanteils bewirkt, erheblich zu.

Von der Sägeindustrie ist eine einwandfreie Schnittqualität nur dann zu erzielen, wenn Vorschubgeschwindigkeit und Werkzeuggüte der Gatter- oder Blockbandsägen, die stets zum Verlaufen neigen, auf den erhöhten Bearbeitungswiderstand abgestimmt sind. Verminderte Schnittleistungen und Standzeiten der Werkzeuge sind die Folge. Erhöhte Neigung zum Spreißen und Ausreißen von FaserbüscheIn tritt besonders bei angeschnittenen Fasern auf (Löffler 1966, Koltzenburg 1979, Gaebeler 1981).

Negativ werden von der Sägeindustrie der streuende Mengenanfall und die sehr unterschiedlichen Qualitäten der Douglasie beurteilt. Die Erfahrung, die auch beim Einschnitt des Versuchsholzes gemacht wurde, daß nämlich die heutigen Gatter nur Stammdurchmesser bis etwa 60 cm bewältigen können (Gaebeler 1981), ist gerade bei

zunehmenden Mengen nicht zu unterschätzen. Die gegenüber Fichte/Tanne/Kiefer schlechtere Nagelbarkeit resultiert daraus, daß die Nägel starke und harte senkrecht zur Nagelrichtung liegende Spätholzschichten nur schwer und unter erhöhter Spaltgefahr durchdringen. Parallel zur Nagelrichtung verlaufende Jahrringe spalten häufig entlang des weichen, mit dem Spätholz schlecht verzahnten Frühholzes auf (Löffler 1966). Klauditz (1957) fand bei Nagelversuchen eine Erhöhung der Spaltgefahr mit zunehmender Rohdichte.

Leimverbindungen sind anfällig für Leimfugenbrüche, da das dichte Spätholz gegenüber dem leichten Frühholz zu wenig Leim absorbiert (Koltzenburg 1979). Inwieweit eine Berücksichtigung des geringen pH-Wertes von 3,5 bei Douglasie bei der Leimzusammensetzung eine Verbesserung der Verleimfestigkeit bringt, muß noch untersucht werden. Der geringe pH-Wert kann außerdem zu Korrosionsproblemen bei Holz-Metallverbindungen im Außenklima führen (Teischinger 1981).

Die natürliche Dauerhaftigkeit von unbehandeltem Douglasienholz mit ständigem Erdkontakt wird nach bisherigen Untersuchungen mit gering (5 bis 10 Jahre) bis mäßig (15 bis 20 Jahre) angegeben (Koltzenburg 1979).

Das Tränkverhalten ist mit dem der Fichte zu vergleichen. Saftfrisches Holz läßt sich besser tränken als lufttrockenes. Trockenes Douglasienholz ist nur mechanisch vorbehandelt und kesseldruckimprägniert befriedigend geschützt (W. Liese u.a. 1982).

3 Ermittlung der Material- und Festigkeitseigenschaften von Douglasienholz an Bauholzdimensionen

3.0 Vorversuche an astfreien Probekörpern aus einem Stammabschnitt Ø ca. 50 cm, Stadtwald Freiburg

Im Zuge der Vorbereitungsarbeiten wurden aus einem astfreien Stammabschnitt nach Feststellung der Größe und Verteilung der Jahrringbreite normgemäße Probekörper zur Ermittlung der Rohdichte, Druckfestigkeit und Scherfestigkeit über den Stammquerschnitt entnommen. Die Verteilung der Probekörper ist in Bild 3.0.1 (Anlage 1) enthalten.

Die Untersuchungen bei Holzfeuchtigkeiten $u = 14 \div 16 \%$ ergaben folgendes:

1. Jahrringbreiten: 2,4 bis 8,6 mm
 Mittelwert: 4,4 mm

2. Rohdichten: ρ_0 : 0,41 bis 0,53 g/cm³
 Mittelwert: 0,48 g/cm³
 ρ_{12} : 0,44 bis 0,56 g/cm³
 Mittelwert: 0,51 g/cm³

3. Druckfestigkeiten: β_{DII} : 34,7 bis 56,0 N/mm²
 Mittelwert: 45,8 N/mm²

4. Scherfestigkeiten: τ_{II} : 7,6 bis 9,9 N/mm²
 Mittelwert: 9,2 N/mm²
 τ_{I} : 9,8 bis 11,6 N/mm²
 Mittelwert: 10,9 N/mm²

Die Minimalwerte von 1. bis 3. wurden stets im Bereich der inneren 15 bis 20 Jahrringe festgestellt. Die Mittelwerte entsprachen etwa den in Tabelle 1 der DIN 68364 "Kennwerte von Holzarten", Ausgabe November 1979, für Douglasie (Oregon pine) *Pseudotsuga menziesii* Franco angegebenen Werte. Die einheimische Douglasie

(*Pseudotsuga menziesii variation viridis*) unterscheidet sich von der Douglasie aus Übersee in erster Linie durch ihre über den Stammquerschnitt sehr unterschiedlichen Jahrringbreiten und ihre Grobästigkeit. Im Hinblick auf die gegenüber Fichte, Tanne und Kiefer doch sehr abweichenden Wuchseigenschaften sollten die Hauptversuche mit Kanthölzern üblicher Abmessungen durchgeführt werden, wobei jeweils die Gütemerkmale nach DIN 4074 festgehalten werden sollten.

3.1 Auswahl und Einschnitt des Stammholzes für die Hauptversuche

An zwei verschiedenen Standorten in Baden-Württemberg, einem südlichen (Forstamt Kandern) und einem mittleren (Forstamt Schorndorf), sollten je 4 Douglasienstämme ausgewählt werden, die bezüglich der künftig zu erwartenden Holzqualitäten möglichst unterschiedlichen Bedingungen entsprechen, aber keine extreme Ästigkeit aufweisen sollten.

Je Standort sollten 3 Stämme von etwa 16 m Länge und 1 Stamm von etwa 18 m Länge mit einem Brusthöhendurchmesser BHD \geq 50 cm und einem Zopfdurchmesser ZD \geq 35 cm entsprechend einem Lebensalter von etwa 70 bis 80 Jahren vorgesehen werden. Die Forstdirektionen Stuttgart und Freiburg wurden vom Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Umwelt und Forsten Baden-Württemberg mit Schreiben vom 12.08.1981 gebeten, die geeigneten Stämme aus den Forstämtern Schorndorf und Kandern bereitstellen zu lassen. Die Übernahme der gefällten Stämme beider Standorte erfolgte durch den Sachbearbeiter der "Versuchsanstalt" in den Monaten September und Oktober 1981.

Die Stämme aus dem Forstamt Kandern wurden aus einer größeren Anzahl von Douglasien aus unterschiedlichen Beständen, Standorten und Höhenlagen unter sachkundiger Beratung von Forstrat Wickel von der Universität Freiburg ausgewählt. Dieser führte zur gleichen Zeit als Sachbearbeiter des Instituts für Waldwachstum ertrags- und standortkundliche Untersuchungen an Douglasien durch. Zu diesem Zweck wurden aus den Stämmen in entsprechenden Entnahmehöhen

zugehörige Stammscheiben und an den dazwischenliegenden Stammabschnitten die Astdurchmesser und -längen genau vermessen. Im Anschluß daran war für die Stammabschnitte keine Verwertung mehr vorgesehen, so daß unter Abänderung des Einschnittplanes zumindest die ersten 2 bis 3 Blöcke mit Längen $\geq 4,00$ m der 4 ausgewählten Stämme verwertet werden konnten, um zur besseren Rundholzausnutzung beizutragen.

Die 4 Stämme aus dem Forstamt Schorndorf stammten alle aus unmittelbarer Nachbarschaft und wurden wie vorgesehen übernommen. Wuchs- und Entnahmedaten bzw. Standortbeschreibung und Behandlung der Stämme (Blöcke) aus Kandern und Schorndorf sind in Tabelle 3.1.1 und 3.1.2 (Anlage 2 und 3) bzw. Tabelle 3.1.3 (Anlage 4) enthalten. Der Einschnitt der Stämme bzw. Stammabschnitte aus Schorndorf und Kandern erfolgte in Schnittklasse S nach den vorgegebenen Schnittplänen in ortsansässigen Sägewerken.

Da die heutigen Gatter nur für Blockdurchmesser von etwa 60 cm eingerichtet sind, mußten die zum Teil wesentlich stärkeren Stammabschnitte aus Kandern bei einem Küfer auf einer alten Säge zur Herstellung von Faßdauben mit sehr geringem Vorschub eingeschnitten werden. 7 Stämme wurden in 2 bis 4 Blocklängen zu je 4,00 bis 4,50 m eingeteilt. Aus den Modeln der einzelnen Blöcke mit "Mark" wurden überwiegend Querschnitte 14/20 mit teilweise sehr stark streuender Jahrringverteilung eingeschnitten. Die Querschnitte 12/14 bzw. 8/8 stammten meist aus den Blockteilen mit zum Splint hin abnehmender Jahrringbreite zu beiden Seiten der Model. Aus dem 8. Stamm mit 6 Blocklängen zu je 3,00 m wurden ausschließlich Querschnitte 12/14 herausgeschnitten. Übrig blieb noch 4 cm dicke Seitenware, die im wesentlichen für mögliche weiterführende Untersuchungen über die Nagelbarkeit und Verleimbarkeit zur Verfügung steht.

Blockabmessungen, Anzahl und Verteilung der Kanthölzer sowie der Seitenware über die Blockquerschnitte getrennt nach Standorten, sind in den Tabellen 3.1.4 und 3.1.5 (Anlage 5 und 6) dargestellt. Die Hirnholzscheiben einiger Kanthölzer 14/20, 12/14 und 8/8 cm sind gemäß deren Lage in den Blöcken K2.1, K20.1, S2.1, S4.1 u.S4.6

in den Bildern 3.1.1 bis 3.1.4 (Anlage 7 und 8) zu "Stammquerschnitten" zusammengefügt. Die Bilder der entsprechenden Stammsegmente hat uns Herr Wickel (Universität Freiburg) freundlicherweise zur Verfügung gestellt.

Der größte "Querschnitt" K2 (Block Nr. 1, max. ϕ 81 cm) zeigt bis zum Alter von etwa 50 Jahren eine ziemlich gleichmäßige konzentrische Verteilung der Jahrringbreiten (5 bis 6 mm), die erst dann zum Splint hin merklich auf ca. 2 mm abnehmen (Bild 3.1.1). Im "Querschnitt" K20 (Block Nr. 1, max. ϕ 57 cm) ist eine rasche Abnahme der Jahrringbreiten auf < 3 mm nach etwa 30 Jahren zu erkennen (Bild 3.1.2).

Der exzentrische Jahrringverlauf des "Querschnitts" S1 (Block Nr. 1, max. ϕ 63 mm) nimmt auf der einen Seite kontinuierlich von ca. 6 mm auf Ringbreiten von ca. 2 mm ab, auf der anderen Seite dagegen nur auf 4 bis 5 mm (Kanthölzer 8/8 cm Nr. S115 und S116, Bild 3.1.3). Der kleinste "Querschnitt" S4 (Block Nr. 1, max. ϕ 52 cm) deutet auf eine engständige Anordnung der Douglasien im Pflanzverband bis etwa 12 Jahre (mittlere Jahrringbreite < 4 mm) hin. Nach einer Durchforstung wird eine mittlere Zunahme der Ringbreite auf über 6 mm erreicht, die ab ca. 30 Jahren wieder auf < 4 mm zurückgeht.

Am "Querschnitt" S46 (Block Nr. 6, Entnahmehöhe > 15 m, max. ϕ 39 cm) ist die starke Jahrringverbreiterung mit zunehmender Höhe während der ersten Wuchsjahre deutlich zu erkennen. Innerhalb von ca. 40 Jahren vermindern sich die Ringbreiten rapide von > 7 mm auf < 2 mm (Bild 3.1.4).

3.2 Sortierung des Versuchsmaterials nach DIN 4074

Nach Anlieferung des Versuchsholzes Anfang Dezember 1981 wurden Kanthölzer und Seitenware getrennt nach Standorten im Hof der "Versuchsanstalt" zur Trocknung, gegen Regen geschützt, gestapelt.

Nach etwa sieben Monaten wurde mit der Gütesortierung der Kanthölzer nach DIN 4074 begonnen. Hierzu wurden je nach Querschnitt jeweils 12 bis 23 Kanthölzer getrennt nach Standorten und Blocknummern an einer Vorrichtung drehbar angehängt und allseitig fotografiert. Die Auswertung erfolgte an Vergrößerungen etwa in DIN A 4-Format, aus denen die Astgrößen, die Verteilung der Äste über jedes Kantholz sowie die Faserneigung und die Lage der Schwindrisse ermittelt werden konnten.

Zur Bestimmung der Jahrringbreite wurden im Anschluß an die Festigkeitsprüfung der Kanthölzer (siehe Abschnitt 3.3) aus Auflager- und Mittelbereich eines jeden Prüfkörpers je eine etwa 2 cm dicke Hirnholzscheibe herausgeschnitten und die mittleren Jahrringbreiten nach DIN 52181 bestimmt.

Hauptkriterien bei der Gütesortierung waren die Astigkeit im vorgesehenen statisch am ungünstigst beanspruchten Bereich und die Jahrringbreite. Da das Versuchsholz keine extreme Astigkeit aufwies, war die Sortierung hinsichtlich dieser Kenngröße ohne großen Ausschuß durchführbar. Wenn jedoch die Jahrringbreite und ihre zum Teil stark streuende Verteilung über den Querschnitt das alleinige Sortierkriterium war, warf die Einteilung der Kanthölzer in die Güteklasse I oder II Probleme auf. Nach DIN 4074 sind bei der Güteklasse I Jahrringbreiten über 4 mm höchstens bei der Hälfte des Querschnitts zulässig. Diese Bedingung war besonders bei den Querschnitten 14/20, die vorwiegend aus dem Übergang des weitringigen zum engringigen Jahrringbreitenbereich stammten, nicht immer erfüllt.

Größere Faserneigungen traten aufgrund der Geradwüchsigkeit des Versuchsholzes nur bei örtlichen Abweichungen verursacht durch Äste auf, die jedoch durch die Kenngröße "Astigkeit" erfaßt wurden.

Bei Kanthölzern mit "Mark" wurden starke Verdrehungen verbunden mit Herzrissen und bei markgetrennten Hölzern meist leichte Verdrehungen beobachtet. Die Schwindrisse beschränkten sich überwiegend auf Oberflächenrisse und von den Hirnenden ausgehende Anrisse. Mit Ausnahme der Ringschäle, die besonders bei breiten Jahrringen am Übergang vom Früh- zum Spätholz aufgetreten ist, sind die Schwindverformungen von Douglasienholz denjenigen von anderen Nadelhölzern bei natürlicher Trocknung sehr ähnlich. Der hohe Harzanteil des Douglasienholzes trat häufig in Perlen- bis Tropfenform aus den Schnittflächen aus.

Neben der Verteilung der Kanthölzer auf die einzelnen Güteklassen ist für beide Standorte auch die Anzahl der für die Prüfung ausgewählten Hölzer in Tabelle 3.2 (Anlage 9) angegeben. Die restlichen Kanthölzer werden für mögliche weiterführende Untersuchungen über Nagelverbindungen bzw. -anschlüsse aufbewahrt. Nach insgesamt einjähriger Freilufttrocknung wurden die zur Prüfung vorgesehenen Kanthölzer mit einer Holzfeuchte $u \approx 20\%$ Anfang Dezember 1982 in der Versuchshalle gestapelt. Anfang September 1983 konnte nach Erreichen der Holzgleichgewichtsfeuchte des Normalklimas $20^{\circ}\text{C}/65\%$ rel. Luftf. ($u = 11\div 12\%$) mit den Versuchen begonnen werden.

3.3 Versuchsdurchführung zur Ermittlung der Material- und Festigkeitseigenschaften

3.3.1 Biegeelastizitätsmodul und Biegefestigkeit

Die Versuchsdurchführung an den Kanthölzern erfolgte nach dem ISO-Normenentwurf TC165 N52. Die Belastungsanordnung ist in Bild 3.3.1 (Anlage 10) dargestellt. Bild 3.3.2 (Anlage 10) zeigt ein Kantholz unter der 2 x 100 kN Prüfmaschine im unbelasteten Zustand.

Zuerst wurden die Kanthölzer der Güteklasse III, nachfolgend die der Klassen I und II beider Standorte mit den Querschnitten 14/20, 12/14 und zuletzt 8/8 cm geprüft.

Die Stelle des ungünstigsten Astes bzw. der ungünstigsten Astkombination im zugbeanspruchten Bereich wurde bereits als Trägermitte festgelegt. Nach der Feststellung der Querschnittsabmessungen in Trägermitte wurden aus der mittleren Höhe \bar{h} aller Kanthölzer eines Querschnitts die mittlere Stützweite $\bar{l} = 18 \bar{h}$ und der mittlere Lastabstand $\bar{a} = 6 \bar{h}$ zwischen Auflager und Lastangriffsstelle bestimmt.

Die Belastung wurde kontinuierlich bis zum Bruch mit einer Verformungsgeschwindigkeit $v = 3 \cdot 10^{-3} \cdot h$ mm/sec (h in mm) entsprechend 36 bzw. 25 bzw. 14 mm/min für die Querschnitte 14/20 bzw. 12/14 bzw. 8/8 cm aufgebracht.

Ursprünglich war geplant, den Biegeelastizitätsmodul ohne Schubanteil sowie den Schubmodul nach dem ISO-Normenentwurf zu bestimmen. Die gemessene Durchbiegung infolge reiner Momentenbelastung zwischen den beiden Einzellasten war jedoch sehr gering und deshalb die Auswertung der Kraft-Durchbiegungsdiagramme für diesen Bereich zu fehleranfällig. Daher wurde der E-Modul nach DIN 52186 mit Schubanteil ermittelt und dabei die Durchbiegung in Trägermitte zu beiden Seiten eines Kantholzes mittels induktiver Wegaufnehmer gegen über den Auflagern in der neutralen Achse verschieblich gelagerte Meßschienen gemessen. Die Kraft-Durchbiegungsdiagramme wurden mit einem XY-Schreiber bis etwa $\max F/3$ aufgezeichnet. Nach Abschluß der Versuche wurden aus den Kanthölzern aller Querschnitte

aus dem Nachbarbereich der Bruchstellen die Rohlinge für die fehlerfreien Scherproben sowie die Druckproben mit Kantholzquerschnitt und möglichst ungünstiger Astverteilung herausgeschnitten.

Die Hirnholzscheiben zur Bestimmung der mittleren Jahrringbreiten nach DIN 52181 stammten aus dem Bruch- und Auflagerbereich. Die Rohlinge für die fehlerfreien Biegeproben 4/4 cm wurden dagegen nur aus den Kanthölzern 14/20 bzw. 12/14 cm des Stammes S 4 herausgeschnitten, da diese Querschnitte entweder den gesamten Stammquerschnitt abgedeckt haben oder aus dem ungünstigen grobjährigen Kernbereich stammten. Die Verteilung aller Proben über die Kantholzlängen bzw. -querschnitte ist in Bild 3.3.3 (Anlage 11) dargestellt. Art der Prüfung und Anzahl der jeweiligen Prüfkörper sind in Tabelle 3.3 (Anlage 12) zusammengestellt. Aus den Rohlingen 12/14 wurden je 4 Biegeproben diagonal über die Stammabschnitte S 4 verteilt und aus den Rohlingen 14/20 jeweils 3 gleichmäßig über den Querschnitt verteilte Proben nach DIN 52186 zur Bestimmung des E-Moduls und der Biegefestigkeit geprüft und ausgewertet. Um der Weitringigkeit der Douglasie Rechnung zu tragen, wurde der Probenquerschnitt abweichend von DIN 52186 mit 40 x 40 mm festgelegt.

Dabei erfolgte die Messung der Mittendurchbiegung infolge Einzelastlast über beidseitig angeordnete induktive Wegaufnehmer und über den Auflagern verschieblich gelagerte Meßschieben. Nach Abschluß dieser Versuche wurden aus dem Bruchbereich Druckproben mit den Abmessungen 40 x 40 x 80 mm herausgeschnitten, an denen neben der Druckfestigkeit parallel zur Faser nach DIN 52185, die mittlere Jahrringbreite nach DIN 52181, die Rohdichte nach DIN 52182 sowie die Holzfeuchte nach DIN 52183 bestimmt wurden.

Die fehlerfreien Scherproben mit tangential bzw. radial zu den Jahrringen liegenden Scherflächen wurden nach ASTM-Standards D 143 hergestellt und geprüft. Die Lage der beiden Probentypen im Rohling war vom Kantholzquerschnitt und dessen Jahrringverlauf abhängig.

3.3.2 Druckfestigkeit nach dem ISO-Normentwurf TC 165 N 52

Die Rohlinge der Druckproben mit Kantholzquerschnitt wurden auf eine Länge $6 \cdot \bar{B}$ (\bar{B} = mittlere kleinere Seitenlänge aller Kanthölzer eines Querschnittes) mit planparallelen Druckflächen zugeschnitten.

Da der infolge Biegebruch zerstörte Bereich eines Kantholzes häufig sehr groß war, blieb für die Einteilung der Druckprobe nur noch ein geringer Spielraum. Deshalb konnte nicht immer, wie vorgesehen, die ungünstigste Astverteilung geprüft werden. Die Druckkraft wurde mit einer Verformungsgeschwindigkeit von etwa 1 mm/min aufgebracht, so daß der Bruch nach etwa 5 ± 2 min eintrat.

3.4. Versuchsergebnisse, Auswertung und Diskussion

Für die gütesortierten auf Biegung geprüften Kanthölzer 8/8, 12/14 und 14/20 cm, bezeichnet nach Standort, Stamm- und Blocknummern, sind die Jahrringbreiten, E-Moduln und Biegefestigkeiten aus den Kantholz-Biegeversuchen und soweit durchgeführt die Scherfestigkeiten parallel und senkrecht zu den Jahrringen sowie die den Biegebruch auslösenden Astdurchmesser in den Tabellen 3.4.1 bis 3.4.3 (Anlagen 13 bis 15) angegeben. Tabelle 3.4.4 (Anlage 16) enthält neben den minimalen und maximalen Jahrringbreiten die an Kantholzabschnitten festgestellten mittleren Druckfestigkeiten.

Die Ergebnisse der an aus den Kanthölzern nach dem Biegeversuch entnommenen fehlerfreien Probekörpern 4/4 cm durchgeführten Biege- und Druckversuche einschließlich der Rohdichten bei 11-12 % Holzfeuchte sind in Tabelle 3.4.5 (Anlage 17) zusammengestellt.

Die Häufigkeitsverteilungen der E-Moduln, Biege- und Druckfestigkeiten der Kanthölzer und der zugehörigen fehlerfreien Proben sind in Bild 3.4.1 bis 3.4.3 (Anlage 18 bis 20) einander gegenübergestellt. Hiernach liegt eine annähernde Normalverteilung der Versuchswerte vor.

In Tabelle 3.4.6 (Anlage 21) sind die Ergebnisse der Kantholzversuche, unterteilt nach Kantholzquerschnitten und Güteklassen, zusammengestellt, wobei außer den Mittelwerten auch die Variationskoeffizienten V und die 5%-Fraktilen x_5 aus mindestens 6 Einzelversuchen aufgenommen sind.

3.4.1 Biegeelastizitätsmodul

In Bild 3.4.4 (Anlage 22) sind in Balkendiagrammen die E_{II} -Moduln für die fehlerfreien Probekörper 4/4 cm und die Kanthölzer 8/8 cm, 12/14 cm und 14/20 cm der Güteklassen dargestellt. Die Mittelwerte und 5%-Fraktilwerte liegen für die Kantholzversuche mit Ausnahme der Güteklasse III sogar höher als für die Normversuche. Bei den fehlerfreien Normproben, die aus den Kanthölzern 12/14 cm und

und 14/20 cm der 3 Güteklassen stammten, lag die mittlere Rohdichte $\bar{\rho}_N$ durchgehend bei etwa $0,50 \text{ g/cm}^3$. Der Unterschied bestand lediglich in der Jahrringbreite, die bei den Normproben im Mittel bei 4,1 und 4,3 mm für Güteklasse I, 4,8 und 5,3 mm bei Güteklasse II und 5,0 mm bei Güteklasse III betrug.

Bei der Betrachtung der Häufigkeitsverteilung der E-Moduln der fehlerfreien Proben fällt auf, daß diese Werte bei gleichen Mittelwerten stärker streuen ($V = 15,8 \%$) als die der Kantholzproben ($V = 11,8 \%$) (siehe Bild 3.4.1). Das gleiche Bild ergibt sich, wenn man die E-Moduln vergleichbarer Kanthölzer und fehlerfreier Proben in die drei Jahrringbereiche ≤ 4 , > 4 bis ≤ 5 und > 5 mm unterteilt, wie aus nachstehender Tabelle hervorgeht.

mittl. Jahrringbreite mm	Biege E_{II} -Moduln in N/mm^2							
	von 57 Kanthölzern (20 St.12/14 und 37 St.14/20)				von 135 fehlerfreien Proben			
	Anz.	%-Ant.	\bar{E}_{II}	$E_{II} \text{ } 5\%$	Anz.	%-Ant.	\bar{E}_{II}	$E_{II} \text{ } 5\%$
≤ 4	12	21,0	13740 ($V=9,6\%$)	11370	40	29,6	14600 ($V=12,2\%$)	11600
>4 bis ≤ 5	32	56,0	12560 ($V=10,0\%$)	10430	47	34,8	12820 ($V=13,7\%$)	9870
>5	13	23,0	12030 ($V=6,9\%$)	10550	48	35,6	11550 ($V=11,8\%$)	9260
Σ	57	100,0			135	100,0		

Zwischen den Jahrringbreiten ≤ 4 und > 4 bis ≤ 5 mm ist ein Abfall der 5%-Fraktilen der E_{II} -Moduln zu beobachten. Hier verringern sich die $E_{II} \text{ } 5\%$ -Werte der großen Proben nur um etwa 9 % gegenüber 18 % bei den kleinen Proben, bei denen sich der $E_{II} \text{ } 5\%$ -Wert im Jahrringbereich > 5 mm um weitere 7 % vermindert.

Eine größere Jahrringbreite beeinflusst gerade den E-Modul der fehlerfreien kleinen Proben zunehmend negativ, während sich größere und ungleichmäßig verteilte Jahrringbreiten neben anderen Strukturstörungen wie Astigkeit bei den Kanthölzern bei Beanspruchung im linearen Spannungs-Dehnungsbereich wesentlich schwächer auswirken.

Der negative Einfluß der Jahrringbreite auf die Elastizitätseigenschaften der Kantholzdimensionen ist jedoch deutlich und sollte bei der Festlegung des Rechenwertes von E_{II} für Douglasien-Bauholz berücksichtigt werden.

3.4.2 Biegebruchfestigkeit

Bei der Biegebruchfestigkeit ist der Einfluß von wuchsbedingten Strukturunterschieden deutlich erkennbar. Äste und astabhängige Faserabweichungen in der Zugzone im stärkst beanspruchten Stützweitenbereich der Kanthölzer waren die häufigsten bruchauslösenden Ursachen. In vier Fällen wurden kurzfasrige Biegebrüche und in einem Fall ein Biegedruckbruch beobachtet. Einige typische Brüche sind in den Bildern 3.4.5 bis 3.4.10 (Anlagen 23 und 24) wiedergegeben.

Aus den Häufigkeitsdiagrammen (Bild 3.4.2) ist ersichtlich, daß die Biegefestigkeiten β_B bei 20 % der Kantholzproben und 52 % der fehlerfreien Proben zwischen 70 und 90 N/mm² liegen. In Tabelle 3.4.7 (Anlage 25) sind für alle Biegeversuche die mittleren Biegefestigkeiten $\bar{\beta}_B$, ihre Variationskoeffizienten sowie die 5%-Fraktilen und ihre mit dem Sicherheitsfaktor $\nu = 2,25$ reduzierten Werte getrennt nach Querschnittsabmessungen und Güteklassen zusammengestellt.

Wie auch aus dem entsprechenden Balkendiagramm in Bild 3.4.4 hervorgeht, ist ein Einfluß der Querschnittsgröße auf die mittleren Biegefestigkeiten erkennbar, der jedoch bei der Güteklasse III nur noch schwach und bei den 5%-Fraktilwerten nicht mehr festzustellen ist. Die vergleichsweise hohen Festigkeitswerte des kleinsten Kantholzquerschnittes 8/8 cm der Güteklassen I und II

sind zurückzuführen auf die geringen mittleren Jahrringbreiten von ca. 3 mm und auf die geringe Astigkeit dieser aus den äußeren Stammzonen stammenden Kanthölzer. Auffällig ist bei den Querschnitten 12/14 und 14/20 cm der starke Rückgang der 5%-Fraktilen bei der Güteklasse II gegenüber der Gkl I, der in erster Linie auf den nahezu 10 % höheren Variationskoeffizienten der Werte der Gkl II zurückzuführen ist. Ein Vergleich der mit $\nu = 2,25$ reduzierten 5%-Fraktilwerte mit den entsprechenden zulässigen Biegespannungen für europäische Nadelhölzer nach DIN 1052 zeigt auch noch für den Querschnitt 14/20 cm deutlich höhere Werte, die trotz der bewußt ungünstigen Anordnung von Ästen in der Zugzone im Bereich des maximalen Biegemomentes festgestellt wurden. Die Biegefestigkeit der aus den Kanthölzern der 3 Güteklassen entnommenen fehlerfreien Proben war mit $\bar{\beta}_B \approx 80 \text{ N/mm}^2$ nahezu bei allen 3 Güteklassen der Kanthölzer gleich, obwohl die mittlere Jahrringbreite bei den Güteklassen II und III deutlich höher war. Hieraus ist deutlich erkennbar, daß die Biegeprüfung fehlerfreier Probekörper die Biegebruchfestigkeiten von Proben mit Kantholzdimensionen nicht hinreichend genau erfassen kann.

In Bild 3.4.11 bis 3.4.13 (Anlage 26 bis 28) ist der Zusammenhang zwischen E-Modul und Biegebruchspannung für die 3 Kantholzquerschnitte der 3 Güteklassen aufgetragen. Die Korrelationen nehmen mit abnehmender Querschnittsgröße zu. Die Güteklassenzugehörigkeit ist bei allen Kantholzquerschnitten aber nur schwach ausgeprägt, was im Hinblick auf die maschinelle Gütesortierung von Bedeutung ist.

3.4.3 Druckfestigkeit

Wie ein Blick auf die Häufigkeitsverteilungen (Bild 3.4.3) zeigt, beeinflussen Wuchsunregelmäßigkeiten die Druckfestigkeiten in geringerem Maße als die Biegefestigkeiten. Der Anteil der Druckfestigkeiten β_{DII} zwischen 40 und 60 N/mm^2 liegt bei 59 % bei den Kantholzproben und bei 83 % bei den fehlerfreien Proben, deren Rohdichten $\bar{\rho}_N = 0,50 \text{ g/cm}^3$ (aus den Querschnitten 14/20) trotz

großer Jahrringbreitenunterschiede nur gering streuen ($V = 10,7 \%$). Die schlechte Korrelation zwischen Rohdichte und Jahrringbreite mit $r = 0,43$ ist auf den größeren Einfluß des Spätholzanteiles auf die Rohdichte zurückzuführen (Vintila 1939).

In der Tabelle 3.4.4 sind die mittleren Druckfestigkeiten β_{DII} und ihre Variationskoeffizienten sowie die 5%-Fraktilen getrennt nach Querschnittsabmessungen und Güteklassen zusammengestellt. Bei den Kantholzproben waren hauptsächlich astbedingte örtliche Faserabweichungen bruchauslösend. Bei den astfreien Druckproben trat der Bruch vorwiegend durch Faserstauchungen infolge örtlicher Strukturstörungen ein. Im Gegensatz zu den E_{II} -Modul- und Biegefestigkeitsbestimmungen zeigen die an Kantholzproben ermittelten Druckfestigkeiten eine geringere Abnahme gegenüber den Druckfestigkeitswerten der fehlerfreien Proben, was auch aus den entsprechenden Balkendiagrammen in Bild 3.4.4 hervorgeht.

Bei den Kantholzprobekörpern ist der Einfluß der Güteeinteilung auf die Druckfestigkeit ebenso erkennbar wie die Abnahme der Festigkeit mit zunehmenden Querschnittsabmessungen. Ein Vergleich der um $v = 2,25$ reduzierten 5%-Fraktilwerte mit den zulässigen Druckspannungen der DIN 1052 (siehe Tabelle 3.4.8, Anlage 29) ergibt, daß auch hier die für den größten Probenquerschnitt 14/20 cm ermittelten geringsten Werte noch deutlich über den σ_{DII} -Werten der DIN 1052 liegen.

3.4.4 Scherfestigkeit

Der starke Rohdichteunterschied zwischen Früh- und Spätholz auch bei weitrigen Proben mit ausschließlich im Frühholz angeordneten Scherflächen hat sich auf die Scherfestigkeit nicht wesentlich ausgewirkt; die Scherfestigkeit τ_{\perp} radial zu den Jahrringen war bei den Mittel- und 5%-Fraktilwerten um 5 bis 10 % höher als tangential zu den Jahrringen, wie auch aus dem entsprechenden Balkendiagramm in Bild 3.4.4 hervorgeht. Ein deutlicher Einfluß der Jahrringbreite konnte nicht festgestellt werden.

Die Mittelwerte der 5%-Fraktilen der Scherfestigkeiten mit tangential zu den Jahrringen angeordneten Scherflächen liegen etwa zwischen 7 und 8 N/mm² und bei radial verlaufenden Scherflächen etwa zwischen 8 und 9 N/mm². Wenn auch die meisten Scherversuche tangential zu den Jahrringen durch mehr oder weniger große Spätholzanteile beeinflusst wurden, die aus holzanatomischen bzw. herstellbedingten Gründen nicht zu vermeiden waren, so überrascht doch der geringe Unterschied zwischen tangentialen und radialen Scherwerten, so daß auch hier wie bei den sonstigen europäischen Nadelhölzern mit einem einzigen Wert für die zulässige Scher- und Schubspannung gerechnet werden kann. Die Gleichmäßigkeit der Scherfestigkeiten τ_{II} und τ_{I} (sowohl der Mittelwerte als auch der 5%-Fraktilen) geht aus dem Balkendiagramm (Bild 3.4.4) hervor.

3.5 Stichprobenartige Untersuchungen

3.5.1 Druckfestigkeit quer zur Faserrichtung, $u = 11$ bis 12%

Versuchsdurchführung und -auswertung wurden wegen der besseren Anschaulichkeit und Vergleichbarkeit mit früheren Versuchsergebnissen noch nach DIN 52185 Blatt 2, Ausgabe Dezember 1954 durchgeführt. Diese Norm ist inzwischen durch DIN 52192 Ausgabe Mai 1979 ersetzt worden.

3.5.1.1 Würfeldruckversuche

Aus 12 geprüften fehlerfreien Biegeproben mit möglichst geringer Rohdichte wurden 2 x 12 Prüfkörper $l \times b \times d = 40 \times 40 \times 40$ mm herausgeschnitten und kontinuierlich mit einer Verformungsgeschwindigkeit $v = 1$ mm/min radial bzw. tangential zu den Jahrringen belastet.

In Tabelle 3.5.1 (Anlage 30) sind die Ergebnisse der Würfeldruckversuche getrennt nach Belastung radial und tangential zu den Jahrringen zusammengestellt. Die Probekörper, bei denen der Winkel zwischen Kraft- und Jahrringrichtung deutlich $> 0^\circ$ bzw. $< 90^\circ$ war, wurden aussortiert und ihre Querdruckfestigkeiten, die gegenüber den genau radial bzw. tangential belasteten Proben geringer waren, gesondert angegeben.

Aus den Beanspruchungs-Wegdiagrammen (Bild 3.5.1, Anlage 31) geht der erste Abfall im Spannungs-Dehnungsverhalten der radial belasteten Prüfkörper etwa an der Proportionalitätsgrenze hervor. Dieser erste Lastabfall wird als Quetschgrenze σ_0 definiert. Eine weitere Laststeigerung ist nur noch unter schnell ansteigender Stauchung ϵ_d zu erreichen. Bei $\epsilon_d \geq 10 \%$ ($\Delta l_d \approx 4$ mm) wurden die Versuche abgebrochen. Der Spannungsabfall bei den tangential belasteten Proben (Bild 3.5.2, Anlage 32) tritt plötzlich durch leichtes Ausknicken der Jahrringe im Lasteinleitungsbereich ein,

was sich bereits unterhalb der erreichten Höchstlast durch eine überproportionale Zunahme der Stauchung bemerkbar macht. In nachstehender Tabelle sind die mittleren Quetschspannungen σ_Q der Würfeldruckversuche vergleichbaren Ergebnissen von Gaber (1940) für Fichte und Kiefer gegenübergestellt. Hiernach erreichen die Werte der Douglasie in etwa die der Kiefer.

Winkel zwischen Kraft- und Jahrringrichtung	tangential 0°	radial 90°
Douglasie	6,9 N/mm ²	4,9 N/mm ²
Fichte (Gaber 1940)	3,4 N/mm ²	2,3 N/mm ²
Kiefer (Gaber 1940)	5,8 N/mm ²	4,9 N/mm ²

3.5.1.2 Schwellendruckversuche

Aus den gleichen Kanthölzern, aus denen auch die Würfelproben stammten, wurden ebenfalls je 12 Prüfkörper $l \times b \times d = 150 \times 50 \times 50$ mm mit liegenden und stehenden Jahrringen herausgeschnitten und kontinuierlich mit $v = 1$ mm/min belastet.

Die Versuchsergebnisse sind in Tabelle 3.5.2 (Anlage 33) zusammengestellt. Die Beanspruchungs-Weglinien der radialbelasteten Schwellendruckkörper (Bild 3.5.3, Anlage 34) zeigen im Gegensatz zu den vergleichbaren Würfelversuchen eine weniger eindeutig ausgeprägte Proportionalitätsgrenze. Die Druckspannung beim ersten Lastabfall wird als Quetschgrenze σ_Q definiert. Das Spannungs-Stauchungsverhalten der tangentialbelasteten Schwellenkörper ist dem der radialbelasteten ähnlich. Die Belastbarkeit liegt jedoch deutlich höher (Bild 3.5.4, Anlage 35).

Die mittleren Quetschspannungen σ_Q sind den vergleichbaren Ergebnissen von Gaber (1940) für Fichte in folgender Tabelle gegenübergestellt.

Winkel zwischen Kraft- und Jahrringrichtung	tangential 0°	radial 90°
Douglasie	11,0 N/mm ²	8,5 N/mm ²
Fichte (Kernholz) (Gaber 1940)	8,7 N/mm ²	7,2 N/mm ²

3.5.2 Festigkeitseigenschaften ermittelt an Seitenware 4 cm dick

Aus 40 mm dicken Bohlen aus den Außenbereichen des Stammes S4 (Standort Schorndorf) wurden 2 x 9 Biegeproben mit je einem durchgehenden Ast in Probenmitte, mit einer Breite $b \approx 3$ bis 5 mal Astdurchmesser und einer Länge $L = 18h$ herausgeschnitten. Bei 9 Proben war bei der Prüfung die Holzfeuchtigkeit u größer als die Fasersättigung, während die übrigen Proben ab $u \approx 25\%$ im Normal-klima 20/65 auf $u \approx 15\%$ getrocknet waren. Die Belastung der Proben erfolgte bei einer Stützweite $l = 15h$ mit 2 Einzellasten im Abstand von 150 mm und einer Verformungsgeschwindigkeit von etwa 5 mm/min kontinuierlich bis zum Bruch. Der astgeschwächte Querschnitt lag somit stets im Bereich des maximalen Biegemomentes.

Nach der Prüfung wurden aus unmittelbarer Nähe der frischen Biegeproben 2 bis 3 Druckproben (ca. 4/4 cm) über den Querschnitt verteilt entnommen und außer der Druckfestigkeit die mittlere Jahrringbreite und Holzfeuchtigkeit bestimmt. Die Rohdichte wurde an den klimatisierten Biegeproben festgestellt. Die Versuchsauswertung erfolgte nach den bereits erwähnten DIN-Prüfnormen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 3.5.3 (Anlage 36) zusammengestellt.

Die Verringerung der mittleren Holzfeuchtigkeit von $\bar{u} = 33,5\%$ auf $\bar{u} = 14,9\%$ ergab bei der mittleren Biegebruchfestigkeit eine Erhöhung um 30 % auf $\beta_{B15} = 55 \text{ N/mm}^2$ und beim E_{II} -Modul um 44 % auf $E_{II\ 15} = 12510 \text{ N/mm}^2$.

.//.

Zum Vergleich wurden aus beiden Feuchtigkeitsbereichen noch je 2 fehlerfreie Biegeproben (S4510 und S4311) geprüft. β_{B15} und $E_{II 15}$ lagen deutlich über den jeweiligen Durchschnittswerten der astigen Proben.

Der erkennbare Abfall der Biegebruchfestigkeiten gegenüber den annähernd vergleichbaren Werten der Kantholzproben 8/8 cm ist wahrscheinlich vorwiegend auf den unterschiedlichen Feuchtegehalt der Probekörper bei der Prüfung zurückzuführen. Das geht auch aus dem Vergleich der Druckfestigkeiten der fehlerfreien Proben hervor, die bei ca. 4 mm Jahringbreite und ca. 11,5 % Holzfeuchte eine Druckfestigkeit von ca. 55 N/mm^2 aufwiesen, während die mittlere Druckfestigkeit aus der Seitenware trotz engerer Jahringbreiten bei einer mittleren Holzfeuchte von 26 % nur etwa 32 N/mm^2 betrug.

3.5.3 Untersuchung der Spaltgefahr beim Nageln ohne und mit Vorbohren

3.5.3.1 Nagelkörper aus Einzelbrettern

Die für die Versuche verwendeten Holzabmessungen der Nagelkörper wurden für die einzelnen Nagelgrößen entsprechend den Mindestabständen und Mindestbrettdicken gemäß DIN 1052 festgelegt. Das Nagelbild bestand aus 3 Nagelreihen zu je 5 Nägeln. Je 1 Nagelkörper wurde aus eng- und weitringigen Brettstücken mit Nägeln 31/70 und 42/110 versetzt genagelt, während für die Nägel 31/70, 42/110 und 55/160 je Körper mit Durchmessern $d_B \approx 0,85 d_n$ versetzt vorgebohrt wurde.

Alle Nagelkörper wurden in halbtrockenem Zustand in gleicher Reihenfolge genagelt, wobei zuerst die 4 äußeren Nägel und darauf alle anderen in gleicher Richtung jeweils senkrecht zur Faserrichtung eingeschlagen wurden.

././.

Die vorgebohrten Nagelkörper zeigten während der Nagelung sowie nach anschließender etwa einmonatiger Lagerung der Körper im überdachten Außenklima bei allen drei Nagelsorten keinerlei Ribbildung. Bei den nicht vorgebohrten Nagelkörpern traten bereits während des Einschlagens der Nägel 31/70 einige leichte Anrisse am Nagelkopf auf, während die Nägel 42/110 ein-nahezu durchgehen-des Aufspalten der Einzelbretter entlang der Nagelreihen bewirkt haben (Bilder 3.5.5. bis 3.5.7, Anlage 37 und 38).

3.5.3.2 Nagelkörper aus Kanthölzern

Je 1 Nagelkörper wurde aus eng- und weitringigen Kantholzab-schnitten mit gleichen Nageltypen und Körperabmessungen wie vor hergestellt. Während des Einschlagens der Nägel senkrecht zur Jahrringlage spaltete das Holz längs der Nagelreihen, bei den vorgebohrten Nagelkörpern nur im Bereich unterhalb der Vorbohrung, deren Länge durch die jeweilige Bohrerlänge begrenzt war.

Bei der Nagelung der weitringigen Körper parallel zum Jahrring-verlauf wurde ein Ablenken der Nägel entlang des Spätholzes beobach-tet - teilweise verbunden mit einem Aufspalten (Bilder 3.5.8 bis 3.5.10, Anlage 39 und 40).

Die Ergebnisse aller Nagelversuche sind in Tabelle 3.5.4 (Anlage 41) zusammengestellt.

3.5.3.3 Beurteilung

Aus den vorstehenden Versuchen geht hervor, daß bei Douglasienholz eine beim Nageln gegenüber Fichte erhöhte Spaltgefahr vorliegt. Dies führt vor allem bei den nach DIN 1052 festgelegten Mindest-holzdicken und Mindestnagelabständen auch bei halbtrockenem Holz zu Spaltrissen bereits beim Einschlagen. In diesen Fällen müßten bis zum Vorliegen weiterer Untersuchungen die Nagellöcher auf die ganze Nagellänge vorgebohrt werden.

Bezüglich der Nagelung sind weitere Untersuchungen, auch hinsichtlich der Befestigung von Blechformteilen wie Balkenschuhen und ähnlichen Formteilen, erforderlich.

3.5.4 Verleimfestigkeit

Für die näherungsweise Beurteilung der Verleimfestigkeit wurden zwei normalklimatisierte Bohlen ($d = 40 \text{ mm}$) mit stehendem und liegendem Jahrringverlauf gehobelt, mit Resorcinharzleim verleimt und daraus nach dreitägiger Aushärtezeit ASTM-Scherproben mit der Leimfuge als Scherfläche herausgeschnitten. Zehn Proben wurden sofort und 5 Proben nach 24-stündiger Wasserlagerung geprüft. Während die mittlere Scherbruchspannung der verleimten trockenen Scherkörper mit $\tau_L = 10,3 \text{ N/mm}^2$ ($V = 3,4 \%$) im Bereich der Festigkeit der vergleichbaren Scherproben aus den Kanthölzern lag, erreichten die wassergelagerten Proben im Mittel noch $8,5 \text{ N/mm}^2$ ($V = 6,4 \%$). Diese Festigkeitsverminderung ist auf die zusätzlich in der Leimfuge auftretenden Quellspannungen zurückzuführen und liegt in der bei Nadelholz zu erwartenden Größenordnung.

4 Vergleichende Beurteilung der Biege- und Druckfestigkeit des untersuchten Douglasienholzes mit den für die Festlegung der zul σ -Werte von Fichtenholz maßgebenden Festigkeiten unter Berücksichtigung der Holzfeuchtigkeit

Bauholz darf zwar beim Einbau halbtrocken sein ($u > 20$ bis 30%), aber nur dort, wo es bald auf den trockenen Zustand ($u \leq 20 \%$) für dauernd zurückgehen kann (siehe DIN 4074, Teil 1, Tabelle 2, Abs. 4). Daher wurden die Festigkeitsversuche vorwiegend an normal-klimatisiertem Holz ($20^{\circ}\text{C}/65 \%$ rel. Luftfeuchte) mit einer Ausgleichsfeuchte von 11 bis 12% durchgeführt.

Die für die Festlegung der zulässigen Biege- und Druckspannungen parallel zur Faser nach DIN 1052, Teil 1 maßgebenden Versuche wurden nach Graf (1938) bei einer Holzfeuchte von rd. 14% durchgeführt. Die Versuchswerte sind in Zahlentafeln 9 und 10 dieser Veröffentlichung zusammengestellt.

Die von Graf ermittelten Mindestwerte von $\bar{\beta}_B$ und $\bar{\beta}_{D''}$ des Fichtenholzes bei $u \approx 14 \%$ betragen im einzelnen:

Festigkeit N/mm ²	Güteklasse I	II	III
$\bar{\beta}_B$	32,4	28,6	23,7
$\bar{\beta}_{D''}$	28,0	26,3	21,8

O. Graf (1941) weist darauf hin, daß diese Mindestfestigkeiten im Vergleich zu den zulässigen Werten meist keine dreifache Bruch-sicherheit erreichen.

Eine statistische Auswertung der Graf'schen Versuche von 1938 ergab die in der Tabelle 4 aufgeführten Mittelwerte, Variationskoeffizienten und 5%-Fraktilen. Um einen Vergleich mit den in Abschnitt 3 mitgeteilten Douglasienwerten zu ermöglichen, wurden

././.

die bei $u \approx 11,5$ % Feuchte ermittelten Werte auf eine Feuchtigkeit von 14 % umgerechnet. Obwohl die Biegefestigkeit vom Feuchtigkeitsgehalt weniger beeinflusst wird als die Druckfestigkeit, wurden sicherheitshalber die Mittelwerte beider Festigkeitseigenschaften nach der Beziehung

$$\frac{\beta_{D,B}(u_1)}{\beta_{D,B}(u_2)} = \frac{32 - u_1}{32 - u_2}$$

(gültig für $u = 8$ bis 18 %) umgerechnet.

Tabelle 4: Vergleich der Biege- und Druckfestigkeiten von Fichten- und Douglasienholz

Holzart	Feuchte u %	Quer- schnitt b / h cm	Biegefestigkeiten in N/mm ²					
			Güteklasse I		II		III	
			An- zahl	β_B	An- zahl	β_B	An- zahl	β_B
Fichte	rd. 14	5/5: 10/18	6 (V%) x ₅	53,0 (13,1) 39,0	35	44,0 (26,1) 24,6	5	26,5
Dougl.	≈ 11,5	14/20	15 (V%) x ₅	60,0 (13,7) 45,3	15	53,2 (24,4) 30,3	7	38,2 (14,9) 27,1
	14	14/20	15 x ₅	52,7 39,8	15	46,7 26,6	7	33,5 23,8
			Druckfestigkeiten in N/mm ²					
				β_{DII}		β_{DII}		β_{DII}
Fichte	rd. 14	6/9: 8/15	8 (V%) x ₅	32,0 (12,5) 24,0	9	30,6 (11,6) 24,0	4	28,1 -
Dougl.	≈ 11,5	14/20	14 (V%) x ₅	43,2 (12,5) 33,6	17	41,2 (17,8) 28,4	6	35,5 (20,0) 21,2
	14	14/20	14 x ₅	37,9 29,5	17	36,2 24,9	6	31,2 18,6

Ein Vergleich der auf einen Feuchtegehalt $u = 14 \%$ umgerechneten Werte beider Holzarten zeigt, daß die mittleren Biegefestigkeiten und deren 5%-Fraktilen in Güteklasse I gut übereinstimmen, während die Werte der Douglasie denen der Fichte in Güteklasse II geringfügig überlegen sind (β_B um 6% und $\beta_{B5\%}$ um 8%).

Die mittleren Druckfestigkeiten des Douglasienholzes übertreffen die entsprechenden Werte des Fichtenholzes der Güteklassen I und II um 18% bzw. der Güteklasse III um 11% .

Die 5%-Fraktilen liegen bei Güteklasse I um 23% und bei Güteklasse II nur um 4% höher.

Da nach den in Graf (1941) mitgeteilten Ergebnissen für Balken $28/28$ cm und $21/21$ cm selbst bei rissigem Fichtenholz der Güteklasse I bei $u = 17,4$ bis $20,2 \%$ Holzfeuchte Biege- und Druckfestigkeiten mit ähnlicher Streuung wie bei den vorbeschriebenen Douglasienversuchen ermittelt wurden, können beide Holzarten bezüglich dieser Festigkeiten als gleichwertig angesehen werden.

Auch hier wurden bei den Teilhölzern gegenüber den Vollhölzern ebenso höhere Festigkeiten erzielt wie bei Douglasienholz für die Querschnitte $4/4$, $8/8$ und $12/14$ cm im Vergleich zu Querschnitt $14/20$ cm.

Die zulässigen Biege- und Druckspannungen der DIN 1052, Teil 1 für europäische Nadelhölzer sind daher auf jeden Fall auch für Bauholz aus einheimischer Douglasie als gesichert anzusehen.

5 Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

In der einschlägigen Literatur, soweit sie sich in den letzten 30 Jahren mit der einheimischen Douglasie befaßt hat, wird allgemein festgestellt, daß sich das Douglasienholz in einzelnen Eigenschaften vom Nadelholz der Fichte und Tanne unterscheidet. Die bei der Verwendung als Bauholz maßgebenden Unterschiede sind in erster Linie die größeren Jahrringbreiten der ersten 15 bis 20 Jahre und der meist ziemlich abrupte Übergang zu den folgenden Jahrringen, deren Breiten im letzten Drittel des Stammquerschnittes nach ca. 60 Jahren auf die der Fichte zurückgehen. Hinzu kommt die größere Härte des Spätholzes, die zu Schwierigkeiten beim Sägen und bei der spanabhebenden Bearbeitung führt. Die Grobastigkeit läßt bei fehlendem natürlichen Astreinigungsvermögen eine künstliche Entastung bis mindestens 8 m Höhe ratsam erscheinen. Hinweise finden sich auch auf die erhöhte Spaltgefahr beim Nageln, während Festigkeitswerte, ermittelt an Bauholzabmessungen, nur in geringem Umfange mitgeteilt werden (Göhre 1958). Die Ergebnisse von fehlerfreien Proben 2/2 cm deuten darauf hin, daß die Biege- und Druckfestigkeiten der einheimischen Douglasie deutlich höher liegen als bei Fichtenholz.

Die vorstehend mitgeteilten Hauptuntersuchungen wurden an Kant-hölzern mit den Querschnitten 8/8, 12/14 und 14/20 cm durchgeführt, die aus je 4 Stämmen (52 bis 80 cm, Alter 70 bis 75 Jahre) aus 2 verschiedenen Standorten Baden-Württembergs stammten. Sie wurden nach Güteklassen entsprechend DIN 4074 sortiert, wobei bei Güteklasse I die Grenze der Jahrringbreite von 4 auf < 5 mm erweitert wurde. Die Ergebnisse der Versuche, E_{II} -Moduln, Biege-, Druck- und Scherfestigkeiten sind in Tabellen und Balkendiagrammen zusammengestellt, in denen auch die Werte für die vergleichsweise geprüften fehlerfreien Probekörper aufgenommen sind. Für die Mittel- und 5%-Fraktilwerte der E_{II} -Moduln sowie der Biege- und Druckfestigkeiten der 3 Kantholzquerschnitte ergab sich eine deutliche Abnahme mit zunehmender Güteklasse und Querschnittsgröße, während bei den fehlerfreien Proben 4/4 cm überwiegend steigende Jahrringbreiten

zu Festigkeitsabnahmen führten. Der Vergleich mit den den zulässigen Biege- und Druckspannungen der DIN 1052 zugrunde liegenden Festigkeitswerten von Fichtenholz aus den Versuchen von Graf (1938) unter Berücksichtigung der verschiedenen Holzfeuchten der Prüfkörper ergab weitgehende Gleichwertigkeit beider Holzarten bezüglich der wesentlichsten Festigkeitseigenschaften von Biege- und Druckstäben. Im Hinblick auf die verhältnismäßig geringe Holzfeuchte der geprüften Biegestäbe kann auch mit gleichem E_{II} -Modul für Fichte und Douglasie gerechnet werden.

Zum Teil recht gute Übereinstimmung mit unseren Ergebnissen zeigen auch die von Göhre (1958) an Kanthölzern 12/14 cm aus Douglasienholz des Wuchsgebietes Niedersachsen ermittelten Biege- und Druckfestigkeiten, die unseren Werten in den Tabellen 3.4.7 und 3.4.8 gegenübergestellt sind.

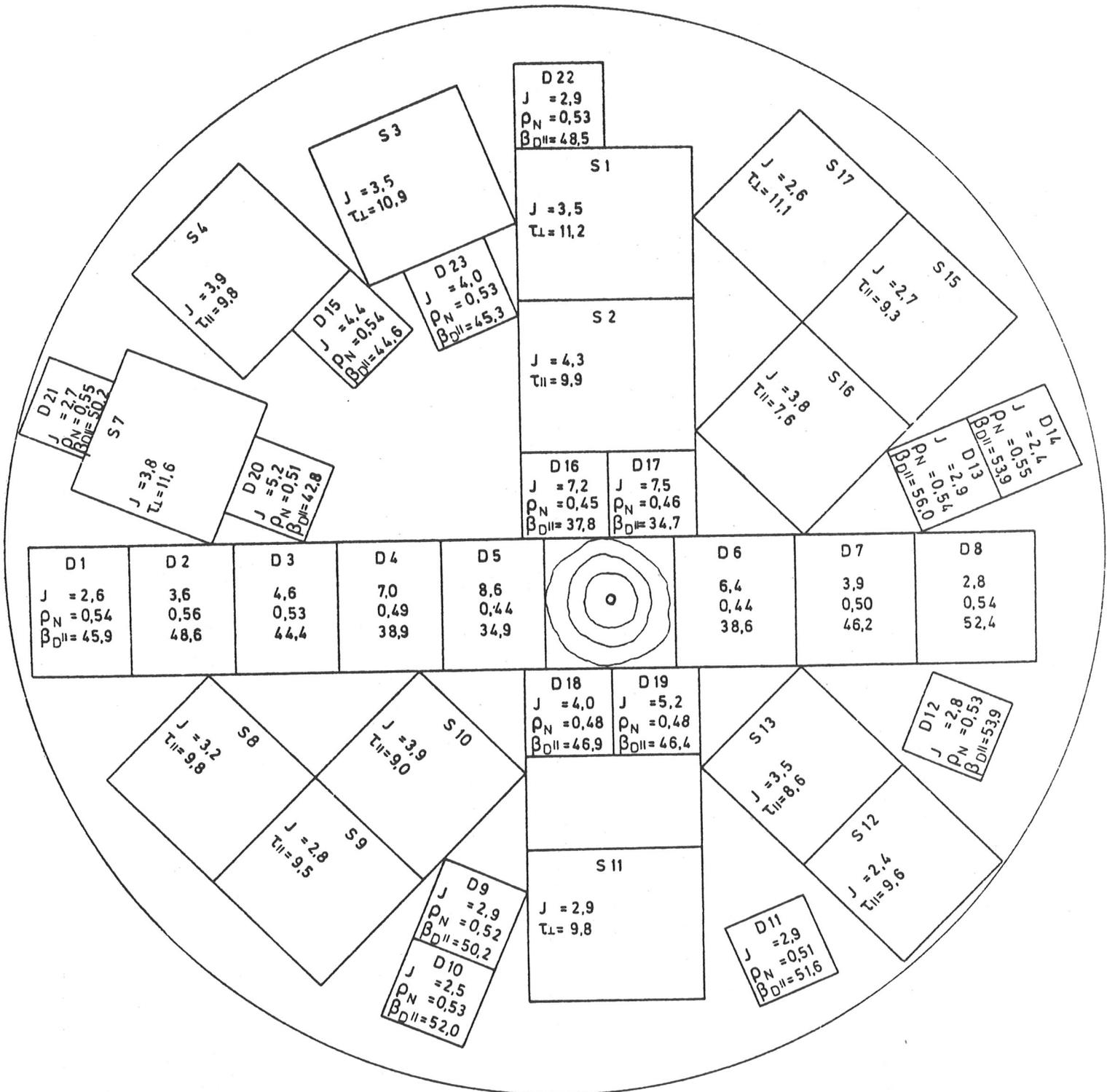
Für die Gütesortierung können die Bedingungen der DIN 4074 Teil 1 zugrunde gelegt werden, wobei bezüglich der Jahrringbreite bei Güteklasse I 5 mm statt 4 mm als oberste Grenze vertretbar sind, andererseits sollte aber bei Güteklasse II eine maximale Jahrringbreite von ca. 8 mm nicht überschritten werden. Bei ausgeprägter Weitringigkeit im inneren Stammbereich empfiehlt es sich, Kantholzquerschnitte mindestens "markgetrennt" einzuschneiden. Beim Einschnitt ist darauf zu achten, daß Vorschubgeschwindigkeit und Werkzeuggüte der Sägen auf den erhöhten Bearbeitungswiderstand des Douglasienholzes abgestimmt sind.

Bei Nagelverbindungen müssen selbst bei halbtrockenem Douglasienholz bei Anwendung der normgemäßen Mindestholzdicken die Nagellöcher vorgebohrt werden. Inwieweit Veränderungen dieser Mindestabmessungen ein schädliches Spalten des Holzes vermeiden können, muß ebenso weitergehenden Versuchen vorbehalten werden, wie die auf Douglasienholz abgestimmten Herstellungsbedingungen und das Festigkeitsverhalten von Brettschichtholzbauteilen, besonders bei Querszugbeanspruchung.

Schrifttum

- 1 Bauer, F.: Praktische Erfahrungen in der Verwertung und Verwendung von Douglasienholz.
Allgemeine Forstzeitung 1959, S. 168/169.
- 2 Gaber, E.: Druckversuche quer zur Faser an Nadel- und Laubhölzern.
Holz als Roh- und Werkstoff 3(1940) S. 222/228.
- 3 Gaebeler, J.: Die Douglasie - Probleme, Hoffnungen und Gefahren.
Holzzentralblatt 1981, S. 1959/1961.
- 4 Göhre, K.: Die Douglasie und ihr Holz.
Akademie-Verlag. Berlin 1958.
- 5 Graf, O.: Tragfähigkeit der Bauhölzer und der Holzverbindungen.
Mitteilungen des Fachausschusses für Holzfragen, Heft 20. Berlin 1938.
- 6 Graf, O.: Aus Versuchen mit Bauholz und mit hölzernen Bauteilen.
Holz als Roh- und Werkstoff 4(1941) S. 347/360.
- 7 Hapla, F.: Wie beeinflusst der Pflanzverband die Holzeigenschaften der Douglasie ?
Holzzentralblatt 1982, S. 574/576.
- 8 Hilf, H.H.: Die Verwertung des Douglasienholzes.
Holzzentralblatt 1959, S. 887/888.
- 9 Klauditz, Stolley : Untersuchungen über das Holz von Douglasien verschiedener Standorte in Niedersachsen.
Aus dem Walde, Mitteilungen aus der niedersächsischen Landesforstverwaltung,
Heft 1. Hannover 1957.
- 10 Knigge, W.: Untersuchungen über die Beziehungen zwischen Holzeigenschaften und Wuchs der Gastbaumart Douglasie.
Schriftenreihe der Forstl. Fak. der Uni Göttingen, Band 20. Frankfurt/Main 1958.

- 11 Koltzenburg, Ch.: Verwertung und Verwendung von einheimischem Douglasienholz.
Holzzentralblatt 1979, S. 1971/73 und S. 2007/2009.
- 12 Liese, W.u.a. : Tränkbarkeit von Douglasiensplintholz aus deutschen Wuchsgebieten.
Holz als Roh- und Werkstoff 40(1982) S. 321/325.
- 13 Löffler, H. : Eigenschaften und Verwertung mitteleuropäischer Douglasien.
Holzzentralblatt 1966, S. 1047/1049.
- 14 Neusser, H.u.a. : Über die technologischen Eigenschaften von in Österreich gewachsenen Douglasien.
Holzforschung und Holzverwertung 1977, S. 101/112.
- 15 Noak, D. : Holzeigenschaften und Verwendungsmöglichkeiten schnellwachsender Baumarten.
Der Forst- und Holzwirt, Heft 6, 1979.
- 16 Schulz, H. : Waldbau und Holzqualität.
Holzzentralblatt 1979, S. 1069/1071.
- 17 Teischinger, A. : Das Holz der Douglasie.
Allgem. Forstzeitung 10/1981.
- 18 Vintila, E. : Untersuchungen über Raumgewicht und Schwindmaß von Früh- und Spätholz bei Nadelhölzern.
Holz als Roh- und Werkstoff 2(1939) S. 345/357.
- 19 Weidenbach, P. : Die Douglasie in Baden-Württemberg.
Holzzentralblatt 1980, S. 277/279.



- J = Mittlere Jahrringbreite in mm
- ρ_N = Normalrohddichte in g/cm^3
- β_{DII} = Druckfestigkeit II zur Faserrichtung in N/mm^2 bei $u=14 \div 16\%$
- τ_{II} = Scherfestigkeit in Faserrichtung tangential zu den Jahrringen in N/mm^2 bei $u=15 \div 16\%$
- τ_L = Scherfestigkeit in Faserrichtung radial zu den Jahrringen in N/mm^2 bei $u=15 \div 16\%$

Bild 3.0.1: Verteilung der Probekörper über den Querschnitt eines Stammabschnittes aus dem Stadtwald Freiburg

Tabelle 3.1.1: Wuchs- und Entnahmedaten der Stämme (Blöcke) aus Kandern

Stamm Nr. 1)	Alter ¹⁾ Jahre	Brusthöhen- durchmesser mit Rinde cm	Abholzig- keit cm/m	Block Nr.	Entnahmehöhe ¹⁾ von-bis m	geästet ¹⁾	Bemerkungen ¹⁾
K2	75	80	1,6	1	1,3- 5,6	ja	gleichmäßiger Jahrring- aufbau, innen relativ engringig
				2	5,8-10,1	nein	
				3	10,3-14,7	nein	
K8	72	76	1,4	1	1,3- 5,6	ja	ungleichmäßiger Jahrring- aufbau durch Druckholzbil- dung; stark exzentrischer Wuchs
				2	5,8- 9,8	ja	
				3	10,0-14,3	nein	
K11	72	68	1,0	1	1,3- 5,5	ja	Jahrringsprünge infolge Freistellung durch Windwurf und starke Durchforstung
				2	5,7- 9,7	nein	
				3	9,9-13,9	nein	
K20	73	57	1,0	1	1,3- 5,3	ja	Jahrringbreite nach außen hin sehr rasch abnehmend (auf ca. 2 mm), einseitig relativ stark beästet (talseits)
				2	5,5- 9,5	nein	

1) Angaben von Wickel, Universität Freiburg

Tabelle 3.1.2: Wuchs- und Entnahmedaten der Stämme (Blöcke) aus Schorndorf

Stamm-Nr.	Alter Jahre	Brusthöhen-durchmesser mit Rinde cm	Abholzig-keit cm/m	Block Nr.	Entnahmehöhe von-bis m	geästet	Bemerkungen
S1	70	63	0,9	1 2 3 4	1,3- 5,8 5,8-10,3 10,3-14,8 14,8-19,3	ja ja nein nein	exzentrischer Jahrringverlauf mit einseitig zum Splint hin abnehmenden Jahrringbreiten
S2	70	56	0,9	1 2 3 4	1,3- 5,8 5,8-10,3 10,3-14,8 14,8-19,3	ja ja nein nein	zum Splint hin deutlich abnehmende Jahrringbreiten
S3	70	57	1,1	1 2 3 4	1,3- 5,8 5,8-10,3 10,3-14,8 14,8-19,3	nein nein nein nein	exzentrischer Jahrringverlauf mit Jahrringsprüngen, innen relativ engringig
S4	70	52	0,9	1 2 3 4 5 6	1,3- 4,3 4,3- 7,3 7,3-10,3 10,3-13,3 13,3-16,3 16,3-19,3	nein nein nein nein nein nein	zum Splint hin deutlich abnehmende Jahrringbreiten

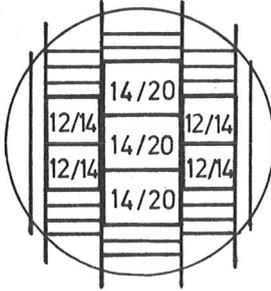
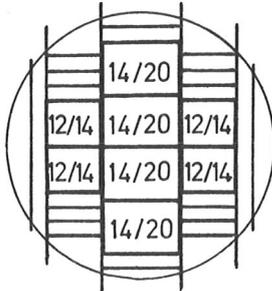
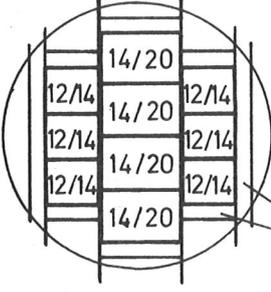
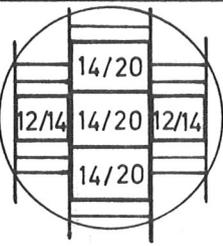
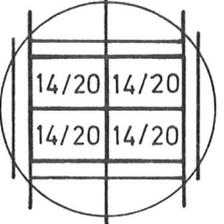
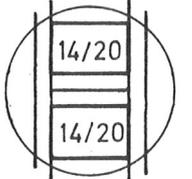
Tabelle 3.1.3: Standortbeschreibung und Behandlung der Douglasienstämme aus Kandern und Schorndorf

Baum Nr.	Bestandes- typ	Höhenlage m ü. NN	Standort	bisherige Behandlung
K 2 ¹⁾	Buche (Dougl.)	450	mäßig frischer lehmiger Osthang	Pflanzung in vorwüchsige Buche, keine Durchforstung
K 8	Buche (Dougl.)	800	mäßig frischer, lehmig- grusiger Westhang windexponiert	wie Nr. 2, Wuchsverlauf durch Eigendynamik der Mischung mit Buche bedingt
K11	Dougl. (Buche)	400	mäßig frischer, lehmiger Flachhang nach Osten	Pflanzung im Verband 1,5x1,5 m mit Tanne, starke Durchforstung 1938 und 1950, Windwürfe in der Nachbarschaft 1967
K20	Douglasie	750	mäßig trockener, lehmig- grusiger Westhang, Rücken mit Felsschutt	Pflanzung weitständig in Buche- Grundbestand, inzwischen nur noch Douglasie, die seit ca. 20 Jahren in starke Kronenkonkurrenz getreten ist
S1-S4 ²⁾	Buche (Dougl.)	310	sandiger Lehm über sandigem Ton	—

1) Angaben von Wickel, Universität Freiburg

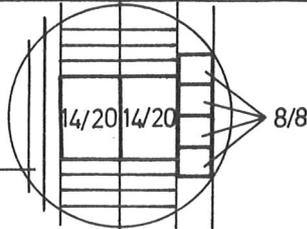
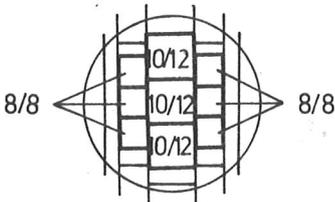
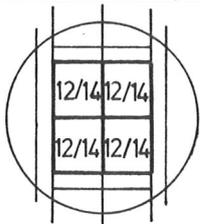
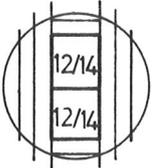
2) Angaben des Forstamtes Schorndorf

Tabelle 3.1.4: Blockabmessungen und Einschnittplan (Kandern)

Stamm Nr. 1)	Block Nr.	Block- länge cm	kleinster u. größter Block ϕ cm	Anzahl der Kanthölzer		Verteilung der Kanthölzer über den Querschnitt
				12/14	14/20	
K2	1	430	72÷81	4	3	
	2	425	66÷72	4	4	
	3	435	58÷66	4	3	
K8	1	430	69÷76	6	4	
	2	400	63÷69	4	3	wie K21
	3	425	57÷63	4	3	wie K21
K11	1	420	63÷68	2	3	
	2	400	59÷63	2	3	
	3	400	55÷59	-	4	
K20	1	400	52÷57	-	4	wie K113
	2	400	48÷52	-	2	
Σ				30	36	

1) Die Stammmnummern entsprechen der Nummerierung von Wickel,
Universität Freiburg

Tabelle 3.1.5: Blockabmessungen und Einschnittplan (Schorndorf)

Stamm Nr.	Block Nr.	Blocklänge cm	kleinster u. größter Block ϕ cm	Anzahl der Kanthölzer				Verteilung der Kanth. über den Querschnitt
				8/8	10/12	12/14	14/20	
S1	1	450	58÷63	4			2	  wie S12 
	2		54÷58				2	
	3		51÷54				2	
	4		46÷51	6	3			
S2	1	450	50÷56	4			2	wie S11
	2		46÷50				2	wie S12
	3		43÷46				2	wie S13
	4		39÷43	6	3			wie S14
S3	1	450	49÷57	4			2	wie S11
	2		45÷49				2	wie S12
	3		42÷45				2	wie S13
	4		38÷42	6	3			wie S14
S4	1	300	50÷52			4		 
	2		47÷50			4		
	3		45÷47			4		
	4		41÷45			4		
	5		39÷41			2		
	6		36÷39			2		
Σ				30	9	20	18	

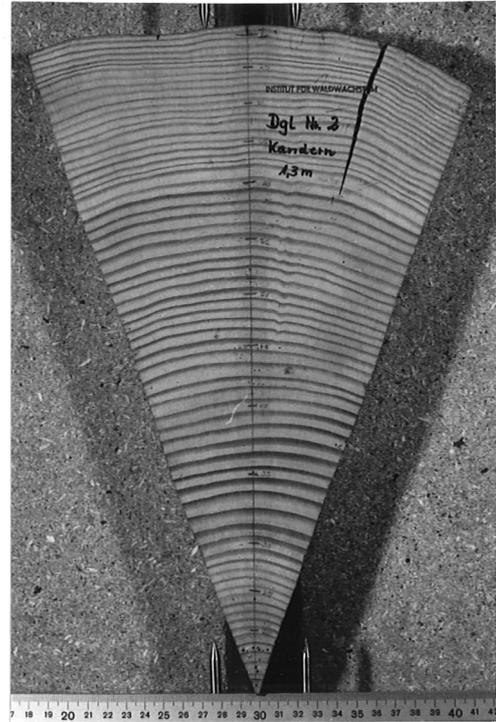


Bild 3.1.1: Lage der Kanth. 14/20 u. 12/14 im Block Nr. K2.1. Marknaher Schwindriß an der Grenze von Früh- zu Spätholz (Ringschale).
Mittlere Jahrringbreite in mm (in den Jahren):
5,9 (1÷30), 5,2 (31÷51), 3,4 (52÷67)

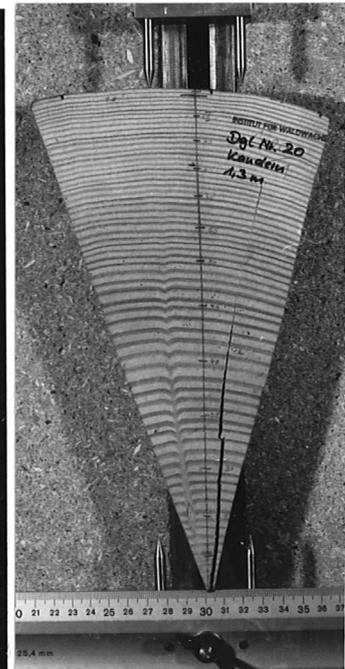
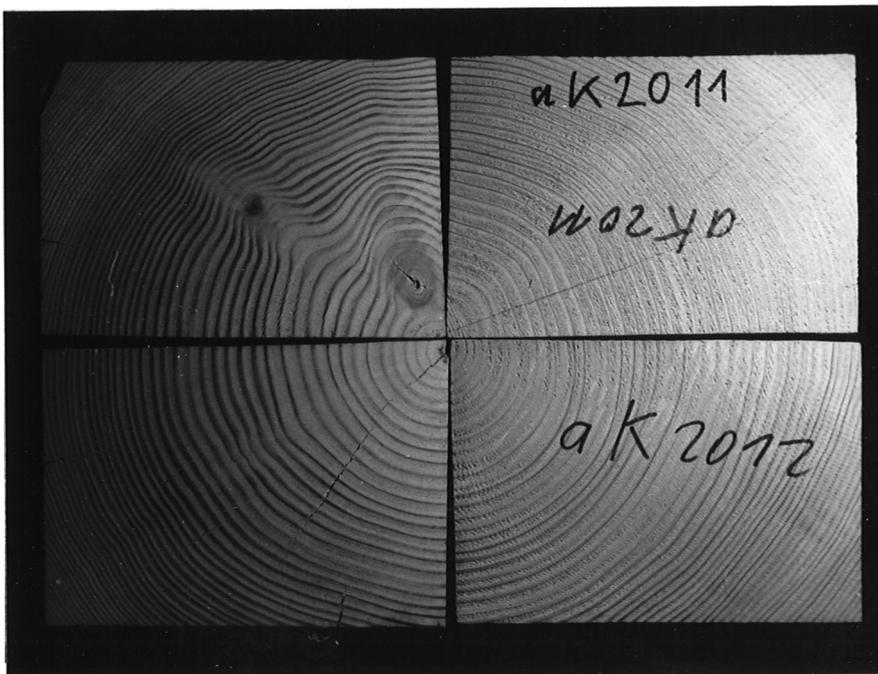


Bild 3.1.2: Lage der Kanthölzer 14/20 cm im Block Nr. K20.1. Mittlere Jahrringbreite in mm (in den Jahren):
5,6 (1÷27), 2,8 (28÷55)

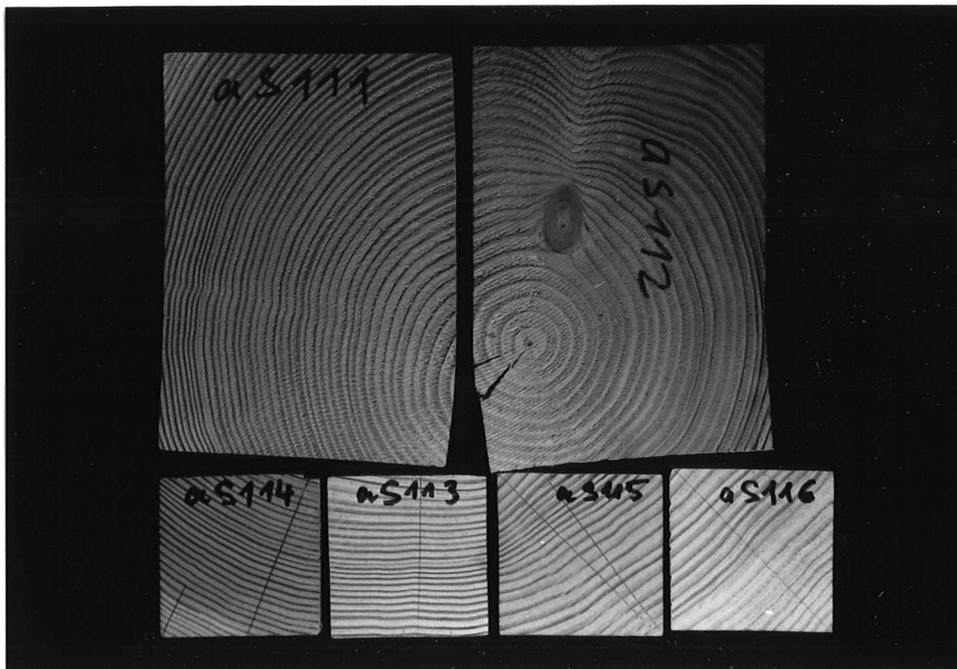


Bild 3.1.3: Lage der Kanthölzer 8/8 u. 14/20 cm im Block Nr. S1.1 (S113÷S116 liegen in Wirklichkeit rechts neben S112).
Mittlere Jahrringbreite in mm (in den Jahren):
5,7 (1÷12), 4,5 (13÷29), 2,4 (30÷50)

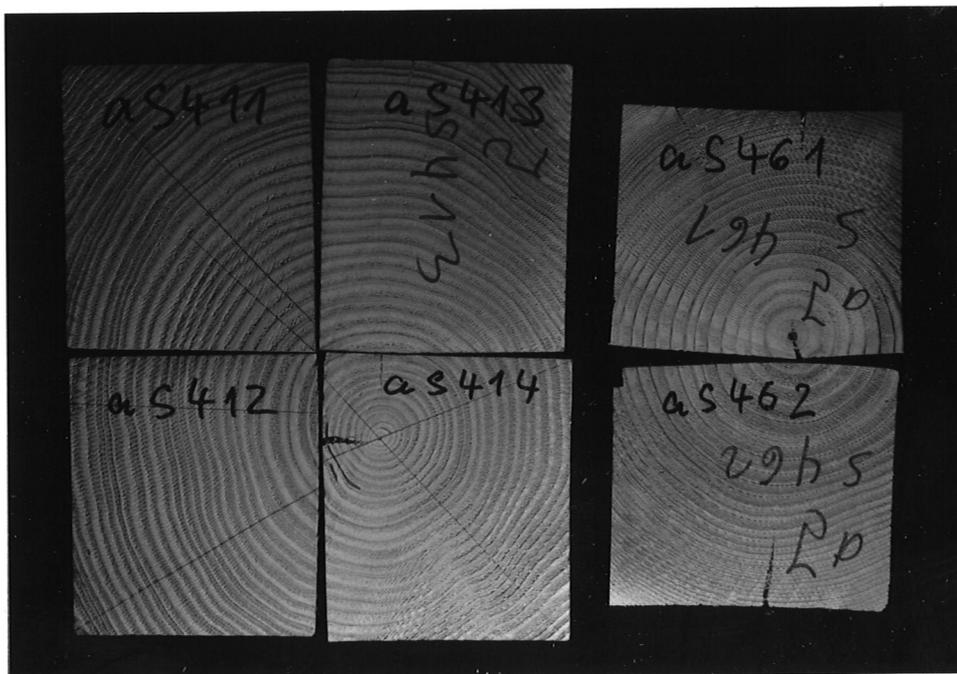


Bild 3.1.4: Lage der Kanth. 12/14 cm in den Blöcken Nr. S4.1 u. S4.6.
Mittlere Jahrringbreite in mm (in den Jahren):
S4.1: 3,7(1÷12), 6,3 (13÷28), 3,6(29÷49)
S4.6: 6,9(1÷7), 5,2(8÷15), 1,7(15÷43)

Tabelle 3.2: Güteklassenverteilung und Anzahl der zur Prüfung ausgewählten Kanthölzer beider Standorte

Standort	Güteklasse	Anzahl der Kanthölzer							
		14/20		12/14		10/12		8/8	
		zur Prüfung ausgewählt		zur Prüfung ausgewählt		zur Prüfung ausgewählt		zur Prüfung ausgewählt	
Kandern	I	6	4	7	7				
	II	18	9	18	18				
	III	7	7	4	4				
	Ausschuß ¹⁾	5		1					
	ΣK	36	20	30	29				
Schorndorf	I	11	11	3	3	-	-	9	9
	II	6	6	11	11	7	-	7	7
	III	-	-	6	6	2	-	9	9
	Ausschuß ¹⁾	1		-		-		5	
	ΣS	18	17	20	20	9	-	30	25
	insgesamt	54	37	50	49	9	-	30	25

1) wegen zu großer Astdurchmesser

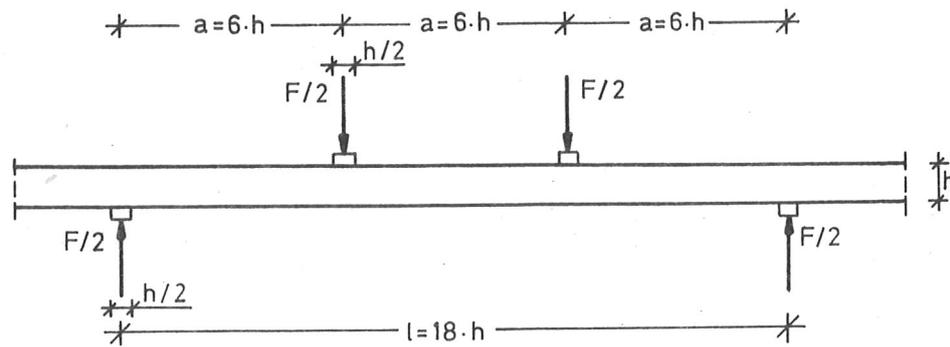


Bild 3.3.1: Schematische Belastungsanordnung nach dem ISO-Normenentwurf TG 165 N52

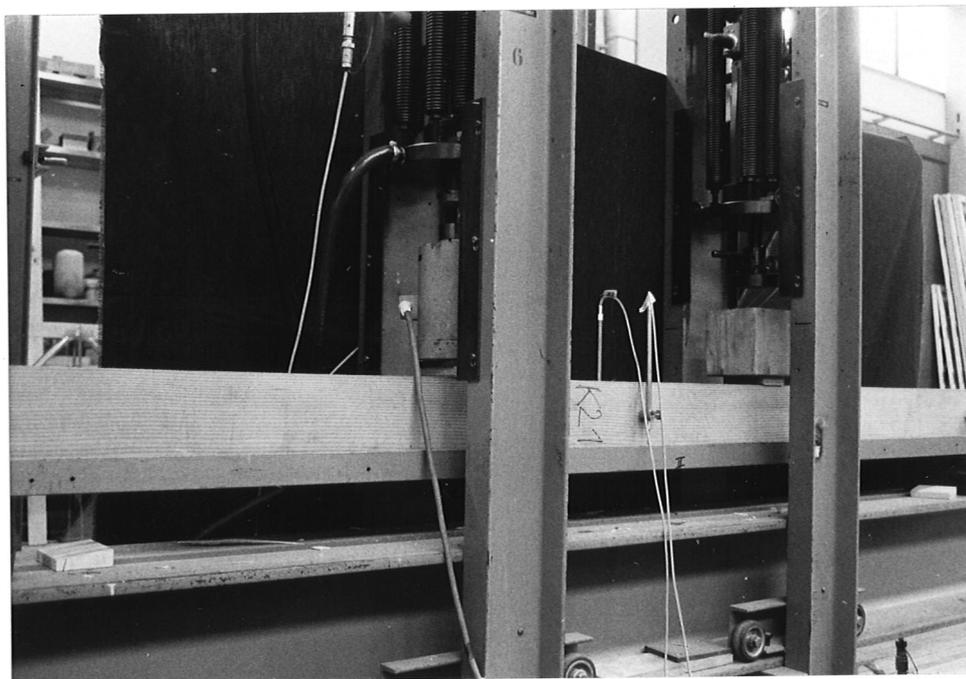
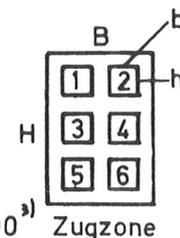
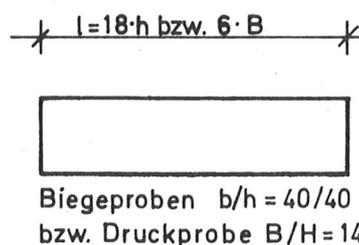
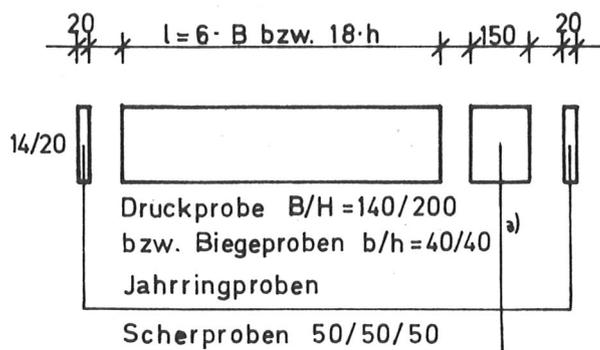
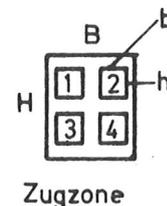
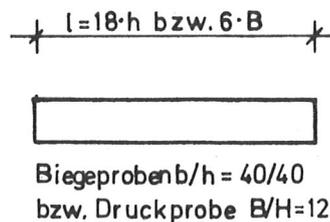
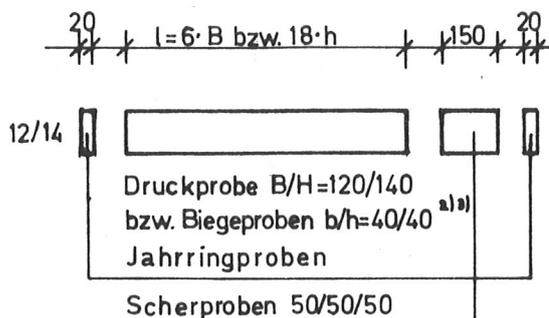
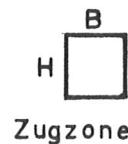
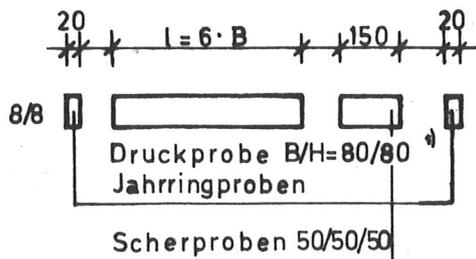


Bild 3.3.2: Kantholz 12/14 cm unter der 2 x 100 kN Prüfmaschine im unbelasteten Zustand

Auflagerbereich

Trägermitte

Verteilung der Biegeproben über den Querschnitt



Maße in mm

- 1) B/H Querschnittsabmessungen der Kanthölzer
- 2) b/h Querschnittsabmessungen der fehlerfreien kleinen Proben
- 3) Lage der Kantholzdruckprobe bzw. der fehlerfreien kleinen Biegeproben in der linken bzw. rechten Trägerhälfte abhängig von der Astverteilung

Bild 3.3.3: Lage der Prüfkörper, die im Anschluß an die Biegeprüfung aus den Kanthölzern herausgeschnitten wurden

Tabelle 3.3 : Art der Prüfung und Anzahl der jeweiligen Prüfkörper

Art der Prüfung	Anzahl der Kanzholzproben		
	8/8	12/14	14/20
Biegung und Druck	je 25	je 49	je 37
Jahringbreite im Auf- lager- und Bruchbereich	je 25	je 49	je 37
	Anzahl der fehlerfreien kleinen Proben		
	aus 8/8	aus 12/14	aus 14/20
Biegung, Druck, Rohdichte, Jahringbreite, Holzfeuchte (Proben 4/4)	-	je 27	je 109
Scheren I und II zu den Jahrringen (Proben 5/5)	-	je 20	je 37

Tabelle 3.4.1 : Jahrringbreiten, EII - und β_B -Werte an Kantholzern
8/8 cm sortiert nach Güteklassen, Standort Schorndorf (S).

Kantholz Nr.	GK1	Jahrringbreite mm		EII - Modul N/mm ²	β_B N/mm ²	Ast- ϕ mm	Mittel: (V %)		
		min	mittel						
S1-1.3 1.4 4.1 S2-1.3 1.4 1.5 S3-1.3 1.4 1.5	I	1,9	3,4	16040	87,1	15	15	15	
		2,0	3,0	14570	53,7	15	15	15	
		1,7	3,4	12820	73,8	15	15	15	
		2,0	3,4	14120	88,3	15	15	15	
	1,8	2,8	12590	76,6	5	5	5	5	
	1,0	2,8	16680	97,6	-	-	-	-	
	1,0	3,0	15500	95,3	10	10	10	10	
	1,0	2,4	16030	103,6	-	-	-	-	
	1,6	3,0	14960	83,7					
			(11,2)	4,6	(10,2)	(18,2)			
	S1-1.5 1.6 S2-4.1 S3-4.1 4.7 4.8 4.9	II	2,1	4,2	16640	87,6	20	20	20
			3,0	5,2	13000	73,0	15	15	15
1,8			2,8	12620	57,7	25	25	25	
1,0			2,6	14120	76,9	15/20	15/20	15/20	
1,1		2,7	15360	70,3	20	20	20		
1,0		3,1	14330	49,2	25	25	25		
1,0		2,8	15190	69,8	20	20	20		
1,6		3,3	14470	69,2					
		(29,4)	5,3	(9,7)	(18,1)				
S1-4.8 4.9 S2-1.6 4.2 4.3 4.7 4.8 S3-4.2 4.3		III	2,6	5,0	13000	47,0	40	40	40
			2,5	4,0	13380	58,0	30	30	30
			2,0	3,2	10440	32,4	30	30	30
	2,0		3,5	11060	38,5	35	35	35	
	1,2	2,8	11640	43,8	30	30	30		
	1,9	2,8	12120	51,7	30	30	30		
	2,1	4,3	10590	31,8	30	30	30		
	1,8	3,5	11420	47,6	32	32	32		
	1,8	2,8	13740	54,5	40	40	40		
	2,0	3,5	11930	45,0					
			(21,6)	5,6	(10,1)	(20,6)			

1) angeschnittener Flügelast

Tabelle 3.4.2: Jahrringbreiten, E_{II} , β_B und τ -Werte an Kanthölzern 12/14 cm sortiert nach Güteklassen, Standorte Kandern (K) und Schorndorf (S)

Kantholz Nr.	Gkl	Jahrringbreite mm			E_{II} -Modul N/mm ²	β_B N/mm ²	Ast- ϕ mm	τ_{II} N/mm ²	τ_L N/mm ²	
		min	mittel	max						
K 2-1.2 1.3	I	2,7 2,9	4,4 4,8	6,0 6,7	13040 14450	93,7 82,7	- -	- -	- -	
K 8-1.1 1.2 1.6		2,2 2,9 2,5	4,2 4,5 4,6	6,2 6,0 6,5	13560 13720 13320	72,1 80,0 74,2	- 1) - 20	- - -	- - -	
K11-1.2 2.2		1,4 1,2	4,3 4,0	7,0 5,8	14450 14070	89,0 75,5	13 25	- -	- -	
Mittel: (V %)		2,3	4,4 (6,0)	6,3	13800 (4,0)	81,0 (9,8)				
S 4-1.1 3.4 4.2		2,0 1,0 1,1	4,9 3,8 3,2	9,0 7,2 7,0	12430 13400 14260	70,6 53,6 65,0	- - 1) 15/20	12,4 10,0 8,1	11,1 11,6 11,7	
Mittel: (V %)		1,4	4,0 (21,7)	7,7	13360 (6,9)	63,1 (13,7)		10,2 (21,2)	11,5 (2,8)	
K 2-1.1 1.4 2.1 2.2 2.3 2.4 3.4		II	4,2 2,2 3,8 3,8 3,8 2,2 2,8	6,0 4,6 5,6 5,4 5,4 4,6 5,1	7,2 6,0 8,0 7,5 6,2 7,0 7,0	13090 13140 12980 10780 13050 12780 12350	84,6 57,0 61,9 42,0 59,9 59,4 60,4	- 30 10/10 30/35 30 35 25	- - - - - - -	- - - - - - -
K 8-1.3 1.4 1.5 2.1 2.2 2.3 2.4 3.3 3.4			3,5 3,2 3,9 3,5 3,0 4,0 4,0 2,5 3,5	5,5 4,9 5,6 5,0 5,0 5,4 5,6 4,6 6,0	7,1 6,2 7,5 6,2 7,5 6,5 7,1 7,0 7,6	13100 14110 12620 10640 10950 12720 12750 11160 11080	53,0 69,3 78,6 30,1 62,2 56,7 46,1 45,9 47,8	- 2) - 2) - 20/25 35 20 15/20 25 30	- - - - - - - - -	- - - - - - - - -
K11-1.1 2.1			1,4 1,5	4,8 3,8	7,0 5,0	12130 13490	65,0 53,0	25 30	- -	- -
Mittel: (V %)			3,2	5,2 (10,8)	6,9	12380 (8,3)	57,4 (22,5)			
S 4-1.2 1.3 1.4 3.3 4.1 4.3 4.4 5.1 5.2 6.1 6.2			3,5 1,8 2,8 1,5 1,0 1,2 2,0 1,5 1,5 1,2 1,8	5,3 4,2 4,4 4,4 3,2 5,0 4,0 5,0 4,6 4,0 3,6	8,8 6,5 7,5 8,5 8,0 8,0 7,0 8,5 8,2 7,0 7,2	12630 10520 10950 13210 12720 10320 12200 11240 11690 11060 13450	56,7 51,3 48,5 35,2 50,6 40,8 42,3 33,0 53,1 38,0 59,6	12 ³⁾⁴⁾ 20/20 ⁴⁾ 20 ⁴⁾ 25 15/20 15 ⁴⁾ 15 20/30 20 3x20 30	10,8 12,1 12,2 10,2 9,4 8,7 10,5 11,6 9,2 9,3 8,9	12,0 12,6 12,5 11,1 8,2 10,0 10,9 10,4 11,8 10,6 11,3
Mittel: (V %)	1,8		4,3 (14,5)	7,7	11820 (9,2)	46,2 (19,3)		10,3 (12,5)	11,0 (11,4)	
K 2-3.1 3.3	III		2,8 3,2	4,8 5,2	6,5 7,0	10990 10100	42,3 29,9	50 55	- -	- -
K 8-3.1 3.2			4,0 4,0	5,3 6,2	6,0 7,0	10190 11340	40,4 44,3	40 ³⁾ 40	- -	- -
Mittel: (V %)			3,5	5,4 (11,0)	6,6	10660 (5,7)	39,2 (16,4)			
S 4-2.1 2.2 2.3 2.4 3.1 3.2			1,2 3,2 1,9 1,5 1,0 1,5	4,2 5,4 4,8 4,8 4,4 4,4	9,0 8,0 8,5 9,0 8,2 8,2	11050 12480 12620 13800 11310 10910	36,3 46,0 41,7 47,6 36,0 44,7	30 ⁴⁾ 30 30 15/25 ⁴⁾ 25 ⁴⁾ 35 ⁴⁾	8,7 9,4 9,7 9,4 8,7 9,7	9,7 10,2 11,3 11,0 10,6 10,1
Mittel: (V %)			1,7	4,7 (9,3)	8,5	12030 (9,4)	42,0 (11,8)		9,3 (5,0)	10,5 (5,7)

1) Faserabweichung

3) außermittiger Ast

2) kurzfasriger Biegebruch, Ringschäle

4) angeschnittener Flügelast

Tabelle 3.4.3: Jahrringbreiten, E-, β_B - und τ -Werte an Kanthölzern 14/20 cm sortiert nach Güteklassen, Standorte Kandern (K) und Schorndorf (S)

Kantholz Nr.	Gkl	Jahrringbreite mm			E _{II} -Modul N/mm ²	β_B N/mm ²	Ast- ϕ mm	τ_{II} N/mm ²	τ_{I} N/mm ²
		min	mittel	max					
K 8-1.1	I	2,5	4,0	6,2	13740	81,1	- 1)	9,4	10,3
K11-1.1		1,5	4,2	7,0	14220	67,2	15	10,5	10,3
1.2		1,2	4,3	7,2	13400	62,3	25 ²⁾	9,7	11,7
2.1		1,2	4,3	7,5	13640	50,3	- 2)	9,3	10,8
Mittel: (V %)		1,6	4,2 (3,4)	7,0	13750 (2,5)	65,2 (19,5)		9,7 (5,6)	10,8 (6,1)
S 1-1.1		2,2	4,2	6,8	14660	60,8	- 3)	12,9	12,6
2.1		2,0	4,3	7,5	15010	61,8	20	9,2	11,6
2.2		2,2	4,8	6,8	13190	56,4	20	10,6	10,1
3.2		2,0	4,2	6,8	14780	60,7	20	12,1	10,7
S 2-1.1		1,8	4,1	5,0	13000	58,6	15 ⁴⁾	10,4	9,8
2.1	1,8	4,2	6,8	12640	52,6	20	10,2	8,3	
3.1	1,5	4,2	7,2	11990	52,4	20	9,0	8,9	
S 3-2.1	1,0	3,4	5,0	15150	54,6	25	9,2	8,6	
2.2	1,0	3,6	5,8	14930	52,8	20/25	8,6	11,9	
3.1	1,0	3,4	5,5	15690	72,2	15	8,2	12,7	
3.2	1,2	4,0	6,2	14740	56,1	10/20	10,0	12,0	
Mittel: (V %)	1,6	4,0 (10,4)	6,3	14160 (8,6)	58,1 (10,0)		10,0 (14,4)	10,7 (15,2)	
K 2-1.1	II	3,5	6,4	7,8	12000	34,1	40	8,1	10,1
1.2		4,0	5,7	8,5	13850	78,2	-	11,5	9,3
2.1		3,8	6,6	8,0	11410	48,1	25/30 ⁴⁾	8,6	10,1
K 8-1.2		4,2	6,2	6,8	12740	69,8	- 2)	8,8	9,5
2.1		4,0	5,4	7,0	12000	53,4	10	11,4	10,1
K11.2.2		1,2	4,0	5,5	13580	60,4	45	10,8	10,1
3.1		2,5	5,5	8,8	12200	37,4	20	9,2	10,0
K20-1.1		2,2	4,4	6,2	12310	40,3	30 ³⁾	9,9	12,2
1.2		2,8	5,0	7,0	13390	39,8	- 3)	10,9	10,5
Mittel: (V %)		3,1	5,5 (16,2)	7,3	12610 (6,6)	51,3 (30,1)		9,9 (13,0)	10,2 (8,1)
S 1-1.2	3,0	5,5	7,5	11950	49,0	15/20	11,5	11,1	
3.1	2,0	4,8	7,5	14220	58,4	30	12,8	11,0	
S 2-1.2	3,0	5,0	6,5	11710	58,5	10/15	9,3	10,5	
2.2	1,8	5,0	7,5	11790	52,4	20 ⁴⁾	9,6	-	
3.2	1,8	7,8	5,4	11560	17,4	30 ⁴⁾	7,7	9,7	
S 3-1.2	1,1	4,3	6,8	12530	71,1	35 ⁴⁾	-	11,6	
Mittel: (V %)	2,1	5,0 (8,7)	7,3	12290 (8,1)	56,1		10,2 (19,6)	10,8 (6,7)	
K 2-2.2	III	1,8	4,2	6,2	12180	46,8	60	9,3	9,9
3.1		4,0	5,9	7,8	10730	38,0	60/60 ⁴⁾	7,4	8,3
3.2		4,0	5,8	6,5	12020	32,4	65 ⁴⁾	8,6	8,9
K 8-2.2		3,5	5,6	6,8	10770	32,7	60	9,4	10,4
K11-3.2		1,2	4,5	8,2	12530	44,2	90 ⁴⁾ 5)	10,1	9,9
K20-2.1		2,2	4,4	7,0	12640	33,8	60 ⁴⁾	8,6	11,1
2.2		2,5	4,6	7,5	12200	39,6	55	9,8	11,8
Mittel: (V %)		2,7	5,0 (14,7)	7,1	11870 (6,7)	38,2 (14,9)		9,0 (10,1)	10,0 (12,0)

1) Durchbiegung > 10 cm, Druckfalte

2) kurzfasriger Biegebruch

3) Astzone

4) außermittiger Ast

5) angeschnittener Flügelast

Tabelle 3.4.4 : Mittlere Druckfestigkeiten ermittelt an
Abschnitten der gütesortierten Kanthölzer,
u = 11÷12 %

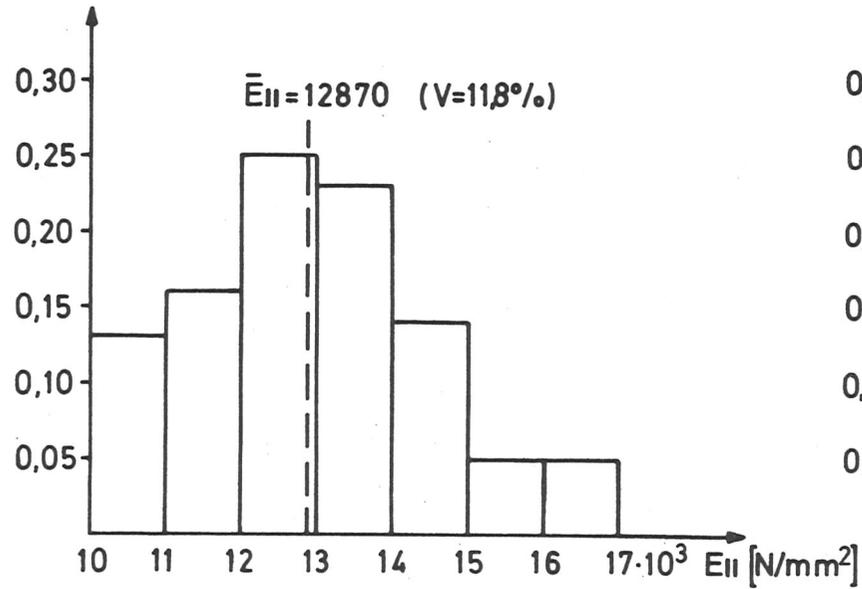
Querschnitt B/H cm	Standort	Anzahl d. Versuche	Gkl	mittlere Jahr. Breite mm min÷max	$\bar{\beta}_{DII}$ N/mm ²
8/8	S	22	I	2,4÷4,3	54,7 (V=15,4%)
		1	II	5,2	49,2
		2	III	3,5+5,0	43,2
12/14	K	11	I	4,0÷4,9	54,4 (V=11,1%)
	S	10	I	3,2÷4,9	43,8 (V=9,9%)
	K	14	II	3,8÷6,0	47,4 (V=14,6%)
	S	8	II	3,2÷5,4	38,7 (V=12,9%)
	K	4	III	4,6÷6,0	32,1
	S	2	III	4,0+4,2	32,4
14/20	K	4	I	4,0÷4,5	44,4
	S	10	I	3,4÷4,8	42,7 (V=12,8%)
	K	10	II	4,0÷6,4	41,3 (V=18,1%)
	S	7	II	4,0÷5,5	41,0 (V=18,6%)
	K	6	III	4,2÷6,6	35,5 (V=20,0%)

Tabelle 3.4.5 : Zusammenstellung der Ergebnisse, ermittelt an fehlerfreien kleinen Proben aus Kanthölzern 12/14 und 14/20 der 3 Güteklassen, $u = 11 \div 12 \%$

Standort Kantholz- querschn. cm	An- zahl	Gkl	mittlere Jahring- breite mm	\bar{E}_{II} -Modul N/mm ²	$\bar{\beta}_B$ N/mm ²	$\bar{\beta}_{DII}$ N/mm ²	$\bar{\rho}_N$ g/cm ³
S12/14	11	I (V%) \times_5	4,3 (21,9)	13470 (14,0) 10050	85,5 (18,7) 56,5	56,6 (9,2) 47,2	0,51 (6,0) 0,46
S12/14	14	II (V%) \times_5	4,8 (38,1)	12780 (14,6) 9480	77,8 (20,2) 50,0	54,7 (11,2) 43,8	0,49 (7,7) 0,42
S12/14	2	III	5,0	10260	58,4	46,5	0,44
K14/20	12	I (V%)	4,2 (18,6)	14270 (8,6)	93,0 (9,8)	54,3 (8,2)	0,52 (6,3)
S14/20	33	I (V%)	4,1 (28,9)	13610 (19,1)	84,7 (17,8)	52,9 (16,7)	0,50 (13,7)
	45	\bar{x} (V%) \times_5	4,1 (26,3)	13790 (16,8) 9900	86,9 (16,3) 63,1	53,3 (14,8) 40,0	0,50 (12,1) 0,40
K14/20	25	II (V%)	5,5 (21,9)	12620 (12,1)	85,1 (13,6)	53,2 (11,0)	0,51 (7,8)
S14/20	18	II (V%)	5,0 (22,5)	11780 (16,5)	82,6 (18,9)	48,8 (14,1)	0,48 (13,0)
	43	\bar{x} (V%) \times_5	5,3 (22,5)	12260 (14,3) 9310	84,1 (15,9) 61,6	51,4 (12,8) 40,3	0,50 (10,5) 0,41
K14/20	21	III (V%) \times_5	5,0 (16,8)	12180 (11,1) 9850	83,1 (11,3) 66,9	51,3 (10,3) 42,2	0,50 (7,0) 0,44

111 Kanthölzer K+S 8/8, 12/14 und 14/20

rel. Häufigkeit



135 fehlerfreie kleine Proben 4/4

rel. Häufigkeit

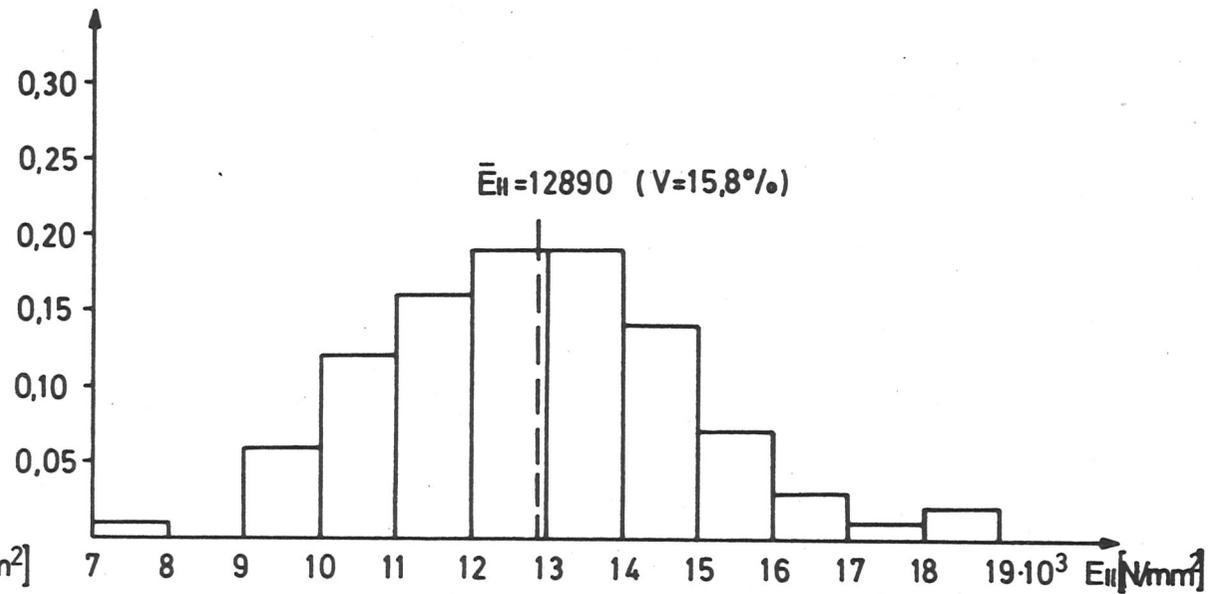
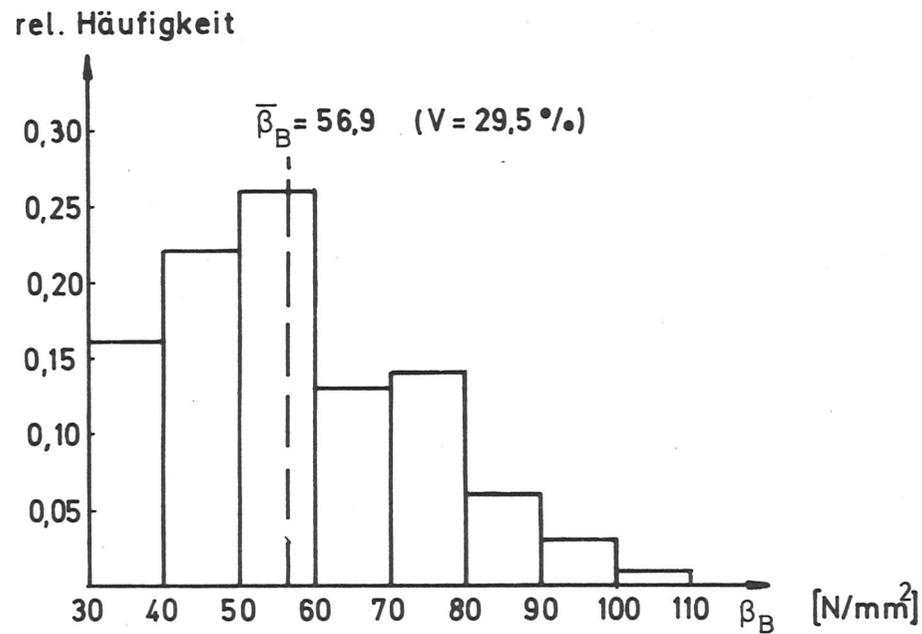


Bild 3.4.1: Häufigkeitsverteilungen der E_{II} -Moduln von Kantholz- und fehlerfreien kleinen Proben

111 Kanthölzer K+S 8/8 ,12/14 und 14/20



135 fehlerfreie kleine Proben 4/4

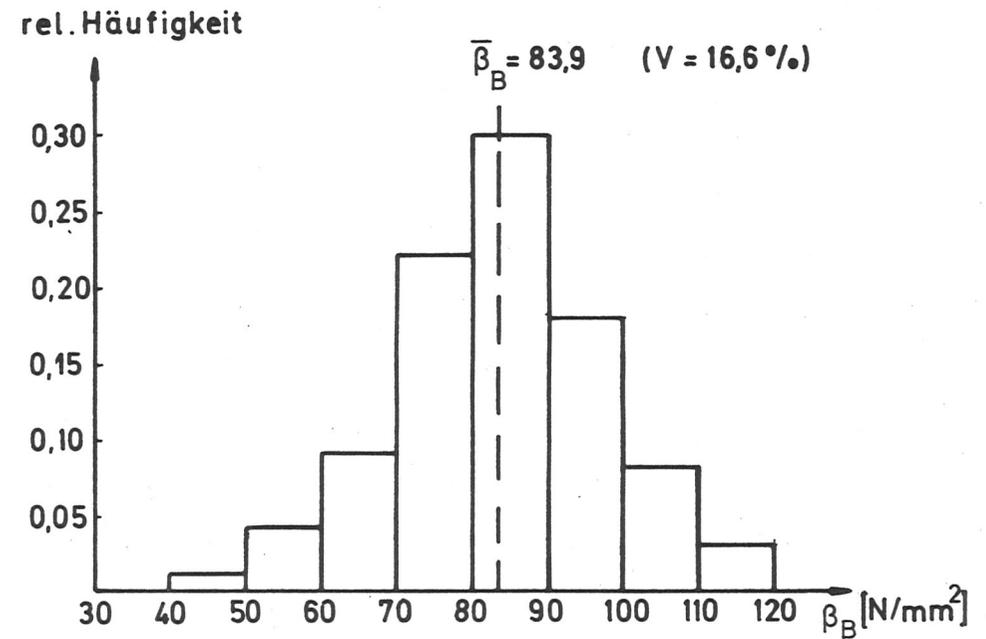
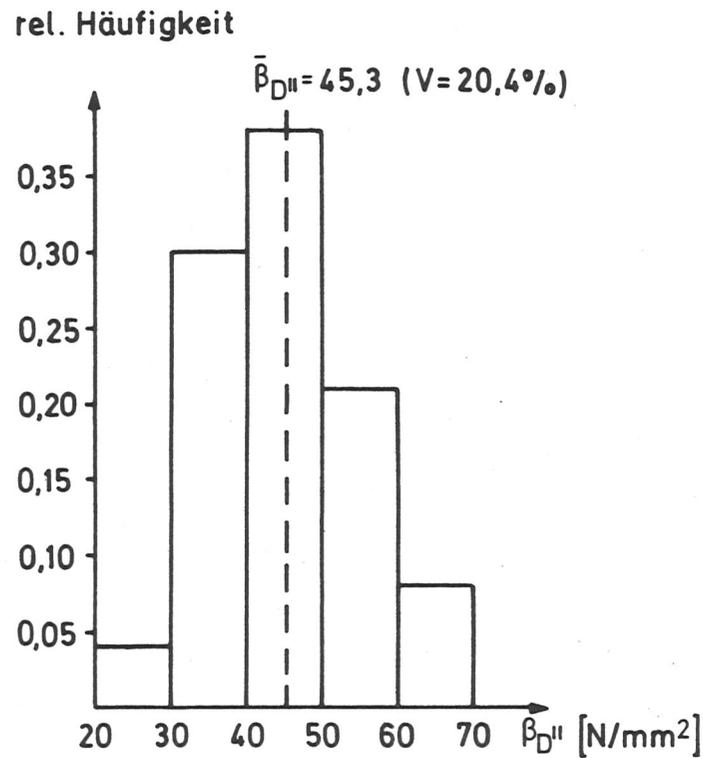


Bild 3.4.2: Häufigkeitsverteilungen der Biegefestigkeiten β_B von Kantholz- und fehlerfreien kleinen Proben

111 Kanthölzer K+S 8/8, 12/14 und 14/20



136 fehlerfreie kleine Proben 4/4

rel. Häufigkeit

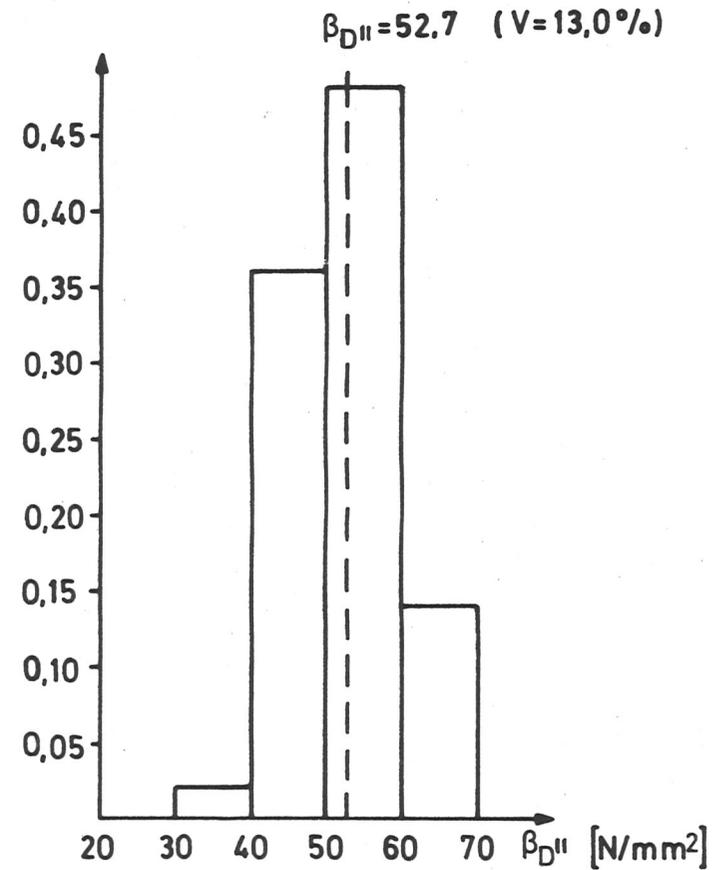


Bild 3.4.3: Häufigkeitsverteilungen der Druckfestigkeiten $\beta_{D||}$ von Kantholz- und fehlerfreien kleinen Proben

Standort- Kantholz- querschn. cm	An- zahl	An- zahl	mittl. Jähr- ringb. mm	β ₀ N/mm ²	S 8/8				S 12/14				S 14/20				K 14/20				
					9	7	9	7	9	7	9	7	9	7	9	7	9	7	9	7	9
S 8/8	9	22	3,1 (16,2)	54,7 (15,4)	40,2	-	-	-	-	-	-	-	5,2 (18,7)	6	17	5,1 (14,2)	41,2 (17,8)	28,4	35,5 (20,0)	21,2	K 14/20
	7	1	5,2	49,2	-	-	-	-	-	-	-	-	10,0 (12,0)	14	4,1 (9,6)	43,2 (12,5)	33,6	44,4	35,5 (20,0)	21,2	
	9	22	3,1 (16,2)	54,7 (15,4)	40,2	-	-	-	-	-	-	-	5,2 (18,7)	6	17	5,1 (14,2)	41,2 (17,8)	28,4	35,5 (20,0)	21,2	
	7	1	5,2	49,2	-	-	-	-	-	-	-	-	10,0 (12,0)	14	4,1 (9,6)	43,2 (12,5)	33,6	44,4	35,5 (20,0)	21,2	
	9	22	3,1 (16,2)	54,7 (15,4)	40,2	-	-	-	-	-	-	-	5,2 (18,7)	6	17	5,1 (14,2)	41,2 (17,8)	28,4	35,5 (20,0)	21,2	
	7	1	5,2	49,2	-	-	-	-	-	-	-	-	10,0 (12,0)	14	4,1 (9,6)	43,2 (12,5)	33,6	44,4	35,5 (20,0)	21,2	
	9	22	3,1 (16,2)	54,7 (15,4)	40,2	-	-	-	-	-	-	-	5,2 (18,7)	6	17	5,1 (14,2)	41,2 (17,8)	28,4	35,5 (20,0)	21,2	
	7	1	5,2	49,2	-	-	-	-	-	-	-	-	10,0 (12,0)	14	4,1 (9,6)	43,2 (12,5)	33,6	44,4	35,5 (20,0)	21,2	
S 12/14	9	4,6	14960 (10,2)	83,7 (18,2)	55,4	-	-	-	-	-	-	-	5,2 (18,7)	6	17	5,1 (14,2)	41,2 (17,8)	28,4	35,5 (20,0)	21,2	K 12/14
	7	5,3	14470 (9,7)	69,2 (18,1)	44,9	-	-	-	-	-	-	-	5,2 (18,7)	6	17	5,1 (14,2)	41,2 (17,8)	28,4	35,5 (20,0)	21,2	
	9	4,6	14960 (10,2)	83,7 (18,2)	55,4	-	-	-	-	-	-	-	5,2 (18,7)	6	17	5,1 (14,2)	41,2 (17,8)	28,4	35,5 (20,0)	21,2	
	7	5,3	14470 (9,7)	69,2 (18,1)	44,9	-	-	-	-	-	-	-	5,2 (18,7)	6	17	5,1 (14,2)	41,2 (17,8)	28,4	35,5 (20,0)	21,2	
	9	4,6	14960 (10,2)	83,7 (18,2)	55,4	-	-	-	-	-	-	-	5,2 (18,7)	6	17	5,1 (14,2)	41,2 (17,8)	28,4	35,5 (20,0)	21,2	
	7	5,3	14470 (9,7)	69,2 (18,1)	44,9	-	-	-	-	-	-	-	5,2 (18,7)	6	17	5,1 (14,2)	41,2 (17,8)	28,4	35,5 (20,0)	21,2	
	9	4,6	14960 (10,2)	83,7 (18,2)	55,4	-	-	-	-	-	-	-	5,2 (18,7)	6	17	5,1 (14,2)	41,2 (17,8)	28,4	35,5 (20,0)	21,2	
	7	5,3	14470 (9,7)	69,2 (18,1)	44,9	-	-	-	-	-	-	-	5,2 (18,7)	6	17	5,1 (14,2)	41,2 (17,8)	28,4	35,5 (20,0)	21,2	
S 14/20	9	7,3	12610 (6,6)	51,3 (30,1)	45,3	10,3	11,0	8,7	32,1	32,4	13,5	4,8	32,2	23,4	K 14/20						
	6	7,3	12290 (6,6)	56,1 (30,1)	30,3	10,5	11,4	8,7	32,1	32,4	13,5	4,8	32,2	23,4							
	9	7,3	12610 (6,6)	51,3 (30,1)	45,3	10,3	11,0	8,7	32,1	32,4	13,5	4,8	32,2	23,4							
	6	7,3	12290 (6,6)	56,1 (30,1)	30,3	10,5	11,4	8,7	32,1	32,4	13,5	4,8	32,2	23,4							
	9	7,3	12610 (6,6)	51,3 (30,1)	45,3	10,3	11,0	8,7	32,1	32,4	13,5	4,8	32,2	23,4							
	6	7,3	12290 (6,6)	56,1 (30,1)	30,3	10,5	11,4	8,7	32,1	32,4	13,5	4,8	32,2	23,4							
	9	7,3	12610 (6,6)	51,3 (30,1)	45,3	10,3	11,0	8,7	32,1	32,4	13,5	4,8	32,2	23,4							
	6	7,3	12290 (6,6)	56,1 (30,1)	30,3	10,5	11,4	8,7	32,1	32,4	13,5	4,8	32,2	23,4							
S 14/20	11	7,0	13750 (8,6)	65,2 (10,0)	58,1 (14,4)	10,2	11,5	8,4	32,1	32,4	13,5	4,8	32,2	23,4	K 12/14						
	4	7,0	14160 (8,6)	58,1 (10,0)	30,9	10,3	11,0	8,7	32,1	32,4	13,5	4,8	32,2	23,4							
	11	7,0	13750 (8,6)	65,2 (10,0)	58,1 (14,4)	10,2	11,5	8,4	32,1	32,4	13,5	4,8	32,2	23,4							
	4	7,0	14160 (8,6)	58,1 (10,0)	30,9	10,3	11,0	8,7	32,1	32,4	13,5	4,8	32,2	23,4							
	11	7,0	13750 (8,6)	65,2 (10,0)	58,1 (14,4)	10,2	11,5	8,4	32,1	32,4	13,5	4,8	32,2	23,4							
	4	7,0	14160 (8,6)	58,1 (10,0)	30,9	10,3	11,0	8,7	32,1	32,4	13,5	4,8	32,2	23,4							
	11	7,0	13750 (8,6)	65,2 (10,0)	58,1 (14,4)	10,2	11,5	8,4	32,1	32,4	13,5	4,8	32,2	23,4							
	4	7,0	14160 (8,6)	58,1 (10,0)	30,9	10,3	11,0	8,7	32,1	32,4	13,5	4,8	32,2	23,4							
S 14/20	11	7,0	13750 (8,6)	65,2 (10,0)	58,1 (14,4)	10,2	11,5	8,4	32,1	32,4	13,5	4,8	32,2	23,4	K 12/14						
	4	7,0	14160 (8,6)	58,1 (10,0)	30,9	10,3	11,0	8,7	32,1	32,4	13,5	4,8	32,2	23,4							
	11	7,0	13750 (8,6)	65,2 (10,0)	58,1 (14,4)	10,2	11,5	8,4	32,1	32,4	13,5	4,8	32,2	23,4							
	4	7,0	14160 (8,6)	58,1 (10,0)	30,9	10,3	11,0	8,7	32,1	32,4	13,5	4,8	32,2	23,4							
	11	7,0	13750 (8,6)	65,2 (10,0)	58,1 (14,4)	10,2	11,5	8,4	32,1	32,4	13,5	4,8	32,2	23,4							
	4	7,0	14160 (8,6)	58,1 (10,0)	30,9	10,3	11,0	8,7	32,1	32,4	13,5	4,8	32,2	23,4							
	11	7,0	13750 (8,6)	65,2 (10,0)	58,1 (14,4)	10,2	11,5	8,4	32,1	32,4	13,5	4,8	32,2	23,4							
	4	7,0	14160 (8,6)	58,1 (10,0)	30,9	10,3	11,0	8,7	32,1	32,4	13,5	4,8	32,2	23,4							
S 14/20	11	7,0	13750 (8,6)	65,2 (10,0)	58,1 (14,4)	10,2	11,5	8,4	32,1	32,4	13,5	4,8	32,2	23,4	K 14/20						
	4	7,0	14160 (8,6)	58,1 (10,0)	30,9	10,3	11,0	8,7	32,1	32,4	13,5	4,8	32,2	23,4							
	11	7,0	13750 (8,6)	65,2 (10,0)	58,1 (14,4)	10,2	11,5	8,4	32,1	32,4	13,5	4,8	32,2	23,4							
	4	7,0	14160 (8,6)	58,1 (10,0)	30,9	10,3	11,0	8,7	32,1	32,4	13,5	4,8	32,2	23,4							
	11	7,0	13750 (8,6)	65,2 (10,0)	58,1 (14,4)	10,2	11,5	8,4	32,1	32,4	13,5	4,8	32,2	23,4							
	4	7,0	14160 (8,6)	58,1 (10,0)	30,9	10,3	11,0	8,7	32,1	32,4	13,5	4,8	32,2	23,4							
	11	7,0	13750 (8,6)	65,2 (10,0)	58,1 (14,4)	10,2	11,5	8,4	32,1	32,4	13,5	4,8	32,2	23,4							
	4	7,0	14160 (8,6)	58,1 (10,0)	30,9	10,3	11,0	8,7	32,1	32,4	13,5	4,8	32,2	23,4							
S 14/20	11	7,0	13750 (8,6)	65,2 (10,0)	58,1 (14,4)	10,2	11,5	8,4	32,1	32,4	13,5	4,8	32,2	23,4	K 14/20						
	4	7,0	14160 (8,6)	58,1 (10,0)	30,9	10,3	11,0	8,7	32,1	32,4	13,5	4,8	32,2	23,4							
	11	7,0	13750 (8,6)	65,2 (10,0)	58,1 (14,4)	10,2	11,5	8,4	32,1	32,4	13,5	4,8	32,2	23,4							
	4	7,0	14160 (8,6)	58,1 (10,0)	30,9	10,3	11,0	8,7	32,1	32,4	13,5	4,8	32,2	23,4							
	11	7,0	13750 (8,6)	65,2 (10,0)	58,1 (14,4)	10,2	11,5	8,4	32,1	32,4	13,5	4,8	32,2	23,4							
	4	7,0	14160 (8,6)	58,1 (10,0)	30,9	10,3	11,0	8,7	32,1	32,4	13,5	4,8	32,2	23,4							
	11	7,0	13750 (8,6)	65,2 (10,0)	58,1 (14,4)	10,2	11,5	8,4	32,1	32,4	13,5	4,8	32,2	23,4							
	4	7,0	14160 (8,6)	58,1 (10,0)	30,9	10,3	11,0	8,7	32,1	32,4	13,5	4,8	32,2	23,4							

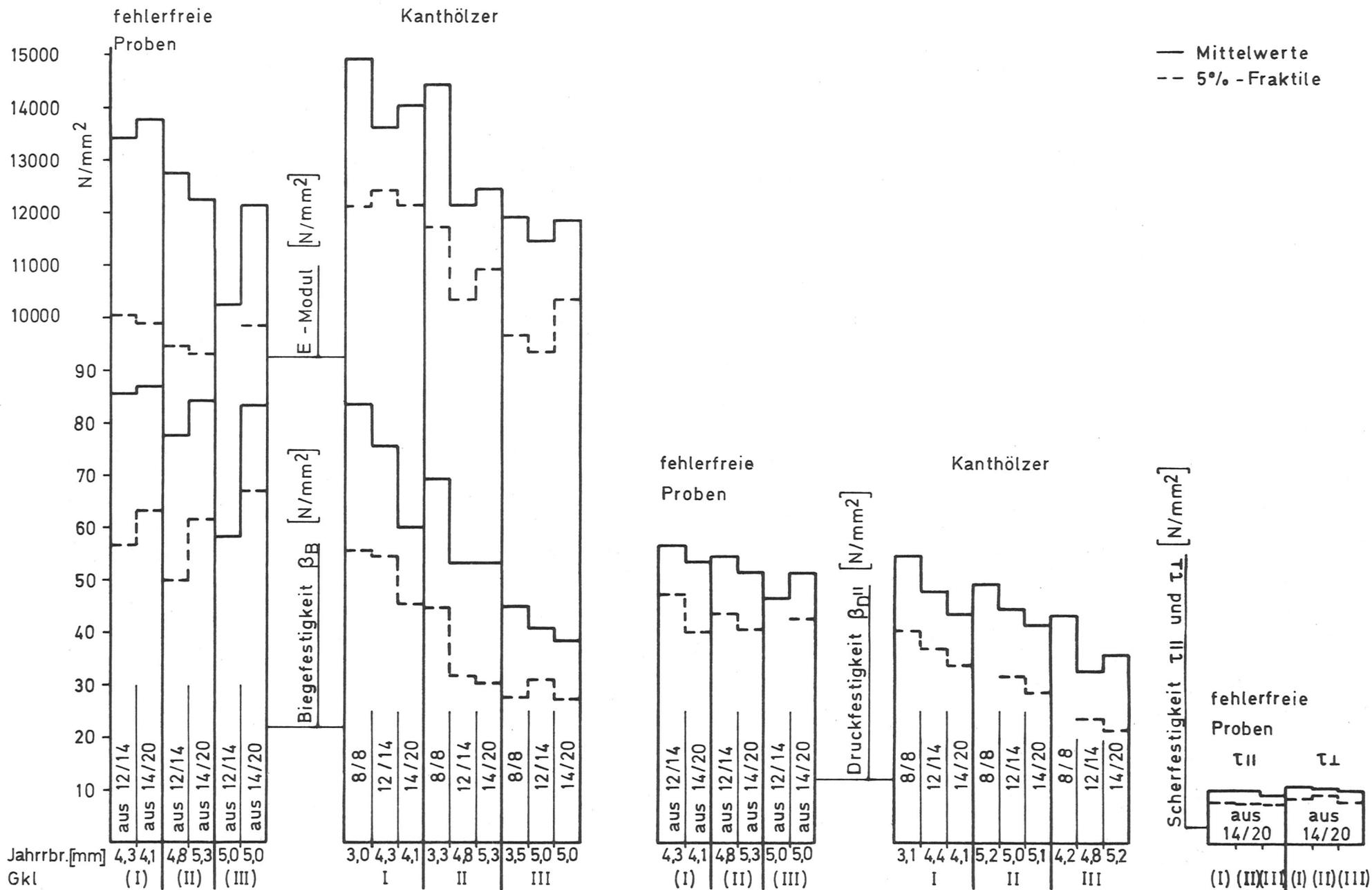


Bild 3.3.4: Balkendiagramme der Festigkeitseigenschaften an fehlerfreien Proben u. Kanthölzern



Bild 3.4.5

Kantholz 12/14 cm, Gkl. II. $\beta_B = 60,4 \text{ N/mm}^2$.
Biegezugbruch ausgehend von Ast- ϕ 30 mm, 75 cm von 1/2



Bild 3.4.6

Kantholz 14/20 cm, Gkl. II. $\beta_B = 69,8 \text{ N/mm}^2$.
kurzfasriger Biegezugbruch 50^B cm von 1/2

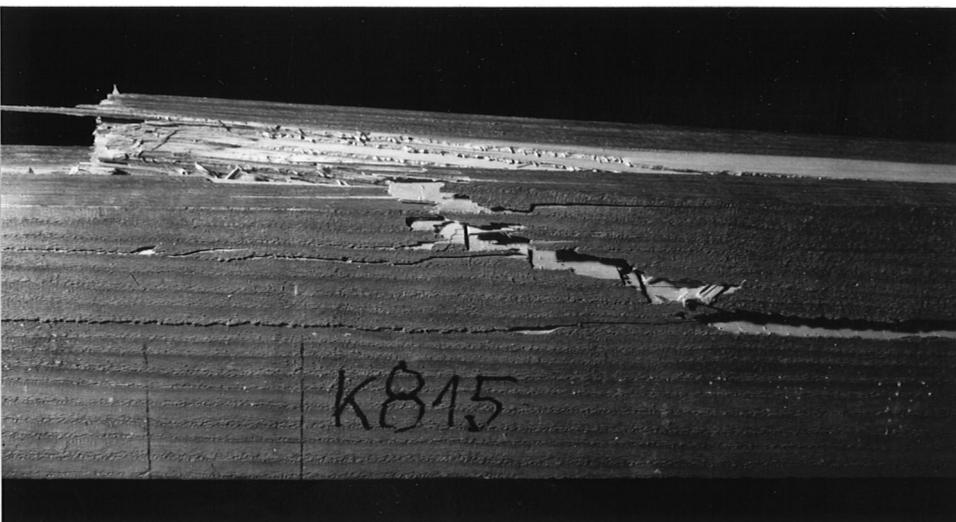


Bild 3.4.7

Kantholz 12/14 cm, Gkl. II. $\beta_B = 78,6 \text{ N/mm}^2$.
Kurzfasriger Biegezugbruch in 1/2



Bild 3.4.8

Kantholz 12/14 cm, Gkl. III. $\beta_B = 44,3 \text{ N/mm}^2$.
Biegezugbruch ausgehend von Schwarzast ϕ 40 mm

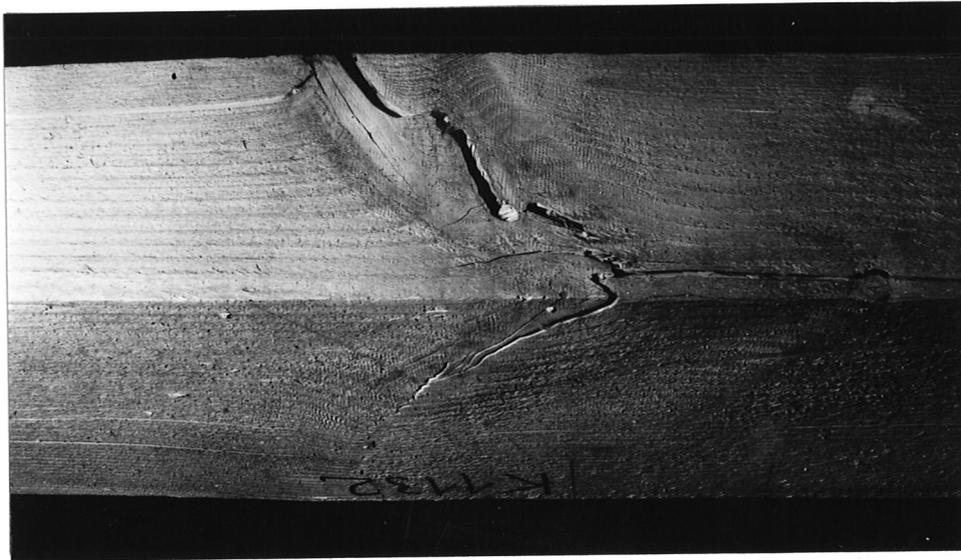


Bild 3.4.9

Kantholz 14/20 cm, Gkl. III. $\beta_B = 44,2 \text{ N/mm}^2$.
Biegezugbruch ausgehend von angeschnittenem Flügelast, 45 cm von 1/2



Bild 3.4.10

Kantholz 14/20 cm, Gkl. III. $\beta_B = 39,6 \text{ N/mm}^2$. Biegezug-
bruch ausgehend von Ast ϕ 55 mm in 1/2

Tabelle 3.4.7: Zusammenstellung der Biegefestigkeiten

Querschnitts- abmessungen b/h bzw. B/H cm	Biegefestigkeiten in N/mm ² bei u = 11-12 %											
	Güteklasse I ¹⁾				II				III			
	$\bar{\beta}_B$	V	$\beta_{B5\%}$	$\frac{\beta_{B5\%}}{2,25}$	$\bar{\beta}_B$	V	$\beta_{B5\%}$	$\frac{\beta_{B5\%}}{2,25}$	$\bar{\beta}_B$	V	$\beta_{B5\%}$	$\frac{\beta_{B5\%}}{2,25}$
	N/mm ²	%	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	%	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	%	N/mm ²	N/mm ²
4/4(aus 12/14)	85,5	18,7	56,5	25,1	77,8	20,2	50,0	22,2	-	-	-	-
4/4(aus 14/20)	86,9	16,3	63,1	28,0	84,1	15,9	61,6	27,4	83,1	11,3	66,9	29,7
8/8	83,7	18,2	55,4	24,6	69,2	18,1	44,9	20,0	45,0	20,6	27,8	12,4
12/14 ²⁾	75,6 (68,3)	15,3 (16,5)	54,4	24,2	53,2 (57,3)	23,7 (13,6)	31,8	14,1	40,9 (41,9)	13,3 (15,3)	30,9	13,7
14/20	60,0	13,7	45,3	20,1	53,2	24,4	30,3	13,5	38,2	14,9	27,1	12,0
zul σ_B (DIN 1052)				13,0				10,0				7,0

1) Jahrringbreite < 5 mm

2) Werte in Klammern nach Göhre (1958) bei u = 16 %, Stützweite $l_s = 300$ cm

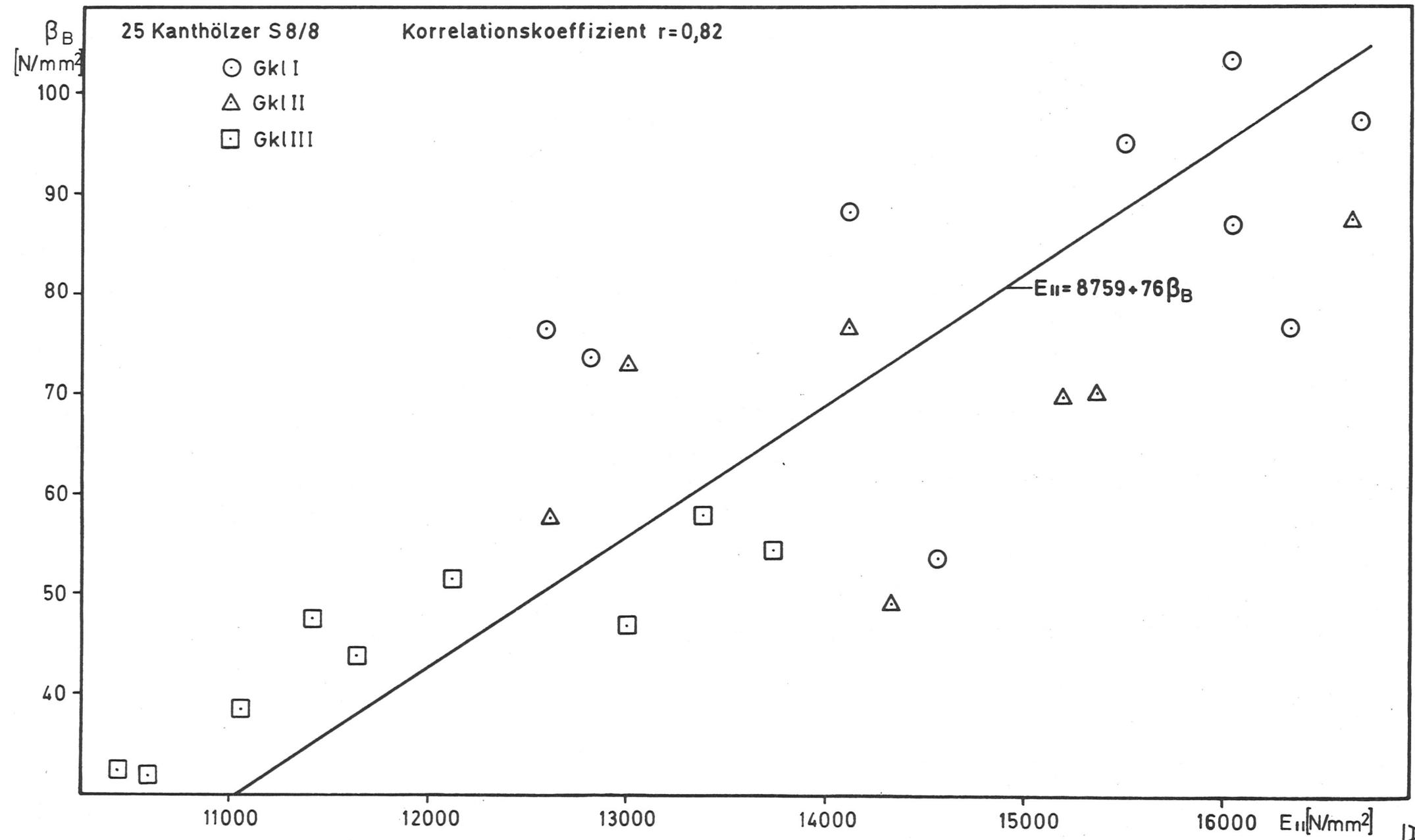


Bild 3.4.11: Zusammenhang zwischen E_{II} -Modul und Biegebruchfestigkeit (8/8)

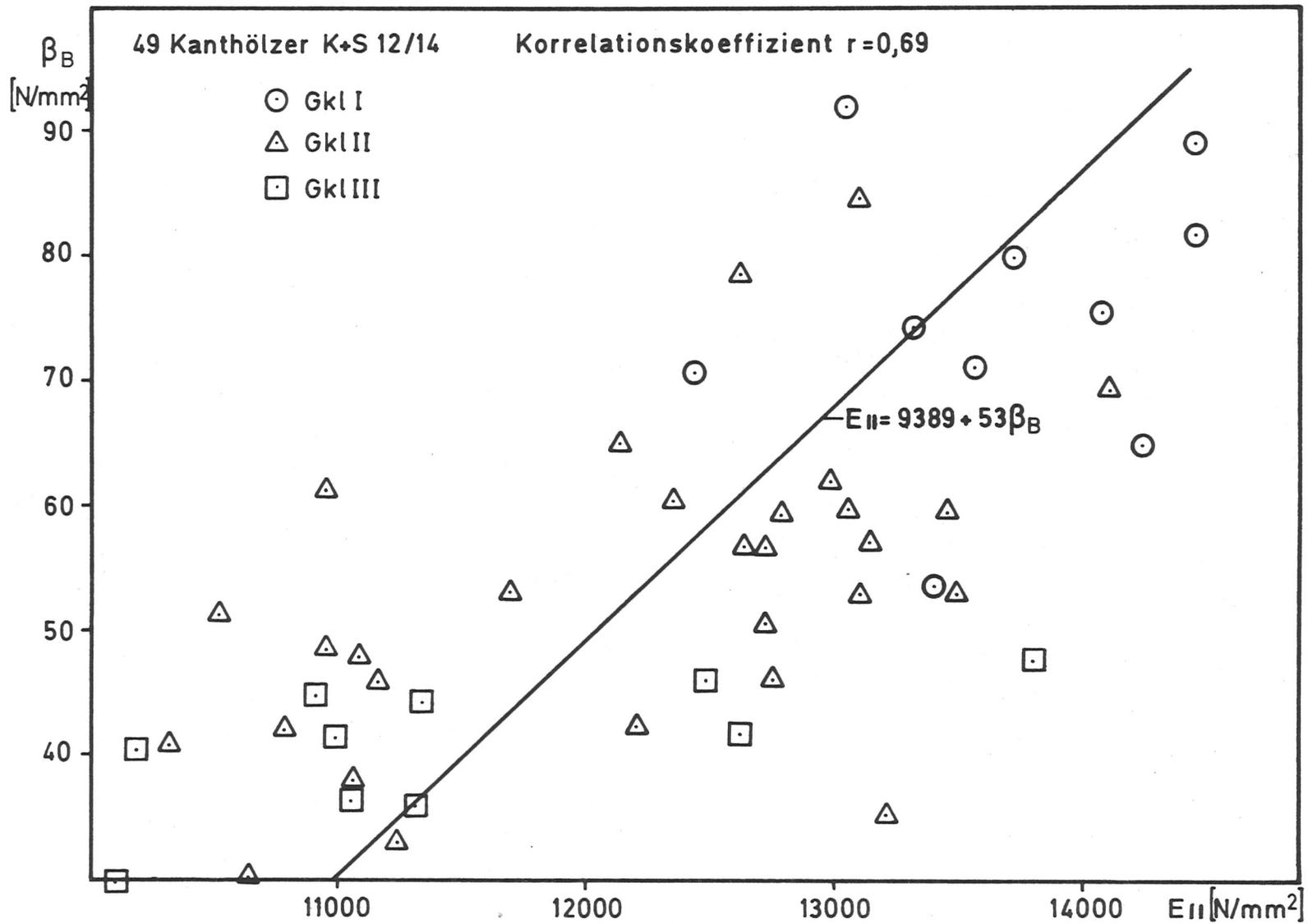


Bild 3.4.12 Zusammenhang zwischen E_{II} -Modul und Biegebruchfestigkeit (12/14)

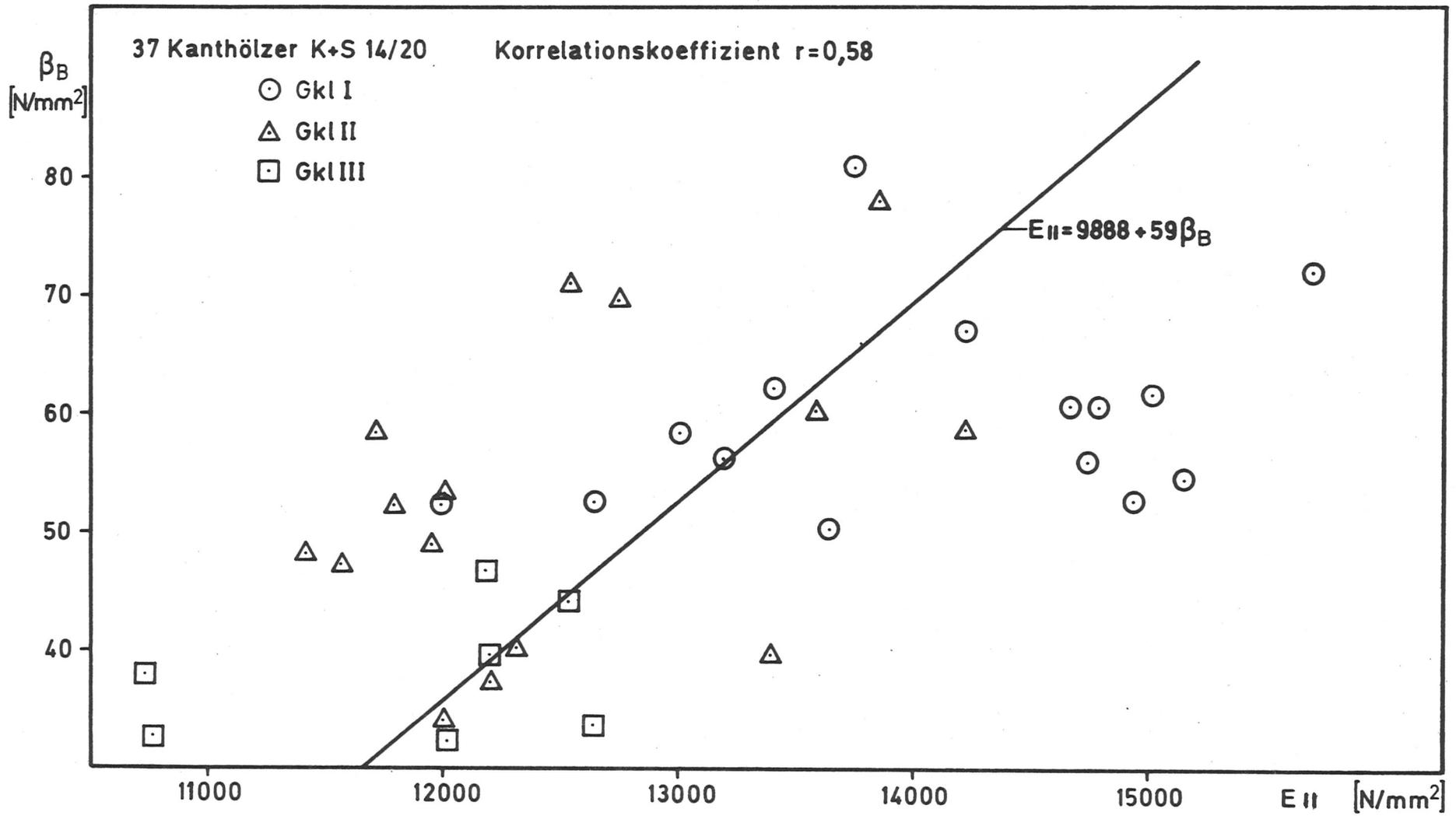


Bild 3.4.13: Zusammenhang zwischen E_{II} -Modul und Biegebruchfestigkeit (14/20)

Tabelle 3.4.8

Zusammenstellung der Druckfestigkeiten

Querschnitts- abmessungen b/h bzw. B/H cm	Druckfestigkeiten in N/mm ² bei u = 11-12 %											
	Güteklasse I ¹⁾				II				III			
	$\bar{\beta}_{D^{II}}$	V	$\beta_{D^{II} 5\%}$	$\frac{\beta_{D^{II} 5\%}}{2,25}$	$\bar{\beta}_{D^{II}}$	V	$\beta_{D^{II} 5\%}$	$\frac{\beta_{D^{II} 5\%}}{2,25}$	$\bar{\beta}_{D^{II}}$	V	$\beta_{D^{II} 5\%}$	$\frac{\beta_{D^{II} 5\%}}{2,25}$
	N/mm ²	%	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	%	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	%	N/mm ²	N/mm ²
4/4 (aus 12/14)	56,6	9,2	47,2	21,0	54,7	11,2	43,8	19,5	-	-	-	-
4/4 (aus 14/20)	53,3	14,8	40,0	17,8	51,4	12,8	40,3	17,9	51,3	10,3	42,2	18,8
8/8	54,7	15,4	40,2	17,9	-	-	-	-	-	-	-	-
12/14 ²⁾	47,8 (57,8)	13,2 (15,2)	36,9	16,4	44,2 (46,3)	17,0 (9,7)	31,3	13,9	32,2 (38,4)	13,5 (7,0)	23,4	10,4
14/20	43,2	12,5	33,6	14,9	41,2	17,8	28,4	12,6	35,5	20,0	21,2	9,4
zul σ_D (DIN 1052)				11,0				8,5				6,0

1) Jahrringbreite < 5 mm

2) Werte in Klammern nach Göhre (1958) bei u = 12 %,
Prüfkörperlänge l = 2,33 · B = 28 cm

Tabelle 3.5.1 : Würfeldruckversuche nach DIN 52185 Bl. 2,
Holzfeuchtigkeit $u = 11 \div 12 \%$

Nr.	Winkel zw.Kraft- und Jahrring- richtung	Δl_{Dprop} mm	σ_{Dprop} N/mm ²	Δl_Q mm	σ_Q N/mm ²	ρ_N g/cm ³	$\beta_{D''}$ N/mm ²
BK222/5 BK231/1 BK232/4 BK812/4 BK832/6 BS211/4 BS222/4	90	1,1 0,7 0,6 0,5 0,7 0,7 0,6	5,5 4,7 5,6 5,6 4,6 4,5 3,5			0,48 0,48 0,48 0,50 0,40 0,44 0,48	49,8 49,6 48,4 46,7 38,4 44,0 48,4
Mittel: (V%)		0,7	4,9 (15,9)			0,47	46,5
BK811/2 BS111/3 BS112/3 BS121/6 BS122/5	60 - 70	0,6 1,0 0,6 0,7 0,9	3,7 2,8 3,7 2,8 2,9			0,50 0,51 0,48 0,47 0,58	53,4 48,6 50,2 50,8 64,6
Mittel: (V%)		0,8	3,2 (15,0)			0,51	53,5
BS111/3 BS112/3 BS121/6 BS122/5 BS222/4	20 - 30	1,0 1,1 1,3 1,3 1,1	4,1 5,1 4,1 4,6 5,2	1,7 1,9 2,0 2,3 1,5	4,9 6,0 4,6 4,6 5,9	0,51 0,48 0,47 0,58 0,48	48,6 50,2 50,8 64,6 48,4
Mittel: (V%)		1,2	4,6 (11,4)	1,9	5,2 (13,4)	0,50	52,5
BK222/5 BK231/1 BK232/4 BK811/2 BK812/4 BK832/6 BS211/4	0	1,0 1,2 1,2 1,2 1,0 0,9 1,1	8,5 6,9 7,8 5,6 8,1 4,7 6,6	1,4 2,3 1,7 1,8 1,6 1,8 1,6	9,2 8,0 8,9 7,0 9,0 5,5 7,4	0,48 0,48 0,48 0,50 0,50 0,40 0,44	49,8 49,6 48,4 53,4 46,7 38,4 44,0
Mittel: (V%)		1,1	6,9 (20,0)	1,7	7,9 (17,0)	0,47	47,2

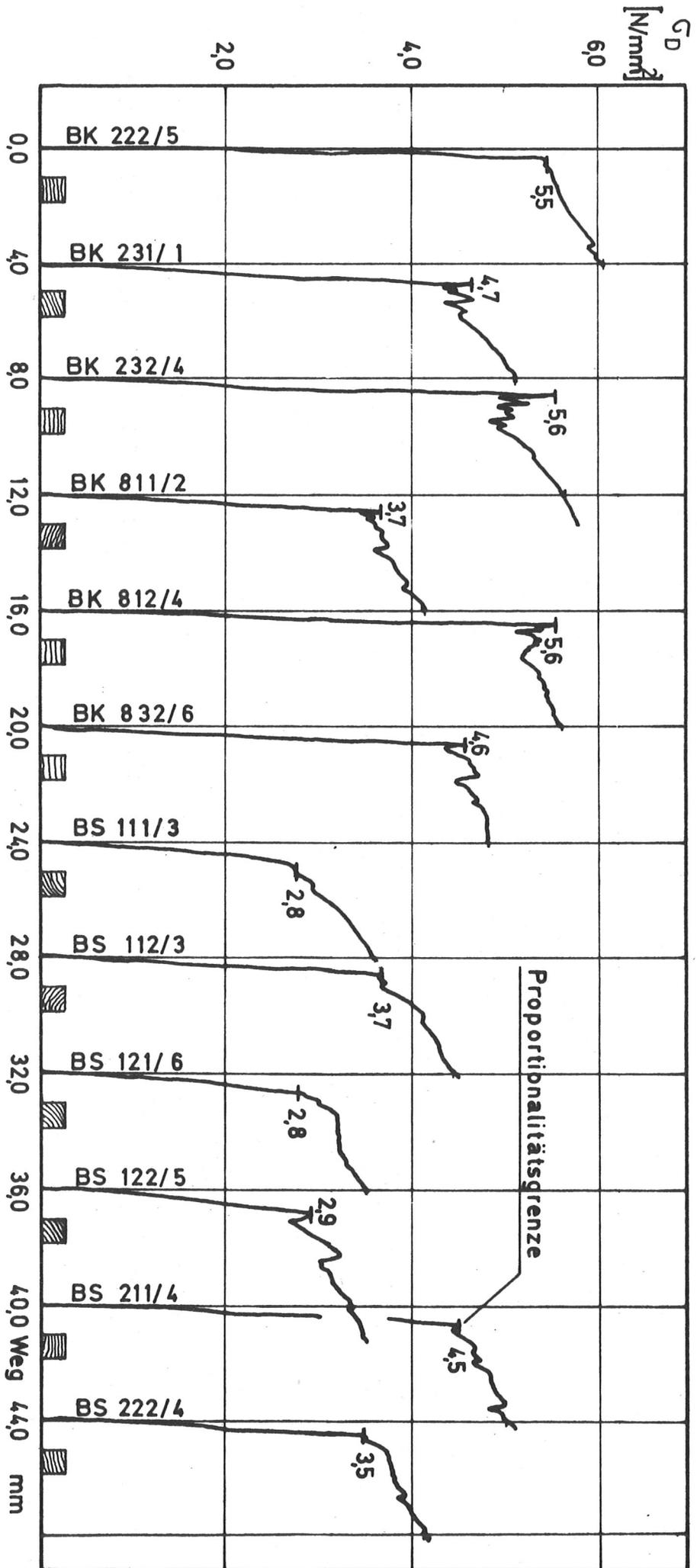


Bild 35.1 : Würfeldruckversuch (40x40x40)
Belastung radial zu den Jahrringen

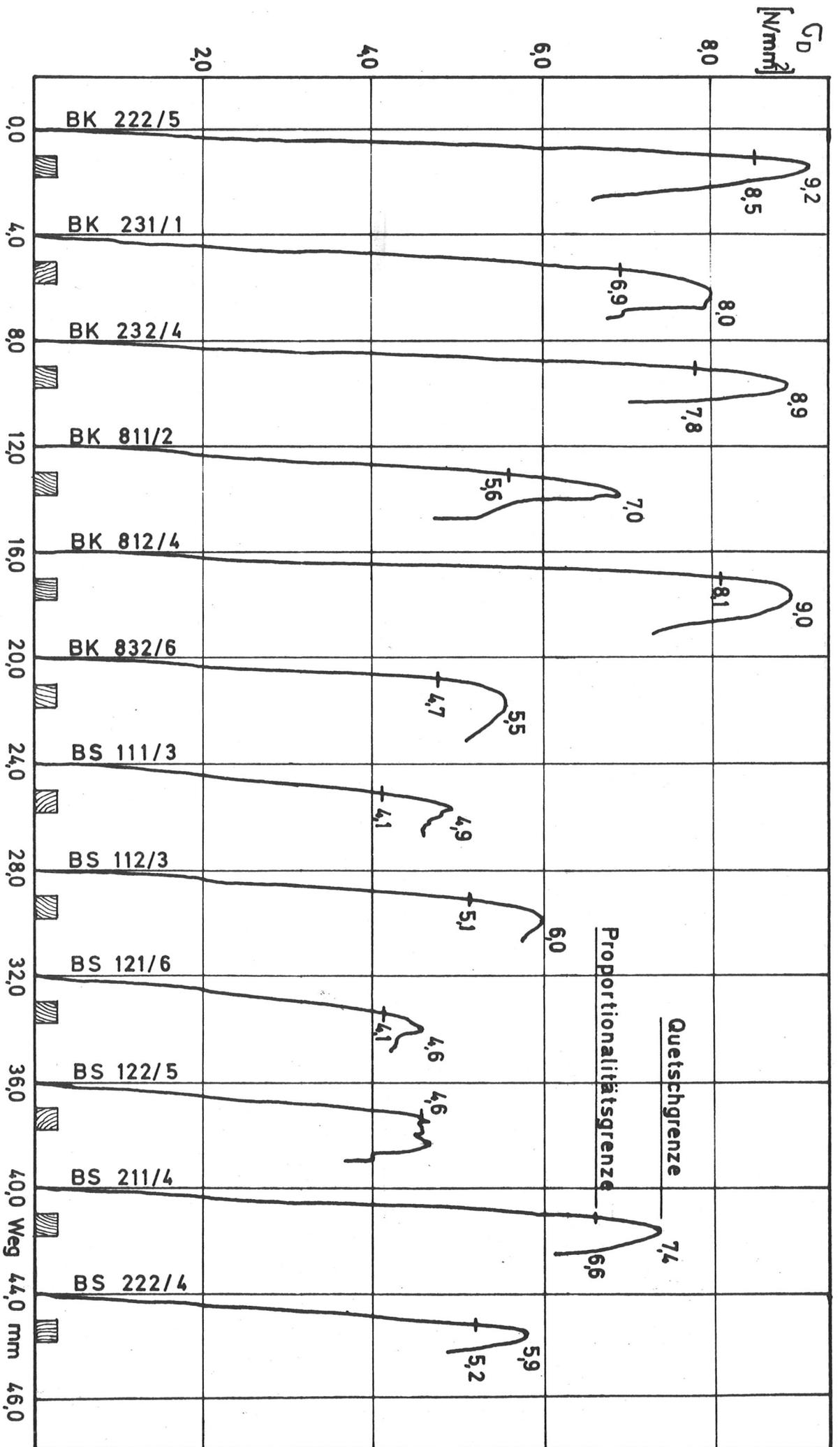


Bild 352: Würfeldruckversuch (40x40x40)
Belastung tangential zu den Jahrringen

Tabelle 3.5.2 : Schwellendruckversuche nach DIN 52185 Bl. 2,
Holzfeuchtigkeit $u = 11 \div 12 \%$

Nr.	Winkel zw. Kraft- u. Jahrringrichtung	Δl_{Dprop} mm	σ_{Dprop} N/mm ²	Δl_Q mm	σ_Q N/mm ²	
K222	90	0,6	5,1	4,0	8,5	
K231		0,8	6,0	5,0	9,9	
K232		1,8	6,5	4,6	8,6	
K811		0,8	5,8	3,7	9,4	
K812		0,9	5,7	4,2	8,2	
K832		-	-	-	-	
S111		0,8	5,0	4,0	9,2	
S112		0,7	6,5	1,9	8,2	
S121		0,6	4,8	4,6	9,5	
S122		1,0	5,0	4,0	7,3	
S211		0,9	4,3	4,9	7,5	
S222		0,7	4,2	3,7	7,0	
Mittel: (V%)			0,9	5,4 (19,5)	4,1	8,5 (19,3)
K222		0	1,3	11,0	3,0	14,0
K231	1,5		10,5	3,2	13,4	
K232	1,2		9,0	2,2	10,2	
K811	1,1		10,5	1,6	11,8	
K812	1,4		9,0	5,0	12,3	
K832	1,1		6,0	3,6	8,2	
S111	1,0		8,0	3,8	11,4	
S112	1,2		11,0	3,2	14,6	
S121	1,4		8,0	4,8	11,5	
S122	1,2		6,0	3,8	8,0	
S211	1,4		6,0	3,4	7,5	
S222	1,3		6,0	5,0	8,5	
Mittel: (V%)			1,3	8,4 (24,4)	3,6	11,0 (22,4)

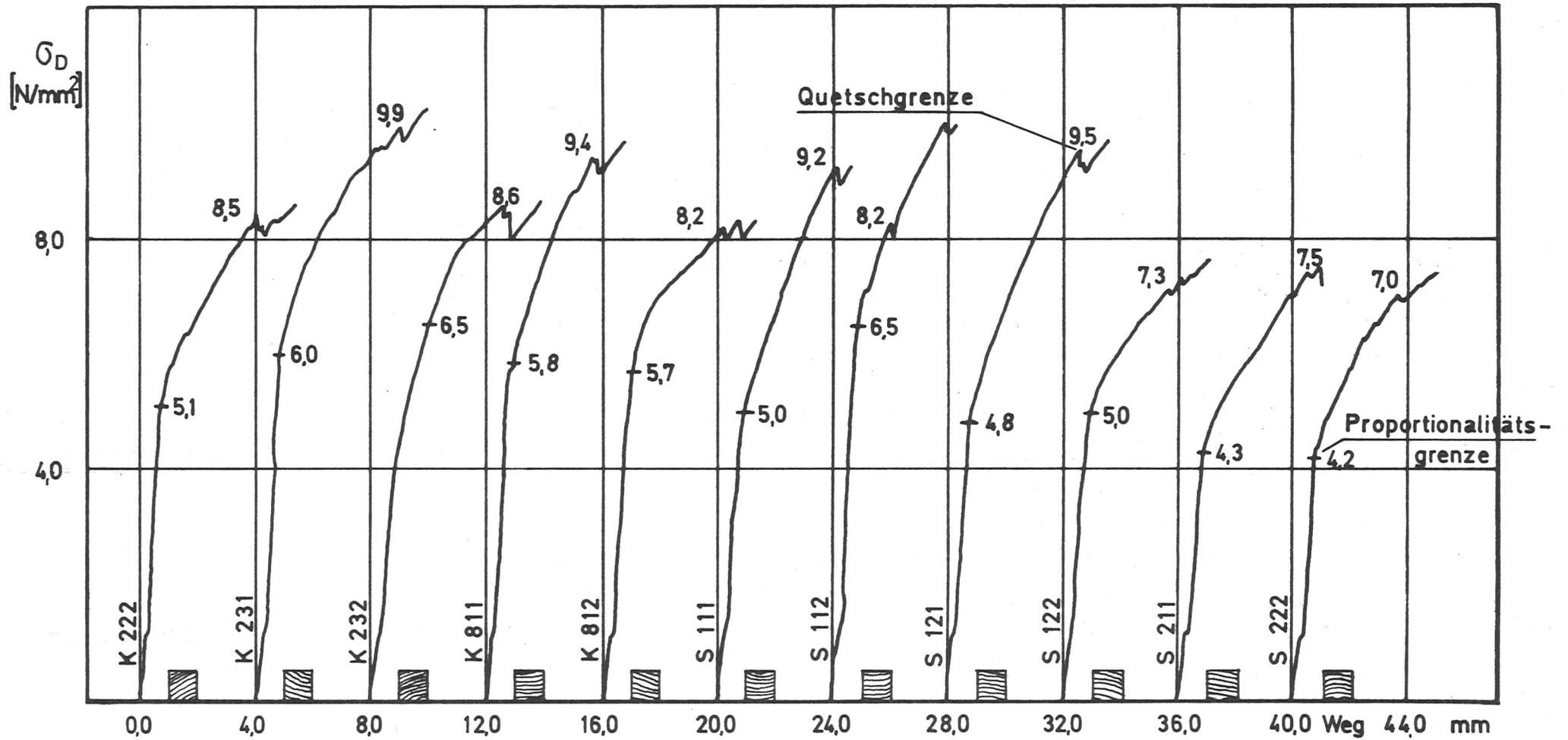


Bild 35.3: Schwellendruckversuch (50x50x150 - Druckfläche 50x50)
Belastung radial zu den Jahrringen

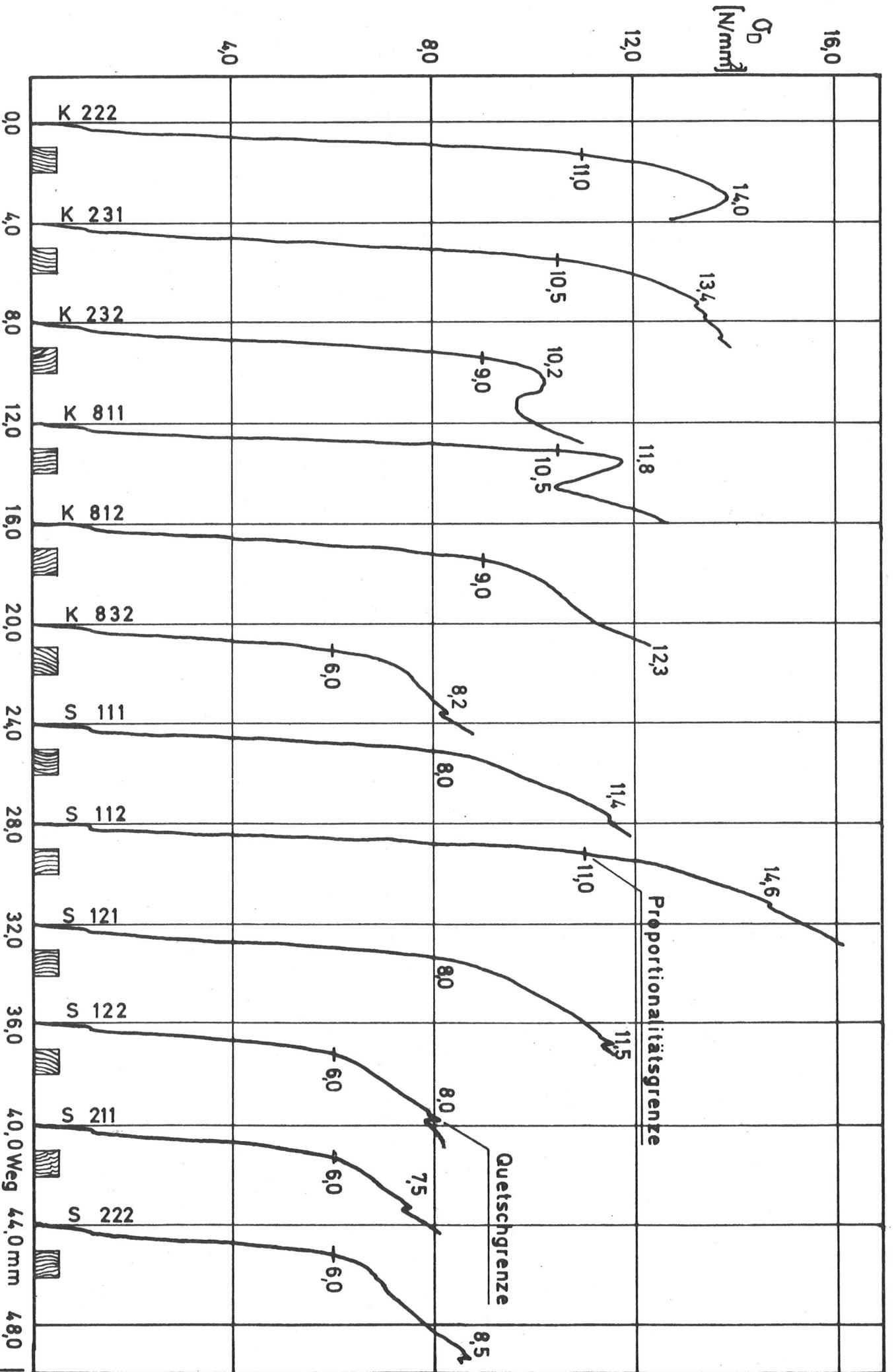


Bild 354 : Schwellendruckversuch (50x50x150 - Druckfläche 50x50) Belastung tangential zu den Jahrringen

Tabelle 3.5.3 : Festigkeitswerte ermittelt an Douglasienseitenware (d = 4 cm)

Proben Nr. (Standort Schornd.)	mittl. Jahrr. Breite mm	u %	β_{Du} N/mm ²	u %	β_{Bu} N/mm ²	E_{Bu} N/mm ²	b mm	Ast \emptyset mm	u %	β_{Bu} N/mm ²	E_{Bu} N/mm ²	b mm	Ast \emptyset mm	ρ_o g/cm ³
S 421	2,3	27,4	34,2	30,6	54,3	11050	79,8	0	14,7	51,8	12390	100,3	20	0,50
S 452	1,9	31,2	28,0	41,5	42,2	8490	90,0	30	14,4	45,3	9760	75,5	20	0,38
S 423	1,9	31,2	32,6	33,6	42,8	8080	90,0	30	14,9	53,9	12680	100,2	20	0,50
S 464	4,0	23,4	28,7	34,7	32,5	6580	90,3	32	15,3	56,9	13890	90,4	20	0,53
S 455	4,0	23,6	31,5	32,5	41,6	8820	100,0	20	14,4	72,6	14500	80,2	20	0,52
S 466	3,8	23,6	28,6	31,6	34,4	7530	74,8	23	14,7	52,7	12000	90,2	23	0,48
S 437	2,3	25,4	36,8	31,5	51,1	10730	79,7	14	15,5	70,9	15870	80,4	15	0,54
S 468	2,2	25,4	33,2	34,2	43,6	8380	90,0	30	15,0	44,5	11310	105,1	40	0,50
S 449	1,8	23,8	31,6	31,7	38,7	8250	100,0	20	15,1	46,8	10190	90,2	30	0,44
Mittel (V %)	2,7	26,1	31,7 (9,2)	33,5	40,9 ¹⁾ (14,2)	8360 ¹⁾ (14,2)	-	-	14,9	55,0 (18,8)	12510 (15,9)	-	-	0,49 (10,2)
S 4510	3,4	25,0	27,9	31,2	47,7	8290	80,2	-	14,9	73,8	13430	80,5	-	0,45
S 4311	2,5	24,6	32,7	29,1	62,4	12200	80,0	-	15,4	83,8	15740	80,3	-	0,51
S 421	2,3	27,4	34,2	30,6	54,3	11050	79,8	-						

1) die astlose nasse Probe Nr. S 421 wurde bei der Mittelwertbildung nicht berücksichtigt

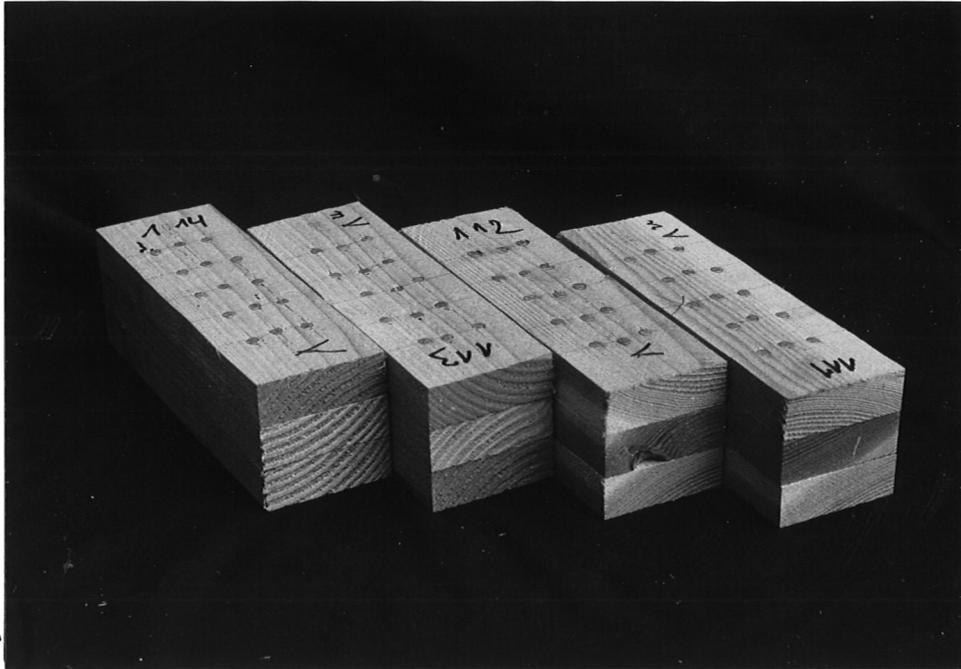


Bild 3.5.5: Nagelkörper mit Nägeln 31/70, $u = 24$ bis 26 %
Nr. 111 u. 113 eng- und weitjährig,
nicht vorgebohrt
Nr. 112 u. 114 eng- u. weitjährig, vorgebohrt

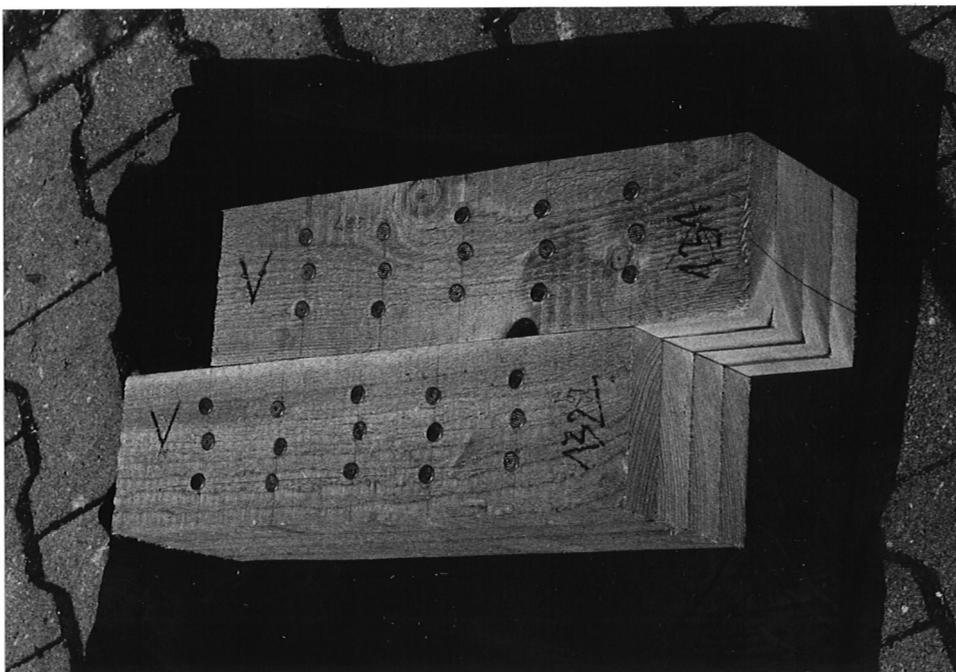


Bild 3.5.6: Nagelkörper mit Nägeln 55/160, $u = 25$ bis 27 %
Nr. 131 u. 132 eng- u. weitjährig, vorgebohrt

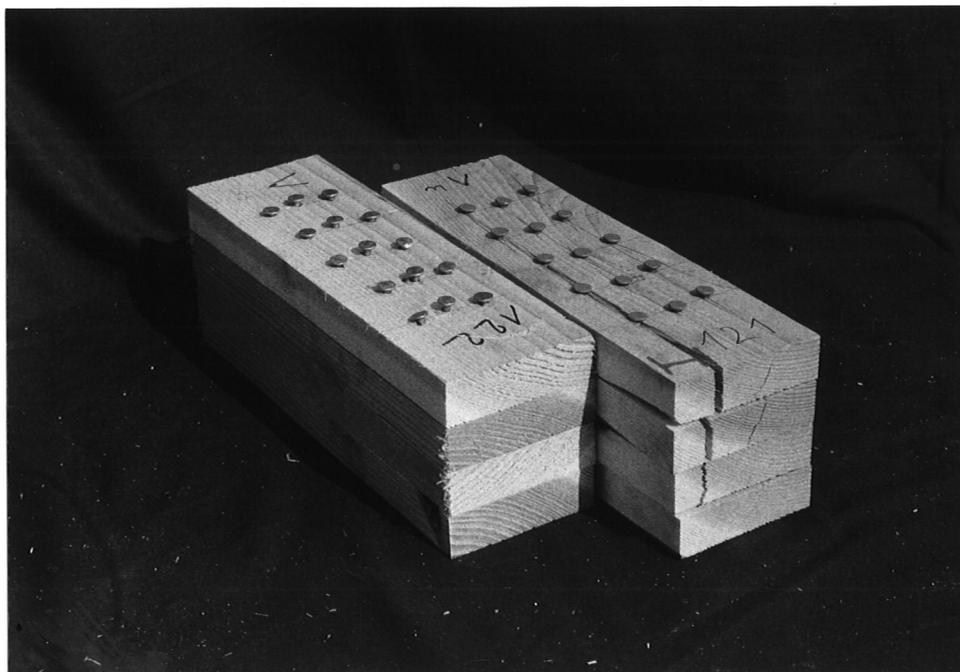


Bild 3.5.7.1: Nagelkörper mit Nägeln 42/110, $u = 25\%$
Nr. 121 engringig, nicht vorgebohrt
Nr. 122 engringig, vorgebohrt

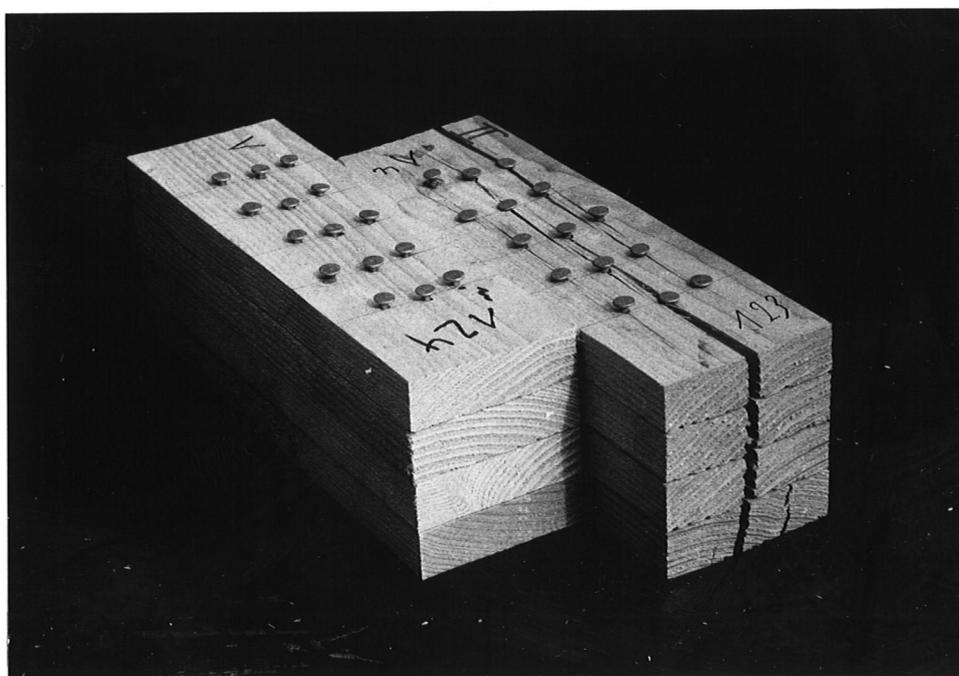


Bild 3.5.7.2: Nagelkörper mit Nägeln 42/110, $u = 28\%$
Nr. 123 weitringig, nicht vorgebohrt
Nr. 124 weitringig, vorgebohrt

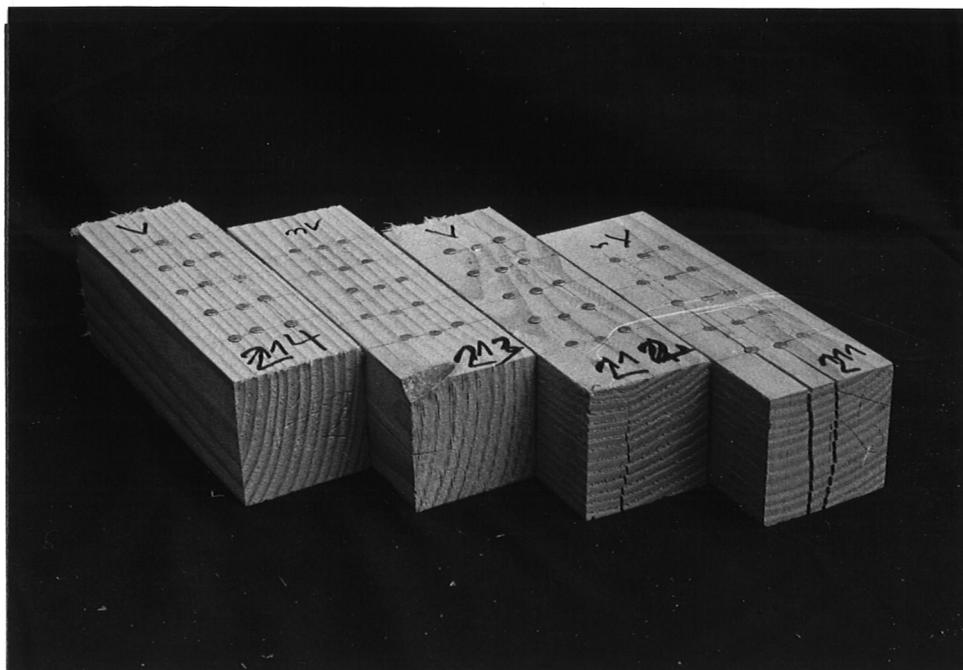


Bild 3.5.8: Nagelkörper mit Nägeln 31/70, $u = 29$ bis 35%
 Nr. 211 u. 213 liegend eng- u. stehend
 weitringig, nicht vorgebohrt
 Nr. 212 u. 214 liegend eng- u. stehend
 weitringig, vorgebohrt

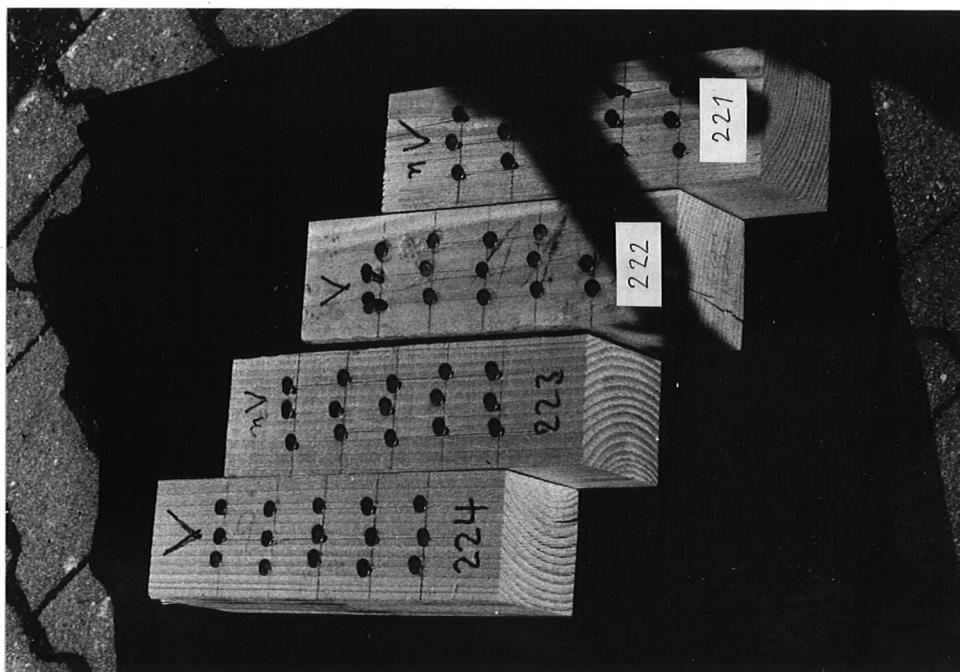


Bild 3.5.9: Nagelkörper mit Nägeln 42/110, $u = 29$ bis 35%
 Nr. 221 u. 223 liegend eng- u. stehend
 weitringig, nicht vorgebohrt
 Nr. 222 u. 224 liegend eng- u. stehend
 weitringig, vorgebohrt

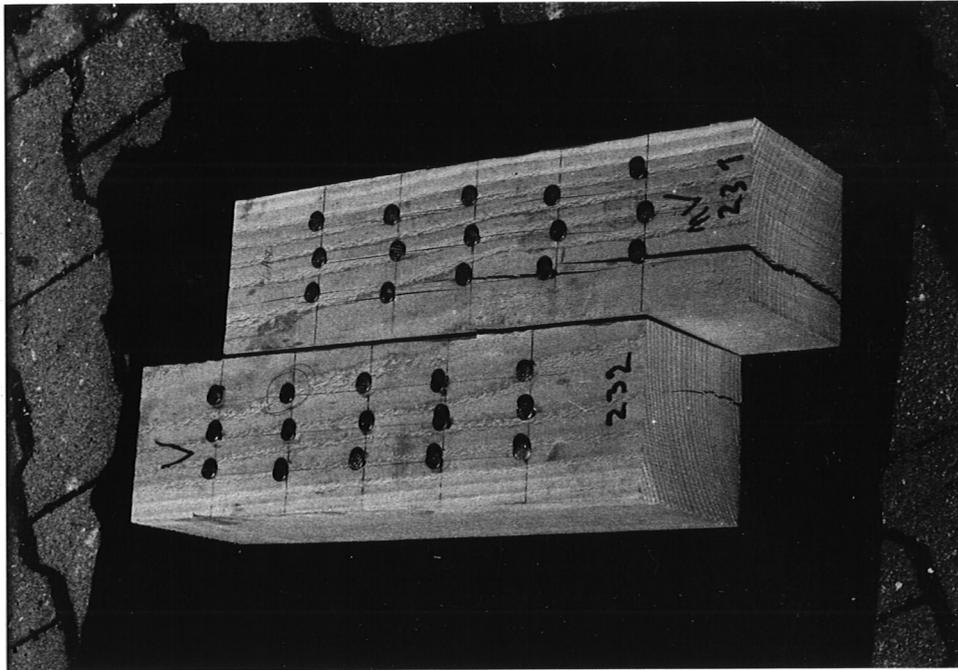


Bild 3.5.10.1: Nagelkörper mit Nägeln 55/145,
u = 29 bis 35 %
Nr. 231 liegend engringig, nicht vorgebohrt
Nr. 232 liegend engringig, vorgebohrt

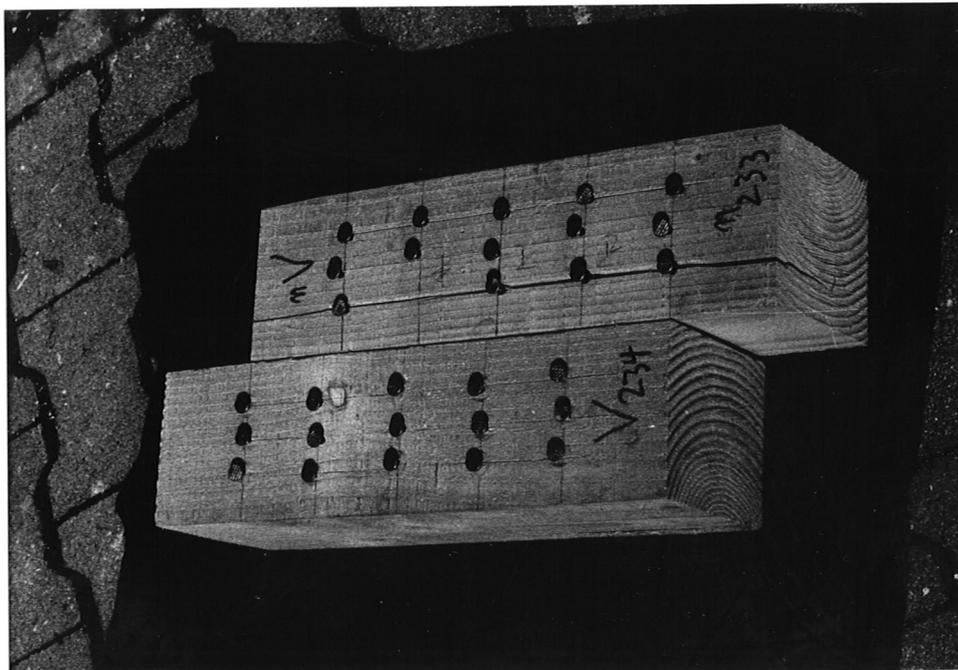


Bild 3.5.10.2: Nagelkörper mit Nägeln 55/145,
u = 29 bis 35 %
Nr. 233 stehend weitringig, nicht vorgebohrt
Nr. 234 stehend weitringig, vorgebohrt

Tabelle 3.5.4: Nagelversuche mit Einzelbrettstücken und Kantholzabschnitten

Prüf- körper Nr.	Nagel- typ	vorge- bohrt	Holzquer- schnitt b x d cm	Jahr- ring- lage	Holz- feuch- te u %	Bemerkungen
111	31/70	nein	7x3·2,4		24	einige leichte Anrisse
112	($\phi 2,5$) ¹⁾	ja				keine Risse
113		nein			26	wie 111
114		ja				keine Risse
121	42/110	nein	9x4·2,6		25	durchgehend längs der Nagel- reihen gerissen
122	($\phi 3,5$) ¹⁾	ja				keine Risse
123		nein			28	wie 121
124		ja				keine Risse
131	55/60	ja	12x4·4,0		25	keine Risse
132	($\phi 4,5$) ¹⁾	ja			27	keine Risse
211	31/70	nein	7x7,2		29	durchgehend längs der Nagel- reihen gerissen
212	($\phi 2,5$) ¹⁾	ja				von unten längs der Nagel- reihen gerissen
213	(l=40mm) ²⁾	nein			35	keine Risse
214		ja				keine Risse
221	42/110	nein	9x10,4		29	längs der Nagelreihen gerissen
222	($\phi 3,5$) ¹⁾	ja				wie 212
223	(l=60mm) ²⁾	nein			35	Nägel entlang des Spätholzes abgelenkt
224	55/145	ja				wie 212
231	55/145	nein	12x14		29	wie 211
232	($\phi 4,5$) ¹⁾	ja				wie 212
233	(l=70mm) ²⁾	nein			35	wie 211
234		ja				wie 214

1) Bohrlochdurchmesser in mm

2) Vorbohrtiefe l = max. Bohrerlänge