

Verteiler an:

E-84/25

AGH, VDS, BDT, BDF, Radovic, Ehlbeck, Stinde
2x Blockhausverbände

**Einfluß verschiedener Sortierbedingungen
auf die Biegefestigkeit von Bauholz
(Kantholz)**

**P. Glos und R. Diebold
Institut für Holzforschung
Universität München**

1987

INSTITUT FÜR HOLZFORSCHUNG

DER UNIVERSITÄT MÜNCHEN

INSTITUTSVORSTAND: PROF. DR. H. SCHULZ

Institut für Holzforschung - Winzererstraße 45 - 8000 München 40

An die
Deutsche Gesellschaft für Holz-
forschung e.V.
Schwanthalerstr. 79

8000 M ü n c h e n 2

Winzererstraße 45
8000 München 40
Fernruf: (089) 306309-0
Telefax: (089) 306309-11

Ihre Nachricht vom:

Ihr Zeichen:

Unser Zeichen:

G/S

Durchwahl:

089/306309

14

Tag:

12.12.1991

Betreff:

E - 84 / 25

Forschungsvorhaben "Sortierbedingungen Kantholz"

Sehr geehrter Herr Tebbe,

in der Anlage erhalten Sie den Abschlußbericht zu o.g. Forschungsvorhaben
in 12-facher Fertigung.

Der Bericht bildete, wie Sie wissen, eine der wesentlichen Grundlagen
für die Überarbeitung der DIN 4074. Wichtige Entscheidungen, wie z.B.
der Verzicht auf das Kriterium Astansammlung, der Verzicht auf die
Übernahme der ECE-Sortierregeln und die Beibehaltung des Astkriteriums
"kleinster Durchmesser" sind das Ergebnis dieses Forschungsvorhabens.

Der Bericht wurde auf das Jahr 1987 datiert. Dies ist etwa der Zeit-
punkt, an dem die Ergebnisse des Forschungsvorhabens der Fachöffent-
lichkeit, insbesondere dem DIN-Arbeitsausschuß DIN 4074 zur Kenntnis
gebracht wurden.

Daß der formale Abschlußbericht erst jetzt vorgelegt wird, bitte ich
zu entschuldigen.

Mit freundlichen Grüßen

i. A. P. Glos

Prof. Dr. P. Glos

INSTITUT FÜR HOLZFORSCHUNG

DER UNIVERSITÄT MÜNCHEN

INSTITUTSVORSTAND: PROF. DR. H. SCHULZ

Institut für Holzforschung · Winzererstraße 45 · 8000 München 40

An die
Deutsche Gesellschaft für Holz-
forschung e.V.
Schwanthalerstr. 79

8000 M ü n c h e n 2

Winzererstraße 45
8000 München 40
Fernruf: (089) 306309-0
Telefax: (089) 306309-11

Ihre Nachricht vom:

Ihr Zeichen:

Unser Zeichen:

G/S

Durchwahl:

089/306309 14

Tag:

12.12.1991

Betreff:

E - 84 / 25

Forschungsvorhaben "Sortierbedingungen Kantholz"

Sehr geehrter Herr Tebbe,

in der Anlage erhalten Sie den Abschlußbericht zu o.g. Forschungsvorhaben
in 12-facher Fertigung.

Der Bericht bildete, wie Sie wissen, eine der wesentlichen Grundlagen
für die Überarbeitung der DIN 4074. Wichtige Entscheidungen, wie z.B.
der Verzicht auf das Kriterium Astansammlung, der Verzicht auf die
Übernahme der ECE-Sortierregeln und die Beibehaltung des Astkriteriums
"kleinster Durchmesser" sind das Ergebnis dieses Forschungsvorhabens.

Der Bericht wurde auf das Jahr 1987 datiert. Dies ist etwa der Zeit-
punkt, an dem die Ergebnisse des Forschungsvorhabens der Fachöffent-
lichkeit, insbesondere dem DIN-Arbeitsausschuß DIN 4074 zur Kenntnis
gebracht wurden.

Daß der formale Abschlußbericht erst jetzt vorgelegt wird, bitte ich
zu entschuldigen.

Mit freundlichen Grüßen

i. A. P. Glos

Prof. Dr. P. Glos

**Einfluß verschiedener Sortierbedingungen
auf die Biegefestigkeit von Bauholz
(Kantholz)**

**Abschlußbericht 84 510
Forschungsbericht im Auftrag der
Deutschen Gesellschaft für Holzforschung e.V., München**

**Die Untersuchung wurde gefördert mit Mitteln des
Instituts für Bautechnik, Berlin**

**P. Glos und R. Diebold
Institut für Holzforschung
Universität München**

1987

Inhaltsverzeichnis

1	Ausgangssituation	1
2	Zielsetzung	3
3	Untersuchungsmaterial	4
	3.1 Vorliegende Untersuchungen	4
	3.2 Neue Untersuchungen	7
4	Untersuchungsmethoden	9
	4.1 Bestimmung der Ästigkeit, Rohdichte und Holzfeuchte	9
	4.1.1 Ästigkeit	9
	4.1.2 Rohdichte	11
	4.1.3 Holzfeuchte	11
	4.2 Biegeprüfung	11
5	Ergebnisse	15
	5.1 Allgemeines	15
	5.2 Vergleich der Sortierkriterien kantenparalleler und kleinster Astdurchmesser	16
	5.3 Vergleich der Sortierkriterien Einzelast und Astansammlung	20
	5.4 Vergleich einer Sortierung nach DIN 4074 und nach der ECE-Sortiervorschrift	30
	5.5 Sortierparameter für eine maschinelle Sortierung	38
6	Zusammenfassung	42
7	Literaturverzeichnis	44

Zusammenstellung wichtiger Abkürzungen

β_B Biegefestigkeit

\bar{x} Mittelwert

s Standardabweichung

E_B Biege-Elastizitätsmodul

E_B^{ISO} Biege-E-Modul nach ISO 8375

E_B^{DIN} Biege-E-Modul nach DIN 52186

R Rohdichte, soweit nichts anderes angegeben:

Normal-Rohdichte: Rohdichte des Gesamt-Prüfkörpers im Normalklima 20/65 bestimmt

A Ästigkeit

DIN-KE Kleinster Astdurchmesser, Kriterium Einzelast
(entsprechend DIN 4074)

DIN-KA Kleinster Astdurchmesser, Kriterium Astansammlung
(entsprechend DIN 4074)

ECE-Q Ästigkeit nach ECE-Norm, Kriterium Gesamtquerschnitt

ECE-R Ästigkeit nach ECE-Norm, Kriterium Randbereich

KAR-E Ästigkeit nach KAR-Methode, Kriterium Einzelast

KAR-A Ästigkeit nach KAR-Methode, Kriterium Astansammlung

SIA-KE Kantenparalleler Astdurchmesser, Kriterium Einzelast
(entsprechend SIA-Norm 164)

SIA-KA Kantenparalleler Astdurchmesser, Kriterium Astansammlung
(entsprechend SIA-Norm 164)

1 Ausgangssituation

Ergänzend zu den traditionellen Handelsgebräuchen für Schnittholz wurde in den 30-er Jahren im Zuge der damals entstehenden Baunormen eine gesonderte Sortiervorschrift für Bauschnittholz für tragende Zwecke erarbeitet und 1939 als DIN 4074 "Gütebedingungen für Bauschnittholz (Nadelholz)" eingeführt.

In ihr wurden drei Güteklassen für Bauholz mit geringerer, mit gewöhnlicher und mit besonders hoher Tragfähigkeit ausgewiesen. Auf der Grundlage dieser DIN 4074 wurden in der gleichzeitig entstehenden Ausführungsnorm DIN 1052 "Holzbauwerke, Berechnung und Ausführung" differenzierte zulässige Spannungen festgelegt. Das erklärte Ziel dieser Normung war, zugleich sichere und wirtschaftliche Bauten zu errichten und Baustoffe möglichst sparsam einzusetzen.

Der damaligen Tradition des Holzbaus entsprechend waren die Sortierregeln der DIN 4074 im wesentlichen nur für Kanthölzer und Balken entwickelt worden.

Im Jahre 1958 wurde die DIN 4074 wegen der damals zunehmenden Verwendung von Brettern und Bohlen durch eine Sortiervorschrift für Bretter und Bohlen ergänzt. Die Sortierregeln für Kanthölzer und Balken wurden unverändert beibehalten. Diese 1958 erschiene-
ne Ausgabe der DIN 4074 ist bis heute gültig.

Aus folgenden Gründen erscheint es angezeigt, die nunmehr etwa 50 Jahre alten Sortierbedingungen für Kanthölzer und Balken zu überprüfen:

- Zur Herleitung der bestehenden Sortierregeln stand damals nur eine verhältnismäßig geringe Anzahl eigener Versuche zur Verfügung (vgl. z.B. E. Gaber 1936; O. Graf 1937, 1938 u. 1941).

Ein wesentliches Entscheidungskriterium waren seinerzeit die vorliegenden allgemeinen Erfahrungen mit ausgeführten

Holzbauwerken. So wurden zur Festlegung der Mindestanforderungen beispielsweise Äste und andere Holzfehler an ausgeführten Bauwerken ausgemessen (O. Graf 1937).

- Später wurden auch in anderen europäischen Ländern Sortiervorschriften für Bauschnittholz eingeführt, die sich insbesondere in den Meßmethoden zur Bestimmung der Ästigkeit von der DIN 4074 unterscheiden. Während die DIN 4074 für Kanthölzer und Balken den tatsächlichen Astdurchmesser, d.h. den kleinsten Durchmesser einer Astsichtfläche verwendet, ist beispielsweise in der Schweizer Sortiervorschrift SIA 164 der kantenparallel gemessene Durchmesser der Astsichtfläche maßgebend. Die im Auftrag des ECE-Timber Committee der UN und FAO erarbeitete ECE-Sortiervorschrift verwendet dagegen in Anlehnung an die englische Norm BS 4978 die auf den Holzquerschnitt projizierte Astfläche als Sortierkriterium.

Im Hinblick auf eine wünschenswerte Harmonisierung der Sortiervorschriften sollten die verschiedenen Methoden bezüglich ihrer Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit verglichen werden.

- Kantholz wird in der Bundesrepublik Deutschland überwiegend "nach Liste", d.h. auftragsbezogen in der bestellten Anzahl und Abmessung eingeschnitten und geliefert. Dadurch bleiben dem Säger und dem Zimmerer wenig bis kein Raum für die geforderte Sortierung nach DIN 4074. In diesem Zusammenhang sollte geprüft werden, ob das Sortierverfahren ohne Beeinträchtigung der Sortierqualität vereinfacht werden kann, so daß wesentliche Sortierkriterien, wie z.B. die Ästigkeit, schon v o r dem Einschnitt abgeschätzt werden können.

2 Zielsetzung

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung sollten die für eine Neubearbeitung der Sortiervorschriften im Holzbau benötigten Angaben über den Zusammenhang zwischen der Verteilung der Biegefestigkeit von Kantholz und den verschiedenen, als Sortierparameter geeigneten Holzmerkmalen gewonnen und aufbereitet werden. Im einzelnen sollten folgende Fragestellungen untersucht werden:

- Führt der Sortierparameter "kantenparalleler Astdurchmesser" zu einem besseren Sortierergebnis als der bisher übliche Parameter "kleinster Astdurchmesser"?
- Ist das in der Praxis als zu kompliziert empfundene und daher umstrittene Kriterium "Astansammlung" notwendig oder könnte ohne wesentliche Beeinträchtigung der Sortierqualität auf dieses Kriterium verzichtet werden?
- Führt die sog. ECE-Sortiervorschrift, die als Grundlage für eine mögliche internationale Norm angesehen wird, aber wegen ihrer Kompliziertheit in der Praxis umstritten ist, bei der Kantholzsortierung im Vergleich zu einer Sortierung nach DIN 4074 zu einem besseren Sortierergebnis?
- Welche Sortierparameter wären für eine maschinell unterstützte Holzsortierung besonders geeignet? Könnte die Kantholzsortierung durch eine maschinelle Sortierung verbessert werden?

Zur Klärung dieser Fragen sollten, soweit möglich, vorliegende Ergebnisse von Biegeversuchen an Kanthölzern ausgewertet und zusätzliche Biegeversuche mit ausgewählten Kanthölzern durchgeführt werden.

3 Untersuchungsmaterial

3.1 Vorliegende Untersuchungen

Aus 4 vorliegenden Untersuchungen standen die Ergebnisse von Messungen an insgesamt 447 Kanthölzern und Balken zur Verfügung.

Im einzelnen waren dies:

- 89 Fichten-Kanthölzer mit Querschnittsabmessungen von 80/80 mm² bis 140/240 mm² (vgl. Tab.1) aus der Untersuchung von U. Hashagen (1978).

		Breite in [mm]						
		40	60	80	100	120	140	Summe
Höhe in [mm]	240	-	-	-	-	2	1	3
	220	-	-	-	-	-	-	-
	200	-	-	1	-	2	-	3
	180	-	-	-	1	-	-	1
	160	1	1	17	1	1	-	21
	140	1	6	2	1	-	-	10
	120	-	18	2	7	-	-	27
	100	-	4	18	-	-	-	22
	80	-	-	2	-	-	-	2
	Summe	2	29	42	10	5	1	89

Tabelle 1: Querschnittsabmessungen der 89 Fichten-Kanthölzer aus Hashagen (1978)

Die Kanthölzer waren in einem oberbayerischen Sägewerk als Listenbauholz eingeschnitten worden. Hashagen (1978) führte an diesen Kanthölzern lediglich eine Vergleichssortierung durch, ohne anschließende Festigkeitsprüfung. Daher konnten diese Kanthölzer nur zum Vergleich der Sortierkriterien Einzelast und Astansammlung (Abschnitt 5.3) herangezogen werden.

- 100 Fichten-Kanthölzer mit Querschnittsabmessungen von 80/160 mm² aus der Untersuchung Glos und Spengler (1985). Diese Kanthölzer waren im Rahmen einer Untersuchung über die Holzqualität immissionsgeschädigter Bäume aus jeweils einem unteren und einem oberen Stammabschnitt von Fichten aus 2 bayerischen Forstämtern eingeschnitten worden, und zwar jeweils möglichst weit außen aus sog. Kernbohlen (vgl. Bild 1).

Durch diesen speziellen Einschnitt enthielten viele Kanthölzer die Markröhre in der Nähe der innenliegenden Schmalseite (vgl. Bild 13).

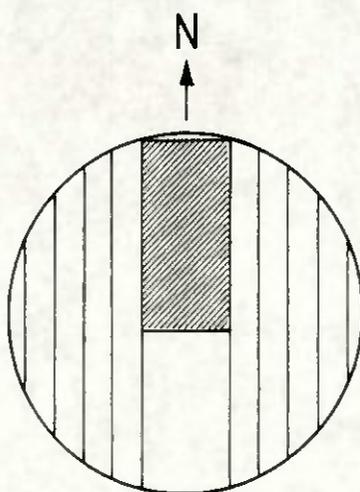


Bild 1: Einschnittsschema der Kanthölzer aus Glos und Spengler (1985)

- 153 Kiefern-Kanthölzer mit Querschnittsabmessungen von 60/140 mm² bis 70/150 mm² (vgl. Tab.2) aus der Untersuchung Glos, Gamm und Fuchs (1986).

		Breite in [mm]		
		60	70	Summe
Höhe in [mm]	150	1	3	4
	140	52	97	149
	Summe	53	100	153

Tabelle 2: Querschnittsabmessungen der hier einbezogenen 153 Kiefern-Kanthölzer aus Glos, Gamm und Fuchs (1986)

Diese Kanthölzer waren ebenfalls im Rahmen einer Untersuchung über die Holzqualität immissionsgeschädigter Bäume nach dem in Bild 2 angegebenen Schema aus jeweils einem unteren und einem oberen Stammabschnitt von Kiefern aus drei unterschiedlichen Standorten eingeschnitten worden.

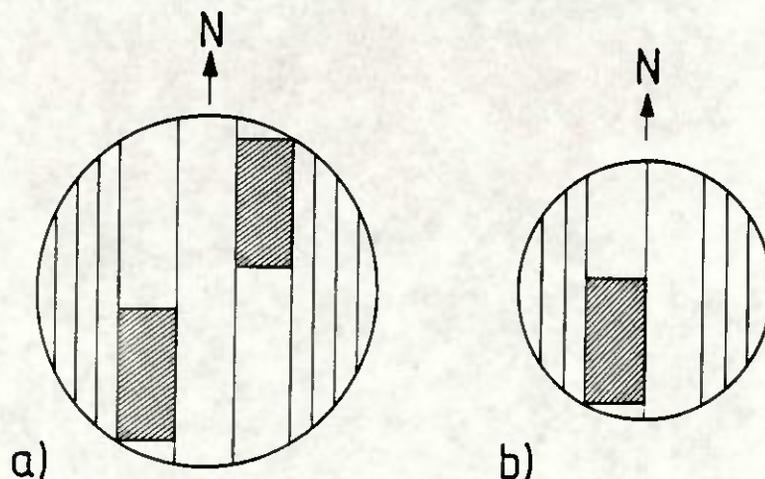


Bild 2: Einschnittschema der Kanthölzer aus Glos, Gamm und Fuchs (1986),
a) untere Stammabschnitte
b) obere Stammabschnitte

- 105 Fichten-Kanthölzer mit Querschnittsabmessungen von 60/140 mm² bis 70/160 mm² (vgl. Tab.3) aus der Untersuchung Glos und Gamm (1987).

		Breite in [mm]			
		60	70	80	Summe
Höhe in [mm]	160	5	13	-	18
	150	6	11	-	17
	140	38	31	1	70
	Summe	49	55	1	105

Tabelle 3: Querschnittsabmessungen der hier einbezogenen 105 Fichten-Kanthölzer aus Glos und Gamm (1987)

Diese Kanthölzer waren im Rahmen einer Untersuchung über die Auswirkung von sog. Sekundärschäden auf das Festigkeitsverhalten von Bauholz in 15 Sägewerken beschafft worden. In die vorliegende Untersuchung einbezogen wurden alle Kanthölzer mit einem Mindestquerschnitt von 60/140 mm², die entweder keinen oder keinen festigkeitsmindernden Befall aufwiesen. Ausgeschlossen wurden alle Kanthölzer mit Fäule, Rotstreifigkeit über mehr als 20% des Querschnitts oder der Oberfläche, sowie mit Holzwespen- und Fichtenbockbefall.

3.2 Neue Untersuchungen

Zusätzlich zu den in Abschnitt 3.1 aufgeführten Kanthölzern aus vorliegenden Untersuchungen wurden in 5 Sägewerken 173 Kanthölzer mit Querschnittsabmessungen von 80/160 mm² bis 120/260 bzw. 100/280 mm² beschafft (vgl.Tab.4).

		Breite in [mm]				
		60	80	100	120	Summe
Höhe in [mm]	280	-	-	4	-	4
	260	-	1	-	3	4
	240	-	6	5	5	16
	220	57	38	7	4	106
	200	-	14	7	-	21
	180	3	13	4	-	20
	160	-	2	-	-	2
	Summe	60	74	27	12	173

Tabelle 4: Querschnittsabmessungen der 173 Fichten-Kanthölzer aus der vorliegenden Untersuchung

Die größeren Abmessungen wurden als wünschenswert erscheinende Ergänzung zu den bereits vorliegenden Kanthölzern mit Abmessungen bis 80/160 mm² gewählt.

85 dieser Kanthölzer wurden im Rahmen eines sogenannten Ringversuchs von folgenden Prüfstellen geprüft:

Forschungs- und Materialprüfungsanstalt Baden-Württemberg,
Stuttgart, OBR Radovic - 38 Kanthölzer;

Staatl. Materialprüfungsamt Nordrhein-Westfalen, Dortmund,
Dr. Schlumbom - 25 Kanthölzer;

Fa. Okal, Salzhemmendorf, Herr Hinze - 22 Kanthölzer.

4 Untersuchungsmethoden

4.1 Bestimmung der Ästigkeit, Rohdichte und Holzfeuchte

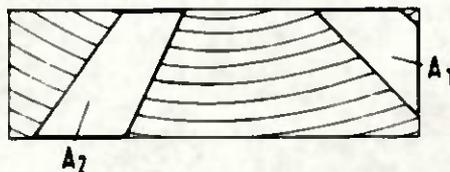
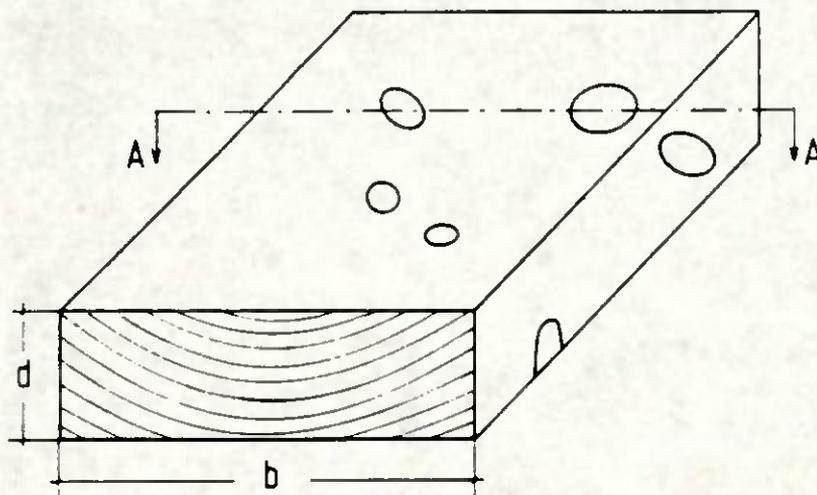
4.1.1 Ästigkeit

Die Ästigkeit der in die Untersuchung einbezogenen Kanthölzer wurde entsprechend der in Abschnitt 2 zusammengestellten Untersuchungsziele nach folgenden Methoden bestimmt:

- Kleinster Astdurchmesser, Kriterium Einzelast (DIN-KE): Durchmesser des einzelnen Astes im Verhältnis zur Breite der Querschnittsseite, an der der Ast in Erscheinung tritt. Die größte Verhältniszahl ist maßgebend.
- Kleinster Astdurchmesser, Kriterium Astansammlung (DIN-KA): Summe der Verhältniszahlen aller Einzeläste auf einer Querschnittsseite innerhalb einer Länge von 150 mm. Die größte Summe ist maßgebend.
- Kantenparalleler Astdurchmesser, Kriterium Einzelast (SIA-KE)¹ und
- Kantenparalleler Astdurchmesser, Kriterium Astansammlung (SIA-KA)¹: Entsprechend kleinster Astdurchmesser, wobei statt des kleinsten sichtbaren Durchmessers der senkrecht zur Kantholzachse (kantenparallel) gemessene Astdurchmesser zugrunde gelegt wird.
- KAR-Methode, Kriterium Einzelast (KAR-E): Auf den Schnittholzquerschnitt projizierte Fläche des einzelnen Astes im Verhältnis zur Querschnittsfläche. Die größte Verhältniszahl ist maßgebend.

¹ Dieses Astkriterium entspricht der Meßmethode nach SIA-Norm Nr.164.

- KAR-Methode, Kriterium Astansammlung (KAR-A):
Summe der Verhältniszahlen aller Einzeläste innerhalb einer Länge von 150 mm, wobei Astflächen, die sich in der Projektion überlappen, nur einfach gerechnet werden.
- ECE-Norm (siehe Bild 3):



Astprojektionsfläche im Schnitt A-A

Gesamt KAR:

$$a_Q = \frac{A_1 + A_2}{b \cdot d}$$

Rand KAR:

$$a_R = \frac{A_1'}{\frac{1}{4} \cdot b \cdot d}$$

bzw.
$$\frac{A_2'}{\frac{1}{4} \cdot b \cdot d}$$

Bild 3: Bestimmung der Ästigkeit nach der ECE-Norm (ECE-Q, ECE-R)

In die Ästigkeitsberechnung werden diejenigen Äste einbezogen, die bei einem gedachten Schnitt quer durch das Holz

angeschnitten werden. Als Maß für die Ästigkeit werden zwei Werte berechnet; für die Klassifizierung ist eine Kombination aus den beiden Werten maßgebend (siehe Abschnitt 5.4):
Kriterium Gesamtquerschnitt, Total KAR (ECE-Q):

Auf den Schnittholzquerschnitt projizierte Flächen aller o.g. Äste im Verhältnis zur Querschnittsfläche, wobei Astflächen, die sich in der Projektion überlappen, nur einfach gerechnet werden.

Kriterium Randbereich, Margin KAR (ECE-R):

Auf den Schnittholzquerschnitt projizierte Flächen aller o.g. Äste im äußeren Querschnittsviertel im Verhältnis zu einem Viertel der Querschnittsfläche, wobei Astflächen, die sich in der Projektion überlappen, nur einfach gerechnet werden. Der größte Wert ist maßgebend.

4.1.2 Rohdichte

Die Rohdichte wurde nach DIN 52182 als Normal-Rohdichte des gesamten Prüfkörpers aus der Masse und dem Volumen des Kantholzes nach Klimatisierung im Normalklima 20/65-1 bestimmt.

4.1.3 Holzfeuchte

Die Holzfeuchte der Prüfkörper wurde nach DIN 52183 gravimetrisch an einem ca. 2 cm breiten Probestreifen bestimmt. Dieser Probestreifen umfaßte den gesamten Probenquerschnitt und wurde sofort nach dem Versuch in Bruchnähe aus dem Prüfkörper herausgeschnitten.

4.2 Biegeprüfung

Die Biegeprüfung der Kanthölzer wurde in Anlehnung an DIN 52186 und ISO 8375 durchgeführt. Der Prüfkörper mit den Definitionen

der Abmessungen ist schematisch in Bild 4 dargestellt.

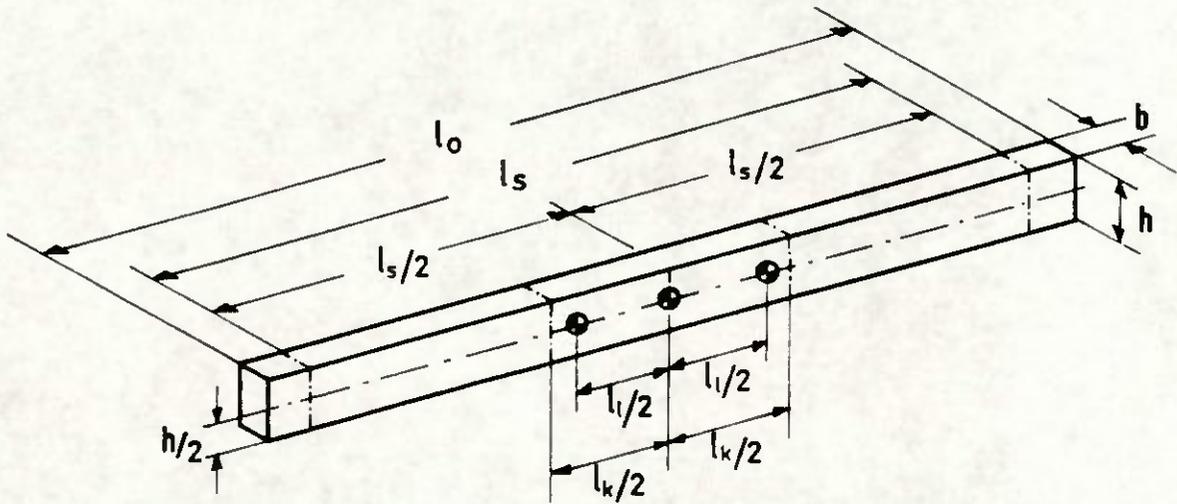


Bild 4: Schematische Darstellung einer Biegeprobe

- b - Breite der Probe
- h - Höhe der Probe
- l_0 - Prüfkörperlänge
- l_1 - Meßbasis zur E-Modulbestimmung nach ISO
($l_1 = 0,8 \cdot l_k$)
- l_s - Stützweite
- l_k - Abstand der Kraftangriffspunkte

Die Prüfvorrichtung einschließlich der Meßeinrichtung zur Kraft- und Verformungsmessung zeigt Bild 5.

Die Proben wurden jeweils so geprüft, daß die Seite mit der maximalen Ästigkeit in der Zugzone lag.

Die Stützweite zwischen den Auflagern betrug mindestens das 18-fache der Probenhöhe. Der Abstand der Kraftangriffspunkte betrug bei einer Stützweite ≤ 3 m ein Drittel der Stützweite und 1 m bei einer Stützweite > 3 m. Die konstante Verformungsgeschwin-

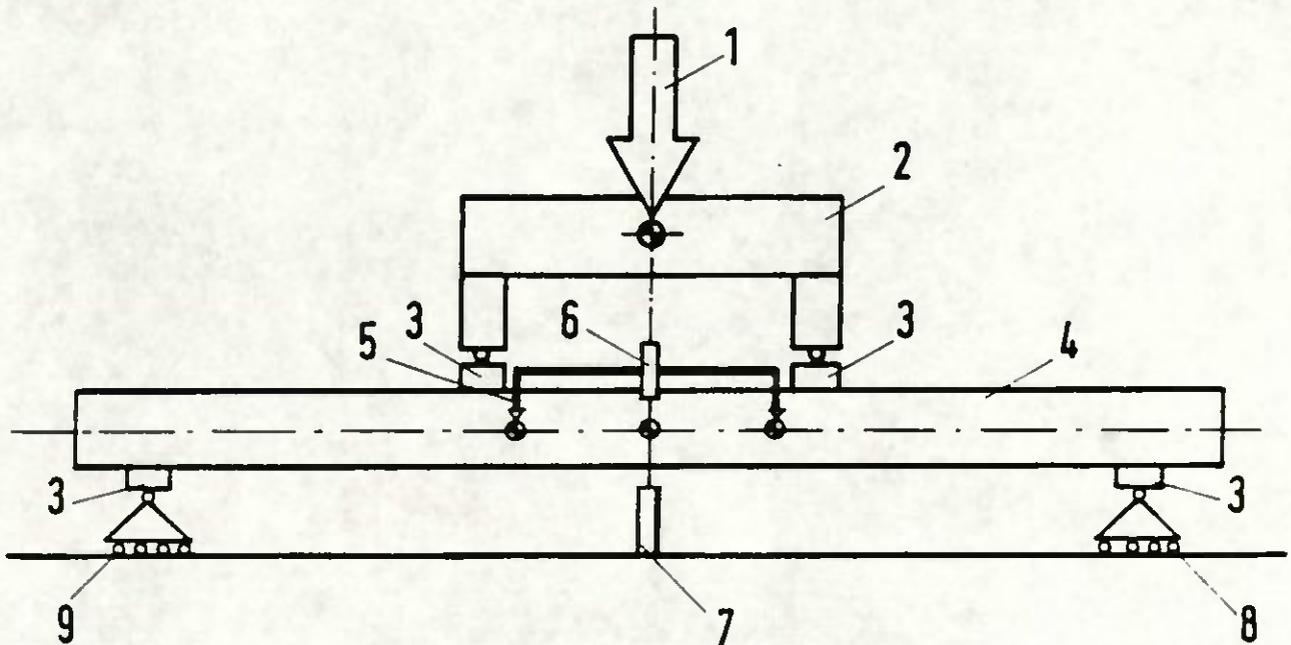


Bild 5: Schematische Darstellung der Biegeprüfmaschine

- (1) Weggesteuerter, hydraulischer Prüfkraftzylinder mit Kraftmeßdose
- (2) Traverse für Krafteinleitung in die Biegeprobe
- (3) Hartholzreiter
- (4) Prüfkörper
- (5) Meßeinrichtung für Relativverformungsmessung
- (6) Wegaufnehmer für Relativverformungsmessung für ISO-E-Modul
- (7) Wegaufnehmer für Gesamtverformungsmessung für DIN-E-Modul
- (8) Rechtes Auflager (Gleitpunktlager) mit Kraftmeßdose
- (9) Linkes Auflager (Gleitlinienlager) mit Kraftmeßdose

digkeit der Belastungsvorrichtung wurde so gewählt, daß der Bruch entsprechend DIN 52186 im Mittel bei 90 Sekunden erreicht wurde.

Die Biegefestigkeit wurde aus der aufgeprägten Höchstkraft, den Querschnittsabmessungen und der Prüfgeometrie (Stützweite und Lastangriffspunkte) entsprechend DIN 52186 und ISO 8375 berechnet:

$$\beta_B = \frac{3 \cdot F \cdot (l_s - l_k)}{2 \cdot b \cdot h^2}$$

Der Biege-E-Modul wurde nach DIN 52186 und ISO 8375 bestimmt:

$$E_B^{\text{DIN}} = \frac{2 \cdot l_s^3 - 3 \cdot l_s \cdot l_k^2 + l_k^3}{8 \cdot b \cdot h^3} \cdot \frac{\Delta F}{\Delta v}$$

$$E_B^{\text{ISO}} = \frac{3 \cdot (l_s - l_k) \cdot l_1^2}{8 \cdot b \cdot h^3} \cdot \frac{\Delta F}{\Delta w}$$

mit

- b, h = Querschnittsabmessungen des Prüfkörpers in mm (vgl. Bild 4)
- F = dem Prüfkörper aufgeprägte Höchstkraft in N
- ΔF = Kraftdifferenz in N im elastischen Verformungsbereich der Probe
- Δv = die der Kraftdifferenz entsprechende Gesamtverformung in mm
- Δw = die der Kraftdifferenz entsprechende Relativverformung in mm

Die nach DIN 52186 und nach ISO 8375 bestimmten E-Moduln sind hoch korreliert. Weil E_B^{DIN} aus der Gesamtverformung berechnet wird, also auch eine anteilige Schubverformung berücksichtigt, ist E_B^{DIN} im allgemeinen kleiner als E_B^{ISO} . In der weiteren Auswertung wird ausschließlich der mit der Biegefestigkeit höher korrelierte Wert E_B^{DIN} verwendet.

5 Ergebnisse

5.1 Allgemeines

Zur allgemeinen Charakterisierung der in die Untersuchung einbezogenen Kanthölzer und insbesondere der verschiedenen Beschreibungsformen der Ästigkeit sind in Tabelle 5 die Biegefestigkeit, der Biege-Elastizitätsmodul, die Rohdichte sowie die verschiedenen Astparameter nach den einzelnen Teilkollektiven getrennt zusammengestellt.

Probenkollektiv Anzahl		[1] 100	[2] 153	[3] 105	[4] 173
Biegefestigkeit β_B [N/mm ²]	\bar{x} s	47,0 11,2	48,9 18,6	48,3 14,0	35,8 11,9
Biege-E-Modul E_B [N/mm ²]	\bar{x} s	11100 2100	11100 2400	12900 2000	10900 2000
Rohdichte R_{12} [g/cm ³]	\bar{x} s	0,482 0,033	0,517 0,048	0,459 0,041	0,431 0,072
Ästigkeit					
DIN-KE		0,28	0,31	0,31	0,36
DIN-KA		0,34	0,33	0,37	0,39
SIA-KE		0,35	0,51	-	0,43
SIA-KA		0,45	0,54	-	0,49
KAR-E		0,12	0,16	0,12	0,12
KAR-A		0,20	0,19	0,24	0,26
ECE-Q		0,20	0,19	0,24	0,24
ECE-R		0,29	0,32	0,32	0,34

Tabelle 5: Biegefestigkeit, E-Modul, Rohdichte und Ästigkeit der in die Untersuchung einbezogenen Kanthölzer

[1] 100 Fi-Kanthölzer aus Glos u. Spengler (1985)

[2] 153 Ki-Kanthölzer aus Glos, Gamm u. Fuchs (1986)

[3] 105 Fi-Kanthölzer aus Glos u. Gamm (1987)

[4] 173 Fi-Kanthölzer aus vorliegender Untersuchung

\bar{x} ... Mittelwert, s... Standardabweichung

In Tabelle 6 werden als Maß für die grundsätzliche Eignung der

verschiedenen Merkmale als Sortierparameter deren Korrelationskoeffizienten mit der Biegefestigkeit angegeben.

Probenkollektiv Anzahl	[1] 100	[2] 153	[3] 105	[4] 173
Korrelation zwischen Biegefestigkeit und Ästigkeit				
DIN-KE	-0,53	-0,62	-0,67	-0,66
DIN-KA	-0,40	-0,63	-0,62	-0,69
SIA-KE	-0,31	-0,41	-	-0,63
SIA-KA	-0,32	-0,45	-	-0,59
KAR-E	-0,64	-0,67	-0,54	-0,59
KAR-A	-0,69	-0,74	-0,61	-0,62
ECE-Q	-0,69	-0,74	-0,60	-0,53
ECE-R	-0,40	-0,60	-0,53	-0,53
Rohdichte	0,23	0,44	0,42	0,28
E-Modul	0,71	0,76	0,82	0,74

Tabelle 6: Korrelationskoeffizienten zwischen der Biegefestigkeit und verschiedenen Astkriterien, der Rohdichte und dem Biege-E-Modul Probenkollektive vgl. Tabelle 5

Man erkennt, daß die Korrelationskoeffizienten in einem sehr weiten Bereich streuen. Dies weist darauf hin, daß die verschiedenen Parameter offenbar unterschiedlich gut zur Sortierung von Kantholz geeignet sind. In den folgenden Abschnitten wird dies im einzelnen untersucht. Die Abschnitte 5.2 bis 5.4 vergleichen die Eignung der verschiedenen Astkriterien für eine visuelle Kantholzsortierung. Abschnitt 5.5 befaßt sich mit den möglichen Sortierparametern für eine maschinelle Sortierung.

5.2 Vergleich der Sortierkriterien kantenparalleler und kleinster Astdurchmesser

Die Bilder 6, 7 und 8 zeigen am Beispiel von 3 Teilkollektiven

mit insgesamt 426 Kanthölzern den Zusammenhang zwischen der Ästigkeit und der Biegefestigkeit, wobei als Maß für die Ästigkeit jeweils der größte Einzelast, einmal nach dem Kriterium "kantenparalleler Durchmesser" und einmal nach dem Kriterium "kleinster Durchmesser" bestimmt wurde.

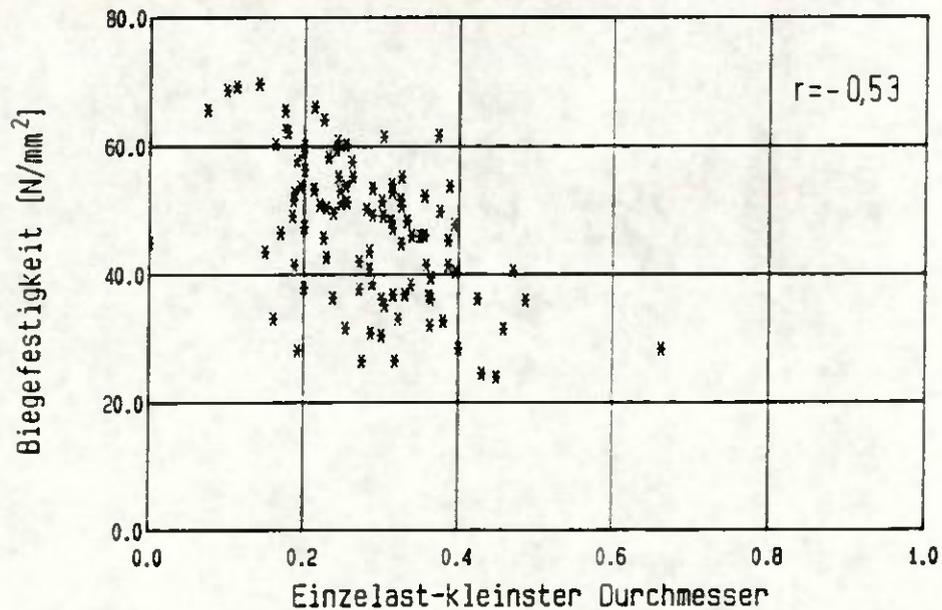
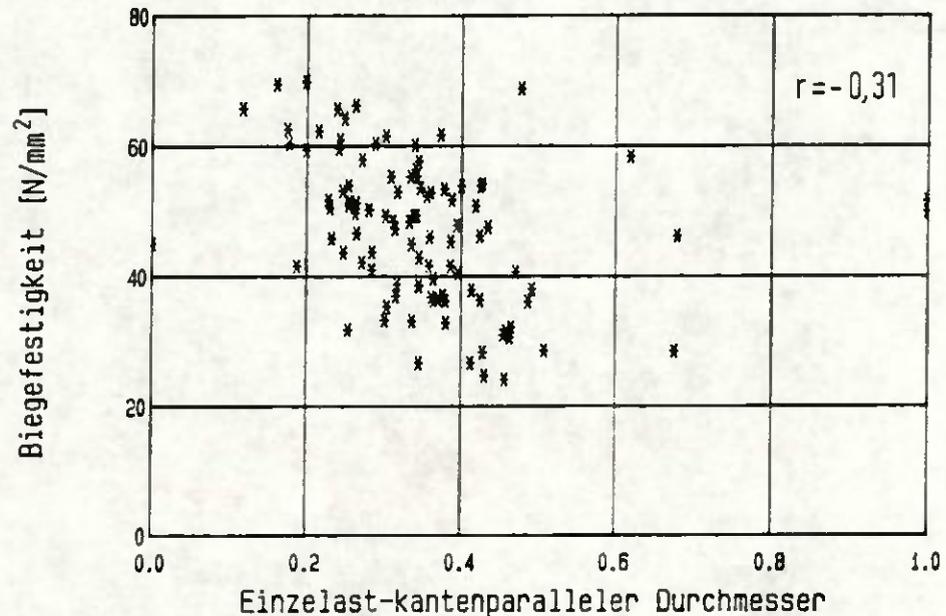


Bild 6: Zusammenhang zwischen der Ästigkeit (Kriterium größter Einzelast) und der Biegefestigkeit. Vergleich der Astparameter "kantenparalleler Astdurchmesser" und "kleinster Astdurchmesser"
Basis: 100 Fi-Kanthölzer aus Glos u. Spengler (1985)

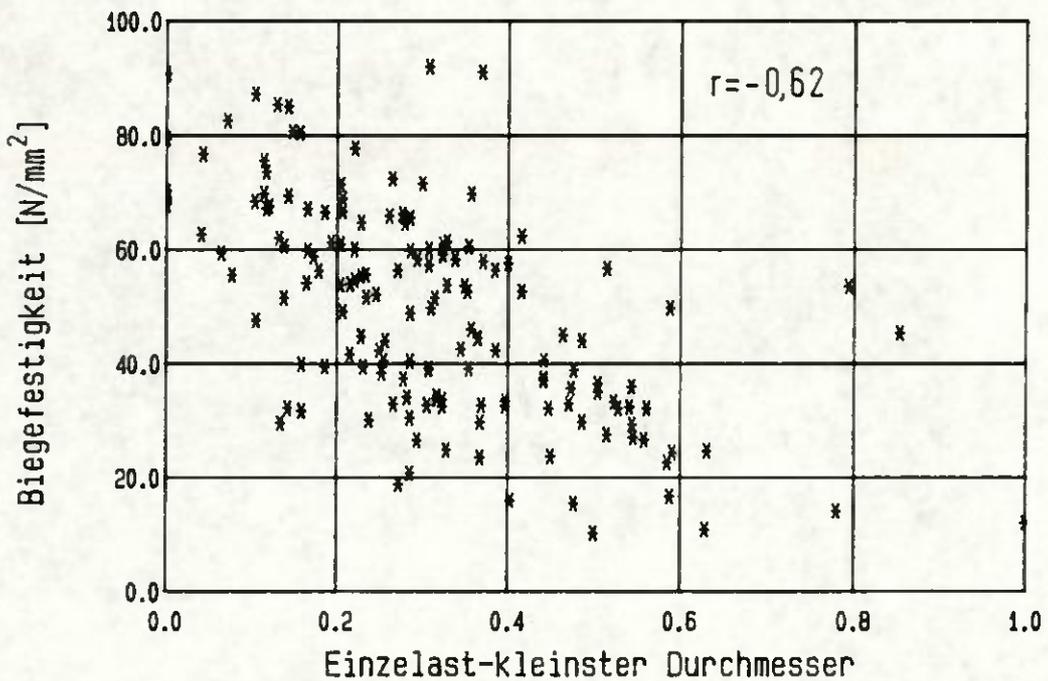
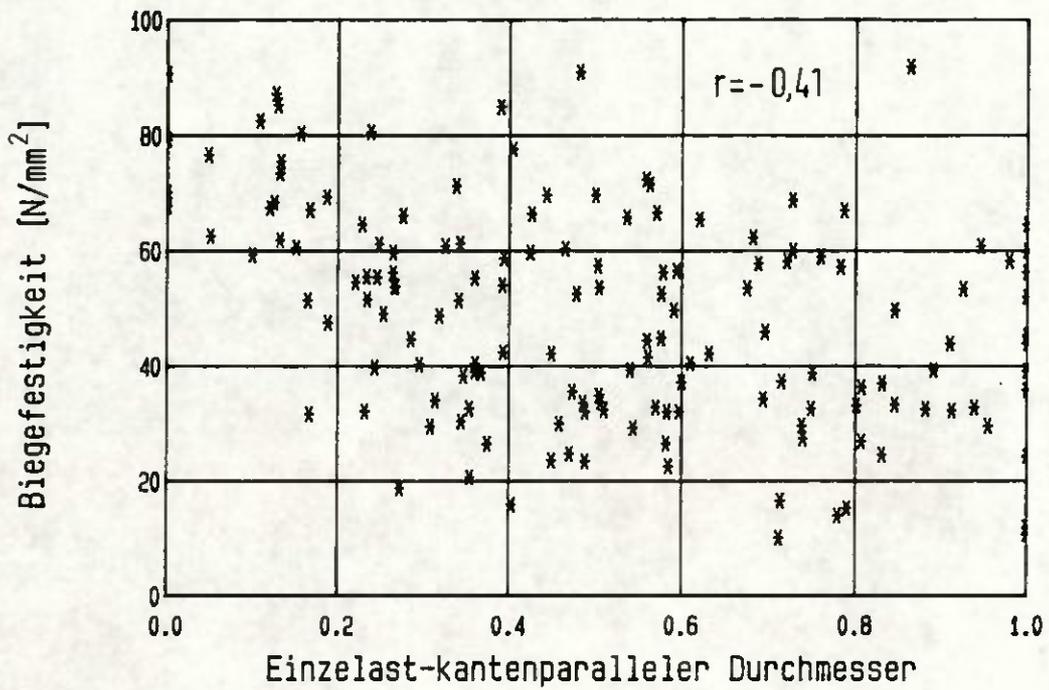


Bild 7: Zusammenhang zwischen der Ästigkeit (Kriterium größter Einzelast) und der Biegefestigkeit. Vergleich der Astparameter "kantenparalleler Astdurchmesse" und kleinster Astdurchmesser"
Basis: 153 Ki-Kanthölzer aus Glos, Gamm u. Fuchs (1986)

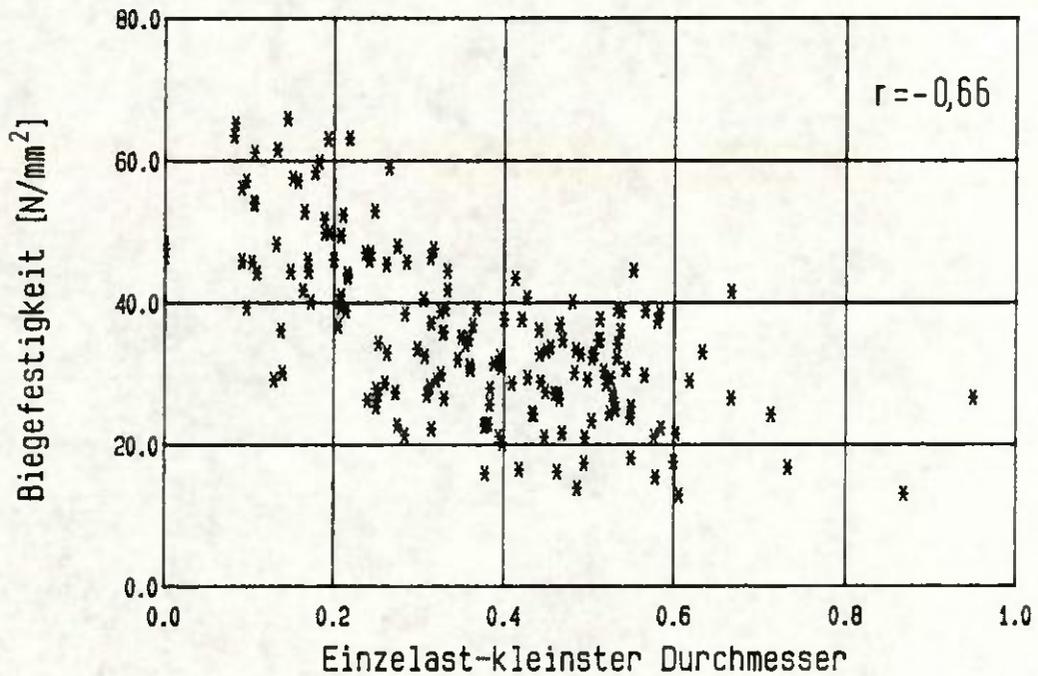
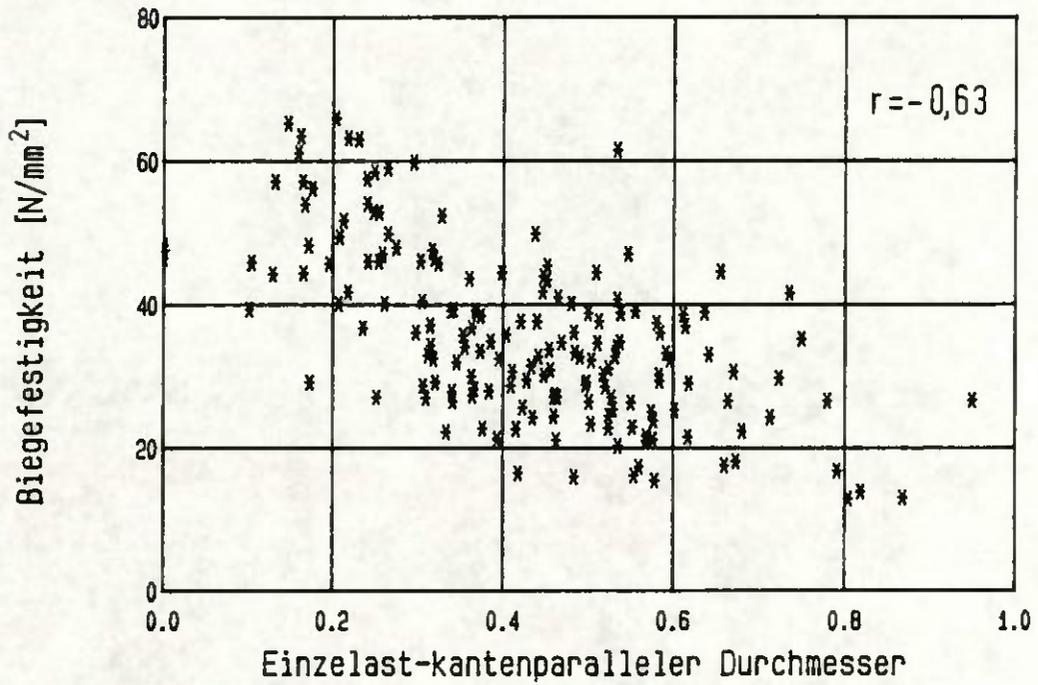


Bild 8: Zusammenhang zwischen der Ästigkeit (Kriterium größter Einzelast) und der Biegefestigkeit. Vergleich der Astparameter "kantenparalleler Astdurchmesser" und "kleinster Astdurchmesser"
Basis: 173 Fi-Kanthölzer aus vorliegender Untersuchung

Der Vergleich der jeweiligen Bilder zeigt, daß das Kriterium "kantenparalleler Durchmesser" naturgemäß größere Werte ergibt als das Kriterium "kleinster Durchmesser" (vgl. auch Tab. 5). Allerdings ist dieser Unterschied bei den Fichten-Kanthölzern (Bilder 6 und 8) weniger stark ausgeprägt als bei den Kiefern-Kanthölzern (Bild 7).

Dieser systematische Unterschied muß bei der Festlegung von Sortierklassengrenzen beachtet werden, da sonst eine Sortierung nach dem kantenparallelen Durchmesser grundsätzlich zu einer schlechteren Einstufung der Hölzer führen würde.

In allen Fällen sind die kleinsten Astdurchmesser mit der Festigkeit höher korreliert als die kantenparallelen Durchmesser. Tabelle 6 zeigt, daß dies nicht nur für das Kriterium Einzelast, sondern auch für das Kriterium Astansammlung gilt.

Daraus folgt, daß der kleinste Astdurchmesser zur Festigkeitssortierung von Kantholz grundsätzlich besser geeignet ist als der kantenparallel gemessene Astdurchmesser.

5.3 Vergleich der Sortierkriterien Einzelast und Astansammlung

Die Bilder 9 bis 12 zeigen am Beispiel von 4 Teilkollektiven mit insgesamt 531 Kanthölzern den Zusammenhang zwischen der Biegefestigkeit der Kanthölzer und der Ästigkeit, wobei diese einmal als "kleinster Durchmesser, Kriterium Einzelast" und einmal als "kleinster Durchmesser, Kriterium Astansammlung" dargestellt ist.

Definitionsgemäß ist der Parameter "Astansammlung" im Mittel größer als der Parameter "Einzelast", wobei auffällt, daß die absoluten Unterschiede, von wenigen Einzelfällen abgesehen, nicht sehr ausgeprägt sind (vgl. Tab.5).

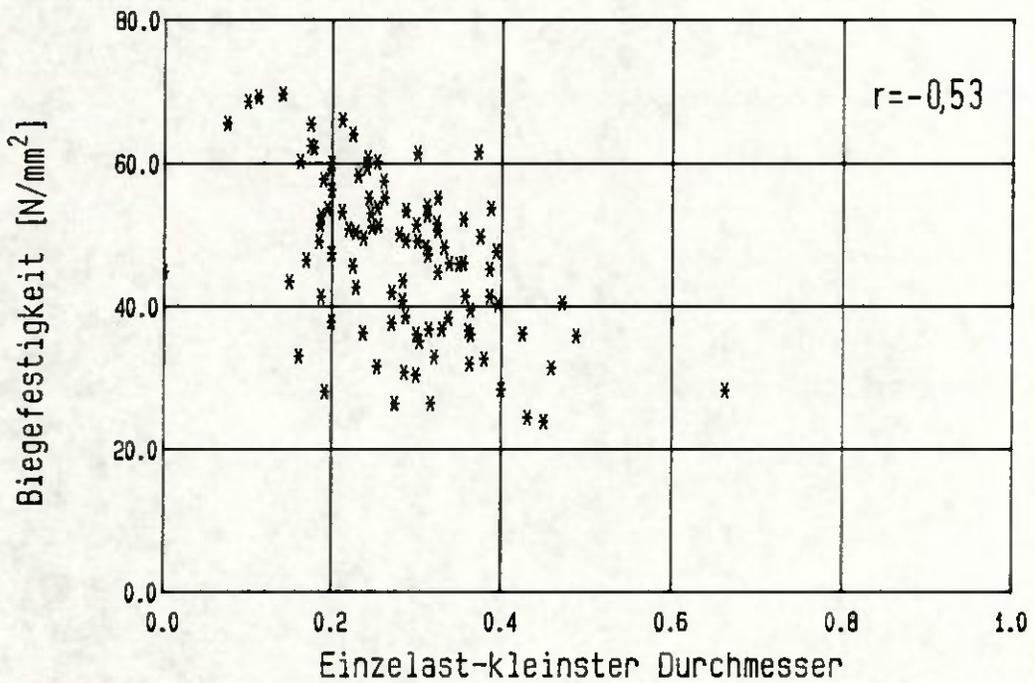
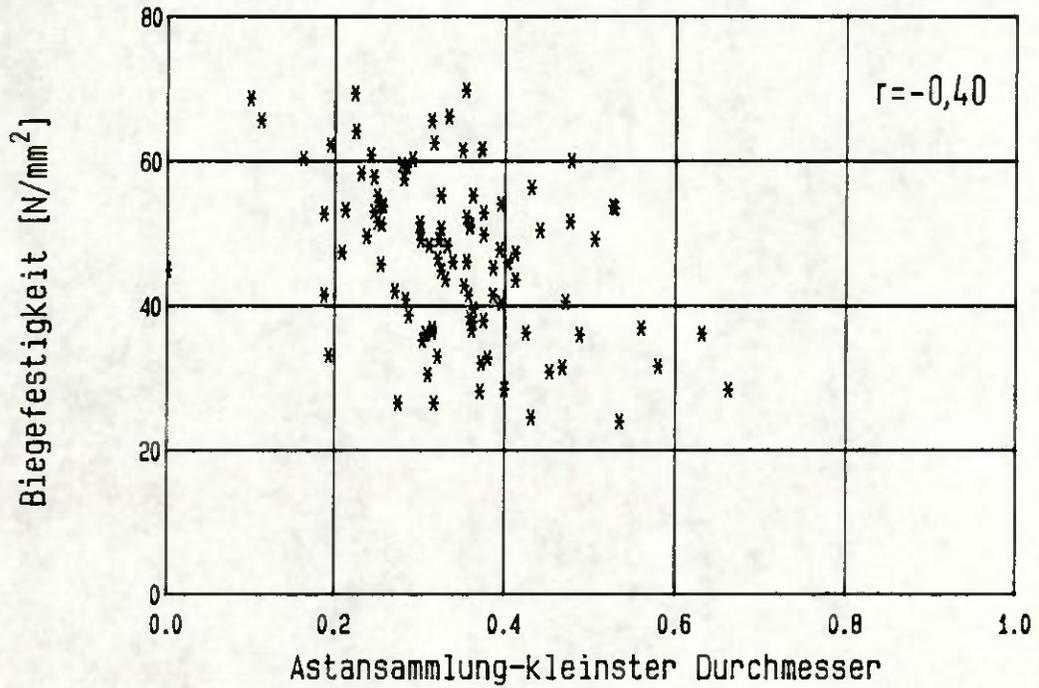


Bild 9: Zusammenhang zwischen der Ästigkeit (Astparameter "kleinsten Astdurchmesser") und der Biegefestigkeit. Vergleich der Kriterien Astansammlung und Einzelast. Basis: 100 Fi-Kanthölzer aus Glos u. Spengler (1985)

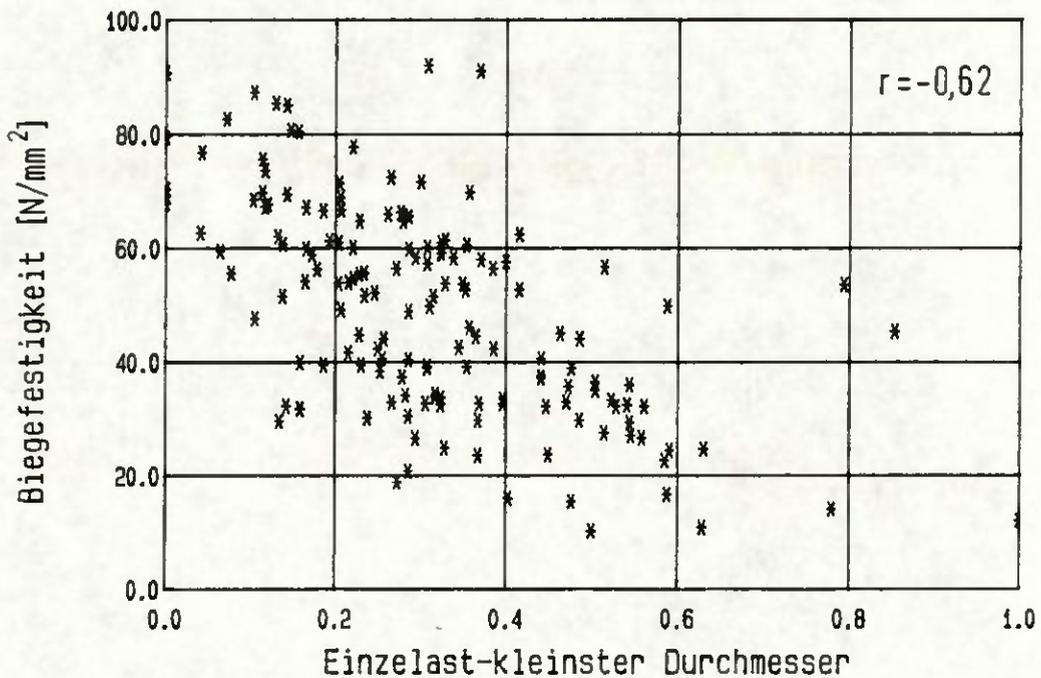
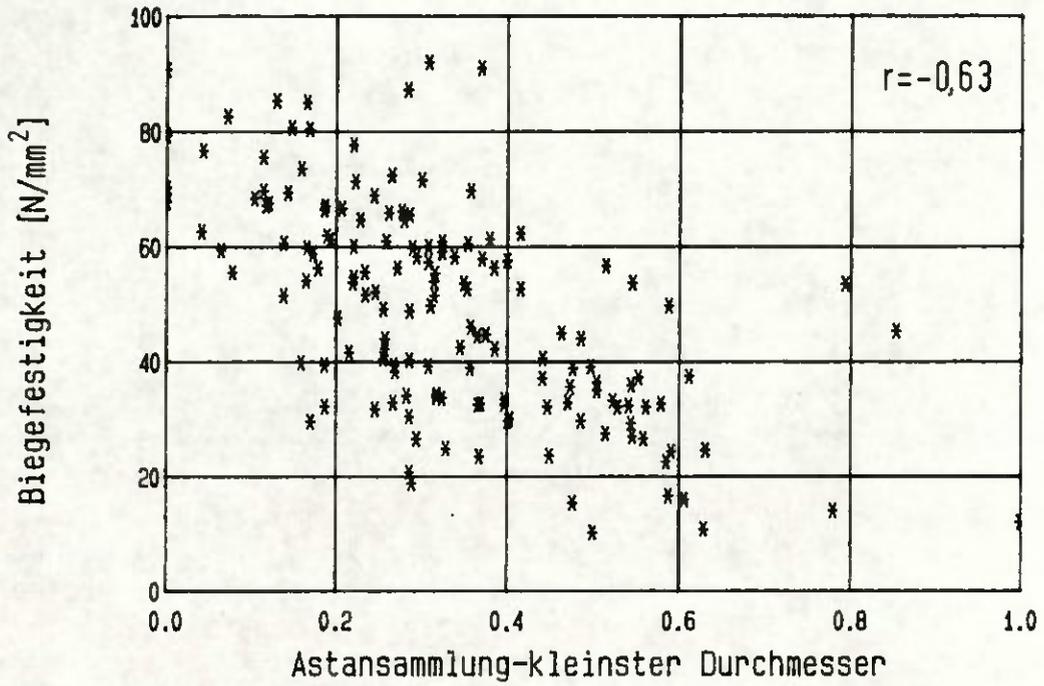


Bild 10: Zusammenhang zwischen der Ästigkeit (Astparameter "kleinsten Astdurchmesser") und der Biegefestigkeit. Vergleich der Kriterien Astansammlung und Einzelast. Basis: 153 Ki-Kanthölzer aus Glos, Gamm u. Fuchs (1986)

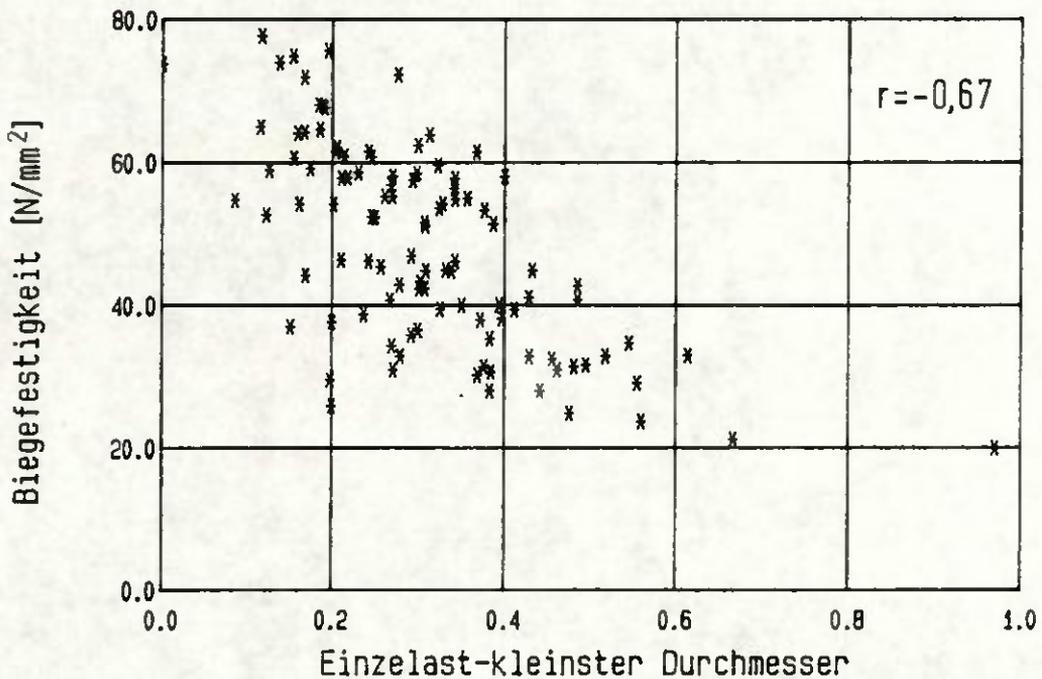
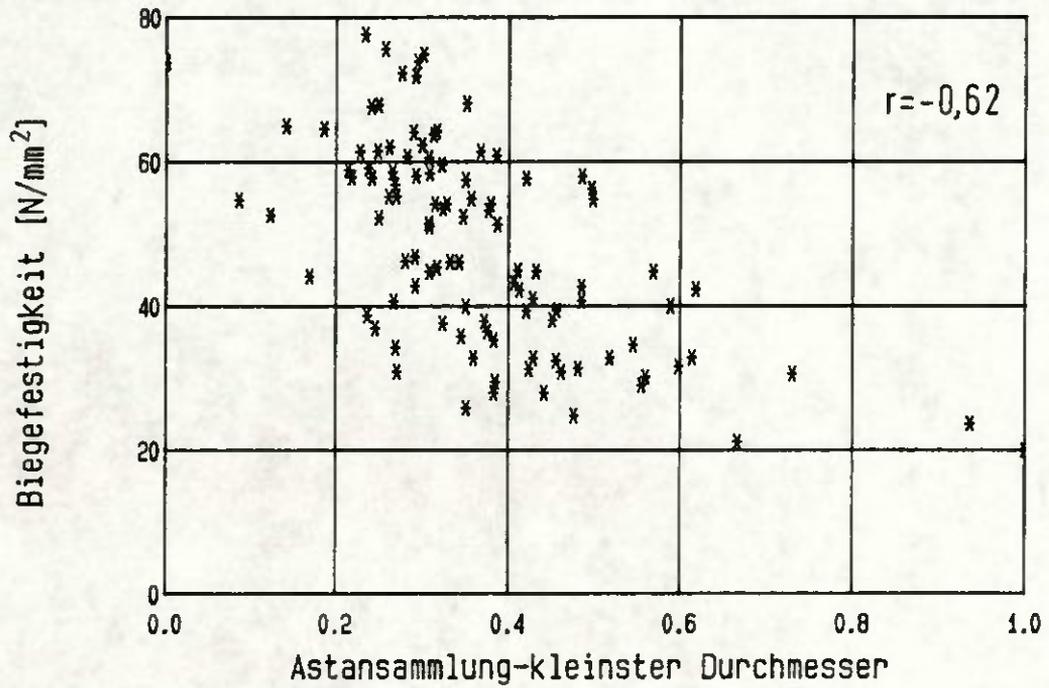


Bild 11: Zusammenhang zwischen der Ästigkeit (Astparameter "kleinsten Astdurchmesser") und der Biegefestigkeit. Vergleich der Kriterien Astansammlung und Einzelast. Basis: 105 Fi-Kanthölzer aus Glos u. Gamm (1987)

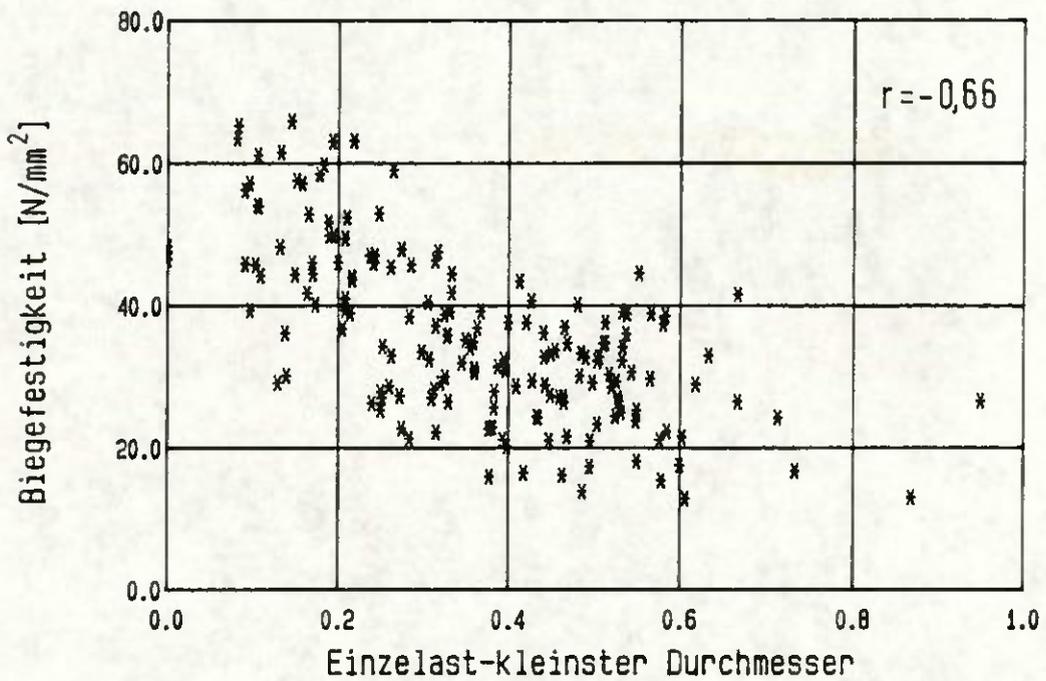
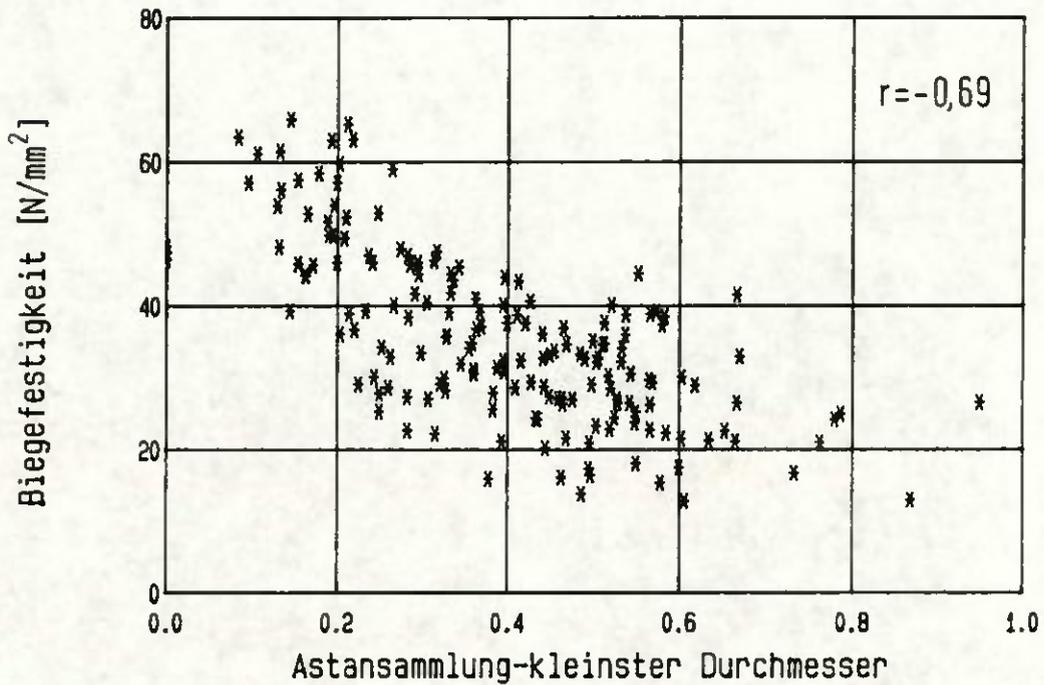


Bild 12: Zusammenhang zwischen der Ästigkeit (Astparameter "kleinster Astdurchmesser") und der Biegefestigkeit. Vergleich der Kriterien Astansammlung und Einzelast. Basis: 173 Fi-Kanthölzer aus vorliegender Untersuchung

Die Korrelationskoeffizienten mit der Biegefestigkeit liegen für beide Kriterien etwa in der gleichen Größenordnung (vgl. Tab.6). Bei 2 Teilkollektiven weist das Kriterium Einzelast, bei den beiden anderen Teilkollektiven das Kriterium Astansammlung den höheren Wert auf. Dies ist ein Hinweis darauf, daß bei der Kantholzsortierung der größte Einzelast eine dominierende Rolle spielt und offenbar nur in wenigen Fällen kritische, d.h. festigkeitsmindernde Astkombinationen auftreten. Diese für die Sortierpraxis wichtige Hypothese wird in den Tabellen 7 bis 11 am Beispiel der 5 in die Untersuchung einbezogenen Teilkollektive, d.h. an insgesamt 620 Kanthölzern, weiter überprüft. In diesen Tabellen ist für jedes Teilkollektiv getrennt angegeben, in welche Sortierklasse nach DIN 4074 die einzelnen Kanthölzer aufgrund der beiden Astkriterien Einzelast und Astansammlung eingestuft werden. Als Klassengrenzen wurden dabei die Grenzwerte der derzeit geltenden DIN 4074 gewählt, also für die Sortierklassen I, II und III die Werte $1/5$, $1/3$ und $1/2$ für das Kriterium Einzelast und die Werte $2/5$, $2/3$ und $3/4$ für das Kriterium Astansammlung. Die Tabellen 7 bis 11 zeigen, daß das Kri-

DIN 4074		Kriterium Einzelast DIN-KE				
		I	II	III	A	Summe
Kriterium Astansammlung DIN-KA	I	13	29	13	-	55
	II	-	10	14	6	30
	III	-	-	-	4	4
	A	-	-	-	-	-
	Summe	13	39	27	10	89

Tabelle 7: Sortierklasse nach DIN 4074 in Abhängigkeit von den Astkriterien Einzelast (DIN-KE) und Astansammlung (DIN-KA)
Basis: 89 Fi-Kanthölzer aus Hashagen (1978)

DIN 4074		Kriterium Einzelast DIN-KE				
Kriterium Astan- sammlung DIN-KA		I	II	III	A	Summe
	I	21	42	16	-	79
	II	3	8	9	1	21
	III	-	-	-	-	-
	A	-	-	-	-	-
	Summe	24	50	25	1	100

Tabelle 8: Sortierklasse nach DIN 4074 in Abhängigkeit von den Astkriterien Einzelast (DIN-KE) und Astansammlung (DIN-KA)
Basis: 100 Fi-Kanthölzer aus Glos u. Spengler (1985)

DIN 4074		Kriterium Einzelast DIN-KE				
Kriterium Astan- sammlung DIN-KA		I	II	III	A	Summe
	I	38	54	17	-	109
	II	-	4	18	18	40
	III	-	-	-	-	-
	A	-	-	-	4	4
	Summe	38	58	35	22	153

Tabelle 9: Sortierklasse nach DIN 4074 in Abhängigkeit von den Astkriterien Einzelast (DIN-KE) und Astansammlung (DIN-KA)
Basis: 153 Ki-Kanthölzer aus Glos, Gamm u. Fuchs (1986)

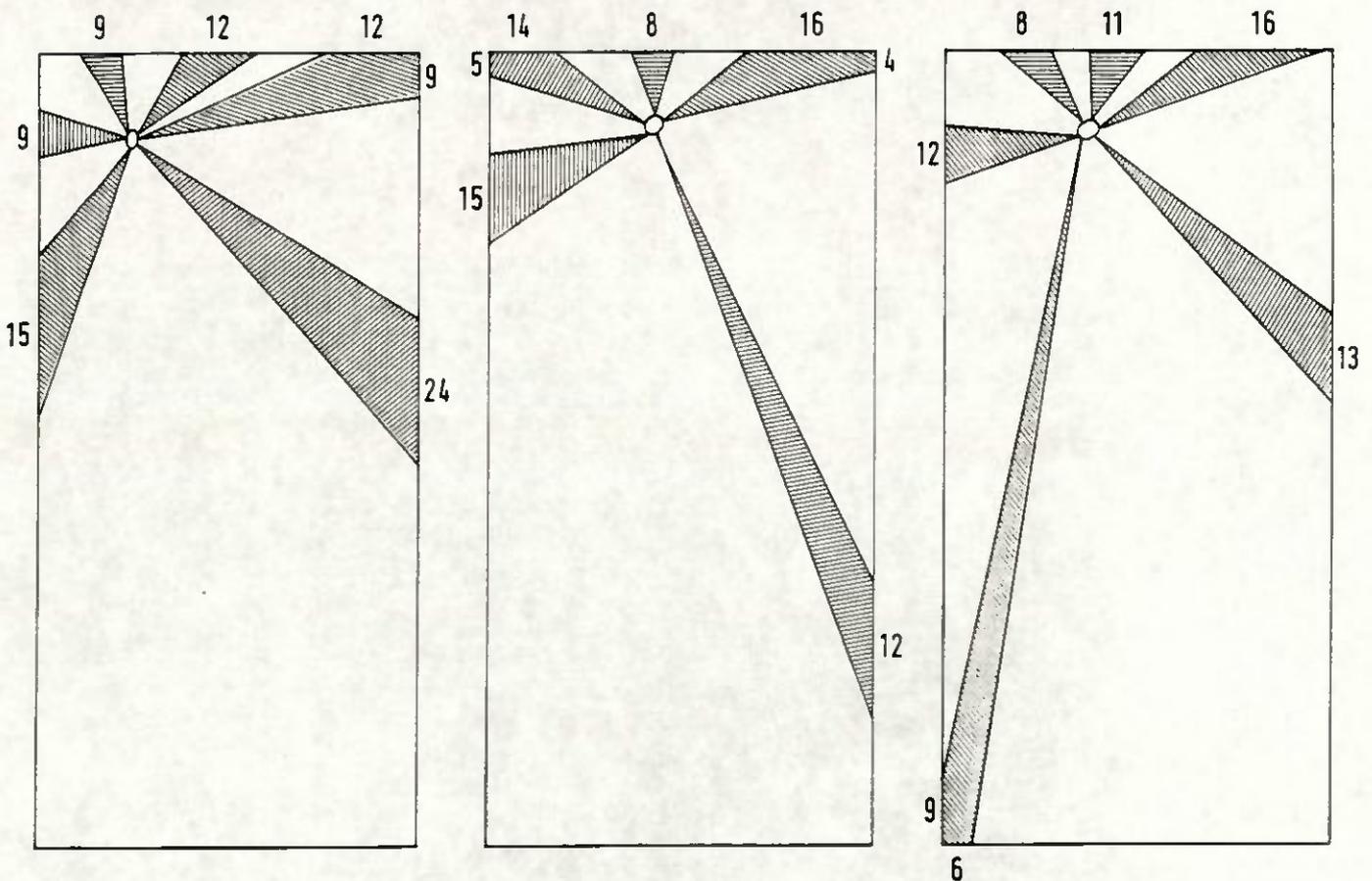
DIN 4074		Kriterium Einzelast DIN-KE				
Kriterium Astan- sammlung DIN-KA		I	II	III	A	Summe
	I	24	38	9	-	71
	II	-	5	21	5	31
	III	-	-	1	-	1
	A	-	-	-	2	2
	Summe	24	43	31	7	105

Tabelle 10: Sortierklasse nach DIN 4074 in Abhängigkeit von den Astkriterien Einzelast (DIN-KE) und Astansammlung (DIN-KA)
Basis: 105 Fi-Kanthölzer aus Glos u. Gamm (1987)

DIN 4074		Kriterium Einzelast DIN-KE				
Kriterium Astan- sammlung DIN-KA		I	II	III	A	Summe
	I	35	41	15	-	91
	II	-	6	34	35	75
	III	-	-	-	2	2
	A	-	-	1	4	5
	Summe	35	47	50	41	173

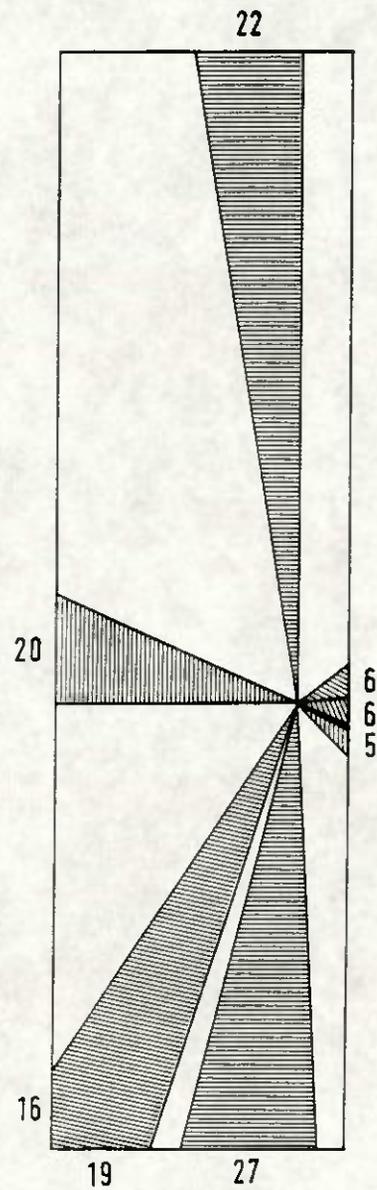
Tabelle 11: Sortierklasse nach DIN 4074 in Abhängigkeit von den Astkriterien Einzelast (DIN-KE) und Astansammlung (DIN-KA)
Basis: 173 Fi-Kanthölzer aus vorliegender Untersuchung

terium Astansammlung nur bei 4 von insgesamt 620 Kanthölzern zu einer ungünstigeren Einstufung führt, also für die Sortierung maßgebend ist. 3 dieser Kanthölzer stammen aus der Untersuchung Glos und Spengler (1985), ein Kantholz aus den im Rahmen der vorliegenden Untersuchung geprüften Kanthölzern. Der für die Sortierung maßgebende Querschnitt dieser 4 Kanthölzer ist in den Bildern 13 und 14 dargestellt. Zusätzlich angegeben sind die jeweilige Biegefestigkeit und die Astwerte.



β_B [N/mm ²]:	43,6	60,1	56,4
DIN-KE:	0,15	0,20	0,20
DIN-KA:	0,41	0,48	0,44

Bid 13: Kanthölzer aus Glos u. Spengler (1985), bei denen das Kriterium Astansammlung für die Sortierung maßgebend ist.



β_B [N/mm²]: 21,10

DIN-KE: 0,45

DIN-KA: 0,76

Bild 14: Kantholz aus vorliegender Untersuchung, bei dem das Kriterium Astansammlung für die Sortierung maßgebend ist.

In allen 4 Fällen handelt es sich um markhaltige, sogenannte "einstielige" Kanthölzer. In allen Fällen liegt jeweils einer der Astwerte entweder direkt auf der Klassengrenze oder unmittelbar daneben. In allen Fällen hätte eine Astdifferenz von 0,01, also eine im Rahmen der Meßgenauigkeit liegende Toleranz, zur gleichen Einstufung geführt. Weil darüberhinaus die Biegefestigkeit dieser 4 Kanthölzer jeweils mindestens das Dreifache der nach DIN 1052 jeweiligen zulässigen Biegespannung beträgt, können diese 4 Fälle als unbedenklich eingestuft werden.

Somit weist diese Untersuchung darauf hin, daß das Sortierkriterium Astansammlung in DIN 4074 keinen Beitrag zur Erhöhung der Zuverlässigkeit der Sortierung leistet und damit ersatzlos entfallen könnte.

5.4 Vergleich einer Sortierung nach DIN 4074 und nach der ECE-Sortiervorschrift

Die Schnittholzsortiervorschriften DIN 4074, Ausgabe Dez. 1958, und ECE-Norm, Ausgabe Nov. 1982, unterscheiden sich sowohl in den Meßverfahren zur Bestimmung der Ästigkeit (vgl. Abschnitt 4.1.1) als auch teilweise in den Klassengrenzen der jeweiligen Sortierklassen. In DIN 4074 sind 3 Sortierklassen I, II und III ausgewiesen, die ECE-Norm enthält die 3 Sortierklassen S10, S8 und S6.

Der im folgenden beschriebene Sortiervergleich bezieht sich nur auf das Sortierkriterium Ästigkeit, weil die anderen Sortierparameter wie Baumkante, Jahrringbreite, Faserabweichung, Risse und Krümmung bei den hier untersuchten Kanthölzern für die Klassifizierung nicht maßgebend waren.

Die zulässigen Astwerte der Sortierklassen I, II und III der DIN 4074 und der Sortierklassen S10, S8 und S6 der ECE-Norm sind in Tabelle 12 wiedergegeben.

DIN 4074 -Kantholzsortierung		Sortierklasse				
		I	II		III	
Einzelast	DIN-KE	1/5	1/3		1/2	
Astansammlung	DIN-KA	2/5	2/3		3/4	
ECE-Norm		Sortierklasse				
		S10	S8 entw. oder		S6 entw. oder	
Gesamtquerschnitt	ECE-Q	1/5	1/3	1/5	1/2	1/3
Randbereich	ECE-R	1/5	1/2	>1/2	1/2	>1/2

Tabelle 12: Klassengrenzwerte für die Ästigkeit nach DIN 4074 und nach der ECE-Norm

Die in Tabelle 6 angegebenen Korrelationskoeffizienten vermitteln kein klares Bild, welches der beiden Sortierverfahren zur Sortierung von Kanthölzern besser geeignet ist. Bei 2 Teilkollektiven ergeben sich für das ECE-Verfahren höhere Korrelationskoeffizienten, bei 2 anderen Teilkollektiven liefert das Verfahren nach DIN 4074 die höheren Werte. Deshalb wurde für die insgesamt 531 Kanthölzer aus 4 Teilkollektiven ein detaillierter Sortiervergleich durchgeführt. Die Ergebnisse sind in den Tabellen 13 bis 16 zusammengestellt. In diesen Tabellen sind für jedes Teilkollektiv und für jede Sortierklasse getrennt die Anzahl der in die jeweilige Klasse sortierten Proben, deren mittlere Biegefestigkeit, die Standardabweichung, der kleinste Festigkeitswert, der rechnerische 5%-Fraktilwert² sowie der mittlere Biege-Elastizitätsmodul angegeben.

² Der 5%-Fraktilwert wurde wie folgt berechnet:

$$x_{0,05} = \bar{x} - 1,6 \cdot S$$

Sortierung nach DIN 4074				
Sortierklasse	I	II	III	A
Anzahl	21	53	25	1
Biegefestigkeit				
\bar{x} [N/mm ²]	53,8	47,8	40,4	-
s [N/mm ²]	12,1	9,9	9,1	-
Kleinstwert [N/mm ²]	28,2	26,5	24,0	28,4
5%-Fraktile [N/mm ²]	34,4	31,9	25,8	-
E-Modul				
\bar{x} [N/mm ²]	12100	11300	10000	9900

Sortierung nach ECE				
Sortierklasse	S10	S8	S6	A
Anzahl	12	81	4	3
Biegefestigkeit				
\bar{x} [N/mm ²]	56,1	46,4	37,9	39,4
s [N/mm ²]	11,6	10,4	11,3	12,8
Kleinstwert [N/mm ²]	33,2	24,0	28,5	28,4
5%-Fraktile [N/mm ²]	37,5	29,8	19,8	18,9
E-Modul				
\bar{x} [N/mm ²]	12600	11000	9300	11000

Tabelle 13: Sortiervergleich DIN 4074 - ECE-Norm.
Basis: 100 Fi-Kanthölzer aus Glos u. Spengler
(1985)

Sortierung nach DIN 4074				
Sortierklasse	I	II	III	A
Anzahl	38	58	35	22
Biegefestigkeit				
\bar{x} [N/mm ²]	64,2	49,9	42,1	30,7
s [N/mm ²]	15,6	15,4	16,4	12,5
Kleinstwert [N/mm ²]	29,5	18,8	10,1	10,8
5%-Fraktile [N/mm ²]	39,2	25,3	15,9	10,7
E-Modul \bar{x} [N/mm ²]	12300	11400	10400	9000

Sortierung nach ECE				
Sortierklasse	S10	S8	S6	A
Anzahl	38	75	26	14
Biegefestigkeit				
\bar{x} [N/mm ²]	67,2	49,2	33,6	26,3
s [N/mm ²]	14,1	13,8	12,1	12,0
Kleinstwert [N/mm ²]	31,6	20,7	10,8	10,1
5%-Fraktile [N/mm ²]	44,6	27,1	14,2	7,1
E-Modul \bar{x} [N/mm ²]	12400	11600	9300	9000

Tabelle 14: Sortiervergleich DIN 4074 - ECE-Norm.
 Basis: 153 Ki-Kanthölzer aus Glos, Gamm u.
 Fuchs (1986)

Sortierung nach DIN 4074				
Sortierklasse	I	II	III	A
Anzahl	24	43	31	7
Biegefestigkeit				
\bar{x} [N/mm ²]	59,3	50,8	40,9	27,7
s [N/mm ²]	14,8	9,8	10,5	6,1
Kleinstwert [N/mm ²]	25,9	30,9	24,8	19,9
5%-Fraktile [N/mm ²]	35,6	35,1	24,1	17,9
E-Modul				
\bar{x} [N/mm ²]	14000	13200	12200	10300

Sortierung nach ECE				
Sortierklasse	S10	S8	S6	A
Anzahl	11	73	14	7
Biegefestigkeit				
\bar{x} [N/mm ²]	59,8	50,5	35,8	31,7
s [N/mm ²]	13,0	12,6	9,2	6,0
Kleinstwert [N/mm ²]	36,9	24,8	19,9	21,1
5%-Fraktile [N/mm ²]	39,0	30,3	21,1	22,1
E-Modul				
\bar{x} [N/mm ²]	13800	13200	11800	10500

Tabelle 15: Sortiervorschrift DIN 4074 - ECE-Norm.
Basis: 105 Fi-Kanthölzer aus Glos u. Gamm (1987)

Sortierung nach DIN 4074				
Sortierklasse	I	II	III	A
Anzahl	35	47	49	42
Biegefestigkeit				
\bar{x} [N/mm ²]	50,4	38,1	29,2	28,6
s [N/mm ²]	9,4	9,8	7,2	7,9
Kleinstwert [N/mm ²]	29,2	21,4	13,9	12,9
5%-Fraktile [N/mm ²]	35,4	22,4	17,7	15,9
E-Modul \bar{x} [N/mm ²]	12600	11300	10200	10000

Sortierung nach ECE				
Sortierklasse	S10	S8	S6	A
Anzahl	25	108	25	15
Biegefestigkeit				
\bar{x} [N/mm ²]	51,3	34,4	32,8	24,4
s [N/mm ²]	10,0	10,4	7,9	6,7
Kleinstwert [N/mm ²]	22,3	13,1	16,5	12,9
5%-Fraktile [N/mm ²]	35,3	17,8	20,2	13,7
E-Modul \bar{x} [N/mm ²]	12700	10900	10300	9600

Tabelle 16: Sortiervergleich DIN 4074 - ECE-Norm.
Basis: 173 Fi-Kanthölzer aus vorliegender Untersuchung

Es ist zu erkennen, daß die Sortierung nach DIN 4074 in der Regel zu einer höheren Ausbeute in der höchsten Sortierklasse I bzw. S10 führt. Dagegen ergibt sich bei einer Sortierung nach der ECE-Norm in der wirtschaftlich bedeutenden Sortierklassenkombination S10/S8 bzw. I/II eine insgesamt etwa 25% höhere Ausbeute. Dies wird allerdings durch eine geringere Mindestfestigkeit erkauft. In 3 der 4 Teilkollektive weist die Sortierklasse S8 eine geringere 5%-Fraktile der Biegefestigkeit und auch einen geringeren Elastizitätsmodul als die Sortierklasse II auf.

Berücksichtigt man, daß eine Sortierung nach der ECE-Norm insbesondere bei Kanthölzern mit größeren Abmessungen und gedrunge-
nen Querschnitten sehr viel schwieriger ist als eine Sortierung nach DIN 4074 und daher in der Praxis auch mit einer höheren Fehlerrate behaftet sein dürfte, dann ist nicht zu erwarten, daß ein Übergang zu einer Sortierung von Kanthölzern und Balken nach der ECE-Norm zu einem praktisch verwertbaren wirtschaftlichen Vorteil führen würde.

Um zu prüfen, ob die ECE-Sortiervorschrift eventuell vereinfacht werden kann, wurde überprüft, wie oft das Kriterium Randast (ECE-R) für die Einstufung in eine Sortierklasse maßgebend ist. Das Ergebnis dieser Teiluntersuchung ist in den Tabellen 17 bis 20 getrennt für jedes Teilkollektiv und für jede Sortierklasse zusammengestellt.

Sortierklasse	S10	S8	S6	A
Anzahl	12	81	4	3
davon ECE-R maßgebend	-	-	1	3

Tabelle 17: Sortierung nach ECE-Norm. Anzahl Fälle, in denen das Astkriterium Randbereich (ECE-R) für die Einstufung maßgebend ist.
Basis: 100 Fi-Kanthölzer aus Glos u. Spengler (1985)

Sortierklasse	S10	S8	S6	A
Anzahl	38	75	26	14
davon ECE-R maßgebend	-	8	17	13

Tabelle 18: Sortierung nach ECE-Norm. Anzahl Fälle, in denen das Astkriterium Randbereich (ECE-R) für die Einstufung maßgebend ist.
Basis: 153 Ki-Kanthölzer aus Glos, Gamm u. Fuchs (1986)

Sortierklasse	S10	S8	S6	A
Anzahl	11	73	14	7
davon ECE-R maßgebend	-	-	5	7

Tabelle 19: Sortierung nach ECE-Norm. Anzahl Fälle, in denen das Astkriterium Randbereich (ECE-R) für die Einstufung maßgebend ist.
Basis: 105 Fi-Kanthölzer aus Glos u. Gamm (1987)

Sortierklasse	S10	S8	S6	A
Anzahl	25	108	25	15
davon ECE-R maßgebend	-	-	10	15

Tabelle 20: Sortierung nach ECE-Norm. Anzahl Fälle, in denen das Astkriterium Randbereich (ECE-R) für die Einstufung maßgebend ist.
Basis: 173 Fi-Kanthölzer aus vorliegender Untersuchung

Man erkennt, daß dieses Kriterium erwartungsgemäß bei Kanthölzern mit großer Ästigkeit zum Tragen kam, und zwar in insgesamt 79 Fällen, das heißt bei etwa 15% der untersuchten Kanthölzer.

5.5 Sortierparameter für eine maschinelle Sortierung

Visuelle Sortierverfahren sind in ihrer Leistungsfähigkeit grundsätzlich beschränkt, weil als Sortierparameter nur einfach erfassbare Holzmerkmale herangezogen werden können und weil vorhandene Wechselwirkungen zwischen den Holzeigenschaften in der Regel ebenfalls nicht berücksichtigt werden können, um die gebotene Übersichtlichkeit der Sortierregeln nicht zu gefährden.

Im Gegensatz dazu eröffnet eine maschinelle bzw. maschinell unterstützte Holzsortierung die Möglichkeit, sich auch visuell nicht erfassbarer, mit den Festigkeitseigenschaften höher korrelierter Merkmale zu bedienen und bestehende Wechselwirkungen über eine rechnergestützte Auswertung zu erfassen.

In Tabelle 21 sind die für eine maschinelle Sortierung grundsätzlich in Frage kommenden Sortierparameter und Parameterkombinationen und deren Korrelationskoeffizienten mit der Biegefe-

Probenkollektiv Anzahl	[1] 100	[2] 153	[3] 105	[4] 173
Korrelation zwischen Biegefestigkeit und Ästigkeit				
A_D : DIN-KE	0,53	0,62	0,67	0,66
A_K : KAR-A	0,69	0,74	0,61	0,62
Rohdichte R	0,23	0,44	0,42	0,28
E-Modul E	0,71	0,76	0,82	0,74
$A_D + R$	0,58	0,71	0,76	0,71
$E + A_D$	0,76	0,81	0,86	0,82
$E + A_K$	0,81	0,88	0,86	0,80
$E + A_D + R$	0,76	0,81	0,86	0,82
$E + A_K + R$	0,81	0,88	0,87	0,80

Tabelle 21: Einfache bzw. multiple Korrelationskoeffizienten zwischen der Biegefestigkeit, verschiedenen Astkriterien, der Rohdichte und dem Biege-E-Modul sowie verschiedenen Kombinationen davon. Probenkollektive vgl. Tabelle 5, S.15

stigkeit zusammengestellt. In diese Teiluntersuchung konnten 4 Teilkollektive mit insgesamt 531 Kanthölzern einbezogen werden.

Die in Tabelle 21 zusammengestellten Ergebnisse zeigen, daß der Elastizitätsmodul der mit der Biegefestigkeit am höchsten korrelierte und damit auch für eine Festigkeitssortierung von Kantholz am besten geeignete Einzelparameter ist.

Darüberhinaus zeigt Tabelle 21, daß verschiedene Kombinationen von Sortierparametern noch höhere Korrelationskoeffizienten mit der Biegefestigkeit aufweisen, daß also die Sortierqualität durch eine geeignete Kombination verschiedener Sortierparameter weiter gesteigert werden kann. Dies ist am Beispiel der einzelnen Teilkollektive in den Bildern 15 bis 18 grafisch dargestellt.

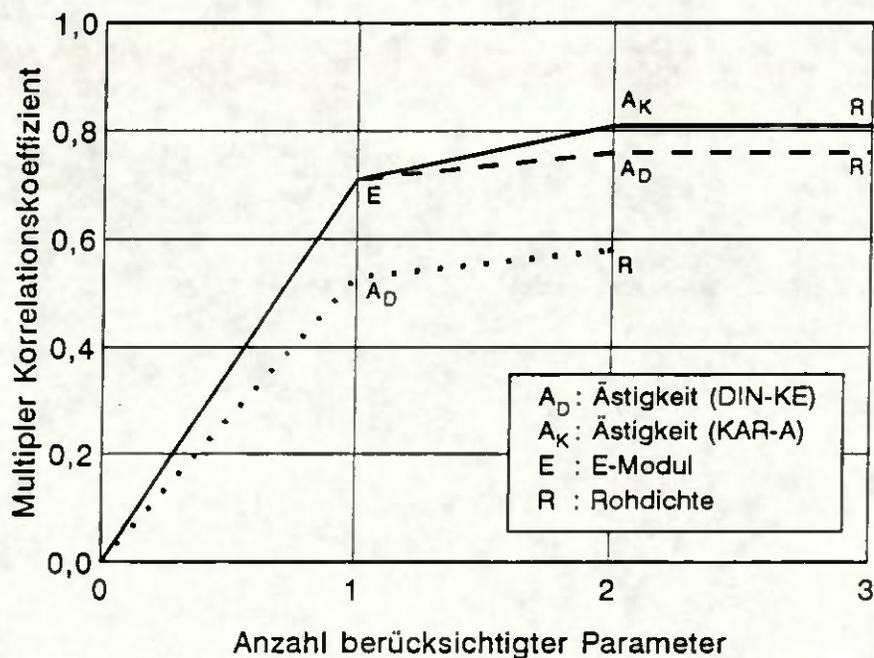


Bild 15: Multipler Korrelationskoeffizient zwischen der Biegefestigkeit und verschiedenen möglichen Sortierparameter-Kombinationen.
Basis: 100 Fi-Kanthölzer aus Glos u. Spengler (1985)

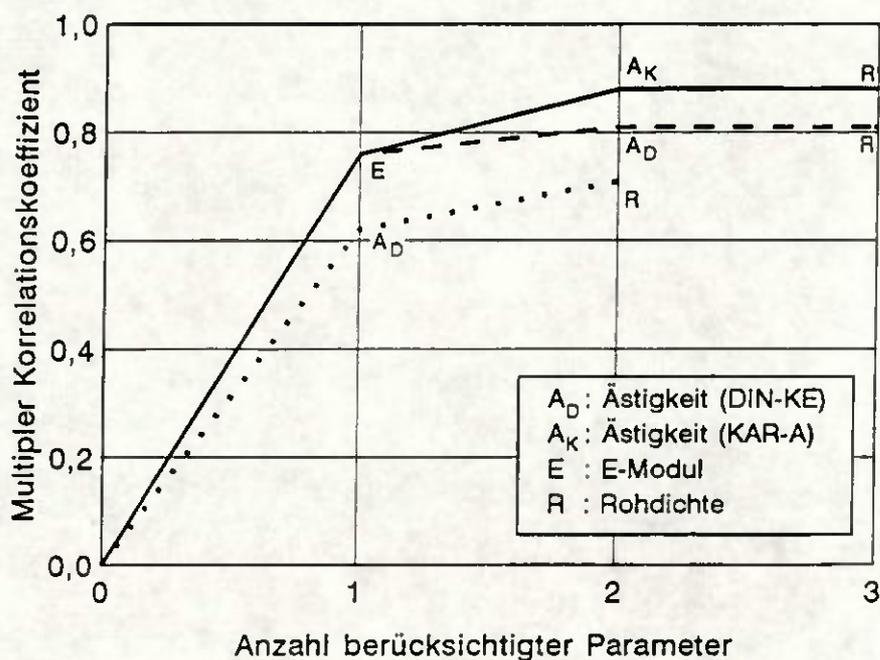


Bild 16: Multipler Korrelationskoeffizient zwischen der Biegefestigkeit und verschiedenen möglichen Sortierparameter-Kombinationen.
Basis: 153 Ki-Kanthölzer aus Glos, Gamm u. Fuchs (1986)

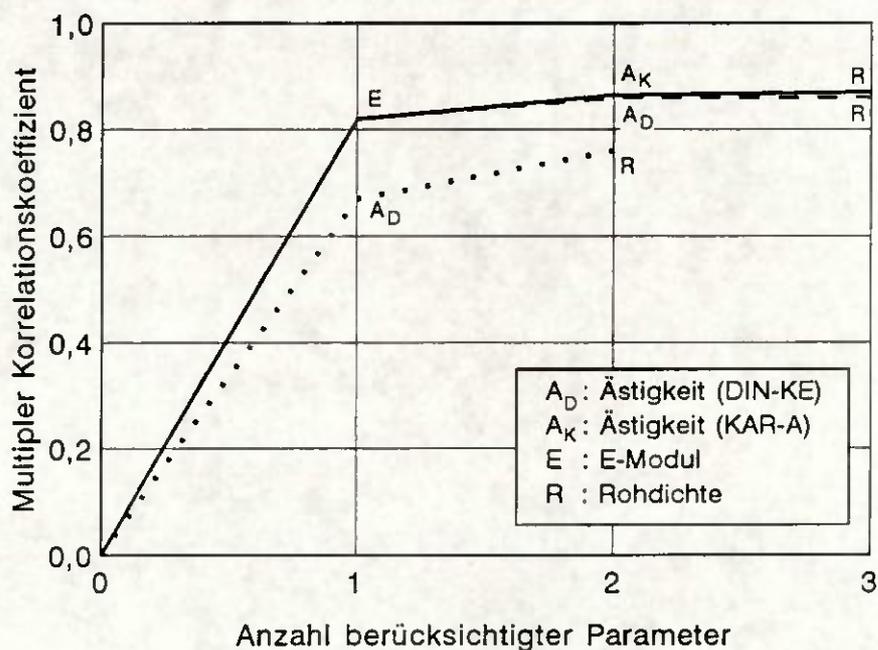


Bild 17: Multipler Korrelationskoeffizient zwischen der Biegefestigkeit und verschiedenen möglichen Sortierparameter-Kombinationen.
Basis: 105 Fi-Kanthölzer aus Glos u. Gamm (1987)

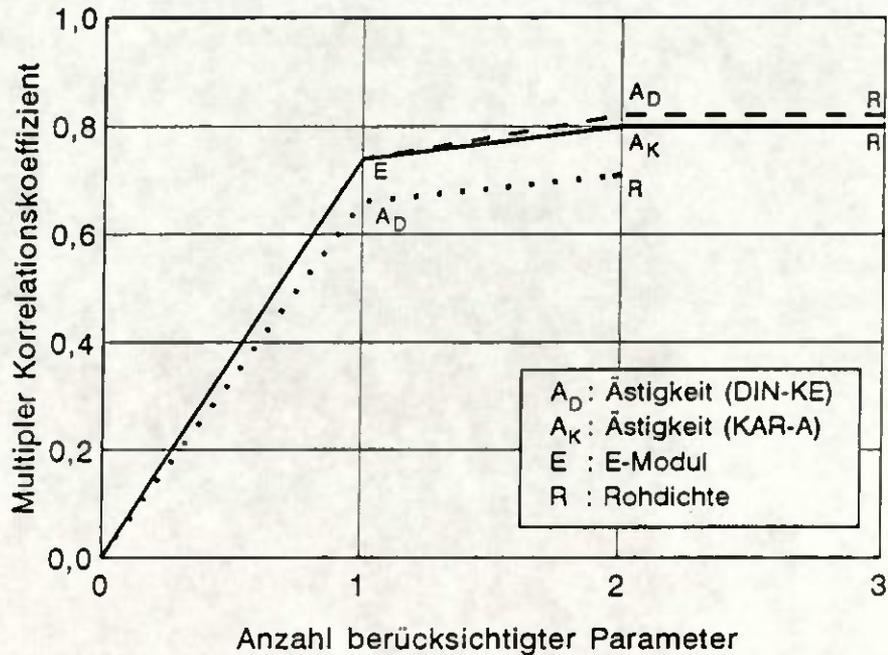


Bild 18: Multipler Korrelationskoeffizient zwischen der Biegefestigkeit und verschiedenen möglichen Sortierparameter-Kombinationen.
Basis: 173 Fi-Kanthölzer aus vorliegender Untersuchung

Es ist zu erkennen, daß eine Sortierung nach der Ästigkeit und der Rohdichte unter Einbeziehung der vorhandenen Wechselwirkungen in allen Fällen einer Sortierung nach der Ästigkeit allein überlegen ist. Allerdings kann auch mit einer Kombination dieser beiden Sortierparameter die Qualität einer Sortierung nach dem Elastizitätsmodul nicht erreicht werden. Dies bestätigt die herausragende Bedeutung des E-Moduls als Sortierparameter. Hinzu kommt, daß bei einer Sortierung nach dem Elastizitätsmodul den höheren Festigkeitsklassen unmittelbar auch höhere E-Modulwerte zugeordnet werden könnten.

Die Qualität einer Sortierung nach dem E-Modul kann weiter gesteigert werden, wenn die Ästigkeit als zweiter Sortierparameter zum E-Modul hinzugenommen wird, unabhängig davon, ob die Ästig-

keit beispielsweise mit optischen Verfahren an der Holzoberfläche (z.B. DIN-KE) oder mit Durchstrahlungsgeräten auf den Holzquerschnitt bezogen (z.B. KAR-A) ermittelt wird.

Dagegen kann die Sortierqualität einer Sortierung nach dem E-Modul durch Hinzunahme des Parameters Rohdichte nicht weiter verbessert werden. Offenbar ist der Einfluß der Rohdichte schon weitgehend durch den E-Modul abgedeckt. Dennoch ist die Rohdichte im Rahmen einer maschinellen Sortierung ein interessanter Sortierparameter, weil die Rohdichte in hohem Maße die Tragfähigkeit der Verbindungsmittel bestimmt. Ein Sortierverfahren unter Einbeziehung der Rohdichte würde daher die Möglichkeit eröffnen, die zulässigen Beanspruchungen für Holzverbindungen am jeweils vorhandenen Sortierklassengrenzwert, statt wie bisher an der unteren Streugrenze der theoretisch möglichen Rohdichteverteilung zu orientieren.

6 Zusammenfassung

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens sollten die für eine Neubearbeitung der Sortiervorschriften im Holzbau benötigten Angaben über den Zusammenhang zwischen der Verteilung der Biegefestigkeit von Kantholz und verschiedenen geeignet erscheinenden Sortierparametern gewonnen und aufbereitet werden.

Dazu wurden aus vorliegenden Untersuchungen die Ergebnisse von Prüfungen an 447 Kanthölzern mit Querschnittsabmessungen von 80/80 mm² bis 140/240 mm² herangezogen und im Sinne der Aufgabenstellung dieses Vorhabens ausgewertet. Zusätzlich wurden an 173 Kanthölzern mit Querschnittsabmessungen von 80/160 mm² bis 120/260 mm² weitere Biegeversuche durchgeführt.

Die Gesamtauswertung erbrachte folgende Ergebnisse:

1. Der Sortierparameter "kleinster Astdurchmesser" führt zu einem deutlich besseren Sortierergebnis als der Parameter

"kantenparalleler Astdurchmesser". Somit sollte für die Kantholzsortierung die Meßgröße "kleinster Astdurchmesser" beibehalten werden.

2. Das Kriterium "Astansammlung" ist in der Regel mit der Biegefestigkeit von Kantholz nicht höher korreliert als das Kriterium "Einzelast". Die Einbeziehung des Kriteriums "Astansammlung" führte unter Beachtung der Klassengrenzwerte von DIN 4074 nur in 4 von 620 untersuchten Fällen zu einer ungünstigeren Klassifizierung eines Kantholzes als das Kriterium "Einzelast" allein. In allen diesen 4 Fällen handelte es sich um Astwerte, die unmittelbar an der jeweiligen Klassengrenze lagen. Die Festigkeit der 4 betroffenen Kanthölzer lag in allen Fällen über dem 3-fachen Wert der jeweiligen zulässigen Biegebeanspruchung nach DIN 1052. Somit kann festgestellt werden, daß das Kriterium "Astansammlung" ohne Einfluß auf das Sortierergebnis ist und daher entfallen kann. Damit könnte ohne Änderung der Sortierqualität eine erhebliche Vereinfachung des visuellen Sortierverfahrens erreicht werden.
3. Eine Sortierung nach der sogenannten ECE-Sortiervorschrift, die gegenwärtig als Grundlage für eine ISO-Norm beraten wird, aber wegen ihrer Kompliziertheit umstritten ist, führt bei der Kantholzsortierung im Vergleich zu einer Sortierung nach DIN 4074 in den wirtschaftlich bedeutenden Sortierklassen S10/S8 bzw. I/II zu einer etwa 25% höheren Ausbeute, aber in der Regel auch zu einer geringeren Biegefestigkeit und zu einem geringeren Elastizitätsmodul, insgesamt also zu keiner erkennbaren Verbesserung der visuellen Sortierung. Eine Aufnahme der ECE-Sortiervorschrift in DIN 4074 kann daher nicht empfohlen werden.
4. Eine Zunahme der Rohdichte oder des Elastizitätsmoduls, wie dies bei einer maschinell unterstützten Holzsortierung möglich ist, führt auch bei der Kantholzsortierung zu einer deutlichen Verbesserung des Sortierergebnisses. Daher ist

die Einführung der maschinellen Holzsortierung als Option zur visuellen Sortierung nachdrücklich zu empfehlen. Das weitaus beste Sortierergebnis liefert eine Kombination der Sortierparameter E-Modul und Ästigkeit.

7 Literaturverzeichnis

- Gaber, E. (1936): Der Einfluß von Fehlern auf die Holzfestigkeit nach Versuch und Rechnung
Bautechnik 14(1936),64-68.
- Glos, P., Spengler, R. (1985): Festigkeitseigenschaften von Bauschnittholz aus gesunden und unterschiedlich stark erkrankten Fichten.
In: Ermittlung der Holzqualität immissionsgeschädigter Fichten. Hrsg.: CMA, Bonn 1985,50-61.
- Glos, P., Gamm, A., Fuchs, H. (1986): Untersuchung von Kiefern schnittholz in Gebrauchsabmessungen.
In: Ermittlung der Holzqualität von Kiefern aus immissionsgeschädigten Beständen. Hrsg.: CMA, Bonn 1986, 96-126.
- Glos, P., Gamm, A. (1987): Untersuchung der Festigkeit von Fichten-Bauholz nach Schädlingsbefall infolge von Waldschäden.
Forschungsbericht Nr. 85 502, Universität München 1987.
- Graf, O. (1937): Wie soll die Güte der Bauhölzer beurteilt werden?
In: Mitteilungen des Fachausschusses für Holzfragen beim VdI, H.17,1937,39-49.
- Graf, O. (1938): Tragfähigkeit der Bauhölzer und der Holzverbindungen.
Mitteilungen des Fachausschusses für Holzfragen, H.20, Berlin 1938.
- Graf, O. (1941): Aus Versuchen mit Bauholz und hölzernen Bauteilen.
Holz als Roh- und Werkstoff 4(1941),347-360.
- Hashagen, U. (1978): Praktischer Normenvergleich bei der Gütesortierung von Nadelvollholz.
Diplomarbeit Fachhochschule Rosenheim, Fachbereich Holztechnik.