

ARBEITSBERICHT

Sammlung technologischer Untersuchungen an Holz und Holzwerkstoffen

von
Eckart Schwab



**Bundesforschungsanstalt
für Forst- und Holzwirtschaft**

und Zentrum Holzwirtschaft der
UNIVERSITÄT HAMBURG

**Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft
Leuschnerstraße 91, 21031 Hamburg**

**Sammlung
technologischer Untersuchungen
an Holz und Holzwerkstoffen**

**von
Eckart Schwab**

**Arbeitsbericht 2003/02 aus dem
Institut für Holzphysik und mechanische Technologie des Holzes**

Hamburg, Dezember 2003

Sammlung technologischer Untersuchungen an Holz und Holzwerkstoffen

	Seite
Vorwort	2
Untersuchungen an Holz	
Ungewöhnliche Eigenschaftsunterschiede innerhalb des Stammholzes einiger Taxodiaceen	3
Jahrringbreite, Rohdichte und Druckfestigkeit von Nadelholz aus Misch- beständen mit <i>Abies grandis</i> (Lindley)	21
Physikalische und mechanische Eigenschaften der Holzart Tola (<i>Gossweilerodendron balsamiferum</i> (Verm.) Harms)	31
Brinell-Härte von Plantagen-Teak aus Ghana	43
Holzeigenschaften einer Libanonzeder aus dem Kurpark Badenweiler	46
Prüfung des Quell- und Schwindverhaltens von Holz	53
Untersuchungen an Holzwerkstoffen	
Eigenschaften von Bau-Furniersperrholz aus Buche und Birke bei Biegung und Scherung	62
Mechanische Eigenschaften von Copaiba-Furniersperrholz	68
Vergleichende Prüfung einiger mechanischer Eigenschaften an mittel- großen und kleinen Prüfkörpern aus OSB/3-Platten	80
Einfluß der Preßhaut auf die Feuchteänderung von OSB-Platten	89
Kennwerte des Querdruckverhaltens von Spanplatten	98
<hr/>	
Verzeichnis der im Arbeitsbericht aufgeführten Normen	112

"... als Technologe war es für mich immer eine große Befriedigung, in einem Metier zu arbeiten, in dem man sich nicht mit vagen Hypothesen und fragwürdigen Theorien auseinandersetzen muß"

Prof. Dr. D. Noack¹⁾

Vorwort

Grundlage der Holztechnologie sind experimentell bestimmte Zahlenwerte. Sie dienen unterschiedlichen Zwecken, z.B. zur Beschreibung der Eigenschaften einer Holzart, zur Verbesserung von Prüfmethoden, zum Nachweis von Zusammenhängen, zur Prüfung der Konformität eines Produktes mit den Anforderungen oder zur Optimierung von Herstellungs- und Vergütungsverfahren. Nicht alle Meßergebnisse fließen unmittelbar in Gutachten, Berichte oder Veröffentlichungen ein, weil manche Daten später ergänzt, in anderem Zusammenhang genutzt oder durch zusätzliches Probenmaterial erweitert werden sollen.

Am Ende meiner Berufstätigkeit im Institut für Holzphysik und mechanische Technologie des Holzes der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Hamburg, habe ich für diesen Arbeitsbericht bisher nicht veröffentlichte Meß- und Prüfwerte aufbereitet, damit diese Ergebnisse allen Interessenten zur Verfügung stehen. Der Arbeitsbericht enthält elf eigenständige Beiträge.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Professor Dr. A. Frühwald, dem Leiter des Instituts, der die Erstellung dieses Arbeitsberichtes trotz des Zeitbedarfs uneingeschränkt befürwortet und gefördert hat. Für die Durchführung der experimentellen Arbeiten danke ich Frau D. Bielenberg, Herrn H.A. Krause, Frau E. Kupstor und Herrn W. Zerhau. Die Zeichnungen und Fotos verdanke ich Frau A. Behrens und Frau C. Waitkus. Die Schreibaarbeiten erledigte Frau S. Rocke wiederum in vorbildlicher Weise.

Zudem danke ich allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der BFH und des Zentrums Holzwirtschaft der Universität Hamburg für vielfache Unterstützung und langjährige gute Zusammenarbeit.

Eckart Schwab

¹⁾ anlässlich seiner feierlichen Verabschiedung am 22. November 1996
(Mitteilung Nr. 189 der BFH)

Ungewöhnliche Eigenschaftsunterschiede innerhalb des Stammholzes einiger Taxodiaceen

1. Fragestellung

Bei der Bestimmung der Holzeigenschaften von *Taxodium distichum* Rich. aus dem Nordosten Argentiniens ergaben sich ungewöhnlich große Eigenschaftsunterschiede über die Stammhöhe (Frühwald et al. 2000). Auffällig war die Nachgiebigkeit des Holzes im unteren Stammbereich, meßbar durch die Elastizitätsmoduln. Bild 1 vermittelt hiervon einen Eindruck: Nach Erreichen der Maximallast zeigen die Druckprobe (links) und der verformte Bereich der Biegeprobe (rechts) Faltungen und Quetschungen ohne Stauch- oder Zugbrüche. Für die damalige Untersuchung standen aus 12 Bäumen je 3,4 m lange Stammabschnitte zur Verfügung. Über diese Abschnittslänge stieg beispielsweise der Biege-Elastizitätsmodul bei gleichbleibender Rohdichte von unten nach oben um durchschnittlich 40 % an. Derartige, von der Rohdichte unabhängige Unterschiede der mechanischen Eigenschaften sind bei mitteleuropäischen Holzarten nicht bekannt. Aber auch Veröffentlichungen über die Eigenschaften von Taxodium-Holz berichten nicht über einen derartigen Einfluß der Stammhöhe (Kennedy 1972, Alden 1997). Deshalb stellt sich die Frage, ob bei anderen Baumarten aus der Familie der Taxodiaceen ebenfalls ungewöhnliche Eigenschaftsunterschiede innerhalb des Stammes auftreten.

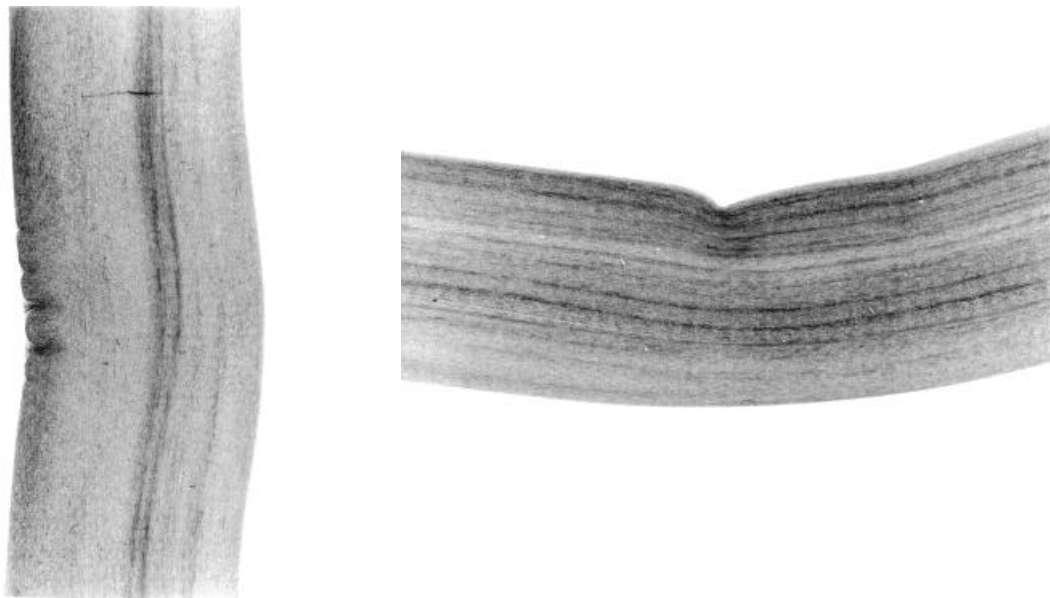


Bild 1: Druckprobe (links, $E_c = 1910 \text{ N/mm}^2$) und der verformte Bereich einer Biegeprobe (rechts) von *Taxodium distichum* nach Erreichen der Maximallast.

2. Material und Methode

Als Untersuchungsmaterial standen 11 Stammabschnitte¹⁾ von je 1 m Länge aus 4 Bäumen zur Verfügung (Tabelle 1). Die Bäume 1 bis 3 stammten von einem relativ trockenen, steinreichen Standort auf einem flachgründigen, geröllüberlagerten Bergrücken. Dort wurden 1969 insgesamt 23 Baumarten als "Fremdländerzaun" angebaut. Alle drei Bäume fielen durch Sturm "Lothar" am 26.12.1999. Dagegen kam Baum 4 aus einem reichlich wasserführenden, stellenweise anmoorigen Seitental, in dem 1971 eine feucht-nasse Wiese mit *Metasequoia* aufgeforstet worden war. Über diesen Bestand berichtet Haupthoff (2001), der auch die Zusammenarbeit zwischen dem Forstrevier Eberstein und der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft vermittelt hat.

Aus der Mitte jedes Abschnittes wurden Querschnittsscheiben zur Bestimmung der Jahrringbreiten sowie für biologische Untersuchungen entnommen. Das weitere Material wurde in 30 mm dicke Bretter aufgetrennt und getrocknet. Nach Lagerung im Normalklima 20 °C/65 % rel. Luftfeuchte wurden aus den Brettern kleine fehlerfreie Prüfkörper mit 20 mm x 20 mm

Tabelle 1: Stammabschnitte à 1 m Länge aus dem Forstrevier Eberstein, Gemarkung Gernsbach (Baden-Württemberg)

Baum	Art	Durchmesser	Höhe im Stamm
1	<i>Metasequoia glyptostroboides</i> Hu et Cheng.	16 cm 13 cm (10 cm) ¹⁾	Stammfuß 6 m (12 m) ¹⁾
2	<i>Sequoiadendron giganteum</i> (Lindl.) Buchholz	23 cm 16 cm	2 m 8 m
3	<i>Sequoia sempervirens</i> (D. Don) Endl.	27 cm 21 cm 14 cm	Stammfuß 6 m 11 m
4	<i>Metasequoia glyptostroboides</i> Hu et Cheng.	25 cm 20 cm 15 cm	1 m 7 m 12 m
¹⁾ Die Eigenschaften dieses dünnsten Abschnittes konnten nur an N = 3 Prüfkörpern bestimmt werden. Deshalb wird auf ihre Angabe verzichtet.			

¹⁾ Das Untersuchungsmaterial wurde freundlicherweise von der Güterverwaltung Gerhard Raupach, Forstrevier Eberstein, Gemarkung Gernsbach, zur Verfügung gestellt.

Querschnitt ausgeformt zur Bestimmung:

- des Biege-Elastizitätsmoduls und der Biegefestigkeit nach DIN 52 186
- des Druck-Elastizitätsmoduls und der Druckfestigkeit nach DIN 52 185
- der Bruchschlagarbeit nach DIN 52 189-1.

An allen Prüfkörpern wurde vor der mechanischen Prüfung die Rohdichte nach DIN 52 182, im Anschluß an die mechanische Prüfung der Feuchtegehalt nach DIN 52 183 bestimmt.

3. Ergebnisse

Die Tabellen 2 und 3 enthalten für 2 Abschnitte der Bäume 1 und 2 bzw. für 3 Abschnitte der Bäume 3 und 4 den Minimal...**Mittel**...Maximalwert der untersuchten Eigenschaft sowie die Prüfkörperanzahl N. Der Variationskoeffizient V dient als Maß für die Streuung der Einzelwerte um den jeweiligen Mittelwert. Alle 549 Prüfkörper besaßen zum Zeitpunkt der Prüfung Holzfeuchtegehalte zwischen 9,4 % und 12,6 %; der Gesamtmittelwert betrug 10,8 %. Aufgrund der Durchmesserabnahme mit zunehmender Baumhöhe vermindert sich die Zahl der Prüfkörper der Abschnitte von unten nach oben. Zudem ist der Anteil des juvenilen Holzes in den oberen Stammabschnitten zwangsläufig höher als in den unteren. Trotz dieser Einschränkungen ermöglichen die Tabellen 2 und 3 folgende vergleichende Beobachtungen:

- Bei Sequoiadendron (Tabelle 2) und Sequoia (Tabelle 3) nimmt die Rohdichte von unten nach oben ab, während Metasequoia weder bei Baum 1 (Tabelle 2) noch bei Baum 4 (Tabelle 3) signifikante Rohdichteänderungen über die Baumhöhe zeigt.
- Im unteren Stammabschnitt treten bei Sequoiadendron und Sequoia trotz der erhöhten Rohdichte verminderte Elastizitätsmoduln auf. Zudem sind bei beiden Bäumen die Streuungen der Einzelwerte um den mittleren Elastizitätsmodul im unteren Stammabschnitt höher als im oberen Abschnitt (Tabelle 2) bzw. im mittleren Abschnitt (Tabelle 3).
- Bei Metasequoia wird für Baum 1 (Tabelle 2) ein Trend zu vermindertem Elastizitätsmodul im unteren Stammabschnitt erkennbar, für Baum 4 (Tabelle 3) aber nicht.

Die nähere Betrachtung der Ergebnisse erfolgt für die drei Baumarten getrennt.

3.1 Sequoiadendron

Tabelle 2 zeigt, daß die Festigkeiten - analog zur Rohdichte - im unteren Stammabschnitt etwas höher liegen als im oberen. Dies bestätigt den üblichen Einfluß der Rohdichte auf die mechanischen Eigenschaften des Holzes. Dieser Einfluß wird bei den Elastizitätsmoduln offensichtlich von anderen Parametern völlig überlagert, denn in 2 m Stammhöhe (unterer Stammabschnitt) sind die Elastizitätsmoduln etwa 10 % (Biegung) bzw. 20 % (Druck) niedriger als in 8 m Höhe (oberer Stammabschnitt). Zudem streuen die Elastizitätsmoduln im unteren Stammabschnitt wesentlich stärker als im oberen. Deshalb wurden die Eigenschaften der Außenzone und der Innenzone des unteren Stammabschnittes in Tabelle 4 getrennt dargestellt. Dabei sind die Prüfkörper, die nach dem Besäumen der Einzelbretter jeweils dem

Tabelle 2: Rohdichte ρ_N , Biege-Elastizitätsmodul E_m , Druck-Elastizitätsmodul E_c , Biegefestigkeit f_m , Druckfestigkeit f_c und Bruchschlagarbeit a des unteren und oberen Stammabschnittes der Bäume 1 und 2.

Baumart	Eigen-schaft	Unterer Abschnitt	Oberer Abschnitt	Einheit
<i>Metasequoia glyptostroboides</i> (Baum 1)	ρ_N	0,29... 0,32 ...0,37 N = 42 V = 6,4 %	0,27... 0,30 ...0,35 N = 18 V = 8,0 %	g/cm ³
	E_m	3620... 5730 ...7020 N = 19 V = 17,3 %	5530... 6300 ...6730 N = 7 V = 7,4 %	N/mm ²
	E_c	3270... 5870 ...8440 N = 15 V = 28,1 %	4950... 5920 ...7380 N = 6 V = 16,7 %	N/mm ²
	f_m	42... 49 ...59 N = 19 V = 10,4 %	46... 48 ...54 N = 7 V = 5,4 %	N/mm ²
	f_c	22... 27 ...33 N = 15 V = 11,2 %	25... 27 ...30 N = 6 V = 6,4 %	N/mm ²
	a	13... 20 ...25 N = 8 V = 18,3 %	15... 19 ...24 N = 5 V = 18,7 %	kJ/m ²
<i>Sequoiadendron giganteum</i> (Baum 2)	ρ_N	0,35... 0,40 ...0,50 N = 74 V = 8,7 %	0,29... 0,35 ...0,44 N = 35 V = 8,8 %	g/cm ³
	E_m	2800... 5220 ...7630 N = 24 V = 29,4 %	4820... 5830 ...6550 N = 12 V = 9,8 %	N/mm ²
	E_c	2400... 4810 ...7790 N = 25 V = 35,9 %	4190... 5930 ...6820 N = 11 V = 13,5 %	N/mm ²
	f_m	40... 57 ...72 N = 24 V = 14,6 %	36... 49 ...62 N = 12 V = 15,2 %	N/mm ²
	f_c	27... 32 ...38 N = 25 V = 10,4 %	27... 30 ...33 N = 11 V = 6,5 %	N/mm ²
	a	22... 34 ...72 N = 25 V = 30,3 %	10... 18 ...24 N = 12 V = 21,8 %	kJ/m ²

Tabelle 3: Rohdichte ρ_N , Biege-Elastizitätsmodul E_m , Druck-Elastizitätsmodul E_c , Biegefestigkeit f_m , Druckfestigkeit f_c und Bruchschlagarbeit a des unteren, mittleren und oberen Stammabschnittes der Bäume 3 und 4.

Baumart	Eigen-schaft	Unterer Abschnitt	Mittlerer Abschnitt	Oberer Abschnitt	Einheit
<i>Sequoia sempervirens</i> (Baum 3)	ρ_N	0,34... 0,40 ...0,47 N = 95 V = 6,3 %	0,29... 0,34 ...0,41 N = 63 V = 8,8 %	0,30... 0,35 ...0,43 N = 28 V = 8,2 %	g/cm ³
	E_m	2850... 4370 ...6550 N = 35 V = 24,3 %	3560... 6090 ...8020 N = 24 V = 19,5 %	4300... 5470 ...6750 N = 11 V = 16,4 %	N/mm ²
	E_c	2330... 4270 ...6780 N = 34 V = 22,8 %	4210... 6240 ...8350 N = 23 V = 19,7 %	2810... 5040 ...6790 N = 11 V = 26,7 %	N/mm ²
	f_m	37... 57 ...73 N = 35 V = 15,7 %	38... 54 ...67 N = 24 V = 14,2 %	34... 49 ...61 N = 11 V = 16,3 %	N/mm ²
	f_c	29... 33 ...39 N = 34 V = 6,3 %	28... 33 ...39 N = 23 V = 10,1 %	24... 30 ...35 N = 11 V = 11,2 %	N/mm ²
	a	9... 19 ...33 N = 26 V = 34,7 %	10... 17 ...24 N = 16 V = 22,3 %	7... 13 ...20 N = 6 V = 34,8 %	kJ/m ²
<i>Metasequoia glyptostroboides</i> (Baum 4)	ρ_N	0,25... 0,29 ...0,36 N = 92 V = 7,6 %	0,25... 0,29 ...0,38 N = 67 V = 8,3 %	0,26... 0,31 ...0,39 N = 35 V = 10,5 %	g/cm ³
	E_m	4770... 5920 ...7110 N = 31 V = 10,7 %	5320... 5930 ...6800 N = 23 V = 6,7 %	4730... 5630 ...6320 N = 12 V = 9,7 %	N/mm ²
	E_c	5190... 6540 ...9230 N = 30 V = 14,4 %	4430... 6960 ...10520 N = 23 V = 19,5 %	5600... 6400 ...8190 N = 11 V = 12,2 %	N/mm ²
	f_m	36... 46 ...57 N = 31 V = 11,3 %	38... 46 ...55 N = 23 V = 9,6 %	42... 45 ...50 N = 12 V = 5,7 %	N/mm ²
	f_c	22... 27 ...31 N = 30 V = 8,8 %	22... 27 ...32 N = 23 V = 8,9 %	27... 29 ...31 N = 11 V = 4,7 %	N/mm ²
	a	5... 17 ...23 N = 31 V = 22,7 %	8... 16 ...26 N = 21 V = 23,4 %	6... 15 ...23 N = 12 V = 29,9 %	kJ/m ²

Kambium am nächsten lagen, der Außenzone zugeordnet. Unter Berücksichtigung der Schnittverluste handelt es sich um den äußeren, etwa 3 cm dicken Stammmantel, der zugleich dem Splint entspricht. Dagegen enthält die Innenzone sowohl reine Kernproben als auch Kernproben mit Splintanteilen. Aus Tabelle 4 geht hervor, daß de in Tabelle 2 für Baum 2 festgestellte Verminderung der Elastizitätsmoduln des unteren Abschnittes allein auf den Innenbereich zurückzuführen ist. In diesem Stammabschnitt besitzt die Außenzone durchschnittlich 70 % höhere Elastizitätsmoduln als die Innenzone.

3.2 Sequoia

Tabelle 3 zeigt für Sequoia prinzipiell dieselbe Eigenschaftsverteilung wie bei Sequoiadendron: Während die Rohdichte vom Stammfuß (unterer Abschnitt) bis 6 m Stammhöhe (mittlerer Abschnitt) um etwa 15 % abnimmt, steigen die Elastizitätsmoduln um etwa 40 % an. Dagegen ist bei den Festigkeiten eine geringfügige Abnahme feststellbar. Tabelle 4 enthält die Eigenschaften der Außenzone und der Innenzone des unteren Stammabschnittes. Dabei ergeben sich für die Außenzone durchschnittlich 40 % höhere Elastizitätsmoduln als für die Innenzone, obwohl auch hier die Rohdichte des Stammmantels etwas niedriger liegt als die der Innenzone. Die Auswertung ergab, daß selbst in 6 m Stammhöhe die Elastizitätsmoduln der Außenzone mit 6.900 N/mm^2 noch 17 % höher liegen als die der Innenzone mit 5.900 N/mm^2 . Dagegen tritt in dieser Stammhöhe bei den Festigkeiten und der Bruchschlagarbeit kein signifikanter Unterschied zwischen außen und innen auf.

3.3 Metasequoia

Wie in Abschnitt 2 beschrieben, stammen die beiden Metasequoien von einem relativ trockenen (Baum 1) bzw. einem reichlich wasserführenden Standort (Baum 4). Trotz nahezu gleichen Baumalters war die Zuwachsleistung (siehe Tabelle 1) sehr unterschiedlich. Auch bei den Holzeigenschaften zeigen sich Unterschiede. Während Baum 4 über die Stammhöhe nahezu gleiche mechanische Eigenschaften aufweist (Tabelle 3), tritt bei Baum 1 ein ähnlicher Trend auf wie bei Sequoiadendron und Sequoia, wenn auch mit geringerer Ausprägung (Tabelle 2). Baum 1 zeigt am Stammfuß trotz leicht erhöhter Rohdichte niedrigere mittlere Elastizitätsmoduln als in größerer Höhe, wobei die Einzelwerte am Stammfuß wesentlich stärker streuen als in 6 m Höhe.

Auch bei dieser Holzart sind die Eigenschaften der Außenzone und Innenzone des unteren Stammbereiches für Baum 1 und Baum 4 in Tabelle 5 getrennt dargestellt. Dabei zeigt sich für Baum 1 dieselbe Tendenz höherer Elastizitätsmoduln in der Außenzone gegenüber der Innenzone wie bei Sequoiadendron und Sequoia. Dies gilt aber nicht für Baum 4, dessen Festigkeiten und Elastizitätsmoduln in der Außenzone etwas niedriger liegen als in der Innenzone. Für diesen Baum entspricht der Unterschied zwischen innen und außen bei den mechanischen Eigenschaften etwa dem analogen Rohdichteunterschied.

Tabelle 4: Rohdichte und mechanische Eigenschaften der Außenzone und Innenzone des unteren Stammabschnittes von Sequoiadendron (Baum 2) und Sequoia (Baum 3).
Erläuterung der Kurzzeichen in den Überschriften der Tabellen 2 und 3.

Baumart	Eigen- schaft	Außenzone	Innenzone	Einheit
<i>Sequoiadendron giganteum</i> (Baum 2)	ρ_N	0,36... 0,38 ...0,41 N = 36 V = 3,9 %	0,35... 0,42 ...0,50 N = 38 V = 9,7 %	g/cm ³
	E_m	5580... 6500 ...7630 N = 12 V = 9,8 %	2800... 3940 ...6050 N = 12 V = 24,7 %	N/mm ²
	E_c	3790... 6210 ...7790 N = 12 V = 20,1 %	2400... 3520 ...4910 N = 13 V = 24,9 %	N/mm ²
	f_m	42... 61 ...72 N = 12 V = 13,4 %	40... 52 ...58 N = 12 V = 11,3 %	N/mm ²
	f_c	29... 35 ...38 N = 12 V = 6,8 %	27... 30 ...34 N = 13 V = 7,9 %	N/mm ²
	a	22... 31 ...37 N = 12 V = 16,9 %	24... 36 ...72 N = 13 V = 36,3 %	kJ/m ²
<i>Sequoia sempervirens</i> (Baum 3)	ρ_N	0,35... 0,39 ...0,44 N = 35 V = 4,4 %	0,34... 0,41 ...0,47 N = 60 V = 6,5 %	g/cm ³
	E_m	3780... 5430 ...6550 N = 12 V = 16,0 %	2850... 3820 ...5030 N = 23 V = 17,4 %	N/mm ²
	E_c	3920... 5200 ...6780 N = 12 V = 13,7 %	2330... 3770 ...5140 N = 22 V = 18,0 %	N/mm ²
	f_m	49... 60 ...73 N = 12 V = 11,9 %	37... 55 ...72 N = 23 V = 17,2 %	N/mm ²
	f_c	29... 33 ...39 N = 12 V = 7,3 %	30... 33 ...37 N = 22 V = 5,9 %	N/mm ²
	a	10... 22 ...33 N = 11 V = 29,6 %	9... 17 ...27 N = 15 V = 35,6 %	kJ/m ²

Tabelle 5: Rohdichte und mechanische Eigenschaften der Außenzone und Innenzone des unteren Stammabschnittes von *Metasequoia* (Bäume 1 und 4). Erläuterung der Kurzzeichen in den Überschriften der Tabellen 2 und 3.

<i>Metasequoia glyptostroboides</i>	Eigen-schaft	Außenzone	Innenzone	Einheit
Baum 1	ρ_N	0,29... 0,31 ...0,35 N = 27 V = 5,0 %	0,30... 0,33 ...0,37 N = 15 V = 6,8 %	g/cm ³
	E_m	5520... 6340 ...7020 N = 12 V = 8,3 %	3620... 4690 ...5680 N = 7 V = 14,2 %	N/mm ²
	E_c	3340... 5940 ...8440 N = 10 V = 27,6 %	3270... 5710 ...7730 N = 5 V = 32,2 %	N/mm ²
	f_m	42... 50 ...59 N = 12 V = 10,4 %	42... 47 ...56 N = 7 V = 9,4 %	N/mm ²
	f_c	22... 27 ...33 N = 10 V = 13,4 %	26... 27 ...30 N = 5 V = 5,4 %	N/mm ²
	a	13... 19 ...25 kJ/m ² N = 5 V = 22,3 %	18... 21 ...23 N = 3 V = 13,3 %	kJ/m ²
Baum 4	ρ_N	0,25... 0,28 ...0,32 N = 36 V = 6,5 %	0,26... 0,30 ...0,36 N = 56 V = 7,0 %	g/cm ³
	E_m	4770... 5670 ...6870 N = 12 V = 11,3 %	5090... 6070 ...7110 N = 19 V = 9,7 %	N/mm ²
	E_c	5370... 6300 ...7440 N = 12 V = 10,0 %	5190... 6700 ...9230 N = 18 V = 16,3 %	N/mm ²
	f_m	36... 43 ...52 N = 12 V = 11,0 %	39... 48 ...57 N = 19 V = 8,9 %	N/mm ²
	f_c	22... 25 ...28 N = 12 V = 7,3 %	23... 28 ...31 N = 18 V = 6,4 %	N/mm ²
	a	5... 16 ...20 N = 12 V = 25,1 %	10... 17 ...23 N = 19 V = 20,9 %	kJ/m ²

4. Diskussion

Eigenschaftsunterschiede des Holzes innerhalb eines Stammes sind keine Besonderheit. So nehmen z.B. bei *Pinus sylvestris* die Rohdichte und die mechanischen Eigenschaften des Holzes mit zunehmender Baumhöhe ab (Frühwald et al. 1986). Dies gilt auch für andere Kiefernarten (Zobel, van Buijtenen 1989). Ungewöhnlich ist aber, wenn die Rohdichteabnahme von unten nach oben mit einer Zunahme des Elastizitätsmoduls verbunden ist. Der Elastizitätsmodul ist ein Maß für die Steifigkeit des Holzes. Deshalb beeinflusst seine Verteilung im Stamm wesentlich die Verformung des Stammes bei Biegebeanspruchung des stehenden Baumes, z.B. infolge Sturm.

Für die vier untersuchten Bäume aus der Familie der Taxodiaceen gibt Tabelle 6 die Mittelwerte der Rohdichte und des Biege-Elastizitätsmoduls für den unteren und nächsthöheren Stammabschnitt sowie deren Relationen für beide Eigenschaften an. Während die Relationen unten zu oben für die Rohdichte zwischen 1,00 und 1,18 liegen, erreichen sie für den Elastizitätsmodul 0,72 bis 1,00. Die Tendenz zu höherer Rohdichte und geringerem Elastizitätsmodul wird bei drei der vier untersuchten Bäume deutlich. Eine Ausnahme bildet Baum 4. Ob der Unterschied zwischen den Bäumen 1 und 4 der *Metasequoia* ursächlich mit den unterschiedlichen Standortbedingungen und der damit verbundenen unterschiedlichen Wüchsigkeit zusammenhängt, läßt sich aus der Untersuchung von nur zwei Bäumen dieser Art nicht nachweisen.

Der niedrige mittlere Elastizitätsmodul des unteren Stammbereiches der Bäume 1 bis 3 beruht ausschließlich auf verminderten Elastizitätsmoduln der Innenzone, denn der etwa 3 cm dicke äußere Stammantel, der hier als Außenzone bezeichnet wird, verfügt über hohe Elastizitätsmoduln. Dies verdeutlicht Tabelle 7 anhand der Mittelwerte der Rohdichte und des Biege-Elastizitätsmoduls für die Außen- und Innenzone des unteren Stammbereiches sowie deren Relationen für beide Eigenschaften. Während die Relationen außen zu innen für die Rohdichte zwischen 0,90 und 0,95 liegen, erreichen sie bei den Bäumen 1 bis 3 für den Elastizitätsmodul 1,28 bis 1,65. Die Tendenz zu höherem Elastizitätsmodul außen tritt bei denselben Bäumen auf, deren mittlerer Elastizitätsmodul im unteren Stammbereich erniedrigt war. Dies läßt sich nicht mit dem juvenilen Holz im Innenbereich erklären, denn der juvenile Anteil im Stammquerschnitt steigt mit der Stammhöhe an. Aber gerade in den höheren Stammabschnitten liegen die mittleren Elastizitätsmoduln höher als in den unteren Abschnitten. Zudem streuen die Einzelwerte oben meist weniger als unten.

Für die Suche nach strukturellen Ursachen der größeren Steifigkeitsunterschiede wurden - wie in Abschnitt 2 berichtet - dem Institut für Holzbiologie und Holzschutz der BFH die Querschnittscheiben aus den 11 Stammabschnitten zur Verfügung gestellt (Lehneke 2001). Im Rahmen dieser Untersuchung beurteilte Lehneke auch die Bruchflächen von Druck- und Biegeproben elektronenmikroskopisch. Er beschreibt verschiedene Bruchmuster der

Tabelle 6: Mittelwerte der Rohdichte und des Biege-Elastizitätsmoduls für den unteren und nächsthöheren Stammbereich der 4 untersuchten Bäume sowie die zugehörigen Relationen unten zu oben

	Höhe	ρ	E
<i>Sequoiadendron giganteum</i>	2 m	0,40 g/cm ³	5220 N/mm ²
	8 m	0,35 g/cm ³	5830 N/mm ²
	Relation	$\rho_{2m}/\rho_{8m} = 1,14$	$E_{2m}/E_{8m} = 0,90$
<i>Sequoia sempervirens</i>	Stammfuß	0,40 g/cm ³	4370 N/mm ²
	6 m	0,34 g/cm ³	6090 N/mm ²
	Relation	$\rho_{St.}/\rho_{6m} = 1,18$	$E_{St.}/E_{6m} = 0,72$
<i>Metasequoia glyptostroboides</i> (Baum 1)	Stammfuß	0,32 g/cm ³	5730 N/mm ²
	6 m	0,30 g/cm ³	6300 N/mm ²
	Relation	$\rho_{St.}/\rho_{6m} = 1,07$	$E_{St.}/E_{6m} = 0,91$
<i>Metasequoia glyptostroboides</i> (Baum 4)	1 m	0,29 g/cm ³	5920 N/mm ²
	7 m	0,29 g/cm ³	5930 N/mm ²
	Relation	$\rho_{1m}/\rho_{7m} = 1,00$	$E_{1m}/E_{7m} = 1,00$

Tracheiden. Jedoch ergab sich kein Zusammenhang zwischen Bruchmuster und Ergebnis der mechanischen Prüfung. Durch umfangreiche Messungen der Tracheidenlänge konnte Lehneke bei allen Stammabschnitten in den Außenzonen längere Tracheiden nachweisen als in den Innenzonen. Dies läßt einen positiven Zusammenhang zwischen Elastizitätsmodul und Tracheidenlänge vermuten. Allerdings kann die Tracheidenlänge nicht die dominierende Einflußgröße sein, weil auch Baum 4 außen deutlich längere Tracheiden besitzt als innen, obwohl er außen keine höhere Steifigkeit aufweist als innen (Tabelle 7). Aus methodischen Gründen konnte Lehneke (2001) den Mikrofibrillenwinkel nicht messen.

Bei anderen schnellwüchsigen Nadelhölzern wurde der Mikrofibrillenwinkel in der S 2 als wesentlicher Parameter für die Steifigkeit des Holzes in Faserrichtung erkannt, z.B. bei Radiata Pine (Cave 1969; Cave, Walker 1994), Loblolly Pine (Bendtsen, Senft 1986), Sitka

Tabelle 7: Mittelwerte der Rohdichte und des Biege-Elastizitätsmoduls der Außenzone und Innenzone des unteren Stammbereiches der 4 untersuchten Bäume sowie die zugehörigen Relationen außen zu innen

	Zone	ρ	E
<i>Sequoiadendron giganteum</i>	außen	0,38 g/cm ³	6500 N/mm ²
	innen	0,42 g/cm ³	3940 N/mm ²
	Relation	$\rho_a/\rho_i = 0,90$	$E_a/E_i = 1,65$
<i>Sequoia sempervirens</i>	außen	0,39 g/cm ³	5430 N/mm ²
	innen	0,41 g/cm ³	3820 N/mm ²
	Relation	$\rho_a/\rho_i = 0,95$	$E_a/E_i = 1,42$
<i>Metasequoia glyptostroboides</i> (Baum 1)	außen	0,31 g/cm ³	6340 N/mm ²
	innen	0,33 g/cm ³	4960 N/mm ²
	Relation	$\rho_a/\rho_i = 0,94$	$E_a/E_i = 1,28$
<i>Metasequoia glyptostroboides</i> (Baum 4)	außen	0,28 g/cm ³	5670 N/mm ²
	innen	0,30 g/cm ³	6070 N/mm ²
	Relation	$\rho_a/\rho_i = 0,93$	$E_a/E_i = 0,93$

Spruce (Navi et al. 1995), Sugi (Hirakawa et al. 1998) und Chinese Fir (Lin, Nakayama 1998). Insbesondere Analogien mit Sugi (*Cryptomeria japonica*) und Chinese Fir (*Cunninghamia lanceolata*) - beide gehören wie die hier untersuchten Baumarten zur Familie der Taxodiaceen und liefern Holz mit niedriger Rohdichte - unterstützen die Vermutung, daß der Mikrofibrillenwinkel für die Verteilung des Elastizitätsmoduls im Stamm bedeutsam ist. Dies betrifft z.B. die kegelförmige Zone übermäßiger Fibrillenneigung mit Winkeln zwischen 30° und 50° im unteren Stammbereich (Hirakawa et al. 1998) sowie die jeweils strammere Korrelation zwischen Mikrofibrillenwinkel und Elastizitätsmodul im Stamminnenbereich bzw. zwischen Rohdichte und Elastizitätsmodul im Stammaußenbereich.

5. Schlußfolgerung

Diese Untersuchung zeigt, daß nicht nur bei *Taxodium distichum*, sondern auch bei anderen Baumarten aus der Familie der Taxodiaceen mit Eigenschaftsunterschieden innerhalb des Stammes zu rechnen ist, die in dieser Art bei mitteleuropäischen Hölzern nicht bekannt sind. Aus Sicht der Holzverarbeitung und -verwendung bereiten große Eigenschaftsunterschiede innerhalb einzelner Stämme oder Stammbereiche Schwierigkeiten. Deshalb muß in Diskussionen über die Frage der Anbauwürdigkeit dieser schnellwachsenden Baumarten den möglichen Eigenschaftsunterschieden innerhalb der Stämme größere Bedeutung zugemessen werden. Dabei deutet die Feststellung, daß ein und dieselbe Baumart in nahegelegenen Beständen mit verschiedenartigen Wuchsbedingungen entweder ausgeprägte (Baum 1) oder nur geringfügige Unterschiede (Baum 4) in den Holzeigenschaften zeigt, auf gezielte Einwirkungsmöglichkeiten hin.

Aus biomechanischer Sicht zeigen die Untersuchungsergebnisse die Fähigkeit der Taxodiaceen, den Nachteil des relativ leichten Holzes mit entsprechend ungünstigen mechanischen Eigenschaften bei Bedarf durch den Vorteil der "Sandwich"-Konstruktion wettzumachen: Der untere Stammbereich, der bei Sturmeinwirkung besonders beansprucht wird, kann im äußeren Stammantel hohe Steifigkeit und im Stamminnern große Nachgiebigkeit besitzen.

Im folgenden Anhang A werden den ermittelten Holzeigenschaften entsprechende Ergebnisse anderer Untersuchungen vergleichend gegenübergestellt.

6. Literatur

Alden, H.A. 1997: Softwoods of North America. For. Prod. Lab. General Technical Report 102, Madison

Bendtsen, B.A.; Senft, J. 1986: Mechanical and anatomical properties in individual growth rings of plantation-grown eastern cottonwood and loblolly pine. Wood and Fibre Science 18: 23-28

Cave, I.D. 1969: The longitudinal Young's modulus of *Pinus radiata*. Wood Science and Technology 3: 40-48

Cave, I.D.; Walker, J.F.C. 1994: Stiffness of wood in fast-grown plantation softwoods: the influence of microfibril angle. Forest Products Journal 44 (5): 43-58

Frühwald, A.; Schwab, E.; Krause, H.A. 2000: Eigenschaften einiger Plantagenhölzer aus Argentinien. Arbeitsbericht der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Hamburg

Frühwald, A.; Schwab, E.; Mehringer, H.; Krause, H.A. 1986: Zuwachsentwicklung, physikalische und technologische Eigenschaften von Kiefer, geprüft an Normproben. In: Ermittlung der Holzqualität von Kiefern aus immissionsgeschädigten Beständen, herausgegeben von CMA, Bonn, S. 22-95

Haupthoff, W. 2001: Anbauversuche mit lebendem Fossil in Deutschland. Holz-Zentralblatt 127: 1180

Hirakawa, Y.; Yamashita, K.; Fujisawa, Y., Nakada, R.; Kijidani, Y. 1998: The effects of S 2 microfibril angles and density in sugi tree logs. In: Butterfield, B.G. (Editor): Microfibril angle in wood. The Proceedings of the IAWA/IUFRO International Workshop on the Significance of Microfibril Angle to Wood Quality. Westport/New Zealand: 312-322

Kennedy, H.E. 1972: Baldcypress - an american wood. USDA For. Serv. 218, Madison

Lehneke, S. 2001: Mechanische Eigenschaften und Strukturen des Holzes einiger Taxodiaceen. Diplomarbeit Universität Hamburg

Lin, Y.; Nakayama, Y. 1998: Bending strength of plantation grown chinese fir (*Cunninghamia lanceolata* Hook). Mokuzai Gakkaishi 44: 387-394

Navi, P.; Rastogi, P.K.; Gresse, V.; Tolou, A. 1995: Micromechanics of wood subjected to axial tension. Wood Science and Technology 29: 411-429

Zobel, B.J.; van Buijtenen, J.P. 1989: Wood variation - its causes and control. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York

Anhang A: Vergleich der ermittelten Holzeigenschaften mit den Ergebnissen anderer Untersuchungen an denselben Holzarten

Die vorliegende Arbeit hat gezeigt, daß in drei der vier untersuchten Bäume ausgeprägte Eigenschaftsunterschiede in Abhängigkeit von Stammhöhe und -querschnitt auftreten. Für den folgenden Eigenschaftsvergleich werden vereinfachend die arithmetischen Mittel der Durchschnittswerte der untersuchten Stammabschnitte als "eigene Werte" bezeichnet. Die Bruchschlagarbeit ist ein Maß für die Zähigkeit des Holzes. Obwohl in den zum Vergleich herangezogenen Arbeiten häufig auch Daten für die Zähigkeit enthalten sind, werden diese Daten in den Tabellen A1 bis A3 dann nicht aufgeführt, wenn eine andere, nicht direkt vergleichbare Prüfmethode zugrunde lag. Alle in den Tabellen dieses Anhangs angegebenen Eigenschaftswerte gelten für den normalklimatisierten Zustand des Holzes.

A1 Sequoiadendron

Mayer-Wegelin (1954) berichtet, daß die "Gewichts- und Festigkeitswerte" eines Baumes im Exotenwald Weinheim genau den aus dem Schrifttum bekannten, an dem Holz kalifornischer Bäume gewonnenen Werten entsprechen, liefert aber keine Zahlenangaben.

Keylwerth (1954) untersuchte 5 Stammabschnitte aus dem Städtischen Forstamt Heidelberg. Bei einer durchschnittlichen Stammlänge von 26 m waren die Abschnitte aus der Mitte der Stämme entnommen und enthielten 38 bis 44 Jahrringe bei Durchmessern von 28 bis 38 cm ohne Rinde. Rohdichte, Elastizitätsmodul und Druckfestigkeit dieser Untersuchung liegen zwischen den Ergebnissen, die Cockrell et al. (1971) an Holz aus Alt- bzw. aus Zweitwuchsbeständen in Kalifornien ermittelt hat.

Jaroslavcev, Visnjakova (1964) berichten, daß im Jahre 1859 erstmals Sequoiadendron auf der Halbinsel Krim in einem botanischen Garten gepflanzt wurde. Der von ihnen untersuchte Baum aus diesem botanischen Garten mußte mit 71 Jahren gefällt werden. Außerhalb des marknahen Bereiches betrug die mittlere Jahrringbreite 7 mm.

Blank et al. (1984) haben aus forstlichen Versuchsanbauten in Deutschland und Belgien 14 Probestämme entnommen und die Holzeigenschaften bestimmt. Die Mehrzahl der Bäume war nicht älter als 25 Jahre. Ausführliche Angaben zu den Darrdichten des Holzes und den Wuchseigenschaften zahlreicher Probestämme aus diesen Anbauten liefern Guinon et al. (1983).

Die Untersuchung von Schwab, Krause (1999) erfolgte an zwei Rundholzabschnitten eines 133 Jahre alten Baumes aus dem Schloßpark Baden-Baden bzw. eines 45 Jahre alten Baumes aus dem Baden-Badener Forst. Über die Herkunft des Probenmaterials berichtet Haupthoff (2000), der die beiden Abschnitte aus 15 m Stammhöhe zur Verfügung stellte. Da

die Eigenschaften beider Bäume trotz des großen Altersunterschiedes nur geringfügig voneinander abwichen, sind sie in der Tabelle zusammengefaßt. Die Streuung der Elastizitätsmoduln und Festigkeiten um den jeweiligen Gesamtmittelwert wird durch Variationskoeffizienten zwischen 15 % und 21 %, die der Bruchschlagarbeit durch $V = 31 \%$ gekennzeichnet.

Aus 19 Zweitwuchsbeständen innerhalb des natürlichen Verbreitungsgebietes in Kalifornien haben Knigge, Lewark (1984) Bohrkerne entnommen. Die Entwicklung der Mittelwerte der Darrdichte aller Bestandesmittel weist für das Baumalter von 11 bis 88 Jahren Werte zwischen $0,38$ und $0,43 \text{ g/cm}^3$ auf (entspricht etwa $0,40$ bis $0,46 \text{ g/cm}^3$ im normalklimatisierten Zustand), ohne gesicherte Unterschiede zwischen den Dichtewerten verschiedener Altersstufen.

Tabelle A1: Mittlere Eigenschaftswerte von *Sequoiadendron giganteum*

Eigenschaft	Keylwerth 1954	Cockrell et al. 1971		Jaroslavcev Visnjakova 1964	Blank et al. 1984	Schwab Krause 1999	Eigene Werte
		85 J	1000 J				
Rohdichte in g/cm^3	0,39	0,42	0,35	0,40	0,37	0,40	0,38
Elastizitätsmodul in N/mm^2	7300	8900	4700	----	----	5000	5500
Biegefestigkeit in N/mm^2	64	64	40	61	44	52	53
Druckfestigkeit in N/mm^2	34	37	30	25	25	32	31
Bruchschlagarbeit in kJ/m^2	32	----	----	----	42	18	26

A2 Sequoia

Angaben über die mechanischen Eigenschaften des Holzes vom natürlichen Verbreitungsgebiet der *Sequoia sempervirens* (z.B. FPL 1989, Alden 1997) basieren im wesentlichen auf den Untersuchungen von Luxford, Markwardt (1932), Fritz (1950) und Bendtsen (1966). Luxford, Markwardt haben 30 Bäume untersucht und geben als mittlere Jahrringbreiten für

Holz aus Altbeständen 0,9 mm, aus dichten Zweitwuchsbeständen 3,6 mm und aus offenen Zweitwuchsbeständen 8,3 mm an. Fritz untersuchte 10 Bäume im Alter von 65 Jahren. Bendtsen entnahm als Probenmaterial Abschnitte von 24 Bäumen aus unterschiedlicher Stammhöhe. Er fand im Stammfuß (bis 3 m Höhe) einen um 24 % niedrigeren Elastizitätsmodul als im nächsthöheren Stammabschnitt (4 bis 6 m) trotz gleicher mittlerer Rohdichte.

Juacida, Niemz (1996) haben in ihre Untersuchung sieben 38jährige Bäume einbezogen, für die sie eine Baumhöhe von 30 m, einen Brusthöhendurchmesser von 45 cm und einen jährlichen Zuwachs von 15 m³/ha und Jahr angeben. Bei den eigenen Messungen betrugen die Jahrringbreiten im unteren Abschnitt durchschnittlich 5,2 mm, im mittleren bzw. oberen Abschnitt 7,0 bzw. 6,9 mm.

Tabelle A2: Mittlere Eigenschaftswerte von *Sequoia sempervirens*

Eigenschaft	Luxford, Markwardt 1932			Fritz 1950	Bendtsen 1966	Juacida Niemz 1996	Eigene Werte
	Alt- bestand	Zweitwuchsbestand					
		dicht	offen				
Rohdichte in g/cm ³	0,45	0,39	0,35	0,41	0,39	0,35	0,36
Elastizitätsmodul in N/mm ²	9300	7750	5250	8600	7900	6600	5300
Biegefestigkeit in N/mm ²	70	57	45	53	54	52	53
Druckfestigkeit in N/mm ²	43	36	27	32	36	----	32
Bruchschlagarbeit in kJ/m ²	----	----	----	----	----	----	16

A3 *Metasequoia*

Polman et al. (1999) haben die Holzeigenschaften von Anpflanzungen in den Niederlanden bestimmt. Obwohl die Bäume 22 Jahre (Standort Lelystad) bzw. 33 Jahre (Standort Boxmeer) alt waren, wurde das Untersuchungsmaterial ausschließlich vom Stammfuß (bis 2 m Höhe) entnommen. Die Autoren haben ihren Untersuchungsergebnissen Vergleichswerte

aus China und Rußland gegenübergestellt. Den großen Unterschied zwischen dem selbst ermittelten Elastizitätsmodul von 3300 N/mm² und dem zitierten Wert von 7500 N/mm² kommentieren Polman et al. nicht. Er ist aber mit der oben aufgezeigten Abnahme des Elastizitätsmoduls im unteren Stammbereich bzw. in dessen Innenzone erklärbar. Diese Erklärung gilt auch für den Unterschied zwischen dem von Schwab, Krause (1999) untersuchten Erdstammabschnitt eines 21 Jahre alten Baumes (E 21 J) und dem Schnittholz größerer Stammhöhe eines 29 Jahre alten Baumes (S 29 J). Die Standorte dieser Bäume beschreibt Haupthoff (1998), der das Untersuchungsmaterial vermittelt hatte.

Tabelle A3: Mittlere Eigenschaftswerte von *Metasequoia glyptostroboides*; weitere Vergleichswerte bei Polman et al.

Eigenschaft	Polman et al. 1999	Schwab, Krause 1999		Eigene Werte
		E 21 J	S 29 J	
Rohdichte in g/cm ³	0,29	0,38	0,28	0,30
Elastizitätsmodul in N/mm ²	3300	2880	5360	5900
Biegefestigkeit in N/mm ²	44	48	44	47
Druckfestigkeit in N/mm ²	20	25	26	27
Bruchschlagarbeit in kJ/m ²	---- ¹⁾	27	16	17
¹⁾ In der Veröffentlichung steht die Einheit im Widerspruch zur zitierten Prüfnorm. Deshalb kann der Wert der Bruchschlagarbeit nicht gedeutet werden.				

A4 Literatur zu diesem Anhang

Alden, H.A. 1997: Softwoods of North America. For. Prod. Lab. General Technical Report 102, Madison

Bendtsen, B.A. 1966: Strength and related properties of a randomly selected sample of second-growth redwood. US Forest Service Research Paper FPL 53, Madison

Blank, R.; Buck-Gramcko, A.; Knigge, W. 1984: Physikalische Holzeigenschaften des Mammutbaumes (*Sequoiadendron giganteum* (Lindl.) Buchholz) aus europäischen Versuchsanbauten. Forstarchiv 55: 199-202

Cockrell, R.A.; Knudsen, R.M.; Stangenberger, A.G. 1971: Mechanical properties of southern sierra old- and second-growth giant sequoia. Calif. Agr. Exp. Stat. Bull. 854, Berkeley, California

Forest Products Laboratory (FPL) 1989: Handbook of wood and wood-based materials for engineers, architects and builders. Hemisphere Publishing Corp. New York

Fritz, E. 1950: Mechanical properties of second-growth redwood and comparison with virgin timber. American Society for Testing Materials, Bulletin No. 169: 30-32

Guinon, M.; Hapla, F.; Lewark, S.; Schröder, C. 1983: Die Holzeigenschaften des Mammutbaumes in sechs mitteleuropäischen Versuchsflächen. Holz-Zentralblatt 109: 1233, 1234, 1437-1440

Haupthoff, W. 1998: Der Urwelt-Mammutbaum als Nachzucht in Deutschland. AFZ/Der Wald 53: 1521-1523

Haupthoff, W. 2000: Mammutbäume - außergewöhnliche Waldgäste. Holz-Zentralblatt 126: 752

Jaroslavcev, G.D.; Visnjakova, T.N. 1964: (Physikalisch-mechanische Eigenschaften von *Sequoia gigantea*) russisch. Lesnoje chosjaisturo, Moskau 17 (11): 80

Juacida, R.; Niemz, P. 1996: Eigenschaften von Redwood aus Plantagen Südchiles. Holz-Zentralblatt 122: 242

Keylwerth, R. 1954: Das Holz der *Sequoia gigantea*. Holz Roh- Werkstoff 12: 105-107

Knigge, W.; Lewark, S. 1984: Untersuchungen von Holzeigenschaften kalifornischer Mammutbäume (*Sequoiadendron giganteum* (Lindl.) Buchholz) aus Zweitwuchsbeständen. Forstarchiv 55: 21-27

Luxford, R.F.; Markwardt, L.J. 1932: The strength and related properties of redwood. US Department of Agriculture, Technical Bulletin No. 305, Washinton D.C.

Mayer-Wegelin, H. 1954: Holzeigenschaften einiger unserer fremdländischen Waldbäume. In: Forschung und Beratung - Forstwirtschaft, Düsseldorf, Heft 1: 55-60

Polman, J.E.; Michon, S.G.L.; Militz, H.; Helmink, A. Th. 1999: The wood of *Metasequoia glyptostroboides* (Hu et Cheng) of Dutch origin. Holz Roh- Werkstoff 57: 215-221

Schwab, E.; Krause, H.A. 1999: Bestimmung einiger Holzeigenschaften an je zwei Bäumen von *Sequoiadendron giganteum* und *Metasequoia glyptostroboides* aus südwestdeutschen Anbauten. Unveröffentlichter Untersuchungsbericht, Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Hamburg

Jahrringbreite, Rohdichte und Druckfestigkeit von Nadelholz aus Mischbeständen mit *Abies grandis* (Lindley)

1. Einführung

Die Baumart *Abies grandis* (Lindley), Große Küstentanne - im folgenden als Küstentanne bezeichnet - wird im Staatlichen Forstamt Syke/Niedersachsen seit 1938 angebaut. Die meisten Bestände wurden als Mischbestände in gruppenweiser Mischung, oft in Schachbrettform, begründet. Die häufigsten Mischbaumarten sind Douglasie (*Pseudotsuga menziesii*), Fichte (*Picea abies*), Lebensbaum (*Thuja plicata*) und Roteiche (*Quercus rubra*). In Zusammenhang mit der Einrichtung von 9 Dauerbeobachtungsflächen in vorhandene Mischbestände mit *Abies grandis* berichteten Büttner, Kramer (1992) aus bodenkundlicher und waldbaulicher Sicht über diese Bestände. Die vorliegende holztechnologische Untersuchung wurde mit diesen beiden Autoren geplant und ergänzt deren Veröffentlichung.

Zeitgleich mit der Einrichtung dieser Dauerbeobachtungsflächen wurden Ende 1984 auf jeder Fläche drei Küstentannen, auf 8 Flächen je drei Douglasien und auf 5 Flächen je drei Fichten eingeschlagen. Zur Untersuchung des Holzes dieser wichtigsten Baumarten auf den Dauerbeobachtungsflächen diente jeweils ein Stammabschnitt aus 1,5 bis 2,0 m Höhe. Diese relativ kurzen Abschnitte reichten aus, weil nur Jahrringbreite, Rohdichte und Druckfestigkeit in Faserrichtung untersucht werden sollten, nachdem Schwab, Stratmann (1983) bereits an 8 Küstentannen der Fläche 176 des Staatlichen Forstamtes Syke den Elastizitätsmodul, die Brinell-Härte, die Bruchschlagarbeit, verschiedene Festigkeiten (Zug, Druck, Biegung, Scherung) sowie die Quell- und Schwindmaße bestimmt hatten. Tabelle 1 gibt für die Flächen und die Baumarten, die in diese holztechnologische Untersuchung einbezogen sind, ertragskundliche Kennwerte nach Büttner, Kramer (1992).

2. Material und Methoden

Die Bäume der drei untersuchten Nadelhölzer hatten auf Fläche 176 ein Alter von 45 Jahren, auf den anderen Flächen Alter zwischen 30 und 34 Jahren (Tabelle 1). Aus jedem der 66 Stammabschnitte (27 Küstentannen, 24 Douglasien, 15 Fichten) wurden im frischen Zustand eine Querschnittsscheibe und vier in den Himmelsrichtungen radial orientierte Riegel herausgetrennt. Die Querschnittsscheiben dienten zur Messung der Jahrringbreiten am Ordinariat für Holzbiologie der Universität Hamburg (Mehring 1985). Hierfür erfolgte die Datenaufnahme und -auswertung mit dem Programmsystem CATRAS (Computer Aided Tree Ring Analysis System; Aniol 1983).

Tabelle 1: Ertragskundliche Kennwerte der Baumarten *Abies grandis* (KT), *Pseudotsuga menziesii* (DG) und *Picea abies* (FI), deren Holz untersucht wurde, auf den Beobachtungsflächen nach Büttner, Kramer (1992).

Bezirk	Fläche	Baumart	Alter [Jahre]	Höhe [m]	Durchmesser [cm]
Syke	126	KT	30	20,6	26,5
		DG	30	20,0	29,2
		FI	30	12,6	12,8
	143	KT	32	18,6	20,2
		DG	32	19,4	25,6
	402	KT	32	21,0	26,0
	DG	30	18,8	20,4	
	FI	30	15,5	13,4	
Westermark	157	KT	31	19,9	20,8
		DG	31	21,0	27,6
	166 I	KT	31	19,0	18,8
		DG	31	18,8	22,6
	166 II	KT	31	19,5	26,3
		DG	33	16,0	19,2
		FI	31	13,8	11,4
166 III	KT	31	18,5	25,4	
	DG	33	16,2	19,1	
174	KT	34	18,7	17,0	
	DG	---	---	---	
	FI	34	14,3	14,6	
176	KT	45	23,9	25,5	
	FI	45	18,5	20,4	

Die in frischem Zustand des Holzes herausgetrennten Riegel lagerten etwa drei Monate im Normalklima 20 °C/65 % relative Luftfeuchte. Dann wurden hieraus Druckproben (60 mm in Faserrichtung, 20 x 20 mm Querschnitt) geschnitten, wobei der Abstand jeder Probe vom Mark des Baumes bekannt war. An diesen Druckproben wurden im normalklimatisierten Zustand (Holzfeuchtegehalt etwa 12 %) bestimmt:

- die mittlere Jahrringbreite nach DIN 52 181
- die Normal-Rohdichte nach DIN 52 182
- die Druckfestigkeit in Faserrichtung nach DIN 52 185

Abhängig von der Anzahl der untersuchten Stämme und ihrer Durchmesser ergaben sich folgende Probenzahlen:

bei Küstentanne	551 Druckproben
bei Douglasie	320 Druckproben
bei Fichte	164 Druckproben

Die Probennahme mittels radial orientierter Riegel wurde gewählt, um die Verteilung der Eigenschaften über den Stammquerschnitt und eine möglichst breite Jahrringspanne zu erfassen. Sie führt aber dazu, daß in der untersuchten Stichprobe ein höherer Anteil an marknahen Proben vorliegt als es der Grundgesamtheit entspricht. Dies ist bei der Beurteilung der folgenden Ergebnisse zu berücksichtigen.

3. Ergebnisse und Diskussion

Die an den Querschnittsscheiben gemessenen **Jahrringbreiten** sind für jede Fläche und Holzart in Bild 1 dargestellt. Dabei basiert jede Kurve auf Meßwerten, die entlang von jeweils vier Radien (entsprechend den Himmelsrichtungen beim stehenden Stamm) der Scheiben dreier Bäume erhoben und gemittelt wurden. Die Kurven enthalten zwischen 22 (Fläche 402) und 28 (Fläche 176) Jahrringe vor dem Einschlag der Bäume und schließen die Extremwerte in Marknähe aus. Deshalb und weil es sich um Angaben für ausgewählte Einzelbäume handelt, ist eine direkte Zuordnung dieser Ergebnisse zu den Durchmesserangaben in Tabelle 1 nicht möglich. Nach Bild 1 besitzt die Küstentanne auf den Flächen 143, 157, 166 I und 166 II meist größere Jahrringbreiten als die Vergleichsholzarten. Auf den Flächen 126, 174 und 176 erreicht die Fichte zumindest zeitweise den Zuwachs der Küstentanne. Auf den Flächen 402 und 166 III entspricht der Zuwachs der Douglasie bis zum Jahre 1978 etwa dem der Küstentanne, danach dominiert die Küstentanne. Trotz erheblicher Schwankungen wird die übliche Abnahme der Jahrringbreite mit zunehmendem Baumalter deutlich. An einem Standort südlich Nancy hatten Boulet-Gercourt, Nepven (1988) an 40jährigen Küstentannen in den letzten 20 Jahren eine Abnahme der mittleren Jahrringbreite von etwa 9 mm auf 3 mm festgestellt.

In Tabelle 2 sind für die Zeitspanne 1965 bis 1984 die mittleren Jahrringbreiten der Küstentanne auf die der beiden Vergleichsholzarten bezogen. Diese Verhältniszahlen zeigen noch einmal den insgesamt stärkeren Zuwachs der Küstentanne, der auf der Fläche 166 II gegenüber Douglasie den 2,4fachen, gegenüber Fichte sogar den 3fachen Wert erreicht. Nur auf Fläche 174 überschreitet die Fichte in der untersuchten Zeitspanne den Zuwachs der Küstentanne.

Die **Rohdichte** des Holzes ist in Bild 2 für jede Holzart und Fläche in Abhängigkeit vom Abstand der Probe zum Mark aufgetragen. Auch hier basiert jede Kurve auf Meßwerten, die radial entsprechend den vier Himmelsrichtungen beim stehenden Stamm bestimmt und gemittelt wurden. Dabei zeigt sich die für Nadelhölzer charakteristische Tendenz zunehmender Rohdichte im Stamm von innen nach außen. Für die hier untersuchten vergleichsweise marknahen Bereiche liegt die Rohdichte der Douglasie immer deutlich über den

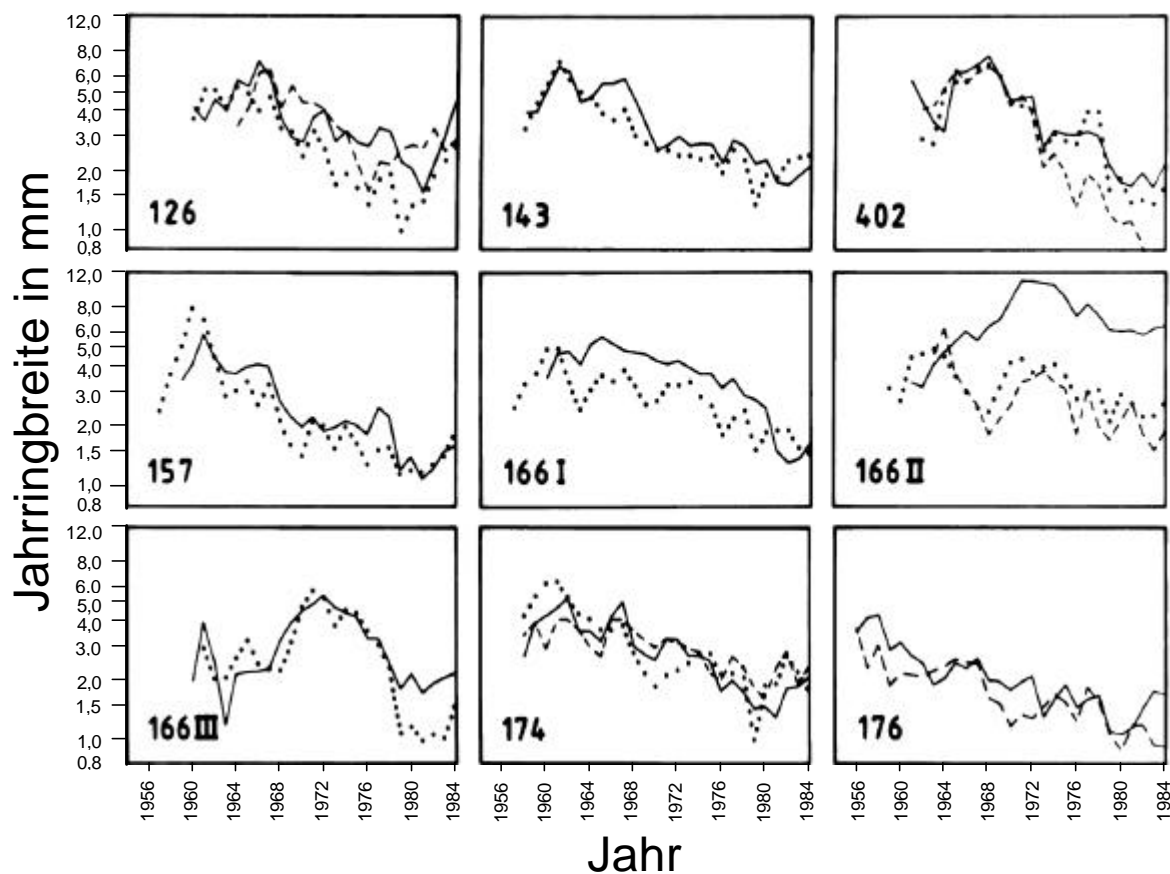


Bild 1: Mittlere Jahringbreiten bei Küstentanne —, Douglasie und Fichte ---- auf den 9 Beobachtungsflächen

Tabelle 2: Verhältnis der mittleren Jahringbreiten der Küstentanne zu denen der Douglasie bzw. der Fichte für die Jahre 1965 bis 1984

Bezirk	Fläche	Verhältnis	
		Küstentanne Douglasie	Küstentanne Fichte
Syke	126	1,48	1,03
	143	1,18	---
	402	1,10	1,84
Westermark	157	1,20	---
	166 I	1,30	---
	166 II	2,42	2,99
	166 III	1,24	---
	174	1,03	0,90
	176	---	1,23

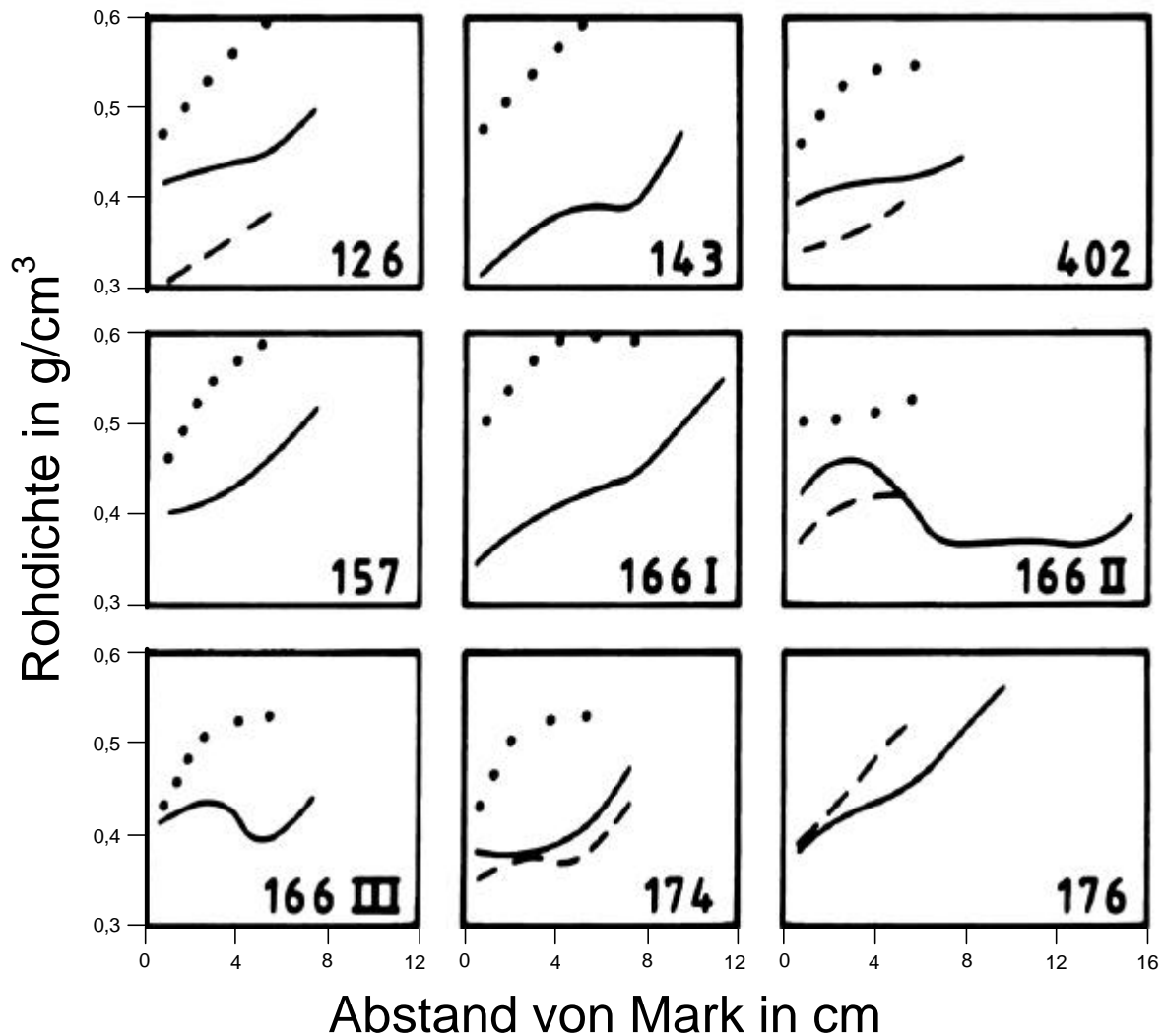


Bild 2: Mittlere Rohdichteverteilung über den Stamradius bei Küstentanne —, Douglasie und Fichte ---- auf den 9 Beobachtungsflächen

entsprechenden Werten der beiden anderen Nadelhölzer. Auf 4 der 5 Flächen, bei denen die Fichte zum Vergleich herangezogen wurde, überschreitet die Rohdichte der Küstentanne die der Fichte. Nur auf Fläche 176 erreicht die Fichte höhere Rohdichten als die Küstentanne. Es überrascht nicht, daß die Küstentanne auf der Fläche 166 II, auf der sie im äußeren Bereich der Stämme extrem breite Jahrringe erreicht (Bild 1 und Tabelle 2), vergleichsweise niedrige Rohdichtewerte aufweist. Der Verlauf für die Fläche 166 II (Bild 2) mit vom Mark in Richtung Kambium anfänglich abnehmender, später wieder ansteigender Dichte entspricht übrigens den Ergebnissen, die Dalgas (1975) an ebenfalls sehr schnellwüchsigen Küstentannen in Dänemark ermittelt hat.

Der **Zusammenhang zwischen Jahrringbreite und Rohdichte** ist für die drei untersuchten Holzarten in Bild 3 dargestellt. Wie bei Nadelhölzern üblich, nimmt die Rohdichte mit zunehmender Jahrringbreite tendenziell ab. Da die Messungen an Druckproben aus vergleichsweise jungen Bäumen erfolgten, sind große Jahrringbreiten - insbesondere bei Küstentanne - zahlreich vertreten, während Jahrringbreiten unter 1 mm überhaupt nicht vorkommen. Trotzdem wird deutlich, daß die Rohdichte (ρ_N in g/cm^3) im unteren Jahrringbereich mit zunehmender Ringbreite (b in mm) stärker zurückgeht als im oberen Jahrringbereich. Der Zusammenhang zwischen beiden Kenngrößen läßt sich deshalb mit einer logarithmischen Funktion gemäß

$$\rho_N = p \cdot \ln b + q$$

beschreiben, wobei aus den vorliegenden Meßergebnissen als holzartspezifische Konstanten p und q ermittelt wurden:

für Küstentanne	$p = - 0,068$	$q = 0,52$
für Douglasie	$p = - 0,082$	$q = 0,64$
für Fichte	$p = - 0,097$	$q = 0,51$

Zur besseren Vorstellung wird erwähnt, daß der q -Wert unmittelbar die durchschnittliche Rohdichte angibt, die aufgrund des statistischen Zusammenhanges bei einer Jahrringbreite von 1 mm zu erwarten wäre. Allerdings liegt diese Breite bereits außerhalb der Spanne, in der die Funktion errechnet wurde. Der p -Wert stellt ein Maß für die Abnahme der Rohdichte mit zunehmender Jahrringbreite dar. Für Fichte (Korrelationskoeffizient $r = 0,71$) ist die errechnete logarithmische Funktion straffer als für Küstentanne ($r = 0,52$) und Douglasie ($r = 0,57$). Der überraschend hohe Korrelationskoeffizient für Fichte beruht vermutlich darauf, daß bei dieser Holzart die Rohdichte mit abnehmender Jahrringbreite kontinuierlich zunimmt (Volkert 1941 und 1956), während andere Nadelhölzer (z.B. Douglasie) im Bereich geringer Jahrringbreiten ein Rohdichtemaximum aufweisen. Für Douglasie liegt dieses Rohdichtemaximum nach Knigge (1958) und Mozina (1960) im Bereich von 1 bis 2 mm Jahrringbreite, so daß es bei dem hier untersuchten Probenmaterial nicht nachgewiesen werden konnte.

Der **Zusammenhang zwischen der Rohdichte und der Druckfestigkeit** des Holzes in Faserrichtung läßt sich bei allen drei Holzarten mit einer einfachen, durch den Nullpunkt des Koordinatensystems gehenden Geraden beschreiben. Die drei Nullpunktgeraden werden durch sehr ähnliche Korrelationskoeffizienten $0,82 \leq r \leq 0,84$ sowie durch einheitliche Steigungen gekennzeichnet. Deshalb kann die gemeinsam gültige Regressionsgerade errechnet werden. Sie lautet

$$f_c = 86 \rho_N \quad (r = 0,89)$$

wobei: f_c die Druckfestigkeit in N/mm^2 und
 ρ_N die Normal-Rohdichte in g/cm^3 bedeuten.

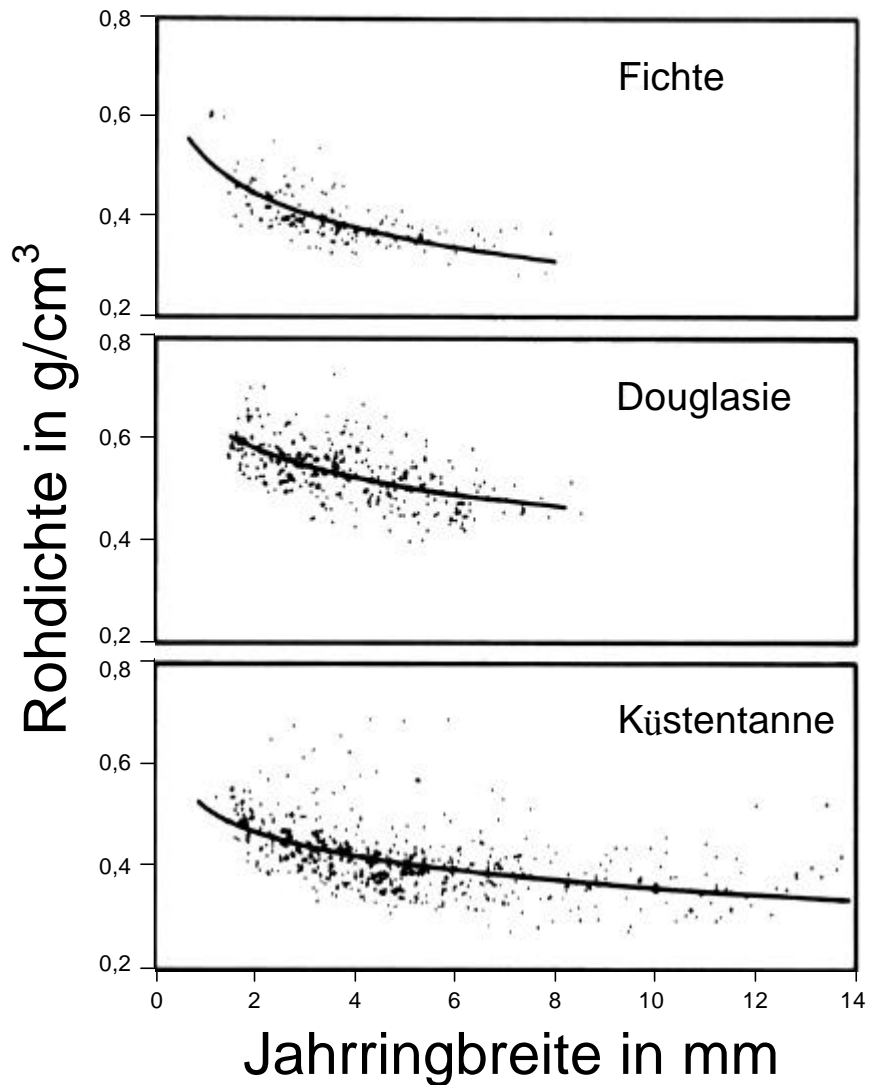


Bild 3: Zusammenhang zwischen der Jahringbreite und der Rohdichte bei Küstentanne (unten), Douglasie (Mitte) und Fichte (oben)

Diese Nullpunktgerade mit der Steigung 86 beschreibt den Zusammenhang zwischen beiden Eigenschaften besser als die früher von Schwab, Stratmann (1983) ermittelte Gerade, die auf dem engeren Rohdichtebereich von $0,32 \text{ g/cm}^3$ bis $0,58 \text{ g/cm}^3$ basierte und durch einen Korrelationskoeffizient von $r = 0,71$ gekennzeichnet war.

Die gemeinsame Abhängigkeit der Druckfestigkeit von der Rohdichte bei den drei untersuchten Holzarten läßt sich mit der relativ einheitlichen Holzstruktur erklären: Die Nadelhölzer bestehen zu über 90 % aus Tracheiden, während alle übrigen Zellelemente nur einen minimalen Teil des Gesamtvolumens ausmachen. Insofern stellt die Rohdichte unmittelbar ein gutes Maß für den Anteil der tragenden Tracheidenwände am Gesamtquerschnitt der einzelnen Druckproben dar. In Anbetracht der gemeinsamen Nullpunktgerade ist nicht anzunehmen, daß eine dieser Holzarten auf verschiedenen Flächen mit unterschiedlichen Festigkeits-Rohdichte-Relationen auftritt. Gesicherte Unterschiede waren auch nicht nachweisbar.

In Tabelle 3 sind für die drei untersuchten Holzarten die Jahrringbreiten, Rohdichten und Festigkeiten zusammengefaßt, die an den Druckproben bestimmt wurden. Da die Häufigkeitsverteilung für die Jahrringbreite - im Unterschied zu Rohdichte und Druckfestigkeit - nicht symmetrisch ist, wird für diese Eigenschaft neben dem arithmetischen Mittel auch die Spanne angegeben, in der die häufigsten Werte liegen. Auf die Angabe eines Variationskoeffizienten, der bei der Normalverteilung die Streuung der Einzelwerte um den Mittelwert kennzeichnet, wird bei der schiefen Häufigkeitsverteilung der Jahrringbreite verzichtet.

Tabelle 3: Minimal...**Mittel**...Maximalwerte der Jahrringbreite, Rohdichte und Druckfestigkeit, die an den Druckproben bestimmt wurden. N: Anzahl der Prüfkörper, H: Spanne der häufigsten Werte, V: Variationskoeffizient.

Holzart	Jahrringbreite	Rohdichte	Druckfestigkeit
Küstentanne N = 551	1,21... 5,19 ...14,0 mm H: 3,5 bis 4,0 mm	0,28... 0,42 ...0,69 g/cm ³ V = 15,9 %	20,5... 35,5 ...58,5 N/mm ² V = 20,8 %
Douglasie N = 320	1,44... 3,87 ...8,50 mm H: 3,0 bis 3,5 mm	0,40... 0,54 ...0,73 g/cm ³ V = 10,8 %	29,2... 46,2 ...64,9 N/mm ² V = 15,0 %
Fichte N = 164	1,08... 3,56 ...7,90 mm H: 2,5 bis 3,0 mm	0,28... 0,40 ...0,61 g/cm ³ V = 14,0 %	20,1... 33,6 ...62,4 N/mm ² V = 19,4 %

Beim **Vergleich mit Literaturangaben** für die untersuchten Nadelhölzer ist zu berücksichtigen, daß die Werte der Tabelle 3 an Proben aus relativ jungen Bäumen gewonnen wurden, wobei die Art der Probennahme zudem einen erhöhten Anteil marknaher Proben bewirkte. Bei einer früheren Untersuchung von 42jährigen Küstentannen, die ausschließlich von Fläche 176 des Bezirkes Westermark (siehe Tabelle 1) stammten, war bei den Prüfkörpern zur Bestimmung der mechanischen Eigenschaften eine mittlere Rohdichte von 0,47 g/cm³, bei den Prüfkörpern zur Bestimmung der Quell- und Schwindmaße sogar eine mittlere Rohdichte von 0,51 g/cm³ ermittelt worden (Schwab, Stratmann 1983). Auch dieser Dichteunterschied war durch die Probennahme bedingt, weil die streng radial bzw. tangential orientierten Quellungs- und Schwindungsproben nur aus dem kambiumnahen Stammbereich geschnitten werden konnten. Ähnliche Mittelwerte wie in Tabelle 3 hatten Knigge (1960) an 9 Küstentannen zwischen 21 und 111 Jahren nordwestdeutscher Standorte und Riebel (1994) an 41 Küstentannen zwischen 28 und 77 Jahren aus südwestdeutschen Anbauten festgestellt: für die Jahrringbreite 5,0 mm, für die Rohdichte im normalklimatisierten Zustand 0,40 g/cm³ und für die Druckfestigkeit 36 N/mm². Riebel (1994) bietet in seiner umfangreichen Arbeit über die Holzeigenschaften von Küstentannen auch eine Übersicht über die Prüfergebnisse anderer Autoren.

4. Schlußbemerkung

Die vorliegende holztechnologische Untersuchung wurde 1984 bei Einrichtung der Dauerbeobachtungsflächen im Staatlichen Forstamt Syke auf Initiative des damaligen Forstamtleiters FD Kramer als Beitrag zu einer interdisziplinären Arbeit über die Mischbestände mit *Abies grandis* im Forstamt Syke begonnen. Nach Erarbeitung der Einzelbeiträge im Institut für Bodenkunde und Waldernährung der Universität Göttingen, im Staatlichen Forstamt Syke und im Institut für Holzphysik und mechanische Technologie des Holzes der BFH Hamburg ergaben sich nur wenige Möglichkeiten zur Verknüpfung dieser holztechnologischen Untersuchung mit den bodenkundlichen und waldbaulichen Beiträgen. Deshalb haben Büttner, Kramer (1992) ihre Untersuchungsergebnisse veröffentlicht und auf die parallel durchgeführte Holzuntersuchung an Küstentanne, Douglasie und Fichte hingewiesen, deren Ergebnisse hier vorliegen.

Büttner, Kramer (1992) kamen zu dem Schluß, daß "die Beurteilung des Mischbestandverhaltens der verwendeten Baumarten erst zu einem späteren Zeitpunkt möglich" sein wird. Auch die Dauerbeobachtungsflächen wurden mit dem erklärten Ziel angelegt, eine Grundlage für weitere Beobachtungen zu schaffen. Insofern können die hier vorgelegten Untersuchungsergebnisse bei künftigen umfangreicheren Holzuntersuchungen als Vergleichsbasis dienen.

5. Literatur

Aniol, R.W. 1983: Tree-ring analysis using CATRAS. Dendrochronologia, Heft 1: 45-53

Boulet-Gercourt, B.; Nepven, G. 1988: Relations entre certaines propriétés du bois et les fentes des arbres sur pied chez *Abies grandis* (Lindl.). Annales des Sciences Forestières 45: 33-52

Büttner, G.; Kramer, W. 1992: Zur Entwicklung von Mischbeständen von *Abies grandis* (Lindley) im Forstamt Syke. Forstarchiv 63: 219-230

Dalgas, K.F. 1975: Nogle Vedkvalitetsegenskaber af kaempegran sammenlignet med rødgran. Dansk Skovforenings Tidsskrift 60: 1-24

Knigge, W. 1958: Untersuchungen über die Beziehungen zwischen Holzeigenschaften und Wuchs der Gastbaumart Douglasie. Schriftenreihe der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen, Band 20

Knigge, W. 1960: Die Holzeigenschaften der Küstentanne (*Abies grandis*). Allg. Forstzeitschrift 15: 94-100

Mehring, H.E. 1985: Messung der Jahrringbreiten an Nadelhölzern aus dem Staatlichen Forstamt Syke. Ordinariat für Holzbiologie der Universität Hamburg, Unveröffentlicht

Mozina, J. 1960: Über den Zusammenhang zwischen Jahrringbreite und Raumdichte bei Douglasienholz. Holz Roh- Werkstoff 18: 409-413

Riebel, H. 1994: Über einige Holzeigenschaften der großen Küstentanne (*Abies grandis* [Douglas] Lindley) aus südwestdeutschen Anbauten. Heft 177 der Mitt. der Forst. Versuchs- und Forschungsanstalt BWB, Freiburg

Schwab, E.; Stratmann, J. 1983: Holzeigenschaften norddeutscher Küstentannen. Der Forst- und Holzwirt 38: 252-256

Volkert, E. 1941: Untersuchungen über Größe und Verteilung des Raumgewichts in Nadelholzstämmen. Schriftenreihe der Akademie der Deutsch. Forstwirtschaft, Band 2, Sauerländer's Verlag, Frankfurt/Main

Volkert, E. 1956: Holzeigenschaften von Gastbaumarten. Holz Roh- Werkstoff 14: 81-86

Physikalische und mechanische Eigenschaften der Holzart Tola (*Gossweilerodendron balsamiferum* (Verm.) Harms)

1. Einführung

Das Laubholz Tola¹⁾ zeichnet sich durch die Kombination von niedriger Rohdichte und günstiger natürlicher Dauerhaftigkeit aus. Obwohl die Widerstandsfähigkeit des Holzes gegen Pilze nicht von der Dichte, sondern von den Kerninhaltsstoffen bestimmt wird, ist der Anteil natürlich dauerhafter Hölzer im unteren Rohdichtebereich wesentlich geringer als im oberen. Bei grober Zweiteilung der in EN 350-2 klassifizierten Laubhölzer nach ihrer mittleren Normal-Rohdichte ρ_N werden als mäßig dauerhaft (Klasse 3) oder besser eingestuft:

- 28 % der Hölzer mit ρ_N bis 550 kg/m³
- 69 % der Hölzer mit ρ_N über 550 kg/m³.

Die Forderung nach einer Dauerhaftigkeitsklasse von mindestens 3 und einer mittleren Rohdichte unter 550 kg/m³ erfüllen nur fünf der in EN 350-2 klassifizierten Laubhölzer:

- in Klasse 2 (dauerhaft) Cedro¹⁾ mit $\rho_N = 490$ kg/m³ und Freijo¹⁾ mit $\rho_N = 540$ kg/m³
- in Klasse 2 - 3 Tola mit $\rho_N = 500$ kg/m³
- in Klasse 3 (mäßig dauerhaft) Khaya¹⁾ und Tornillo¹⁾ mit $\rho_N = 520$ kg/m³.

Nach diesen Kriterien zwischen den bekannten und geschätzten Holzarten Cedro und Khaya eingestuft, verdient Tola erhöhtes Interesse, sobald die nachhaltige Bewirtschaftung gesichert ist. Hier wird über die Untersuchung an 4 Rundhölzern berichtet, die von je zwei Bäumen aus den beiden Kongo-Republiken (ehemals Zaire und VR Congo) stammen. Den eigenen Ergebnissen werden Vergleichsdaten für Tola aus anderen Veröffentlichungen gegenübergestellt.

2. Material und Prüfung

Als Probenmaterial stand aus 4 Bäumen jeweils ein Stammabschnitt zur Verfügung. Die Abschnitte waren mindestens 100 cm lang, splintfrei behauen und besaßen Durchmesser zwischen 70 und 80 cm. Die Abschnitte wurden durchgehend in 75 mm dicke Bohlen aufgeschnitten, die nach schonender Trocknung bis zum Erreichen des Gleichgewichtszustandes im Normalklima 20/65 lagerten. Bild 1 zeigt die Querschnitte zweier Abschnitte nach dem Einschneiden mit der Blockbandsäge. Bild 2 entstand am Ende der technischen Trocknung und zeigt ein Beispiel für den Harzausfluß. Sandermann und Fehrt (1955) fanden

¹⁾ Benennung der Holzarten nach EN 13556



Bild 1: Zwei der untersuchten Stammabschnitte nach dem Einschneiden mit Blockbandsäge



Bild 2: Beispiel für Harzausfluß bei der Blockware nach dem Trocknen

an zahlreichen Tolaproben unterschiedlicher Herkunft Harzgehalte im Bereich 9,9...**12,0**... 16,3 %. Sie berichten, daß das Harz wegen des hohen Siedepunktes seines ätherischen Ölanteiles selbst nach jahrelanger Lagerung fließfähig bleibt.

Bei der vorliegenden Untersuchung wurden bevorzugt die drei marknahen Bohlen zur Probenherstellung verwendet. Dadurch war eine gute Orientierung der Prüfkörperachsen in Radial- und Tangentialrichtung möglich. Alle Prüfungen erfolgten gemäß der Normenreihe DIN 52 182 bis DIN 52 192 "Prüfung von Holz".

3. Ergebnisse

Da die Eigenschaftsunterschiede zwischen den Stammabschnitten nicht größer waren als innerhalb der Abschnitte, werden die Ergebnisse der 4 Stämme von zwei Herkünften zusammengefaßt dargestellt. Der Abschnitt 3.1 berichtet über das Quell- und Schwindverhalten sowie die Gleichgewichtsfeuchten, der Abschnitt 3.2 über die elastischen Eigenschaften, die Festigkeiten, die Bruchschlagarbeit sowie die Brinell-Härte. Die Rohdichten wurden an Proben zur Bestimmung des Quell- und Schwindverhaltens und an Proben zur Bestimmung der mechanischen Eigenschaften ermittelt. Sie sind auch getrennt angegeben, da kleine Abweichungen sichtbar werden, auf die Abschnitt 3.2 näher eingegangen.

3.1 Quell- und Schwindverhalten

Tabelle 1 enthält die Rohdichten im normalklimatisierten sowie im darrtrockenen Zustand, die Gleichgewichtsholzfeuchten im Trocken-, Normal- und Feuchtklima sowie die Quell- und Schwindmaße nach den Definitionen der DIN 52 184. Die eigenen Mittelwerte werden in Tabelle 2 mit Ergebnissen anderer Autoren für Tola verglichen. Auffällig sind die niedrigen Quell- und Schwindmaße unter Berücksichtigung der Rohdichte des Holzes. Schon Mörath (1932) hat bei Holz den statistischen Zusammenhang zwischen Rohdichte und Quellmaß aufgezeigt. Er nennt für die mittlere Darr-Rohdichte von $0,45 \text{ g/cm}^3$ ein Volumenquellmaß von 12,4 %. Dagegen ergibt sich aus den maximalen Quellmaßen der drei Hauptachsen von Tola in Tabelle 1 nach der Rechenmethode von Keylwerth (1944/1955) nur ein Volumenquellmaß von 8,5 %, also deutlich weniger als aufgrund der Rohdichte zu erwarten wäre. Weniger günstig als die absolute Höhe der Quell- und Schwindmaße ist bei Tola die Anisotropie, d.h. das Verhältnis von tangentialer zu radialer Maßänderung, zu bewerten. Die Anisotropie beträgt beim Trocknungs-Schwindmaß 3,1, beim maximalen Quellmaß 2,5 und bei der differentiellen Quellung 2,2. Burmester (1972) hatte nachgewiesen, daß die Anisotropie im oberen Holzfeuchtebereich bei manchen Holzarten stärker ausgeprägt ist als im unteren; dies gilt demnach auch für Tola.

Tabelle 1: Rohdichten, Gleichgewichtsholzfeuchten sowie Quell- und Schwindmaße von Tola, bestimmt nach DIN 52 182 bis 52 184 an 118 Proben aus 4 Stämmen

Eigenschaft		Kurzzeichen	Wert $X_{\min} \dots X \dots X_{\max}$	Variationskoeffizient
Normal-Rohdichte	g/cm^3	ρ_N	0,38... 0,48 ...0,58	10,6 %
Darr-Rohdichte	g/cm^3	ρ_0	0,35... 0,45 ...0,54	10,7 %
Maximales Quellmaß	%			
radial		$\alpha_{\max,r}$	1,2... 2,2 ...4,0	24,3 %
tangential		$\alpha_{\max,t}$	3,8... 5,6 ...7,2	15,5 %
longitudinal		$\alpha_{\max,l}$	0,13... 0,54 ...1,06	26,0 %
Trocknungs-Schwindmaß	%			
radial		$\beta_{N,r}$	0,4... 1,0 ...2,0	32,3 %
tangential		$\beta_{N,t}$	1,9... 3,1 ...4,1	17,8 %
Differentielle Quellung	% je %			
radial		q_r	0,07... 0,11 ...0,19	21,4 %
tangential		q_t	0,17... 0,24 ...0,32	15,5 %
Quellungskoeffizient	% je %			
radial		h_r	0,014... 0,023 ...0,040	21,8 %
tangential		h_t	0,033... 0,048 ...0,069	16,9 %
Anisotropie des Trocknungs-Schwindmaßes		A_β	3,1	----
Quellungsanisotropie		A_q	2,2	----
Gleichgewichtsholzfeuchten	%			
im Trockenklima 20/35		u_T	6,1... 6,5 ...6,8	3,1 %
im Normalklima 20/65		u_N	10,6... 12,3 ...13,0	4,8 %
im Feuchtklima 20/85		u_F	15,2... 16,7 ...18,6	5,8 %

Tabelle 2: Vergleich der ermittelten Quell- und Schwindmaße von Tola mit entsprechenden Literaturangaben (Erläuterung der Kurzzeichen in Tabelle 1)

Kurzzeichen	Einheit	Keylwerth 1951	FPRL 1952	Farmer 1972	Laming et al. 1978	CTFT 1979	Eigene Werte
ρ_N	g/m^3	0,49		0,51	0,52 ⁴⁾	0,52	0,48
$\alpha_{\max,r}$	%	2,0			2,4 ¹⁾	2,5 ¹⁾	2,2
$\alpha_{\max,t}$	%	4,4 ¹⁾			5,7 ¹⁾	6,1 ¹⁾	5,6
$\alpha_{\max,l}$	%	0,60			0,50		0,54
$\beta_{N,r}$	%		1,5		1,0		1,0
$\beta_{N,t}$	%		3,0		2,7		3,1
q_r	% je %	0,10	0,11 ²⁾	0,12 ²⁾	0,12		0,11
q_t	% je %	0,20	0,26 ²⁾	0,22 ²⁾	0,26		0,24
h_r	% je %		0,027 ²⁾	0,023 ²⁾	0,017 ³⁾		0,023
h_t	% je %		0,060 ²⁾	0,043 ²⁾	0,040 ³⁾		0,048
¹⁾ umgerechnet von Schwindmaß auf Quellmaß ²⁾ ermittelt im Bereich 60 bis 90 % rel. Luftfeuchte ³⁾ ermittelt im Bereich 30 bis 90 % rel. Luftfeuchte ⁴⁾ von Rijdsijk, Laming (1994) korrigierte Rohdichte.							

Tabelle 3: Die ermittelte differentielle Quellung q_r und q_t von Tola mit Vergleichswerten nach Rijdsijk, Laming (1994) für Holzarten ähnlicher Rohdichte

Handelsname	Botanische Bezeichnung	ρ_N g/cm^3	q_r % je %	q_t % je %	$\frac{q_t}{q_r}$	$\frac{q_r+q_t}{\rho_N}$
Okoumé	<i>Aucoumea klaineana</i>	0,43	0,14	0,21	1,5	0,81
Pappel	<i>Populus 'Serotina'</i>	0,43	0,11	0,28	2,5	0,91
LR Meranti	<i>Shorea</i> spp.	0,47	0,14	0,30	2,1	0,94
Mersawa	<i>Anisoptera</i> spp.	0,48	0,12	0,30	2,5	0,88
Tola	<i>Gossw. balsamiferum</i>	0,48	0,11	0,24	2,2	0,73
Limba	<i>Terminalia superba</i>	0,50	0,17	0,26	1,5	0,86
Linde	<i>Tilia</i> spp.	0,51	0,22	0,30	1,4	0,82
Cedro	<i>Cedrela</i> spp.	0,55	0,18	0,24	1,3	0,76
Framire	<i>Terminalia ivorensis</i>	0,55	0,15	0,22	1,5	0,67
Khaya	<i>Khaya ivorensis</i>	0,55	0,19	0,31	1,6	0,91
Mahagoni	<i>Swietenia macrophylla</i>	0,55	0,18	0,24	1,3	0,76

Wegen der besonderen Bedeutung der differentiellen Quellung q_r und q_t für die praktische Holzverwendung vergleicht Tabelle 3 die für Tola gefundenen Werte mit denen anderer Holzarten. Diese Tabelle enthält alle Laubhölzer im Rohdichtebereich von 0,40 bis 0,55 g/cm³, für die Rijdsdijk, Laming (1994) q_r - und q_t -Werte angeben. Auch dieser Holzartenvergleich bestätigt, daß bei Tola die Quellmaße in Anbetracht der Rohdichte niedrig liegen, denn von den 11 aufgeführten Arten besitzt Tola mit $(q_r+q_t)/\rho_N = 0,73$ den zweitniedrigsten Wert. Dagegen wird die Quellungsanisotropie $q_t/q_r = 2,2$ nur von zwei der tabellierten Holzarten übertroffen. Nach Noack et al. (1973) gelten Quellungsanisotropien zwischen 1,6 und 2,0 als normal, solche über 2,0 als ungünstig.

3.2 Mechanische Eigenschaften

Tabelle 4 liefert die Minimal...**Mittel**...Maximalwerte der mechanischen Eigenschaften sowie der Normal-Rohdichte, jeweils mit Angabe der Probenzahl. Die etwas höhere mittlere Rohdichte und die nach oben erweiterte Rohdichtespanne der Proben zur Bestimmung der mechanischen Eigenschaften (Tabelle 4) gegenüber denen zur Bestimmung der Quell- und Schwindmaße (Tabelle 1) beruht auf der Rohdichteverteilung über den Stammquerschnitt. Bild 3 zeigt dies am Beispiel eines Stammes: Die Rohdichte steigt ausgehend vom Mark anfänglich an, erreicht ein mehr oder minder ausgeprägtes Maximum und fällt im äußeren Kernholz ab. Da an die Quellungs- und Schwindungsproben besonders hohe Anforderungen bezüglich ihrer Radial- bzw. Tangentialorientierung gestellt werden, stammen diese Proben aus dem äußeren Kernbereich des Stammes. Dagegen deckten die Festigkeitsproben den gesamten Stammquerschnitt ab, um auch die Eigenschaftsverteilung quer zur Stammachse erfassen zu können. Bild 3 verdeutlicht, daß die Rohdichte ein entscheidender, wenn auch nicht der alleinige Parameter für die Abhängigkeit der mechanischen Eigenschaften von der Lage im Stamm darstellt. Während die Verteilung der Druckfestigkeit weitgehend der Rohdichteverteilung entspricht, ist die starke Änderung der Zugfestigkeit nur durch zusätzliche Einflußgrößen, insbesondere die Faserneigung und juveniles Holz, evtl. auch etwas Brittleheart erklärbar. Wie bei anderen tropischen Hölzern mäßiger Rohdichte steigt die Gefahr des Vorkommens von Brittleheart mit zunehmendem Stammdurchmesser an (Dinwoodie 1981).

Tabelle 4 bestätigt, daß der 3-Punkt-Biegeversuch zu niedrigeren Elastizitätsmoduln führt als Zug- und Druckversuch, wie bei vielen Holzuntersuchungen nachgewiesen (Schwab 1992). Die Druckversuche in radialer und tangentialer Richtung wurden nach DIN 52 192 durchgeführt. Diese Norm definiert neben den Elastizitätsmoduln auch die selten ermittelten Spannungen "erweiterte Proportionalitätsgrenze" und "1 %-Stauchgrenze". Nähere Erläuterungen zur Methode und entsprechende Vergleichswerte für andere Laubhölzer liefert Schwab (1986). Wie bei "ziemlich geradfaserigem" Holz (Gottwald 1958) zu erwarten, streuen die Einzelwerte der Zugfestigkeit stärker als bei rein geradfaserigem Holz. So ist auch erklärbar,

Tabelle 4: Rohdichte und mechanische Eigenschaften von Tola im normalklimatisierten Zustand

Eigenschaft		Kurzzeichen ¹⁾	Probenzahl	Wert $x_{\min} \dots x \dots x_{\max}$	Var.-koeff.
Normal-Rohdichte	g/cm ³	ρ_N	458	0,38... 0,49 ...0,64	9,5 %
Feuchtegehalt	%	u_N	458	10,5... 12,3 ...13,5	5,2 %
Zug-Elastizitätsmodul	N/mm ²	E_t	88	3940... 7730 ...12900	23,8 %
Biege-Elastizitätsmodul	N/mm ²	E_m	101	4040... 7350 ...10170	18,7 %
Druck-Elastizitätsmodul	N/mm ²				
longitudinal		$E_{c,L}$	199	4180... 8400 ...12290	19,3 %
radial		$E_{c,R}$	60	710... 950 ...1140	11,1 %
tangential		$E_{c,T}$	54	320... 460 ...660	17,0 %
Erweiterte Prop-grenze	N/mm ²				
radial		$\sigma_{P,R}$	60	4,5... 6,0 ...8,0	15,6 %
tangential		$\sigma_{P,T}$	54	2,3... 3,5 ...5,3	18,5 %
1 %-Stauchgrenze	N/mm ²				
radial		$\sigma_{0,01,R}$	60	5,9... 7,8 ...10,6	17,5 %
tangential		$\sigma_{0,01,T}$	54	3,7... 5,2 ...7,6	18,6 %
Zugfestigkeit	N/mm ²	f_t	88	33... 67 ...113	25,4 %
Biegefestigkeit	N/mm ²	f_m	101	41... 67 ...86	15,7 %
Druckfestigkeit	N/mm ²	f_c	199	24... 35 ...44	14,2 %
Scherfestigkeit	N/mm ²				
in Radialebene		$f_{v,LR}$	41	9,0... 11,5 ...13,4	10,4 %
in Tangentialebene		$f_{v,LT}$	43	9,1... 12,0 ...14,5	10,3 %
Bruchschlagarbeit	kJ/m ²	w	110	12... 36 ...82	---- ²⁾
Brinell-Härte	N/mm ²				
auf Hirnfläche		$H_{B,H}$	84	20... 29 ...36	14,4 %
auf Radialfläche		$H_{B,R}$	84	6,7... 11,6 ...16,3	19,9 %
auf Tangentialfläche		$H_{B,T}$	84	8,4... 13,5 ...19,7	18,3 %
<p>¹⁾ Soweit möglich nach EN 1438. Die Indizes L, R, T für die holzanatomischen Hauptachsen werden in Großbuchstaben angegeben, um Mißverständnisse bezüglich t (= tension) zu vermeiden. Die Indizes für die Spannungen σ lehnen sich an DIN 52 192 an.</p> <p>²⁾ Die Einzelwerte der Bruchschlagarbeit sind nicht normalverteilt; deshalb wird auf die Angabe des Variationskoeffizienten verzichtet.</p>					

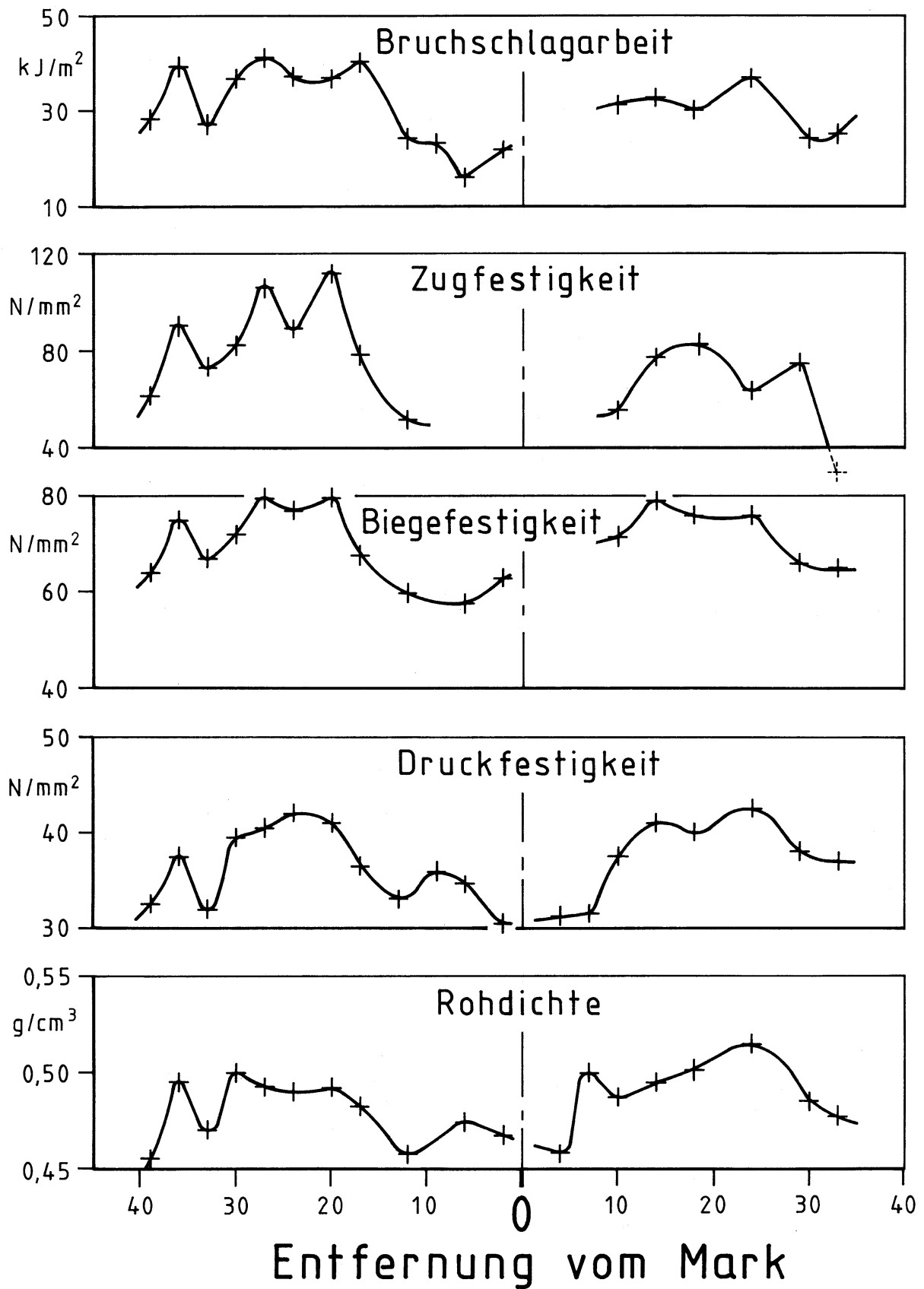


Bild 3: Verteilung der Rohdichte, einiger Festigkeiten und der Bruchschlagarbeit über den Stammquerschnitt bei Tola am Beispiel eines Stammes

daß der Mittelwert der Zugfestigkeit den der Biegefestigkeit nicht überschreitet. Die Einzelwerte der Bruchschlagarbeit sind - wie bei manchen anderen Holzarten, z.B. bei *Melia* (Frühwald et al. 2000) - nicht normalverteilt. Die Härtewerte wurden mit einer Kraft von 500 N ermittelt. Bei Prüfung mit höherer Kraft ergeben sich etwas höhere Härte-Werte. So sind bei der Härtebestimmung mit 1000 N statistisch um 14 % höhere Brinell-Härten des Holzes zu erwarten (Schwab 1990).

4. Schlußbemerkung

Diese Untersuchung geht auf eine Initiative von H. Gottwald, den früheren Leiter des Fachgebietes Holzanatomie im Institut für Holzbiologie und Holzschutz der BFH zurück. Aus persönlicher Kenntnis des Forestier Central im damaligen Zaire bezeichnete er Tola als eine der sechs wichtigsten Wirtschaftsholzarten dieses etwa 1 Million Quadratkilometer großen, immergrünen tropischen Tieflandwaldes (Gottwald 1975). Er regte eine vergleichende Holzuntersuchung an für die beiden Spezies

- *Gossweilerodendron balsamiferum* (Verm.) Harms und
- *Gossweilerodendron joveri* Normand es Aubrév.

Die Beschaffung von *G. joveri*, das meist als Oduma bezeichnet und - im Vergleich zu Tola - als etwas grobporiger und etwas dunkler beschrieben wird (CTFT 1979), gelang nicht. Deshalb wurden schließlich an dem Untersuchungsmaterial von *G. balsamiferum* die hier vorgelegten physikalischen und mechanischen Eigenschaften bestimmt. Damit wird die Datenbasis für Tola wesentlich erweitert.

Tabelle 5 vergleicht einige Mittelwerte der Tabelle 4 mit entsprechenden Literaturangaben für *Gossweilerodendron balsamiferum*. Abgesehen von dem 1948 publizierten, ungewöhnlich hohen Wert, ist die Spannweite der gefundenen mittleren Rohdichte von 0,47 bis 0,55 g/cm³ relativ eng. Auf Basis der Tabelle 5 wurden bei Neubearbeitung der DIN 68 364 "Kennwerte von Holzarten" (Ausgabe Mai 2003) folgende Werte für *Gossweilerodendron balsamiferum* aufgenommen:

$\rho_N = 0,50 \text{ g/cm}^3$	$E_m = 7500 \text{ N/mm}^2$	$f_t = 60 \text{ N/mm}^2$
$f_m = 67 \text{ N/mm}^2$	$f_c = 37 \text{ N/mm}^2$	$f_v = 10 \text{ N/mm}^2$

Obwohl bisher keine experimentelle Bestimmung technologischer Eigenschaften von Oduma bekannt ist, führt EN 13556 "Nomenklatur der in Europa verwendeten Handelshölzer" (Ausgabe Oktober 2003) beide *Gossweilerodendron*-Arten unter dem gemeinsamen Handelsnamen Tola auf.

Tabelle 5: Vergleich der ermittelten mechanischen Eigenschaften von Tola mit entsprechenden Literaturangaben
Die Kurzzeichen sind in Tabelle 4 erklärt.

Kurzzeichen	Einheit	Anonym. 1948	Keylwerth 1951	Gerry 1955	Spalt Stern 1956	Sallenave 1964	Lavers 1969	Fouarge et al. 1970	Kukachka 1970	Laming et al. 1978	CTFT 1979	Wagenführ Scheiber 1989	Eigene Werte
ρ_N	g/cm ³	0,63	0,49	0,49	0,52	0,47	0,49	0,51	0,55	0,54	0,52	0,51	0,49
E_t	N/mm ²		9500										7730
E_m	N/mm ²		6500	7400	8300	6500	7600	8100	8100	9500	8800	6500	7350
E_c	N/mm ²		7700										8400
f_t	N/mm ²		52									52	67
f_m	N/mm ²	84 ¹⁾	62	70	78	66 ¹⁾	81	82	77	82	74 ¹⁾	75	67
f_c	N/mm ²	49	40	37	39	34	43	36	42	42	37	40	35
f_v	N/mm ²		7,2	9,7	9,5		11,7		10,3		6,8	7,2	11,8 ²⁾
w	kJ/m ²		27									27	36
$H_{B,H}$	N/mm ²		31									31	29
H_B	N/mm ²		15									15	12,6 ²⁾
¹⁾ umgerechnet von AFNOR auf DIN ²⁾ Mittelwert für die Radial- und Tangentialebene (bei der Scherfestigkeit) bzw. für die Radial- und Tangentialfläche (bei der Brinell-Härte)													

5. Literatur

Anonym. 1948: Les bois congolais: L'Agba. Bulletin du Comptoir de Vente des Bois Congolais, Bruxelles No. 26: 12-16

Burmester, A. 1972: Quellung und Quellungenanisotropie von Holz in verschiedenen Feuchtigkeitsbereichen. Holz Roh- Werkstoff 30: 380-381

Centre Technique Forestier Tropical (CTFT) 1979: Tola. Bois et Forêts des Tropiques No. 185: 25-36

Dinwoodie, J.M. 1981: Timber - its nature and behaviour. Van Nostrand Reinhold Comp. New York, London, Melbourne

Farmer, R.H. 1972: Handbook of Hardwoods. Princes Risborough Laboratory. HMSO London

Forest Products Research Laboratory (FPRL) 1952: Timber Leaflet Agba. Princes Risborough

Fouarge, J.; Quoilin, J.; Roosen, P. 1970: Essais physiques, mécaniques et de durabilité de bois de la République Démocratique du Congo. Institut National pour l'Etude Agronomique du Congo. Série Technique No. 76

Frühwald, A.; Schwab, E.; Krause, H.A. 2000: Eigenschaften einiger Plantagenhölzer aus Argentinien. Arbeitsbericht der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Hamburg

Gerry, E. 1955: Information Leaflet Agba. Forest Products Laboratory Report No. 2024, Madison

Gottwald, H. 1958: Handelshölzer. Ferdinand Holzmann Verlag, Hamburg

Gottwald, H. 1975: Zaire als Rohstoffquelle für die Holzwirtschaft. Kurzfassung des Vortrages vom 07.02.1975. In: Schwab, E. (Redaktion): 25 Jahre Gesellschaft der Förderer und Freunde der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft e.V., Mitteilungsheft 11 der GFF, Hamburg, 1994

Keylwerth, R. 1944/1945: Das Schwinden und seine Beziehungen zu Rohwichte und Aufbau des Holzes. Holz Roh- Werkstoff 7: 7-21

Keylwerth, R. 1951: Holzeigenschaftstafel Agba. Holz Roh- Werkstoff 9: 119-120

Kukachka, B.F. 1970: Properties of imported tropical woods. USDA Forest Service Research Paper FPL 125, Madison

Laming, P.B.; Rijdsdijk, J.F.; Verwijs, J.C. 1978: Houtsoorten - Informatie voor de praktijk. Houtinstituut TNO, Delft

Lavers, G.M. 1969: The strength properties of timbers. Forest Products Research Bull. No. 50, HMSO London

Mörath, E. 1932: Studien über die hygroskopischen Eigenschaften und die Härte der Hölzer. Heft 1 der Mitt. der Holzforschungsstelle an der TH Darmstadt, Schaper-Verlag, Hannover

Noack, D.; Schwab, E.; Bartz, A. 1973: Characteristics for a judgment of the sorption and swelling behavior of wood. Wood Science and Technology 7: 218-236

Rijdsdijk, J.F.; Laming, P.B. 1994: Physical and related properties of 145 timbers. Kluwer Academic Publishers Dordrecht

Sallenave, P. 1964: Propriétés physiques et mécaniques des bois tropicaux. Premier Supplément. Centre Technique Forestier Tropical, Nogent-sur-Marne

Sandermann, W.; Fehst, F. 1955: Einige chemisch-technische Untersuchungen über das Holz von Tola branca. Holz Roh- Werkstoff 13: 292-301

Schwab, E. 1986: Kennwerte des Querdruckverhaltens von Laubhölzern. Holz Roh- Werkstoff 44: 259-263

Schwab, E. 1990: Die Härte von Laubhölzern für die Parkettherstellung. Holz Roh- Werkstoff 48: 47-51

Schwab, E. 1992: Mechanische Eigenschaften von Khaya-Mahagoni. Holz Roh- Werkstoff 50: 57-61

Spalt, H.A.; Stern, W.L. 1956: Survey of African Woods I. Tropical Woods 105: 13-38

Verein Deutscher Holzeinfuhrhäuser 1977: Agba, Blatt 43 der Merkblattreihe Holzarten

Wagenführ, R.; Scheiber, Ch. 1989: Holzatlas. VEB Fachbuchverlag Leipzig

Brinell-Härte von Plantagen-Teak aus Ghana

Im Anschluß an eine größere Untersuchung über Teakholz aus 5 Plantagen in Ghana (Sonntag, U. 2003) wurden aus dem Restmaterial 12 Prüfkörper entnommen, die sowohl Kernholz als auch Splintholz enthielten. Die Zuordnung der Prüfkörper 1 bis 12 zu den Plantagen I bis V, zu den entnommenen Stämmen, Stammabschnitten und Brettern geht aus Tabelle 1 hervor. Die Rohdichte im normalklimatisierten Zustand der Prüfkörper, die möglichst orientiert zu den drei Hauptachsen des Holzes als Würfel mit 50 mm Kantenlänge geschnitten wurden, ist ebenfalls in Tabelle 1 angegeben.

Tabelle 1: Untersuchungsmaterial

Plantage	Stamm	Abschnitt	Brett	Prüfkörper	Rohdichte g/cm ³
I	3021	unten	5	1	0,64
II	B	oben	1	2	0,64
II	B	oben	2	3	0,67
II	B	oben	4	4	0,61
II	C	unten	4	5	0,63
III	A	oben	4	6	0,68
III	D	unten	4	7	0,73
III	D	oben	1	8	0,69
IV	A	oben	4	9	0,68
V	B	unten	4	10	0,65
V	B	oben	2	11	0,71
V	D	oben	3	12	0,76

An jedem Prüfkörper wurden möglichst 36 Brinell-Härtewerte bestimmt, und zwar jeweils 6 Werte auf der

- Hirnfläche im Kernbereich
- Hirnfläche im Splintbereich
- Tangentialfläche im Kernbereich
- Tangentialfläche im Splintbereich
- Radialfläche im Kernbereich
- Radialfläche im Splintbereich.

Bei den Prüfkörpern 6 und 10 konnten wegen des kleineren Kernanteils auf der Radialfläche im Kernbereich statt der angestrebten 6 Härtewerte nur 3 bzw. 4 Werte gewonnen werden. Die Bestimmung der Härte-Werte erfolgte gemäß der Beschreibung von Schwab (1990a).

Die Ergebnisse der Prüfung sind für die Seitenflächen in Tabelle 2 und für die Hirnflächen in Tabelle 3 angegeben. Jede Tabellenzeile zeigt den Minimal...**Mittel**...Maximalwert der gemessenen Einzelwerte. Zudem sind die Gesamt-Mittel für jede Fläche im Kern- bzw. Splintbereich in der letzten Tabellenzeile angegeben.

Tabelle 2: Brinell-Härte in N/mm² auf den Seitenflächen

Prüfkörper	Auf der Tangentialfläche		Auf der Radialfläche	
	Kern	Splint	Kern	Splint
1	20,1... 24,7 ...31,2	24,8... 26,2 ...28,4	22,8... 27,7 ...32,8	20,1... 20,8 ...21,8
2	18,6... 26,2 ...28,4	22,8... 27,8 ...32,8	18,6... 19,9 ...21,0	18,6... 20,4 ...22,8
3	23,8... 31,2 ...38,1	18,6... 22,8 ...25,9	20,1... 24,1 ...28,4	20,1... 22,0 ...23,8
4	21,8... 25,9 ...28,4	17,9... 21,7 ...27,1	25,9... 27,2 ...28,4	19,3... 20,4 ...21,8
5	32,8... 34,9 ...40,2	21,8... 25,6 ...28,4	23,8... 25,6 ...27,1	23,8... 25,4 ...27,1
6	23,8... 25,6 ...28,4	25,9... 29,8 ...36,2	25,9... 29,5 ...32,8	21,8... 24,9 ...27,1
7	25,9... 28,3 ...32,8	25,9... 28,5 ...31,2	23,8... 25,8 ...28,4	22,8... 24,2 ...25,9
8	20,1... 21,9 ...22,8	22,8... 24,5 ...25,9	22,8... 25,1 ...27,1	21,8... 24,0 ...25,9
9	19,3... 20,3 ...21,0	21,0... 23,0 ...24,8	24,8... 31,6 ...38,1	21,0... 23,9 ...25,9
10	28,4... 30,8 ...32,8	21,0... 25,4 ...31,2	18,6... 21,5 ...24,8	17,9... 22,3 ...28,4
11	27,1... 29,1 ...31,2	27,1... 29,3 ...31,2	22,8... 25,0 ...28,4	23,8... 29,0 ...31,2
12	27,1... 28,4 ...29,8	25,9... 29,2 ...31,2	22,8... 26,8 ...31,2	23,8... 26,2 ...28,4
Ges.-mittel	27,3	26,2	25,8	23,6

Tabelle 3: Brinell-Härte in N/mm² auf den Hirnflächen

Prüfkörper	Kern	Splint
1	40,2... 45,6 ...53,5	40,2... 44,6 ...50,4
2	44,9... 50,0 ...53,5	42,5... 48,4 ...56,9
3	42,5... 47,3 ...56,9	36,2... 40,7 ...42,5
4	44,9... 53,8 ...60,6	42,5... 48,1 ...53,5
5	47,5... 50,4 ...53,5	44,9... 49,5 ...53,5
6	42,5... 47,4 ...53,5	40,2... 46,0 ...53,5
7	53,5... 59,4 ...64,6	44,9... 51,8 ...60,6
8	47,5... 53,0 ...56,1	37,9... 41,7 ...48,6
9	40,2... 44,6 ...47,5	44,9... 46,2 ...47,5
10	42,5... 44,1 ...47,5	31,2... 39,9 ...44,9
11	50,4... 52,4 ...53,5	47,5... 54,9 ...60,6
12	56,9... 60,0 ...64,6	53,5... 56,4 ...60,6
Ges.-mittel	50,7	47,4

Aus den Gesamtmitteln der Härtewerte lassen sich die folgenden Relationen herleiten. Die Relation **Kern : Splint** beträgt

- auf der Hirnfläche 1,07
- auf der Tangentialfläche 1,04
- auf der Radialfläche 1,09.

Diese Relationen entsprechen früheren Ergebnissen beim Vergleich der Härte von Kern- und Splintholz der Lärche (Schwab 1990b). Die eingelagerten Kerninhaltsstoffe führen zu einer leichten Erhöhung der Brinell-Härte.

Die Relation **Tangentialfläche : Radialfläche** beträgt

- bei Kernholz 1,06
- bei Splintholz 1,11

An einer Vielzahl von Holzarten hatte sich ein Mittelwert von 1,06 ergeben (Schwab 1990a). Demnach bringt das Holz aufgrund der versteifenden Wirkung der Holzstrahlen dem Eindringen der Stahlkugel in radialer Richtung (entspricht der Härteprüfung auf der Tangentialfläche) einen etwas höheren Widerstand entgegen als in tangentialer Richtung (entspricht der Härteprüfung auf der Radialfläche).

Die Relation **Hirnfläche : Tangentialfläche** beträgt

- bei Kernholz 1,86
- bei Splintholz 1,81

Die Relation **Hirnfläche : Radialfläche** beträgt

- bei Kernholz 1,97
- bei Splintholz 2,01

Hier bestätigt sich die Feststellung von Mörath (1932), daß die Seitenhärte im Durchschnitt etwa halb so groß ist wie die Härte auf der Hirnfläche.

Bei der Ermittlung der sechs linearen Abhängigkeiten der Härtewerte (jeweils Kern bzw. Splint auf 3 Flächen) von der Rohdichte der 12 Prüfkörper ergaben sich in 5 Fällen positive Korrelationskoeffizienten zwischen 0,45 und 0,66. Nur für die Härte des Kernholzes auf der Tangentialfläche wurde mit zunehmender Rohdichte kein Anstieg errechnet, weil Prüfkörper 5 trotz der relativ niedrigen Rohdichte von $0,63 \text{ g/cm}^3$ auf dieser Fläche ungewöhnlich hohe Härtewerte besaß.

Literatur:

Mörath, E. 1932: Studien über die hygroskopischen Eigenschaften und die Härte der Hölzer. Heft 1 der Mitt. der Holzforschungsstelle an der TH Darmstadt, Schaper-Verlag, Hannover.

Schwab, E. 1990a: Die Härte von Laubhölzern für die Parkettherstellung. Holz Roh- Werkstoff 48: 47-51

Schwab, E. 1990b: Härte von Kern- und Splintholz der Lärche. Holz Roh- Werkstoff 48: 460

Sonntag, U. 2003: Variationsbreite der natürlichen Dauerhaftigkeit und ausgewählter physikalischer Eigenschaften von Teakholz aus Plantagen in Ghana. Diplomarbeit Univ. Hamburg

Holzeigenschaften einer Libanonzeder aus dem Kurpark Badenweiler

1. Untersuchungsmaterial

Durch Sturm "Lothar" fiel Ende 1999 eine prächtige *Cedrus libani* A. Rich. im Kurpark Badenweiler. Durch Gabelbildung in etwa 2 m Höhe war ein Doppelstamm entstanden. Aus dem ungestörten Bereich oberhalb des Tiefziewesels stand eine Stammscheibe¹⁾ mit etwa 500 mm Durchmesser und 65 mm Dicke (in Faserrichtung) für Prüfzwecke zur Verfügung. Die Scheibe besaß 105 Jahrringe mit einer mittleren Jahrringbreite von 1,9 mm bis zum 70. Jahrring und 3,0 mm außerhalb des 70. Jahrringes. Die Stammscheibe lagerte bis zum Gleichgewichtszustand im Normalklima 20/65 und wies dann einen großen und mehrere kleine Risse auf (Bild 1 links).

Aus der Stammscheibe wurden gemäß Bild 1 rechts geschnitten

- ein das Mark enthaltender, durchgehender Riegel zur Bestimmung der Dichteverteilung quer zur Stammachse
- 34 radial orientierte kürzere Riegel, aus denen die Quell- und Schwindproben sowie die Druckproben entnommen werden konnten.

Das System der Riegelentnahme aus der Scheibe und der Probenentnahme aus den Riegeln ermöglichte die Zuordnung aller Einzelproben zu ihrer ursprünglichen Lage im Stammquerschnitt.

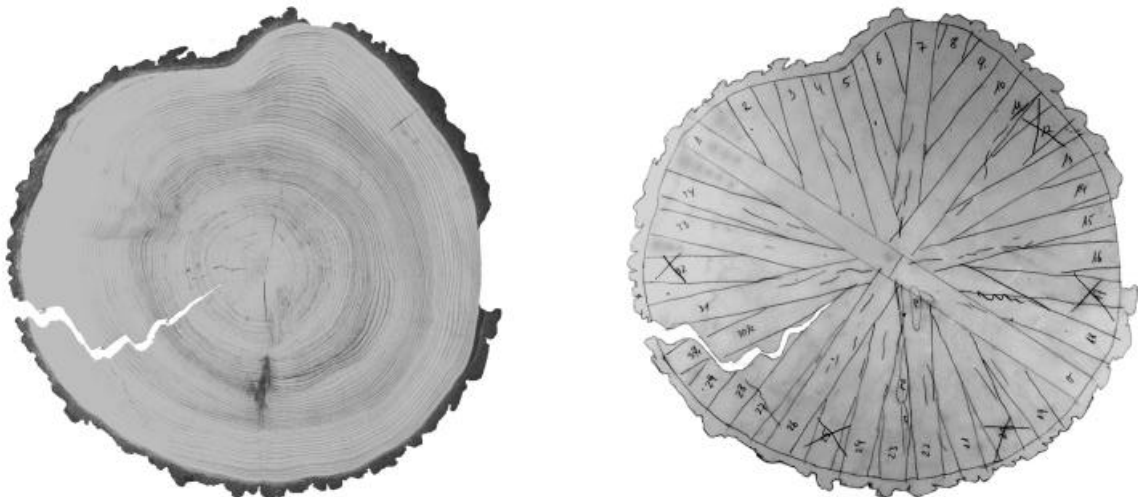


Bild 1: Stammscheibe im normalklimatisierten Zustand (links) und Schema zur Entnahme der Riegel (rechts)

¹⁾ Herr Dr. R. Beyse, Celle, stellte freundlicherweise die Stammscheibe zur Verfügung.

2. Verteilung der Rohdichte

Die Verteilung der Normal-Rohdichte über den Stammquerschnitt wurde mittels γ -Strahlung gemessen. In der Meßanlage wird der quaderförmige Prüfkörper am Erfassungsfenster in 0,075 mm-Schritten vorbeibewegt. Die Strahlung trifft senkrecht auf die Hirnfläche des Holzes und durchdringt den Prüfkörper in Faserrichtung. Bei dem Holzriegel, dessen Länge dem Stammdurchmesser entspricht, ist das 10 mm hohe Strahlungsfenster der Meßanlage vollständig durch den Prüfkörper abgedeckt. Der vom Prüfmaterial absorbierte Teil der Strahlung dient als Maß für die Dichte des Materials. Zur Erzielung absoluter Rohdichtewerte wird die mittlere Rohdichte des Prüfkörpers konventionell bestimmt und als Referenzwert eingegeben. Bild 2 zeigt die gemessene Rohdichteverteilung, wobei die Schrittweite der Datenerfassung auf 0,75 mm gezoomt wurde, d.h. jeweils 10 Einzelwerte bilden einen gleitenden Mittelwert. Nur am Beginn und am Ende der Riegellänge, d.h. in den kambiumnahen Bereichen des Stammes, gelangt ein Teil der Strahlung außerhalb des Prüfkörpers zum Empfänger und verfälscht damit die Dichtemessung in diesen Außenbereichen.

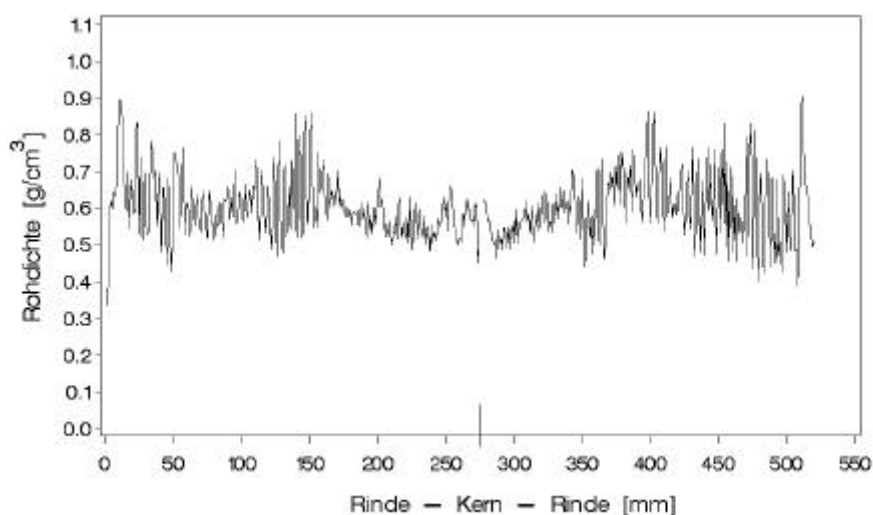


Bild 2: Rohdichteverteilung über den Stammquerschnitt, im normalklimatisierten Zustand

Die in Bild 2 dargestellte Rohdichteverteilung erklärt sich aus der Abhängigkeit der Dichte von der Jahrringbreite. Nach Berkel (1954) erreicht das Holz der Libanonzeder sein Rohdichtemaximum bei 1,5 mm Jahrringbreite. Die untersuchte Stammscheibe kommt dieser Jahrringbreite etwa 125 mm beidseitig vom Mark entfernt am nächsten. Entsprechend treten bei 150 mm und 400 mm auf der Durchmesserskala des Bildes 2 Rohdichtemaxima auf.

3. Quell- und Schwindverhalten

Von den insgesamt 34 Sektoren dienten die Sektoren 12, 17, 20, 25 und 32 zur Herstellung der Quell- und Schwindproben. Wegen der hohen Anforderungen an die Orientierung nach

den Hauptachsen des Holzes mußten die Proben (30 mm radial x 30 mm tangential x 15 mm longitudinal) bevorzugt aus dem äußeren Stammbereich entnommen werden. Deshalb bestand Probenserie 1 aus reinen Splintproben. Die nach innen anschließenden Proben der Serie 2 werden als Kern-/Splint-Proben bezeichnet, weil sie neben verkernten Bereichen auch Splintanteile aufwiesen.

Tabelle 1: Rohdichten, Gleichgewichtsholzfeuchten sowie Quell- und Schwindmaße von *Cedrus libani*, bestimmt nach DIN 52 182 bis 52 184 an 28 Proben

Eigenschaft		Kurz- zeichen	Wert $x_{\min} \dots x \dots x_{\max}$	Reine Splint- proben	Kern-/ Splint- Proben
Normal-Rohdichte	g/cm ³	ρ_N	0,51... 0,58 ...0,66	0,58	0,59
Darr-Rohdichte	g/cm ³	ρ_0	0,48... 0,54 ...0,61	0,53	0,55
Maximales Quellmaß	%				
radial		$\alpha_{\max,r}$	2,1... 3,8 ...5,3	4,4	3,3
tangential		$\alpha_{\max,t}$	3,9... 6,1 ...7,7	6,8	5,7
Trocknungs-Schwindmaß	%				
radial		$\beta_{N,r}$	1,0... 2,1 ...3,0	2,4	1,8
tangential		$\beta_{N,t}$	2,5... 3,6 ...4,4	3,8	3,4
Differentielle Quellung	% je %				
radial		q_r	0,10... 0,18 ...0,23	0,19	0,18
tangential		q_t	0,16... 0,25 ...0,35	0,25	0,26
Quellungskoeffizient	% je %				
radial		h_r	0,015... 0,030 ...0,043	0,034	0,025
tangential		h_t	0,024... 0,041 ...0,053	0,045	0,037
Anisotropie des Trocknungs- Schwindmaßes		A_β	1,7	1,6	1,9
Quellungsanisotropie		A_q	1,4	1,3	1,4
Gleichgewichtsholzfeuchten	%				
im Trockenklima 20/35		u_T	8,7... 9,3 ...10,3	9,0	9,7
im Normalklima 20/65		u_N	11,0... 11,6 ...12,3	11,2	11,9
im Feuchtklima 20/85		u_F	16,6... 17,4 ...18,4	17,9	17,0

Die Bestimmung der Quell- und Schwindmaße erfolgte nach DIN 52 184. Tabelle 1 enthält Minimal...**Mittel**...Maximalwerte für die 28 Proben der beiden Serien gemeinsam und die Mittelwerte für reine Splintproben bzw. für Kern-/Splint-Proben. Die Streuungen der Einzelwerte aller Proben sind durch folgende Variationskoeffizienten gekennzeichnet:

- unter 5 % für die Gleichgewichtsholzfeuchten
- 6 bis 7 % für die Rohdichten
- 16 bis 20 % für die tangentialen Quell- und Schwindmaße
- 21 bis 27 % für die radialen Quell- und Schwindmaße.

Die große Streuung der radialen Maße beruht auf dem ausgeprägten Unterschied zwischen den reinen Splintproben und den Kern-/Splintproben. Tabelle 1 zeigt, daß die Kerninhaltsstoffe zu einer leichten Erhöhung der Rohdichte und zu einer deutlichen Verminderung der maximalen Quellmaße sowie der Trocknungs-Schwindmaße - insbesondere für die Radialrichtung - führen. Auch die Veränderung des "Sorptionsverhältnisses" (Noack et al. 1973) stellt eine Vergütung des Kernholzes dar. Dieses Verhältnis

$$s = \frac{u_F - u_T}{\varphi_F - \varphi_T} ,$$

wobei u_F bzw. u_T die Gleichgewichtsholzfeuchten in % bei den relativen Luftfeuchten φ_F bzw. φ_T in % darstellen, kennzeichnet die Steigung der Sorptionsisotherme im anwendungsrelevanten Bereich zwischen Trocken- (T) und Feuchtklima (F). Aus Tabelle 1 errechnet sich für die Kern-/Splint-Proben $s = 0,15$ und für die reinen Splintproben $s = 0,18$. Nach der von Noack et al. (1973) vorgeschlagenen Klassifizierung in ungünstig ($s > 0,22$), normal ($0,18 - 0,22$), günstig ($0,16 - 0,18$) und sehr günstig ($s < 0,16$) sind die Kern-/Splint-Proben als sehr günstig, die reinen Splintproben zwischen normal und günstig einzustufen.

Bei verändertem Sorptionsverhältnis ist zur Beurteilung der Dimensionsstabilität eines Holzes der Quellungskoeffizient besser geeignet als die differentielle Quellung. Auch beim Quellungskoeffizient bewirken die eingelagerten Inhaltsstoffe eine Vergütung. Dabei ist zu berücksichtigen, daß sich reine Kernproben wahrscheinlich noch günstiger verhalten als die hier - wegen der Orientierung - erforderlichen Kern-/Splint-Proben.

4. Druck- Elastizitätsmodul und Druckfestigkeit

Da die Stammscheibe in Faserrichtung nur 65 mm aufwies, diente die Druckprüfung nach DIN 52 185, die eine Probenlänge von 60 mm empfiehlt, zur Beschreibung der mechanischen Eigenschaften. Dazu wurden insgesamt 136 Druckproben aus den Riegeln entnommen und geprüft. Die Elastizitätsmoduln und die Festigkeiten der Druckprüfung in Faserrichtung des Holzes sind in Tabelle 2 zusammengestellt.

Tabelle 2: Druck-Elastizitätsmodul und Druckfestigkeit sowie Rohdichte und Feuchtegehalt der Druckproben im normalklimatisierten Zustand (20/65)

Eigenschaft		Kurzzeichen	Minimal... Mittel ...Maximalwert	Variationskoeffizient
Normal-Rohdichte	g/cm^3	ρ_N	0,48... 0,59 ...0,72	7,0 %
Elastizitätsmodul	N/mm^2	E_c	4870... 9870 ...14090	22,4 %
Druckfestigkeit	N/mm^2	f_c	33... 49 ...63	13,7 %
Feuchtegehalt	N/mm^2	u_N	10,5... 11,1 ...12,2	2,8 %

Zusätzlich wurde an den Druckproben die Jahrringbreite bestimmt. Sie ist - im Unterschied zu den anderen ermittelten Eigenschaften - nicht normalverteilt. Bild 3 verdeutlicht die Normalverteilung der Rohdichte (links) und die schiefe Verteilung der Jahrringbreite (rechts) für die Druckproben. Die häufigsten Jahrringbreiten traten in der Klasse 2,4 bis 2,7 mm auf. Berkel (1954) fand bei seiner umfangreichen Untersuchung an 17 Probestämmen als häufigsten Wert der Jahrringbreite 3,6 mm. Entsprechend lagen die von ihm ermittelten Rohdichten mit 0,42...**0,52**...0,66 g/cm^3 bei 15 % Holzfeuchtegehalt auch niedriger als die in Tabelle 2 und Bild 3 angegebenen Werte.

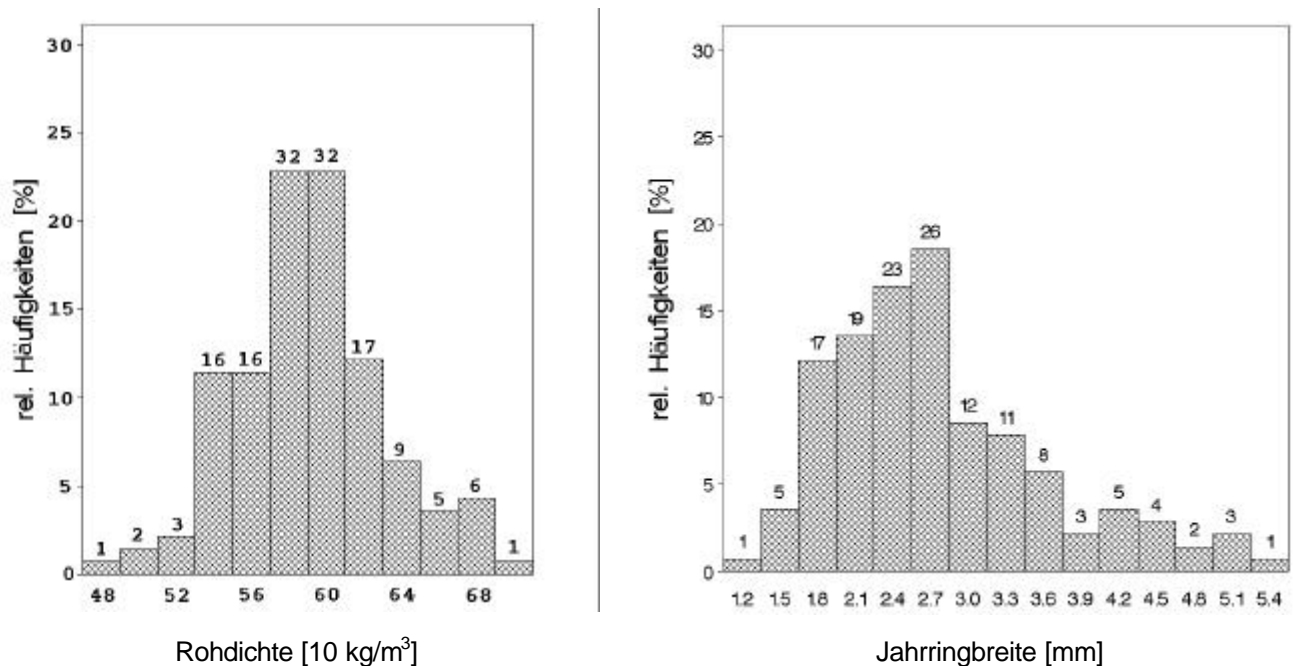


Bild 3: Häufigkeitsverteilung der Rohdichte (links) und der Jahrringbreite (rechts)

5. Vergleich mit Literaturangaben

In Tabelle 3 werden die Ergebnisse der eigenen Messung mit denen anderer Autoren für *Cedrus atlantica*, *Cedrus deodora* und *Cedrus libani* verglichen. Quiquandon (1976) untersuchte Material von 64 bis 94 Jahre alten Bäumen zweier französischer Standorte. Hapla et al. (2000) haben bei Untersuchungen an 25- und 36jährigen *Cedrus atlantica* von spanischen Anbaugebieten eine Änderung der Darrdichte über die Stammhöhe von 0,59 g/cm³ (Stammfuß) bis 0,52 g/cm³ (4,8 m Höhe) und über den Stammquerschnitt von 0,51 g/cm³ (Marknähe) bis 0,54 g/cm³ (Kambiumnähe) festgestellt. Dahms berichtet über das Holz von *Cedrus atlantica* (1979) bzw. von *Cedrus odorata* (1982). Nach Angaben von Hafizoglu (1987) hat *Cedrus libani* in der Türkei seine größte geographische Verbreitung. Über die Holzeigenschaften von 17 Probestämmen aus dem Forstbezirk Namrun berichtet Berkel (1954). Die Untersuchungsergebnisse der Tabelle 3 liefern keinen Hinweis darauf, daß zwischen den 3 Cedrus-Arten systematische Unterschiede bei den Holzeigenschaften auftreten. Diese Meinung vertritt auch Ridder (1987), der eine Gesamtübersicht über die Gattung Cedrus mit einem umfangreichen Literaturverzeichnis bietet.

Tabelle 3: Vergleich der Normal-Rohdichte ρ_N , der maximalen Quellmaße α_{\max} , in tangentialer und radialer Richtung, der Druckfestigkeit f_c und des Elastizitätsmoduls E in Faserrichtung mit Literaturangaben für drei Cedrus-Arten

<i>Cedrus</i>	ρ_N g/cm ³	α_{\max} %		f_c N/mm ²	E N/mm ²	Literatur
		tang	rad			
<i>atlantica</i>	0,55 0,52 0,55	6,5	4,4	50 51 43	9240	Gutierrez O., Plaza, P. 1967 Quiquandon 1976 Wagenführ 2000
<i>deodora</i>	0,56 0,55 ¹⁾	5,5 ¹⁾	3,7 ¹⁾	56	11300	Sekhar, Raijput 1970 FRI 1976
<i>libani</i>	0,52 0,59 ¹⁾ 0,58	5,3 ¹⁾ 6,1	3,4 ¹⁾ 3,8	45 38 49	13800 9900	Berkel 1954 Sachsse 1991 Eigene Messung
¹⁾ umgerechnete Werte						

6. Literatur

Berkel, A. 1954: Lübnan Sedirinin Teknik Vasıfları. (Untersuchungen über die Eigenschaften des Holzes der Libanonzeder, türkisch mit deutscher Zusammenfassung.) Istanbul Üniversitesi Orman Fakültesi, Ziraat Vekaleti, Nesriyat Sıra No. 93

Dahms, K.-G. 1979: Afrikanische Exporthölzer. 2. Auflage. DRW-Verlag, Stuttgart

Dahms, K.G. 1982: Asiatische, ozeanische und australische Exporthölzer. DRW-Verlag, Stuttgart

Forest Research Institute (FRI) 1976: Deodar. Indian Timbers Information Series No 18, Dehra Dun

Gutierrez O., A.; Plaza P., F. 1967: Características físico-mecánicas de las maderas españolas. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias, Madrid

Hafizoglu, H. 1987: Studies on the chemistry of *Cedrus libani* A. Rich. 1. Wood extractives of *Cedrus libani*. Holzforschung 41: 27-38

Hapla, F., Oliver-Villanueva, J.V., González-Molina, J.M. 2000: Effect of silvicultural management on wood quality and timber utilisation of *Cedrus atlantica* in the European mediterranean area. Holz Roh- Werkstoff 58: 1-8

Noack, D.; Schwab, E.; Bartz, A. 1973: Characteristics for a judgment of the sorption and swelling behavior of wood. Wood Science and Technology 7: 218-236

Quiquandon, B. 1976: Le bois de Cèdre - *Cedrus atlantica* provenant des reboisements français. Centre Technique du Bois, Paris

Ridder, W. 1987: Die Bedeutung der Zeder für die Forst- und Holzwirtschaft Nordafrikas. Herausgegeben von der Stiftung Walderhaltung in Afrika und der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Hamburg

Sachsse, H. 1991: Exotische Nutzhölzer. Pareys Studentexte Nr. 68. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin

Wagenführ, R. 2000: Holzatlas. Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag, München

Prüfung des Quell- und Schwindverhaltens von Holz

1. Einführung

Zur Beschreibung und Beurteilung einer Holzart sind Angaben über die feuchtebedingten Dimensions- und Volumenänderungen zwingend erforderlich. Entsprechende Messungen wurden schon frühzeitig sehr sorgfältig durchgeführt und veröffentlicht. So berichtet Janka (1907) detailliert über prozentuale Maßänderungen zahlreicher Holzarten, wobei die Holzfeuchtegehalte und Dimensionen im nassen, feuchten, lufttrockenen und absolut trockenen Zustand bestimmt wurden. Dabei erreichte Janka den lufttrockenen Zustand der scheibenförmigen Prüfkörper durch dreijährige Lagerung "im stets trockenen, im Winter geheizten Zimmer" und den feuchten Zustand durch fünfmonatige Lagerung auf einem Rost oberhalb der Wasseroberfläche "eines gut geschlossenen Bottichs".

Quell- bzw. Schwindmaße für jeweils etwa 150 Holzarten haben Mörath (1932) in Europa und Markwardt, Wilson (1935) in Nordamerika veröffentlicht. Mörath bestimmte die Dimensionen "im lufttrockenen, absolut trockenen und mit Wasser gesättigtem Zustand". Daraus errechnete er die maximalen Quellmaße für die drei Hauptachsen sowie für das Volumen und konstruierte Quellungskurven, die zur Ermittlung der "Koeffizienten der Quellung für eine Änderung des Wassergehaltes um 1%" dienten. Da die Steigung der Quellungskurven nur aus dem Feuchtegehalt im lufttrockenen u_{lutro} sowie aus den Maßen im lufttrockenen l_{lutro} und im absolut trockenen Zustand l_0 gewonnen werden konnte, muß der genannte Koeffizient der Quellung K auf

$$K = 100 (l_{\text{lutro}} - l_0) / (l_{\text{lutro}} \cdot u_{\text{lutro}})$$

basieren. Mörath erkannte demnach frühzeitig die große praktische Bedeutung der Maßänderung je 1% Holzfeuchteänderung und gab insgesamt 8 Werte je Holzart an: maximale Quellmaße und Koeffizienten für die drei Hauptachsen und für das Volumen des Holzes. Die Angaben von Markwardt, Wilson beschränken sich auf 3 Werte je Holzart: maximale Schwindmaße für die radiale und tangentielle Richtung sowie für das Volumen. Hier und im folgenden Text wird unter Quellmaß immer die Maßänderung bezogen auf den trockenen Zustand, unter Schwindmaß die Maßänderung bezogen auf den nassen Zustand des Holzes verstanden.

2. Genormte Prüfungen

Die Versuchsbedingungen für den Schwind- und Quellversuch wurden erstmalig 1934 vom Deutschen Verband für die Materialprüfungen der Technik (DVM) in DIN Vornorm DVM C 3010 festgelegt. Die endgültige Norm (DIN DVM 2184) definierte wiederum die maximalen Quell- und Schwindmaße und enthielt bereits die noch heute in DIN 52 184 (1979) geltenden Forderungen einer schonenden Trocknung bei drei Temperaturstufen und einer sorgfältigen Wässerung durch anfänglich schwimmende und nach Entweichen der Luft untergetauchte Proben.

Tabelle 1 liefert eine schematische Übersicht über einige Prüfnormen zur Bestimmung des Quell- und Schwindverhaltens von Holz. Die Tabelle zeigt, welche Quell- und Schwindmaße für das Volumen (V) oder für die drei Hauptachsen (R, T, L) des Holzes genormt waren bzw. sind. Der von Möhler (1932) definierte Koeffizient (prozentuale Maßänderung je 1 % Holzfeuchteänderung) wurde in die französische Norm NF B 51006 für das Volumen und in den Fachbereichsstandard TGL 25106 Blatt 4 der DDR für die radiale und tangential Richtung wesentlich früher aufgenommen als in DIN 52 184.

Obwohl NF B 51006 bis zur Überarbeitung im Jahre 1985 ausschließlich Volumen-Schwindmaße regelte, enthält die frühere französische Fachliteratur (z.B. Sallenave 1955, 1964, 1971) auch maximale Schwindmaße in radialer und tangentialer Richtung. Die britische Fachliteratur (z.B. Farmer 1972) gibt in Holzartbeschreibungen neben den genormten Schwindmaßen Gleichgewichtsholzfeuchten bei 90 % und bei 60 % relativer Luftfeuchte (Temperatur einheitlich 25 °C) und die durch diesen Feuchtewechsel bedingten Maßänderungen ("movement") an. In der amerikanischen Fachliteratur werden Schwindmaße bevorzugt, die - ausgehend vom frischen Zustand des Holzes - bei Trocknung auf unterschiedliche Holzfeuchten, z.B. 20 %, 6 % und 0% (Alden 1997) gemessen wurden. Demnach erkannten viele Autoren, daß die in ihren nationalen Prüfnormen festgelegten Kennwerte für eine praxisgerechte Beurteilung der Hölzer nicht ausreichen. Trotzdem beschränken sich die später erarbeiteten und in Tabelle 1 aufgeführten ISO-Normen auf die Bestimmung maximaler Quell- bzw. Schwindmaße. Zudem ist bei diesen ISO-Normen die getrennte Behandlung der Volumenänderungen einerseits und der Längenänderungen andererseits nachteilig, da die entsprechenden Quell- bzw. Schwindmaße auf denselben Meßergebnissen beruhen.

Die in DIN 52 184 definierten Kenngrößen des Quell- und Schwindverhaltens orientieren sich an dem Bedarf der holzwirtschaftlichen Praxis:

- Das Trocknungs-Schwindmaß (ermittelt zwischen nassem und normalklimatisiertem Zustand) dient zur Beurteilung der Schwindung des frischen Holzes bei üblicher technischer Trocknung.
- Die differentielle Quellung (ermittelt zwischen Trocken- und Feuchtklima) dient zur Beurteilung der feuchtebedingten Maßänderung im Bereich der Gebrauchsholzfeuchten. Keylwerth (1962) hatte durch Differentiation des Zusammenhanges von Quellmaß und Holzfeuchtegehalt anschaulich gezeigt, daß nicht über den gesamten hygrokopischen Bereich, sondern nur von etwa 5 % bis 20 % Holzfeuchtegehalt mit einem linearen Zusammenhang gerechnet werden kann. In der Nähe des darrtrockenen Zustandes sowie in der Nähe des Fasersättigungsbereiches ergeben sich deutliche Abweichungen. Die Unterschiede zwischen dem von Möhler (1932) definierten "Koeffizienten" und der von Keylwerth (1962) definierten "differentiellen Quellung" haben Noack et al. (1973) an zahlreichen Holzarten aufgezeigt. Diese Unterschiede können bis zu 30 % betragen.

Tabelle 1: Prüfnormen zur Bestimmung des Quell- und Schwindverhaltens von Holz (R, T, L: Hauptachsen; V: Volumen)

Norm - Ausgabejahr	Schwindung		Quellung		Maßänderung je 1 %		Probengröße und Bemerkungen
	naß auf atro	naß auf lutro	atro auf naß	atro auf lutro	Holz- feuchte	Luft- feuchte	
NF B 51006-1942	V				V		20 mm x 20 mm x 20 mm, Fasersättigung wird aus Schwindungskurve bestimmt
DIN 52184-1952	R, T, L		R, T, L				30 mm x 30 mm x 15 mm für R, T mindestens 100 mm in Faserrichtung für L
BS 373-1957	R, T	R, T					1 in. x 4 in. (Meßrichtung) x 1 in.
TGL 25106-1970	R, T, V		R, T, V		R, T		20 mm x 20 mm x 30 mm (Faserrichtung)
ASTM D 143-1978	R, T, V						1 in. x 4 in. (Meßrichtung) x 1 in. für R, T 2 in. x 2 in. für V, atro Prüfkörper werden mit Paraffin ummantelt
ISO 4469-1981	R, T	R, T					20 mm x 20 mm x (10 bis 30) mm
ISO 4858-1982	V	V					Berechnung aus Prüfung nach ISO 4469
ISO 4859-1982			R, T	R, T			20 mm x 20 mm x (10 bis 30) mm
ISO 4860-1982			V	V			Berechnung aus Prüfung nach ISO 4859
DIN 52184-1979		R, T, L	R, T, L		R, T	R, T	mindestens 20 mm x 20 mm x 10 mm für R, T mindestens 100 mm in Faserrichtung für L
naß: über Fasersättigung lutro: lufttrocken bzw. normalklimatisiert atro: absolut trocken							

- Der Quellungskoeffizient (ebenfalls zwischen Trocken- und Feuchtklima ermittelt) ist von besonderem Interesse bei Holzarten, deren Sorptionseigenschaften von denen mitteleuropäischer Hölzer abweichen, z.B. bei Tropenhölzern mit hydrophoben Inhaltsstoffen (Schwab 1978). Der Quellungskoeffizient benennt die Maßänderung je 1 % Luftfeuchteänderung.
- Die Quellung vom absolut trockenen bis zum nassen Zustand kommt bei der praktischen Holzverwendung nicht vor. Trotzdem berücksichtigt DIN 52 184 dieses maximale Quellmaß, weil für eine Vielzahl von Holzarten entsprechende Vergleichsangaben vorliegen.

3. Experimentelle Erfahrungen mit DIN 52 184

Seit der grundlegenden Untersuchung von Noack et al. (1973) wurden im Institut für Holzphysik und mechanische Technologie des Holzes der BFH, Hamburg für zahlreiche Hölzer die später in DIN 52 184 (1979) festgelegten Kenngrößen bestimmt. Die an repräsentativem Probenmaterial ermittelten Werte liegen in Holzeigenschaftstabellen und anderen Einzelveröffentlichungen tabelliert vor. Neben den Mittelwerten wurden meist auch die Minimal- und Maximalwerte sowie die Variationskoeffizienten angegeben. Vergleichbare Angaben über Spannweite und Streuung der Quell- und Schwindeigenschaften sind in der Literatur selten. Deshalb nennt Tabelle 2 beispielhaft Variationskoeffizienten, die sich bei Bestimmung der Quell- und Schwindmaße von Holzarten im Rohdichtebereich $0,29 \text{ g/cm}^3$ (Kiri) bis $0,79 \text{ g/cm}^3$ (Robinie) ergeben hatten. Die zugehörigen Kenngrößen sowie nähere Angaben zur Holzart und zur Probennahme sind bei Frühwald et al. (2000) für Kiri und Taxodium, bei Gottwald et al. (1982) für Lenga, bei Schwab et al. (2000) für Birke, bei Noack, Schwab (1988) für Robinie und in diesem Arbeitsbericht (S. 31-42) für Tola zu finden. Die Bestimmung des Quell- und Schwindverhaltens von Celtis und Abale erfolgte an Probenmaterial, das Gwet (1995) vorbereitet hatte. Wegen der langfristigen Klimlagerung konnten die Ergebnisse aber nicht in die zeitgebundene Diplomarbeit integriert werden.

Trotz der großen Unterschiede bei den Variationskoeffizienten, die ein Maß für die Streuung der Einzelwerte um den jeweiligen Mittelwert darstellen, deuten sich in Tabelle 2 folgende Tendenzen an:

- Kenngrößen der Radialrichtung streuen meist stärker als solche der Tangentialrichtung. Dies beruht vermutlich auf den unvermeidbaren Abweichungen der Probenachsen von den Hauptachsen des Holzes. Die Norm fordert, daß der Winkel zwischen den Jahrringen und den tangentialen Oberflächen der Proben 10° nicht überschreitet. Solche Abweichungen wirken sich bei den kleinen radialen Maßänderungen vergleichsweise stärker aus als bei den größeren tangentialen Maßänderungen.
- Trocknungs-Schwindmaß und maximales Quellmaß streuen meist stärker als differentielle Quellung und Quellungskoeffizient. Als Ursache hierfür ist die Wasserlagerung zu vermuten,

Tabelle 2: Variationskoeffizienten in % bei Bestimmung der Quell- und Schwindmaße einiger Holzarten

	Kiri	Taxodium	Tola	Lenga	Birke	Celtis	Abale	Robinie
Normal-Rohdichte	4,8	9,1	10,6	6,7	5,3	12,3	4,2	5,5
Maximales Quellmaß								
radial	28,7	18,8	24,3	22,2	12,0	20,0	18,1	11,6
tangential	17,0	13,1	15,5	13,1	8,5	8,8	12,1	10,7
Trocknungs-Schwindmaß								
radial	34,7	21,0	32,3	27,2	14,5	26,2	24,3	15,5
tangential	21,4	17,5	17,8	15,8	8,3	10,8	13,8	12,0
Differentielle Quellung								
radial	18,1	21,8	21,4	15,9	13,0	21,8	14,4	6,1
tangential	9,1	11,0	15,5	8,7	9,5	14,2	9,3	7,8
Quellungskoeffizient								
radial	25,8	22,8	21,8	17,1	13,7	23,9	17,4	8,2
tangential	12,8	12,4	16,9	10,1	10,4	18,6	12,6	9,5
Ausgleichsfeuchten								
im Klima 20/35	5,9	6,2	3,1	---	1,6	4,6	2,6	---
im Klima 20/65	3,8	4,6	4,8	5,1	1,5	6,3	3,3	---
im Klima 20/85	5,0	2,7	5,8	---	1,4	4,8	3,8	---

die zur Bestimmung der Trocknungs-Schwindmaße und der maximalen Quellmaße erforderlich ist. Entsprechend der Empfehlung von Burmester (1974) erfolgt die Wasserlagerung am Ende der Normprüfung und kann deshalb die beiden anderen Kenngrößen nicht beeinflussen.

Zur Ermittlung der differentiellen Quellung und des Quellungskoeffizienten werden hohe Anforderungen an die Klimakammer(n) gestellt: Während der gesamten Probenlagerung ist die geforderte Temperatur auf ± 1 °C und die relative Luftfeuchte auf ± 3 % einzuhalten. Da feuchtebedingte Maßänderungen nicht nur bei Vollholz, sondern auch bei Holzwerkstoffen durch Lagerung bis zur Massekonstanz im Normal-, Feucht- und Trockenklima bestimmt werden (DIN EN 318), empfiehlt sich der Dauerbetrieb von mindestens drei Klimakammern.

DIN 52 184 schreibt als Klimafolge Normalklima (20/65) → Feuchtklima (z.B. 20/85) → Trockenklima (z.B. 20/35) vor, wobei jeweils der Ausgleichszustand erreicht werden muß, bevor Längenmessung und Wägung erfolgen. Hierbei besteht die Gefahr, daß zufällige Schwankungen des Feucht- oder Trockenklimas kurz vor dem letzten Meß- und Wägevorgang das Ergebnis beeinflussen. Um diese Gefahr zu vermindern, hat sich in der experimentellen Praxis die Trennung des Probenmaterials in zwei gleichartige Probenserien bewährt. Während eine Serie der normgemäßen Klimafolge ausgesetzt wird, durchläuft die zweite Serie Normalklima → Trockenklima → Feuchtklima. Tabelle 3 zeigt am Beispiel von fünf untersuchten Holzarten die Ergebnisse für beide Varianten. Aus physikalischen Gründen sind keine Unterschiede zu erwarten, weil in beiden Fällen der Zustand im Trockenklima durch Desorption, der Zustand im Feuchtklima durch Adsorption erreicht wird. Trotzdem weicht die Relation "Zahlenwert der Variante 1 : Zahlenwert der Variante 2" gemäß Tabelle 3 vielfach von 1,0 ab. Für die differentielle Quellung liegen diese Relationen im Bereich 0,91...**0,99**...1,07, für den Quellungskoeffizient im Bereich 0,79...**0,97**...1,12. Die nahe 1,0 liegenden Mittelwerte bestätigen, daß keine systematische Abweichung vorliegt. Deshalb basieren die im BFH-Institut ermittelten und vielfach veröffentlichten Kenngrößen "differentielle Quellung" und "Quellungskoeffizient" jeweils auf den Ergebnissen beider Varianten gemeinsam. Die in der letzten Zeile der Tabelle aufgeführte Probengröße zeigt, daß die Kantenlängen der quadratischen Proben - im Einklang mit DIN 52 184 - zwischen 20 mm und 50 mm variieren. In dieser Spanne besteht nach Noack (1964) kein beachtenswerter Einfluß der Abmessungen auf die Quell- und Schwindmaße des Holzes.

Die künftige Einengung der oben genannten Bereiche (0,91 bis 1,07 bzw. 0,79 bis 1,12) setzt zuverlässigere Klimaeinrichtungen und eine strengere Definition des Ausgleichszustandes im Konstantklima voraus. Speziell für die Quell- und Schwindprüfung empfiehlt es sich, den Ausgleichszustand der Proben erst dann anzunehmen, wenn minimale positive und negative Masseänderungen entsprechend den Regelschwankungen der Klimaanlage auftreten. Dagegen reicht für alle mechanischen Prüfungen die normübliche Definition (Massekonstanz gilt als erreicht, wenn sich die Probenmasse gegenüber der vorherigen Wägung im Abstand von 24 h um nicht mehr als 0,1 % ändert) als Kriterium der Probenkonditionierung aus.

Tabelle 3: Vergleich der nach Variante 1 (Klimafolge 20/65 → 20/35 → 20/85) mit den nach Variante 2 (Klimafolge 20/65 → 20/85 → 20/35) ermittelten Kenngrößen "differentielle Quellung" und "Quellungskoeffizient", definiert in DIN 52 184, für fünf Holzarten unterschiedlicher Rohdichte

	Kiri			Taxodium			Birke			Celtis			Abale		
	Variante		Rel.	Variante		Rel.	Variante		Rel.	Variante		Rel.	Variante		Rel.
	1	2	1/2	1	2	1/2	1	2	1/2	1	2	1/2	1	2	1/2
Differentielle Quellung															
q _r in % je %	0,085	0,082	1,04	0,088	0,090	0,98	0,189	0,208	0,91	0,195	0,192	1,02	0,234	0,218	1,07
q _t in % je %	0,218	0,210	1,04	0,253	0,252	1,00	0,258	0,282	0,91	0,295	0,318	0,93	0,465	0,475	0,98
Quellungskoeffizient															
h _r in % je %	0,011	0,010	1,10	0,010	0,009	1,11	0,034	0,039	0,87	0,025	0,028	0,89	0,028	0,030	0,93
h _t in % je %	0,028	0,025	1,12	0,029	0,026	1,12	0,047	0,053	0,89	0,037	0,047	0,79	0,056	0,066	0,85
Quellungsanisotropie															
A _q = q _t /q _r [-]	2,56	2,56	1,00	2,87	2,80	1,02	1,37	1,36	1,01	1,51	1,65	0,92	1,99	2,18	0,91
Ausgleichsfeuchten															
u ₃₅ in %	7,01	7,74	0,91	8,81	9,54	0,92	7,71	7,75	0,99	8,69	8,83	0,98	9,22	9,32	0,99
u ₆₅ in %	11,35	11,31	1,00	12,41	12,38	1,00	11,63	11,60	1,00	11,97	11,47	1,04	12,94	12,73	1,02
u ₈₅ in %	13,55	13,73	0,99	14,52	14,71	0,99	16,79	17,05	0,98	15,00	16,14	0,93	15,24	16,24	0,94
Normal-Rohdichte															
ρ _N in g/cm ³	0,26... 0,29 ...0,34			0,34... 0,43 ...0,51			0,51... 0,60 ...0,68			0,56... 0,70 ...0,85			0,63... 0,78 ...0,85		
Zahl der Bäume	4			11			19			4			4		
Zahl der Proben	128			400			154			136			128		
Probengröße	50 x 50 x 25 mm ³			50 x 50 x 25 mm ³			30 x 30 x 15 mm ³			20 x 20 x 10 mm ³			20 x 20 x 10 mm ³		

4. Ausblick

Nachdem die Prüfnormen für Holzwerkstoffe auf CEN- und ISO-Ebene weitgehend übereinstimmen, wurden erste Schritte zur Vereinheitlichung der Prüfnormen für Vollholz eingeleitet. In diesem Rahmen sollten auch die vier in Tabelle 1 genannten ISO-Normen überarbeitet, zusammengelegt und um Kenngrößen zur praxisgerechten Beurteilung von Holzarten erweitert werden. Hierzu können DIN 52 184 und die von Rijdsijk, Laming (1994) beschriebenen Quell- und Schwindprüfungen wichtige Anregungen liefern.

Auf ISO-Ebene sind die organisatorischen Voraussetzungen für die Überarbeitung der Prüfnormen gegeben, nachdem das Technische Komitee ISO/TC 218 *Timber*, das durch Zusammenlegung der früheren TC 55 *Sawn timber and sawlogs* und TC 99 *Semi-manufactures of timber* entstanden ist, seine Arbeitsgruppe 4 *Test methods* eingesetzt hat. Erst nach Abschluß der ISO-Arbeit will CEN/TC 175 *Round- and sawn timber* die überarbeiteten ISO-Prüfnormen nach Möglichkeit in das europäische Normenwerk übernehmen. Bis dahin bleibt die bewährte DIN 52 184 voraussichtlich unverändert.

5. Literatur

Alden, H.A. 1997: Softwoods of North America. US Department of Agriculture, For. Prod. Lab., General Technical Report 102, Madison

Burmester, A. 1974: Veränderung der Darrabmessungen von Holz durch Umlagerung wasserlöslicher Stoffe in der Zellwand. Holz Roh- Werkstoff 32: 229-233

Farmer, R.H. 1972: Handbook of Hardwoods. HMSO London

Frühwald, A.; Schwab, E.; Krause, H.A. 2000: Eigenschaften einiger Plantagenhölzer aus Argentinien. Arbeitsbericht der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Hamburg

Gottwald, H.; Schwab, E.; Willeitner, H. 1982: Holzeigenschaftstafel Lenga. Holz Roh- Werkstoff 40: 19-27

Gwet, J.-P. 1995: Eigenschaften und Verwendung von *Celtis* spp. und *Petersianthus macrocarpus*, zwei häufig vorkommenden und bisher wenig genutzten Holzarten als Beitrag zur nachhaltigen Bewirtschaftung der Naturwälder Kameruns. Diplomarbeit Universität Hamburg

Janka, G. 1907: Die Einwirkung von Süß- und Salzwässern auf die gewerblichen Eigenschaften der Hauptholzarten. 1. Teil: Untersuchungen und Ergebnisse in mechanisch-technischer Hinsicht. Mitt. aus dem Forstlichen Versuchswesen Österreichs, Heft 23, Wien

Keylwerth, R. 1962: Untersuchungen über freie und behinderte Quellung von Holz. Erste Mitteilung: Freie Quellung. Holz Roh- Werkstoff 20: 252-259

Markwardt, L.J.; Wilson, T.R.C. 1935: Strength and related properties of woods grown in the United States. US Department of Agriculture, Techn. Bull. No. 479, Washington D.C.

Mörath, E. 1932: Studien über die hygroskopischen Eigenschaften und die Härte der Hölzer. Heft 1 der Mitt. der Holzforschungsstelle an der TH Darmstadt, Schaper-Verlag, Hannover

Noack, D. 1964: Einfluß der Probenabmessungen auf die Bestimmung der Quellmaße von Holz. Holz Roh- Werkstoff 22: 174-182

Noack, D.; Schwab, E. 1988: Quell- und Schwindmaße von Robinie. Holz Roh- Werkstoff 46: 316

Noack, D.; Schwab, E.; Bartz, A. 1973: Characteristics for a judgement of the sorption and swelling behavior of wood. Wood Science and Technology 7: 218-236

Rijdsdijk, J.F.; Laming, P.B. 1994: Physical and related properties of 145 timbers. Kluwer Academic Publ. Dordrecht, Boston, London

Sallenave, P. 1955: Propriétés physiques et mécaniques des bois tropicaux. Centre Technique Forestier Tropical, Nogent-sur-Marne (Supplément 1964, 1971)

Schwab, E. 1978: Das Stehvermögen von Holz. Holz-Zentralblatt 104: 70-73

Schwab, E.; Krause, H.A.; Liesebach, M.; Stephan, B.R. 2000: Holzeigenschaften der *Betula platyphylla* var. *japonica* von einem norddeutschen Standort. Holz Roh- Werkstoff 58: 184-190

Eigenschaften von Bau-Furniersperrholz aus Buche und Birke bei Biegung und Scherung

1. Einführung

Die Neuauflage der DIN EN 636 "Sperrholz - Anforderungen" (November 2003) entstand durch Zusammenlegung der früheren drei Teile, die jeweils für Sperrholz zur Verwendung im Innenbereich, im Feuchtbereich und im Außenbereich galten. Neu eingeführt ist ein Schema zur Klassifizierung der Furniersperrhölzer nach ihren Biege-Eigenschaften (Elastizitätsmodul und Festigkeit) in beiden Hauptachsen der Plattenebene (parallel bzw. quer zur Faserrichtung der Deckfurniere). Diese "Biege-Klassen" ermöglichen die Festlegung charakteristischer Werte für Bau-Furniersperrhölzer aus unterschiedlichen Holzarten und mit verschiedenartigen Aufbauten (Schwab, Boehme, Rusche 2002). Sie bilden damit die Grundlage für EN 12369-2 "Charakteristische Werte für die Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken. Teil 2: Sperrholz".

In Deutschland spielt Buchenholz eine besondere Rolle bei der Herstellung von Bau-Furniersperrhölzern. Deshalb gab es im nationalen Normenwerk speziell für "Bau-Furniersperrholz aus Buche" den Teil 5 der DIN 68 705, der wesentlich höhere mechanische Anforderungen stellte als der holzartunabhängige Teil 3 "Bau-Furniersperrholz" dieser Norm. Im Zusammenhang mit den europäischen Normungsarbeiten wurden einige mechanische Eigenschaften von Bau-Furniersperrholz aus Buche an Plattentypen mit den Nenndicken 18, 25 und 30 mm untersucht. Das Buchen-Sperrholz stellte die Blumberger Holzindustrie B. Hausmann GmbH & Co. KG zur Verfügung. Vergleichend wurde finnisches Birken-Furniersperrholz mit der Nenndicke 23 mm beim Holzhandel gekauft und geprüft. Tabelle 1 charakterisiert das Untersuchungsmaterial.

Tabelle 1: Untersuchte Plattentypen

Holzart	Nenndicke mm	Furnierzahl	Lagenzahl	Rohdichte g/m ³	Feuchtegehalt %
Buche	18	9	9	0,75	9,3
	25	12	11	0,76	8,9
	30	15	15	0,74	8,5
Birke	23	17	17	0,72	9,2

2. Biegeeigenschaften

Die Biegeprüfung erfolgte an mittelgroßen Prüfkörpern im 4 Punkt-Biegeversuch nach EN 789 "Bestimmung der mechanischen Eigenschaften von Holzwerkstoffen" sowie an kleinen Prüfkörpern im 3 Punkt-Biegeversuch nach EN 310 "Holzwerkstoffe - Bestimmung des Biege-Elastizitätsmodul und der Biegefestigkeit". Die Prüfkörperzahl betrug je Plattentyp, Belastungsrichtung und Prüfmethode 4. Die Ergebnisse der Biegeprüfung sind in den Tabellen 2 und 3 dargestellt. Aufgrund der geringen Eigenschaftsunterschiede zwischen den drei Buchen-Plattentypen wurden deren Ergebnisse jeweils zusammengefaßt.

Auf Basis der Mittelwerte gelten für die Buchen-Platten (bzw. die Birken-Platte, Kurzzeichen BI) folgende Relationen $E_{m,310} : E_{m,789}$ bzw. $f_{m,310} : f_{m,789}$ zwischen den Eigenschaften nach EN 310 und EN 789:

Für den Elastizitätsmodul E_m parallel zur Faserrichtung der Deckfurniere

$$E_{m,310} : E_{m,789} = 0,93 \quad (\text{BI: } 0,84)$$

Für den Elastizitätsmodul E_m quer zur Faserrichtung der Deckfurniere

$$E_{m,310} : E_{m,789} = 0,90 \quad (\text{BI: } 0,83)$$

Für die Biegefestigkeit f_m parallel zur Faserrichtung der Deckfurniere

$$f_{m,310} : f_{m,789} = 1,25 \quad (\text{BI: } 1,11)$$

Für die Biegefestigkeit f_m quer zur Faserrichtung der Deckfurniere

$$f_{m,310} : f_{m,789} = 1,26 \quad (\text{BI: } 1,36)$$

3. Schereigenschaften in Plattenebene

Die Scherprüfung in Plattenebene erfolgte an mittelgroßen Prüfkörpern mit aufgeklebten Stahlplatten nach EN 789, Anhang C. Insgesamt wurden 21 Prüfkörper hergestellt und geprüft. Die Ergebnisse sind in Tabelle 4 enthalten. Ein signifikanter Unterschied zwischen Aufbringung der Scherkraft in Faserrichtung bzw. Aufbringung quer zur Faserrichtung ist nicht erkennbar.

Bei vorgegebener Holzart hängt die Scherfestigkeit in Plattenebene von der Güte der Verklebung ab. Deshalb liegt es nahe, die Scherfestigkeiten der Tabelle 4 mit Prüfergebnissen nach EN 314 "Sperrholz - Qualität der Verklebung - Teil 1: Prüfverfahren" zu vergleichen. An normalklimatisierten Zugscherproben aus Buchen-Furniersperrholz im Dickenbereich 18 bis 26 mm hatten sich mittlere Scherfestigkeiten von 3,8 bis 5,0 N/mm² ergeben (Schwab 1998). Der Gesamtmittelwert betrug 4,4 N/mm². Die mittlere Scherfestigkeit der Buchenplatten ist nach Tabelle 4 mit 4,3 N/mm² nahezu identisch

Tabelle 2: Biegeeigenschaften von Furniersperrholz, bestimmt nach EN 789 im Vierpunktversuch

Holzart	Nennstärke mm	in Faserrichtung der Deckfurniere		quer zur Faserrichtung der Deckfurniere	
		Elastizitätsmodul N/mm ²	Biegefestigkeit N/mm ²	Elastizitätsmodul N/mm ²	Biegefestigkeit N/mm ²
Buche	18	8580... 8980 ...9680	66,0... 68,0 ...71,4	6460... 6510 ...6610	48,8... 51,4 ...54,8
Buche	25	8280... 8640 ...8910	59,5... 62,9 ...65,2	6320... 6800 ...7350	50,1... 56,6 ...61,1
Buche	30	8170... 8730 ...9320	57,4... 66,4 ...76,4	6190... 6600 ...7200	54,6... 56,9 ...62,4
Buche gemeinsam		8170... 8780 ...9680 V = 5,3 %	57,4... 65,1 ...76,4 V = 8,3 %	6190... 6640 ...7350 V = 5,5 %	48,8... 55,0 ...62,4 V = 7,8 %
Birke	23	10670... 10870 ...11060	72,6... 72,8 ...73,0	8280... 8820 ...9350	46,9... 53,5 ...60,0

Tabelle 3: Biegeeigenschaften von Furniersperrholz, bestimmt nach EN 310 im Dreipunktversuch

Holzart	Nennstärke mm	in Faserrichtung der Deckfurniere		quer zur Faserrichtung der Deckfurniere	
		Elastizitätsmodul N/mm ²	Biegefestigkeit N/mm ²	Elastizitätsmodul N/mm ²	Biegefestigkeit N/mm ²
Buche	18	7710... 8280 ...8800	72,6... 86,7 ...96,4	5810... 6160 ...6900	60,7... 69,4 ...78,4
Buche	25	7610... 8040 ...8360	68,6... 76,4 ...86,4	5250... 6300 ...7090	62,1... 69,9 ...79,2
Buche	30	8170... 8220 ...8250	76,4... 79,1 ...84,2	4870... 5440 ...5920	61,4... 68,1 ...76,1
Buche gemeinsam		7610... 8170 ...8800 V = 3,8 %	68,6... 81,1 ...96,4 V = 10,0 %	4870... 5980 ...7090 V = 9,7 %	60,7... 69,1 ...79,2 V = 8,1 %
Birke	23	9030... 9160 ...9440	68,6... 80,5 ...88,3	7220... 7360 ...7560	67,7... 72,7 ...76,2

Tabelle 4: Schereigenschaften von Furniersperrholz in Plattenebene nach EN 789, Anhang C

Holzart	Nennstärke mm	in Faserrichtung der Deckfurniere		quer zur Faserrichtung der Deckfurniere	
		Schubmodul N/mm ²	Scherfestigkeit N/mm ²	Schubmodul N/mm ²	Scherfestigkeit N/mm ²
Buche	18	343... 367 ...406	4,1... 4,2 ...4,3	361... 394 ...416	3,9... 4,3 ...4,6
Buche	25	361... 381 ...397	4,0... 4,5 ...4,9	369... 400 ...452	4,1... 4,3 ...4,7
Birke	23	252... 261 ...272	4,0... 4,2 ...4,5	257... 268 ...271	4,5... 4,6 ...4,7

Auf die geringe Schubsteifigkeit des Birkenholzes gegenüber dem Buchenholz, die auch beim Furniersperrholz nach Tabelle 4 deutlich wird, hat bereits KÜCH (1939) hingewiesen.

4. Schereigenschaften quer zur Plattenebene

Für die Prüfung von Holzwerkstoffen durch Scherung quer zur Plattenebene haben Ehlbeck und Colling (1985) eine Versuchseinrichtung für mittelgroße Prüfkörper vorgeschlagen und erprobt, die später in EN 789, Anhang B genormt wurde. Mit dieser Versuchseinrichtung bestimmten Ehlbeck, Colling an Bau-Furniersperrholz aus Buche einen mittleren Schubmodul von 760 N/mm² und eine mittlere Scherfestigkeit von 11,5 N/mm². Diese Werte gelten nahezu unabhängig von der Plattendicke. An kleinen zweiseitigen Scherproben ermittelten sie für dasselbe Untersuchungsmaterial eine deutlich höhere Scherfestigkeit von 14,6 N/mm².

Bei der hier vorliegenden Untersuchung wurden entsprechende Scherprüfungen an Birken-Furniersperrholz durchgeführt. Bild 1 zeigt einen Prüfkörper aus Birken-Furniersperrholz, auf den zur Krafteinleitung Joche aus Buchenholz geklebt und geschraubt sind. Die Verformungsmessung zur Bestimmung des Schubmoduls erfolgt beidseitig mit induktiven Wegaufnehmern. Die Ergebnisse sind in Tabelle 5 zusammengestellt. Dort entspricht "Prüfung nach EN 789, Anhang B" den mittelgroßen, Prüfung nach FESYP (1979) den kleinen Prüfkörpern. Die zusätzliche Prüfung nach Ziethén (1994) wurde mit der von diesem Autor abgewandelten Schervorrichtung, die eine gleichmäßigere Spannungsverteilung bewirkt, ebenfalls an mittelgroßen Prüfkörpern durchgeführt.

Tabelle 5 bestätigt an Birken-Furniersperrholz das Ergebnis von Ehlbeck und Colling: Für die kleinen zweiseitigen Prüfkörper liegen die Scherfestigkeiten etwa 25 % höher als für die mittelgroßen Prüfkörper. Zudem zeigt sich, daß die Vorrichtung nach Ziethén zu höheren Schubmodulen führt, die Scherfestigkeit aber nicht beeinflusst.



Bild 1: Prüfkörper zur Bestimmung des Schubmoduls quer zur Plattenebene aus Birken-Furniersperrholz in der Schervorrichtung nach EN 789. Joche aus Buchenholz zur Krafteinleitung. Induktiver Aufnehmer zur Verformungsmessung.

Tabelle 5: Schereigenschaften von Birken-Furniersperrholz quer zur Plattenebene nach drei im Text erläuterten Prüfmethode. 4 Prüfkörper je Beanspruchungsrichtung und Prüfmethode

Prüfung nach	in Faserrichtung der Deckfurniere		quer zur Faserrichtung der Deckfurniere	
	Schubmodul N/mm ²	Scherfestigkeit N/mm ²	Schubmodul N/mm ²	Scherfestigkeit N/mm ²
EN 789, Anhang B	681... 707 ...734	11,2... 11,5 ...11,9	659... 731 ...771	11,8... 12,4 ...13,0
Ziethén (1994)	835... 868 ...926	10,7... 11,3 ...12,0	811... 905 ...980	11,9... 12,2 ...12,3
FESYP (1979)	----	14,4... 14,5 ...14,9	----	14,9... 15,5 ...16,1

5. Schlußfolgerung

Diese Untersuchung an Buchen- und Birken-Furniersperrholz zeigt, daß die Biege- und Scherfestigkeiten beider Plattenarten nicht voneinander abweichen, wenn die Lagenzahl mindestens 9 beträgt. Die Biege-Elastizitätsmoduln liegen aber beim Birken-Sperrholz höher als beim vergleichbar aufgebauten Buchen-Sperrholz. Dagegen überschreiten die Schubmoduln in Plattenebene des Buchen-Sperrholzes diejenigen des Birken-Sperrholzes. Zu diesen Unterschieden trägt vermutlich der meist geradere Faserverlauf des Birkenholzes bei.

Die Prüfung der Eigenschaften erfolgte sowohl an mittelgroßen Prüfkörpern, wie sie zur Bestimmung der charakteristischen Werte im Bauwesen vorgeschrieben sind, als auch an kleinen Prüfkörpern, die bei der laufenden Qualitätskontrolle bevorzugt werden. Insofern dienen die hier vorgelegten Ergebnisse auch zur Ermittlung der Relation "kleine Prüfkörper zu mittelgroße Prüfkörper". Diese Relation beträgt etwa:

- bei dem Biege-Elastizitätsmodul 0,90
- bei der Biegefestigkeit 1,25
- bei der Scherfestigkeit in Plattenebene 1,0
- bei der Scherfestigkeit quer zur Plattenebene 1,25.

6. Literatur

Ehlbeck, J.; Colling, F. 1985: Scherfestigkeit rechtwinklig zur Plattenebene und Schubmodul von Bau-Furniersperrholz aus Buche. Holz Roh- Werkstoff 43: 143-147

FESYP 1979: Untersuchung über baustatisch wichtige Eigenschaften von Spanplatten. Fédération Européenne des Syndicats de Fabricants de Panneaux de Particules, Giessen

Küch, W. 1939: Untersuchungen an Holz, Sperrholz und Schichthölzern im Hinblick auf ihre Verwendung im Flugzeugbau. Holz Roh- Werkstoff 2: 257-272

Schwab, E. 1998: Zur Prüfung der Verklebung von Bau-Furniersperrholz im Zugscherversuch. In: Ingenieur-Hochbau, Festschrift zum 60. Geburtstag von Prof. Dr. E. Cziesielski. Werner Verlag, Düsseldorf, S. 377-386

Schwab, E.; Boehme, C.; Rusche, H. 2002: Normung für Sperrholz zur Zeit im Umbruch. Holz-Zentralblatt 128: 62-63

Ziethén, R. 1994: Evaluation of test methods for wood based panels - Determination of shear modulus and shear strength. Swedish National and Research Institute, Borås, SP-Report 1994: 56

Mechanische Eigenschaften von Copaiba Furniersperrholz

1. Einführung

Europäische Holzwerkstoffnormen legen im Rahmen der Anforderungen an die Platten meist Mindestwerte der mechanischen Eigenschaften fest. So werden bei OSB-Platten in EN 300, bei Spanplatten in EN 312 und bei Faserplatten in EN 622 bestimmte Biegefestigkeiten und Elastizitätsmoduln für die einzelnen Plattentypen gefordert. Eine Ausnahme bildet die Sperrholz-Norm EN 636, die statt konkreter Anforderungswerte ein offenes Klassifizierungssystem enthält, in das die Furniersperrhölzer nach ihren Biege-Eigenschaften einzuordnen sind. Dieses System hat den Vorteil, sehr unterschiedliche Sperrhölzer bezüglich Holzart, Furnierdicke und Plattenaufbau abzudecken. Es hat aber den Nachteil, daß die charakteristischen Werte, die den Klassen in EN 12369-2 zugeordnet sind, sehr konservativ angesetzt sein müssen.

Ein Hersteller kann durch Prüfung nach EN 789 und anschließende Berechnung nach EN 1058 für sein Produkt günstigere charakteristische Werte nachweisen. In Anbetracht der kleinen Mengen, in denen zahlreiche Sperrholztypen gefertigt werden, ist diese Ermittlung charakteristischer Werte für einzelne Typen sehr zeit- und kostenaufwendig. Eine wesentliche Vereinfachung wäre möglich, wenn aus den Ergebnissen, die an kleinen Prüfkörpern z.B. im Rahmen der laufenden Qualitätskontrolle gewonnen werden, auf die Ergebnisse an mittelgroßen Prüfkörpern geschlossen werden könnte. Für Buchen- und Birken-Furniersperrholz liegen entsprechende Vergleichsversuche vor. Hier wird ein Sperrholz untersucht, dessen Furniere aus Copaiba und ähnlichen südamerikanischen Hölzern bestehen.

2. Material und Methoden

Als Untersuchungsmaterial lagen vor: 20 Copaiba-Furniersperrhölzer à 3140 mm x 1740 mm, Nenndicke 21 mm, 9-lagig mit einheitlicher Furnierdicke. Nach makroskopischer Untersuchung der Schmalflächen einiger Platten durch Richter (2002) enthalten die Platten neben Copaiba (*Copaifera* spp.) auch Furniere anderer Holzarten, wobei auf möglichst symmetrischen Plattenaufbau geachtet wurde. Die mechanischen Eigenschaften sowie die Rohdichte und der Feuchtegehalt wurden nach den in Tabelle 1 angegebenen Prüfnormen (Titel und Ausgabedaten siehe S. 112 - 114 dieses Arbeitsberichtes) bestimmt. Selbst bei Ermittlung derselben Eigenschaft kann sich die Normprüfung der mittelgroßen Prüfkörper von der Normprüfung der kleinen Prüfkörper methodisch unterscheiden. Beispiele sind die 4-Punkt-Biegeprüfung nach EN 789 und die 3-Punkt-Biegeprüfung nach EN 310. Deshalb beruhen die später nachgewiesenen Eigenschaftsunterschiede zwischen kleinen und mittelgroßen Prüfkörpern teilweise auch auf abweichenden Prüfbedingungen.

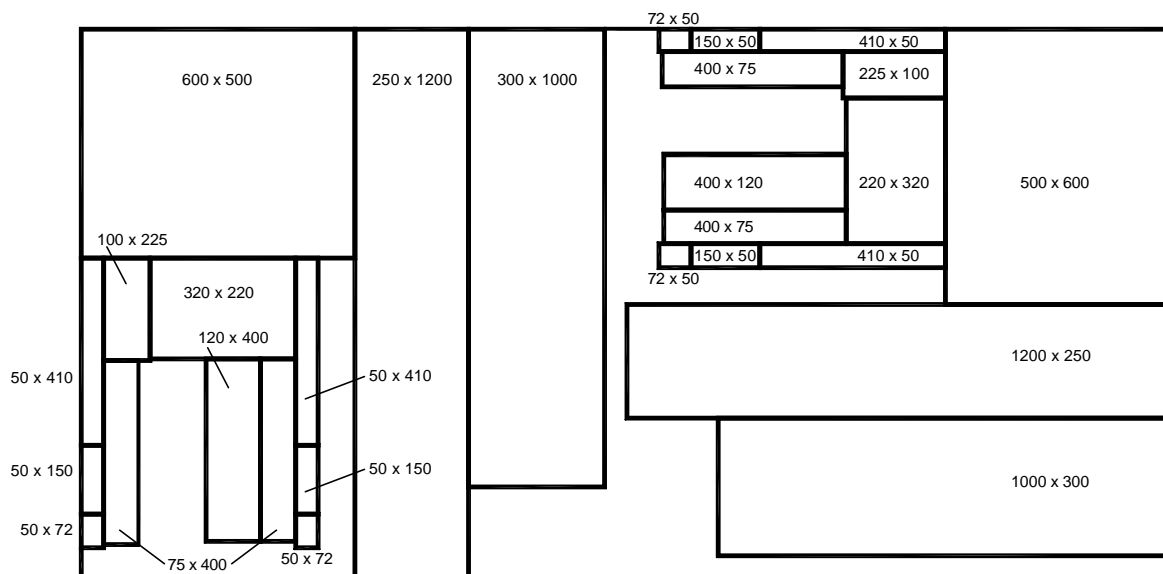
Aus jeder Platte wurden je Eigenschaft und Richtung (längs bzw. quer zum Faserverlauf des Deckfurniers) mindestens ein mittelgroßer und zwei kleine Prüfkörper entnommen. Damit die Prüfkörper zur Bestimmung einer Eigenschaft aus unterschiedlichen Plattenbereichen stammten, wurden fünf Schnittpläne für je vier Plattentypen verwendet. Bild 1 zeigt beispielhaft Schnittplan 3 für die Platten 3, 8, 13 und 18.

Tabelle 1: Die Bestimmung der Eigenschaften erfolgte nach den hier angegebenen Prüfnormen bzw. Normvorschlägen

Eigenschaft	Faserrichtung der Deckfurnier	Prüfkörper	
		mittelgroß	klein
Biege-Elastizitätsmodul Biegefestigkeit	längs, quer längs, quer	EN 789 EN 789	EN 310 EN 310
Zug-Elastizitätsmodul Zugfestigkeit	längs, quer längs, quer	EN 789 EN 789	prEN WI 112.147 ¹⁾ prEN WI 112.147 ¹⁾
Druck-Elastizitätsmodul Druckfestigkeit	längs, quer längs, quer	EN 789 EN 789	---- prEN WI 112.147 ¹⁾
Schubmodul \perp zur Plattenebene Scherfestigkeit \perp zur Plattenebene	längs, quer längs, quer	EN 789 EN 789	---- prEN WI 112.147 ¹⁾
Schubmodul in Plattenebene Scherfestigkeit in Plattenebene	längs längs	EN 789 EN 789	---- EN 314-1
Rohdichte	----	----	EN 323
Feuchtegehalt	----	----	EN 322
¹⁾ prEN WI 112.147 Wood based panels - Small scale indicative test methods for certain mechanical properties			

Die Rohdichte und der Feuchtegehalt wurden nach Lagerung im Normalklima 20 °C/65 % rel. Luftfeuchte an je 2 Prüfkörpern je Platte, d.h. an 40 Prüfkörpern mit den Abmessungen 150 mm x 50 mm x Plattendicke bestimmt. Dabei ergab sich

- für die Rohdichte 630...**684**...776 kg/m³ (V = 4,9 %)
- für den Feuchtegehalt 7,6...**8,4**...9,4 % (V = 4,8 %)



Sperrholz 3

Bild 1: Schnittplan 3 als Beispiel für einen der fünf verwendeten Schnittpläne

3. Ergebnisse

Tabelle 2 enthält die nach den Prüfnormen der Tabelle 1 bestimmten **Elastizitäts- und Schubmoduln**. Demnach liefern die mittelgroßen Prüfkörper bei der 4-Punkt-Biegung größere Elastizitätsmoduln als die kleinen Prüfkörper bei der 3-Punkt-Biegung. Dagegen überschreiten die mittleren Zug- und Druck-Elastizitätsmoduln der kleinen Prüfkörper die Vergleichswerte der großen Prüfkörper um 4 bis 10 %.

Das Verhältnis der Zug- bzw. Druck-Elastizitätsmoduln in Faserrichtung zu denen quer zur Faserrichtung beträgt etwa 1,1. Die Platte ist also in ihrer Ebene weniger anisotrop als aus dem Aufbau (5 Lagen längs, 4 Lagen quer) zu erwarten wäre. Offensichtlich wurde bei der Plattenherstellung das Furnierholz mit der höheren Rohdichte bevorzugt den Querlagen zugeordnet. Durch die Verwendung unterschiedlicher Holzarten innerhalb dieser Copaiba-Platten kann das in ENV 14272 beschriebene Verfahren zur Berechnung der mechanischen Eigenschaften nicht angewendet werden. Dazu wäre eine direkte Zuordnung definierter Furnierholzarten zu bestimmten Lagen der 20 untersuchten Platten erforderlich. Ein Vergleich der experimentell bestimmten Eigenschaften mit aus dem Plattenaufbau berechneten Eigenschaften ist also nicht möglich.

An kleinen Scherproben können die Schubmoduln nicht bestimmt werden. Deshalb liegen die Schubmoduln ausschließlich für mittelgroße Prüfkörper vor.

Tabelle 2: Elastizitätsmoduln und Schubmoduln in N/mm² von Copaiba-Furniersperrholz. Angegeben sind Minimal...**Mittel**...Maximalwert sowie der Variationskoeffizient V als Maß für die Streuung der Einzelwerte um den Mittelwert. N: Zahl der Prüfkörper.

Eigenschaft	Mitteltgroße Prüfkörper (N = 20)	Kleine Prüfkörper (N = 40)
Biege-Elastizitätsmodul längs	7780... 9120 ...10410 V = 7,7 %	6850... 8350 ...10230 V = 9,6 %
Biege-Elastizitätsmodul quer	4180... 6160 ...7950 V = 15,5 %	4080... 5650 ...7670 V = 13,7 %
Zug-Elastizitätsmodul längs	6940... 8010 ...9310 V = 9,9 %	6640... 8370 ...10920 V = 12,9 %
Zug-Elastizitätsmodul quer	5980... 7270 ...8800 V = 12,9 %	4560... 7650 ...11440 V = 16,7 %
Druck-Elastizitätsmodul längs	5690... 7250 ...8540 V = 12,4 %	6270... 7980 ...10010 V = 15,9 %
Druck-Elastizitätsmodul quer	4470... 6630 ...9500 V = 15,0 %	4880... 7270 ...10230 V = 15,9 %
Schubmodul rechtwinklig zur Plattenebene, Kraft längs	494... 595 ...668 V = 8,2 %	----
Schubmodul rechtwinklig zur Plattenebene, Kraft quer	492... 574 ...647 V = 7,8 %	----
Schubmodul in Plattenebene Kraft längs	418... 473 ...589 V = 11,2 %	----
längs: in Faserrichtung der Deckfurniere quer: quer zur Faserrichtung der Deckfurniere		

Tabelle 3 enthält die ermittelten **Festigkeiten**. Demnach liefern die kleinen Prüfkörper bei Biegung, Zug und Scherung höhere Festigkeitswerte als die mittelgroßen Prüfkörper. Dagegen liegen die Druckfestigkeiten der kleinen Prüfkörper etwas niedriger als die der mittelgroßen Prüfkörper. Bild 2 zeigt einen Zugbruch bei Belastung quer zur Faserrichtung der Deckfurniere. Hierbei wird die Verwendung verschiedener Holzarten in einer Platte deutlich.



Bild 2: Bruchbild eines Zug-Prüfkörpers nach EN 789. Unterschiedliche Holzarten innerhalb des Sperrholzes erkennbar.

Das Verhältnis der Zugfestigkeit längs zur Zugfestigkeit quer beträgt bei beiden Prüfkörpergrößen etwa 1,1. Dagen liegt die Druckfestigkeit in Faserrichtung der Deckfurniere nur geringfügig höher (mittelgroße Prüfkörper) bzw. nicht höher (kleine Prüfkörper) als die Druckfestigkeit quer zur Faserrichtung. Die Ursache geht aus Bild 3 hervor: Vielfach treten Spaltbrüche parallel zur Plattenebene auf bevor die höhere Festigkeit in der Plattenhauptachse wirksam werden kann. Die Druckprüfkörper des Bildes 3 wurden aus zwei parallel verklebten Plattenabschnitten hergestellt, um die nach EN 789 geforderte Mindestdicke von 40 mm zu gewährleisten.

Für die Scherung rechtwinklig zur Plattenebene ergeben sich bei Kraftereinleitung längs zur Faserrichtung der Deckfurniere etwa dieselben Scherfestigkeiten wie bei Kraftereinleitung quer zur Faserrichtung. Auch Ehlbeck, Colling (1985) bezeichnen den Einfluß der Faserrichtung der Deckfurniere bezüglich der Scherfläche als unbedeutend. Dabei erreichen die kleinen Prüfkörper etwa ein Drittel höhere Festigkeiten als die mittelgroßen Prüfkörper.

Tabelle 3: Festigkeiten in N/mm² von Copaiba-Furniersperrholz. Angegeben sind Minimal...
Mittel...Maximalwert sowie der Variationskoeffizient V als Maß für die Streuung
 der Einzelwerte um den Mittelwert. N: Zahl der Prüfkörper.

Eigenschaft	Mittelgroße Prüfkörper (N = 20)	Kleine Prüfkörper (N = 40)
Biegefestigkeit längs	43,6... 57,8 ...67,8 V = 11,1 %	48,3... 66,9 ...87,5 V = 14,8 %
Biegefestigkeit quer	27,1... 42,5 ...57,2 V = 20,2 %	32,2... 58,3 ...80,0 V = 20,1 %
Zugfestigkeit längs	28,7... 41,1 ...53,1 V = 13,6 %	38,7... 50,8 ...63,3 V = 11,3 %
Zugfestigkeit quer	25,2... 35,9 ...46,4 V = 17,7 %	26,2... 44,0 ...67,1 V = 23,3 %
Druckfestigkeit längs	36,2... 39,6 ...42,3 V = 4,4 %	28,3... 36,1 ...41,2 V = 7,0 %
Druckfestigkeit quer	30,4... 38,3 ...49,4 V = 12,9 %	27,2... 36,1 ...47,5 V = 13,6 %
Scherfestigkeit rechtwinklig zur Plattenebene, Kraft längs	7,6... 8,9 ...10,3 V = 8,9 %	9,5... 11,8 ...14,8 V = 9,8 %
Scherfestigkeit rechtwinklig zur Plattenebene, Kraft quer	7,3... 8,7 ...10,2 V = 9,0 %	9,8... 11,9 ...14,2 V = 8,7 %
Scherfestigkeit in Plattenebene, Kraft längs	2,3... 3,3 ...4,1 V = 17,1 %	1,5... 3,7 ...5,7 V = 25,5 %
längs: in Faserrichtung der Deckfurniere quer: quer zur Faserrichtung der Deckfurniere		

Die Scherfestigkeit in Plattenebene wurde ausschließlich durch Krafteinleitung in Faserrichtung der Deckfurniere bestimmt, weil sich bei Krafteinleitung quer zur Faserrichtung keine signifikant anderen Festigkeiten ergeben (S. 63 dieses Arbeitsberichtes). Bild 4 zeigt beispielhaft einige Scherflächen mittelgroßer Prüfkörper.

An kleinen Prüfkörpern wurde die Scherfestigkeit in Plattenebene nach EN 314-1 ermittelt. Diese Zugscherprüfung, die primär zur Bestimmung der Verklebungsqualität dient, wird im Anhang A mit einer Druckscherprüfung verglichen, die bei Vollholz, verklebtem Holz und Spanplatten üblich ist.



Bild 3: Druck-Prüfkörper nach EN 789. Stauchbrüche und Spaltbrüche erkennbar.

4. Vergleich der Eigenschaften mittelgroßer Prüfkörper mit denen kleiner Prüfkörper

Tabelle 4 enthält in der Spalte "Furniersperrholz aus Copaiba" die Relationen, die sich für die elastischen Eigenschaften gemäß Tabelle 2 und für die Festigkeiten gemäß Tabelle 3 aus den Mittelwerten der kleinen Prüfkörper zu den Mittelwerten der großen Prüfkörper ergeben. Zum Vergleich liefert Tabelle 4 für andere Sperrhölzer entsprechende Relationen. Aus diesen verfügbaren Daten wurden durch einfache Mittelwertbildung die Relationen für "Furniersperrholz allgemein" errechnet.

Die beiden letzten Spalten der Tabelle 4 zeigen Vergleichswerte, die an OSB-Platten und Spanplatten ermittelt wurden. Die Werte der Tabelle 4 deuten darauf hin, daß für Furniersperrholz und OSB-Platten ähnliche Relationen gelten, während die Relationen der Spanplatten teilweise deutlich abweichen. Nachdem in das CEN-Dokument "prEN WI 112.147 Wood-based-panels - Small scale indicative test methods for certain mechanical properties" Prüfungen mit kleinen Prüfkörpern integriert wurden, die in Deutschland schon länger üblich sind, besteht nun die Hoffnung auf europaweite Vergleichsversuche.



Bild 4: Beispiele für Scherbrüche parallel zur Klebfugenebene. Um eine größere Bandbreite der Bruchbilder zeigen zu können, sind die Scherflächen (Originalmaße 225 mm x 100 mm) der sechs mittelgroßen Prüfkörper verzerrt dargestellt.

Tabelle 4: Relation der Eigenschaft, bestimmt an kleinen Prüfkörpern, zu derselben Eigenschaft, bestimmt an mittelgroßen Prüfkörpern, für das hier geprüfte Copaiba-Furniersperrholz. Vergleichswerte für andere Sperrhölzer, OSB und Spanplatte aus der Literatur.

Eigenschaft	Haupt- achse	Furniersperrholz aus				Furniersperrholz allgemein	OSB	Spanplatte
		Copaiba	Buche	Birke	SO-Asien			
Biege-Elastizitätsmodul	längs	0,92	0,93 ¹⁾	0,84 ¹⁾		0,83... 0,89 ...0,93	0,96	0,89
	quer	0,92	0,90 ¹⁾	0,83 ¹⁾				
Biegefestigkeit	längs	1,16	1,25 ¹⁾	1,11 ¹⁾	1,36	1,11... 1,26 ...1,37	1,27	1,10
	quer	1,37	1,26 ¹⁾	1,36 ¹⁾	1,22			
Zug-Elastizitätsmodul	längs	1,04				1,05		1,17
	quer	1,05						
Zugfestigkeit	längs	1,24			1,49	1,20... 1,29 ...1,49		1,0
	quer	1,23			1,20			
Druckfestigkeit	längs	0,91			0,88	0,88... 0,92 ...0,95		0,86
	quer	0,94			0,95			
Scherfestigkeit senkrecht zur Plattenebene	längs	1,33	1,27 ²⁾	1,26 ¹⁾		1,25... 1,30 ...1,37	1,22	1,04
	quer	1,37		1,25 ¹⁾				
Scherfestigkeit in Plattenebene	längs	1,12	1,0 ¹⁾			1,06	1,01	1,28
Literatur		Eigene Messung	¹⁾ S. 62-67 dieses Arbeits- berichtes ²⁾ Ehlbeck, Colling 1985		Passialis, Schwab 1989		S. 80-88 dieses Arbeitsberichtes	Boehme 2000

5. Literatur

Boehme, C. 2000: Einfluß der Prüfkörperabmessung bei Spanplatten. Holz-Zentralblatt 126: 1874, 1876, 1910 und 1912

Ehlbeck, J.; Colling F. 1985: Scherfestigkeit rechtwinklig zur Plattenebene und Schubmodul von Bau-Furniersperrholz aus Buche. Holz Roh- Werkstoff 43: 143-147

Passialis, C; Schwab, E. 1989: Mechanical properties of wood-based panels: large specimens versus small specimens tests . CEN/TC 112/WG 2 N24

Richter, H.G. 2002: Orientierende Holzartenbestimmung an Furniersperrholz. BFH Hamburg, Unveröffentlicht

Schwab, E. 1998: Zur Prüfung der Verklebung von Bau-Furniersperrholz im Zugscherversuch. In: Ingenieur-Hochbau, Festschrift zum 60. Geburtstag von Prof. Dr. E. Cziesielski. Werner Verlag Düsseldorf, S. 377-386

Anhang A: Vergleichende Scherprüfung der Verklebungsqualität von Furniersperrholz mittels Zug und Druck

Die Prüfung der Verklebung von Furniersperrholz erfolgt nach EN 314-1 im Zugscherversuch mit einer Scherfläche von 25 mm x 25 mm. Für alle drei Verklebungsklassen nach EN 636 ist als Vorbehandlung eine 24stündige Wasserlagerung bei (20 ± 3) °C durchzuführen. Zusätzliche Vorbehandlungen gelten für die Verklebungsklassen 2 und 3.

Druckscherprüfungen mit einer Scherfläche von 50 mm x 50 mm sind für andere Prüfzwecke genormt, z.B. zur Bestimmung der Scherfestigkeit

- von Holz in Faserrichtung nach DIN 52 187
- von Leimfugen bei Brettschichtholz nach EN 392
- von Spanplatten in Plattenebene nach DIN 52 367

In Anlehnung an diese Normen wurde die Verklebungsqualität des Copaiba-Furniersperrholzes auch im Druckscherversuch geprüft. Hierzu wurden aus jeder der 20 Platten acht kleine Abschnitte entnommen und auf den Oberflächen faserparallel miteinander verklebt. Dadurch entstand je Platte ein Block mit der 8fachen Plattendicke. Aus jedem Block wurden 6 Prüfstäbe des Querschnittes 50 mm x 50 mm analog zu den Prüfstäben nach EN 392 herausgetrennt. Drei Stäbe dienten zur Druckscherprüfung nach Lagerung im Normalklima 20 °C/65 % rel. Luftfeuchte, die anderen drei zur Druckscherprüfung nach Wasserlagerung.

Vorversuche hatten ergeben, daß der Feuchtegehalt der Stäbe aus Copaiba-Furniersperrholz nach 24 h Wasserlagerung auf etwa 35 %, nach 48 h Wasserlagerung auf etwa 45 % und nach 5tägiger Wasserlagerung auf etwa 70 % ansteigt. In den Hauptversuchen wurden die Stäbe 48 h in Wasser gelagert, weil sich dann etwa dieselben Feuchtegehalte ergeben wie bei der normgemäßen 24 h-Wasserlagerung der Zugscherproben nach EN 314-1.

Zur Prüfung wurden die Stäbe in die Schervorrichtung jeweils so eingesetzt, daß unterschiedliche Klebfugen des Sperrholzes geprüft werden konnten. Jeder Prüfstab lieferte 8 Scherfestigkeiten parallel zur Klebfugenebene. Tabelle A1 enthält die Ergebnisse dieser Druckscherprüfungen und der Zugscherprüfungen nach EN 314-1.

Laut Tabelle A1 liegen die mittleren Druckscherfestigkeiten etwa 50 % über den mittleren Zugscherfestigkeiten. Obwohl die Feuchtegehalte nach 24stündiger (Zugscher) bzw. 48stündiger Wasserlagerung (Druckscher) nahe beieinander liegen, muß die Verklebung hierdurch nicht gleichermaßen beansprucht sein, weil die auftretenden Quellspannungen auch von der Geschwindigkeit der Feuchteaufnahme und den Feuchtegradienten im Prüfkörper abhängen. Die mittlere Klebfugenfestigkeit nahm durch Wasserlagerung bei den Zugscherproben um 24 %, bei den Druckscherproben um 31 % ab. Diese Abnahmen gelten für Copaiba-Furniersperrholz. Bei anderen Holzarten kann die Wasserlagerung eine andere Reduzierung verursachen, wie der folgende Vergleich mit Buchen-Furniersperrholz zeigt.

Tabelle A1: Ergebnisse der Zugscherprüfung nach EN 314-1 und einer Druckscherprüfung in Anlehnung an EN 392 parallel zur Klebfugenebene an Copaiba-Furniersperrholz

	Zugscherung nach Lagerung im	
	Normalklima	Wasser (24 h)
- Festigkeit N/mm ²	1,5... 3,7 ...5,7 V = 25,5 %	1,0... 2,8 ...5,7 V = 30,1 %
- Feuchtegehalt %	7,2... 8,2 ...9,3 V = 5,8 %	27... 43 ...57 V = 12,8 %
- Prüfkörperzahl ¹⁾	160	160
	Druckscherung nach Lagerung im	
	Normalklima	Wasser (48 h)
- Festigkeit N/mm ²	1,7... 5,8 ...10,0 V = 26,5 %	1,4... 4,0 ...8,5 V = 25,9 %
- Feuchtegehalt %	6,4... 7,2 ...8,1 V = 5,6 %	33... 45 ...59 V = 14,1 %
- Prüfkörperzahl ²⁾	60	60
¹⁾ An jedem Zugscher-Prüfkörper wurde eine Scherfestigkeit bestimmt.		
²⁾ An jedem Druckscher-Prüfkörper wurden acht Scherfestigkeiten bestimmt.		

Bei einer umfangreichen Untersuchung der Verklebungsqualität von Furniersperrholz aus Buche (FU-Bu) hatten sich folgende Zugscherfestigkeiten ergeben (Schwab 1998):

- nach Normalklima 2,4...**4,5**...7,4 N/mm²
- nach 24 h Wasserlagerung 1,4...**2,7**...4,8 N/mm²

Demnach besitzt FU-Bu im klimatisierten Zustand deutlich günstigere Scherfestigkeiten nach EN 314-1 als das hier untersuchte Copaiba-Furniersperrholz (FU-Co). 24 h Wasserlagerung reduzieren aber die Scherfestigkeit von FU-Bu auf etwa die Werte, die FU-Co nach dieser Vorbehandlung aufweist. Die prozentual stärkere Abnahme der Klebfugenfestigkeit bei BFU-Bu ist mit der guten Durchlässigkeit und der dadurch bedingten schnellen Wasseraufnahme sowie den relativ großen Quellmaßen des Buchenholzes erklärbar. Entsprechend ist bei Wasserlagerung mit erhöhter Beanspruchung der Klebfugen von BFU-Bu zu rechnen.

Insgesamt hat der Vergleich des Zugscherversuchs und des - bei anderen Holzprodukten üblichen - Druckscherversuchs für die Furniersperrholz-Prüfung keine Vorteile der Druckscherung gegenüber der Zugscherung nach EN 314-1 erkennen lassen.

Vergleichende Prüfung einiger mechanischer Eigenschaften an mittelgroßen und kleinen Prüfkörpern aus OSB/3-Platten

1. Aufgabenstellung

Die Bestimmung der charakteristischen Werte von Holzwerkstoffen für Bauzwecke erfolgt durch Prüfung mittelgroßer Prüfkörper nach EN 789 und Berechnung nach EN 1058. Für einen definierten Plattentyp bestimmte charakteristische Werte gelten dann langfristig und werden in EN 12369-1 festgeschrieben.

Zur laufenden Gütekontrolle von Holzwerkstoffen werden dagegen kleine Prüfkörper verwendet, um den Prüfaufwand zu reduzieren. Trotz der unterschiedlichen Prüfkörpermaße und -prinzipien muß gewährleistet sein, dass Änderungen der Holzwerkstoff-Fertigung, die sich auf die charakteristischen Werte auswirken können, bei der Gütekontrolle erkannt werden. Deshalb besteht großes Interesse an den Zusammenhängen, die zwischen den Ergebnissen kleiner und mittelgroßer Prüfkörper bestehen. Diese vergleichende Prüfung liefert dazu einen Beitrag.

2. Untersuchungsmaterial und geprüfte Eigenschaften

Als Untersuchungsmaterial standen von drei Herstellern (A, B bzw. C) jeweils 4 Platten der Nenndicke 15 mm und 4 Platten der Nenndicke 18 mm, d.h. insgesamt 24 Platten, zu Verfügung. Es handelte sich um OSB/3-Platten mit den Abmessungen 2500 mm x 1250 mm. Bei den vier Platten eines Herstellers und einer Dicke wurden vier verschiedene Schnittpläne angewendet, um die Prüfkörper nicht aus derselben Stelle der Prüfplatten zu schneiden.

Bestimmt wurden nach EN 789 an einem mittelgroßen Prüfkörper je Platte und Richtung (Hauptachse bzw. Nebenachse):

- die Biege-Eigenschaften (Prüfkörpermaße bei 15 mm Dicke 900 x 300 mm² bzw. bei 18 mm Dicke 1000 x 300 mm²)
- die Scherfestigkeit quer zur Plattenebene (600 x 500 mm²)
- die Scherfestigkeit in Plattenebene (225 x 100 mm²)

Als kleine Prüfkörper wurden je Platte und Richtung entnommen:

- 6 Prüfkörper zur Bestimmung der Biege-Eigenschaften nach EN 310 (Prüfkörpermaße bei 15 mm Dicke 350 x 50 mm² bzw. bei 18 mm Dicke 410 x 50 mm²)
- 8 Prüfkörper zur Bestimmung der Scherfestigkeit in Plattenebene nach DIN 52 367 (Prüfkörpermaße einheitlich 50 x 50 mm²)
- 6 Prüfkörper zur Bestimmung der Scherfestigkeit quer zur Plattenebene nach prEN WI 112.147 (Prüfkörpermaße einheitlich 150 x 50 mm²)

Der Feuchtegehalt wurde nach EN 322, die Rohdichte nach EN 323 an den kleinen Biegeproben (Oberfläche bei 15 mm Dicke 175 cm² bzw. bei 18 mm Dicke 205 cm²) bestimmt. Um ein Maß für den Einfluß der Probengröße auf die Streuung der Rohdichte zu erhalten, wurde die Rohdichte zusätzlich an den kleinen Scherproben zur Prüfung der Scherfestigkeiten in Plattenebene (Oberfläche einheitlich 25 cm²) bestimmt.

3. Ergebnisse

Alle ermittelten Eigenschaften sind in den Tabellen 1 bis 10 für die 24 Platten und die beiden Hauptachsen einzeln angegeben, damit bei Bedarf Korrelationen zwischen diesen Eigenschaften bestimmt werden können. Im Hinblick auf die anfangs genannte spezifische Aufgabenstellung steht hier der Vergleich der Ergebnisse im Vordergrund, die einerseits mit kleinen, andererseits mit mittelgroßen Prüfkörpern gewonnen wurden.

Die Ergebnisse der **Biegeprüfung** sind in den Tabellen 1 bis 4 angegeben. Dort stehen die Einzelwerte der an mittelgroßen Prüfkörpern bestimmten Eigenschaften (Spalten EN 789) den Mittelwerten gegenüber, die aus jeweils 6 Werten der kleinen Prüfkörper errechnet wurden (Spalten EN 310). Zusätzlich wird die Relation des Mittelwertes $E_{m,310}$ bzw. $f_{m,310}$ zum Einzelwert $E_{m,789}$ bzw. $f_{m,789}$ derselben Platte und Richtung aufgeführt.

Beim Elastizitätsmodul E_m betragen die Relationen $E_{m,310}/E_{m,789}$

- für die Plattendicke 15 mm in der Hauptachse 0,80...**0,95**...1,07
- für die Plattendicke 15 mm in der Nebenachse 0,81...**1,00**...1,36
- für die Plattendicke 18 mm in der Hauptachse 0,79...**0,92**...1,02
- für die Plattendicke 18 mm in der Nebenachse 0,86...**0,98**...1,03

Für die Steifigkeit in der Hauptachse ergibt sich also durchschnittlich $E_{m,310} = 0,94 E_{m,789}$, für die Steifigkeit in der Nebenachse $E_{m,310} = 0,99 E_{m,789}$.

Bei der Biegefestigkeit f_m betragen die Relationen $f_{m,310}/f_{m,789}$

- für die Plattendicke 15 mm in der Hauptachse 1,02...**1,33**...1,71
- für die Plattendicke 15 mm in der Nebenachse 1,01...**1,27**...1,52
- für die Plattendicke 18 mm in der Hauptachse 1,01...**1,21**...1,46
- für die Plattendicke 18 mm in der Nebenachse 1,13...**1,26**...1,47

Für beide Plattendicken und Richtungen ergibt sich also durchschnittlich $f_{m,310} = 1,27 f_{m,789}$.

Tabelle 1: Biege-Elastizitätsmodul und Biegefestigkeit in der Hauptachse nach EN 789 bzw. EN 310 für die 12 Platten der Dicke 15 mm

Her- steller	Platten-		Elastizitätsmodul [N/mm ²] nach		$\frac{E_{m,310}}{E_{m,789}}$	Biegefestigkeit [N/mm ²] nach		$\frac{f_{m,310}}{f_{m,789}}$
	dicke mm	Nr.	EN 789	EN 310		EN 789	EN 310	
A	15	1	5390	5070	0,94	23,0	29,7	1,29
		2	6120	5600	0,92	26,4	32,3	1,22
		3	5370	5470	1,02	19,6	30,4	1,55
		4	5460	5830	1,07	24,1	33,8	1,40
B	15	1	8160	6960	0,85	37,6	39,8	1,06
		2	7140	5710	0,80	33,2	33,9	1,02
		3	6840	6120	0,89	30,4	37,2	1,22
		4	6770	6540	0,97	28,0	40,7	1,45
C	15	1	6050	5410	0,89	22,5	31,4	1,40
		2	6010	5910	0,98	20,4	34,8	1,71
		3	5490	5660	1,03	22,0	29,7	1,35
		4	4980	5300	1,06	20,9	28,0	1,34

Tabelle 2: Biege-Elastizitätsmodul und Biegefestigkeit in der Nebenachse nach EN 789 bzw. EN 310 für die 12 Platten der Dicke 15 mm

Her- steller	Platten-		Elastizitätsmodul [N/mm ²] nach		$\frac{E_{m,310}}{E_{m,789}}$	Biegefestigkeit [N/mm ²] nach		$\frac{f_{m,310}}{f_{m,789}}$
	dicke mm	Nr.	EN 789	EN 310		EN 789	EN 310	
A	15	1	3520	2890	0,82	17,5	17,6	1,01
		2	3310	3170	0,96	17,8	20,0	1,12
		3	3100	3110	1,00	14,6	19,7	1,35
		4	3920	3170	0,81	19,2	20,3	1,06
B	15	1	2720	2970	1,09	15,2	21,9	1,44
		2	2770	2820	1,02	15,9	21,5	1,35
		3	2780	2570	0,92	15,7	19,6	1,25
		4	3060	2780	0,91	18,0	20,2	1,12
C	15	1	2510	2560	1,02	13,0	18,6	1,43
		2	2850	2770	0,97	16,0	19,0	1,19
		3	2590	2940	1,14	14,7	20,0	1,36
		4	2140	2910	1,36	13,4	20,4	1,52

Tabelle 3: Biege-Elastizitätsmodul und Biegefestigkeit in der Hauptachse nach EN 789 bzw. EN 310 für die 12 Platten der Dicke 18 mm

Her- steller	Platten-		Elastizitätsmodul [N/mm ²] nach		$\frac{E_{m,310}}{E_{m,789}}$	Biegefestigkeit [N/mm ²] nach		$\frac{f_{m,310}}{f_{m,789}}$
	dicke mm	Nr.	EN 789	EN 310		EN 789	EN 310	
A	18	1	4890	4980	1,02	20,2	27,1	1,34
		2	6160	5980	0,97	28,3	32,1	1,13
		3	6570	5610	0,85	26,4	29,4	1,11
		4	6000	5850	0,98	24,8	32,3	1,30
B	18	1	6420	6270	0,98	27,9	30,5	1,09
		2	7780	6160	0,79	32,1	32,3	1,01
		3	6980	6080	0,87	26,1	33,4	1,28
		4	7570	6670	0,88	30,3	34,3	1,13
C	18	1	4810	4870	1,01	18,8	24,1	1,28
		2	5720	5330	0,93	19,3	28,1	1,46
		3	6700	5870	0,88	25,0	29,2	1,17
		4	6300	5860	0,93	25,9	32,3	1,25

Tabelle 4: Biege-Elastizitätsmodul und Biegefestigkeit in der Nebenachse nach EN 789 bzw. EN 310 für die 12 Platten der Dicke 18 mm

Her- steller	Platten-		Elastizitätsmodul [N/mm ²] nach		$\frac{E_{m,310}}{E_{m,789}}$	Biegefestigkeit [N/mm ²] nach		$\frac{f_{m,310}}{f_{m,789}}$
	dicke mm	Nr.	EN 789	EN 310		EN 789	EN 310	
A	18	1	3290	3320	1,01	18,0	23,2	1,29
		2	3200	3260	1,02	16,5	21,7	1,32
		3	3250	3310	1,02	16,6	22,4	1,35
		4	3560	3280	0,92	18,2	21,8	1,20
B	18	1	2990	3090	1,03	18,3	21,0	1,15
		2	2880	3110	1,08	15,4	22,7	1,47
		3	3060	2930	0,96	15,6	20,3	1,30
		4	3120	3110	1,00	18,2	23,4	1,29
C	18	1	2510	2540	1,01	13,7	16,2	1,18
		2	2860	2890	1,01	15,2	19,9	1,31
		3	2900	2490	0,86	14,5	16,4	1,13
		4	3000	2630	0,88	13,6	15,9	1,17

Die Ergebnisse der **Scherprüfung in Plattenebene** sind in den Tabellen 5 und 6 angegeben. Dort stehen die Einzelwerte der an mittelgroßen Prüfkörpern bestimmten Scherfestigkeiten f_r (Spalten EN 789) den Mittelwerten gegenüber, die aus jeweils 8 Werten der kleinen Prüfkörper errechnet wurden (Spalten DIN 52 367). Zusätzlich wird die Relation des Mittelwertes $f_{r,52367}$ zum Einzelwert $f_{r,789}$ derselben Platte und Richtung aufgeführt.

Bei der Scherfestigkeit in Plattenebene betragen die Relationen $f_{r,52367}/f_{r,789}$

- für die Plattendicke 15 mm in der Hauptachse 0,69...**1,00**...1,19
- für die Plattendicke 15 mm in der Nebenachse 0,82...**1,00**...1,26
- für die Plattendicke 18 mm in der Hauptachse 0,78...**1,04**...1,20
- für die Plattendicke 18 mm in der Nebenachse 0,82...**1,01**...1,41

Für beide Plattendicken und Richtungen ergibt sich also durchschnittlich $f_{r,52367} = 1,01 f_{r,789}$. Demnach besteht bei den 24 untersuchten OSB/3-Platten kein signifikanter Unterschied zwischen den an kleinen Prüfkörpern und den an mittelgroßen Prüfkörpern bestimmten Scherfestigkeiten in Plattenebene, obwohl nach EN 789 die schwächste Ebene innerhalb der Platte geprüft wird, während DIN 52 367 den Bruch näherungsweise in der Plattenmitte erzwingt.

Die Tabellen 5 und 6 zeigen zudem, dass die Scherfestigkeit in Plattenebene bei Krafteinleitung in Richtung der Nebenachse etwa 10 % größer ist als bei Krafteinleitung in Richtung der Hauptachse.

Die Ergebnisse der **Scherprüfung quer zur Plattenebene** sind in den Tabellen 7 und 8 angegeben. Dort stehen die Einzelwerte der an mittelgroßen Prüfkörpern bestimmten Scherfestigkeiten f_p (Spalten EN 789) den Mittelwerten gegenüber, die aus jeweils 6 Werten der kleinen Prüfkörper errechnet wurden (Spalten WI 147, weil die Prüfmethode im Work Item 147 des CEN/TC 112 festgelegt ist). Zusätzlich wird die Relation des Mittelwertes $f_{p,147}$ zum Einzelwert $f_{p,789}$ derselben Platte und Richtung aufgeführt. Bei der Scherfestigkeit quer zur Plattenrichtung betragen die Relationen $f_{p,147}/f_{p,789}$

- für die Plattendicke 15 mm in der Hauptachse 1,08...**1,24**...1,57
- für die Plattendicke 15 mm in der Nebenachse 1,03...**1,20**...1,39
- für die Plattendicke 18 mm in der Hauptachse 1,14...**1,29**...1,41
- für die Plattendicke 18 mm in der Nebenachse 1,02...**1,16**...1,31

Für beide Plattendicken und Richtungen ergibt sich damit durchschnittlich $f_{p,147} = 1,22 f_{p,789}$.

Im Unterschied zur Scherfestigkeit in Plattenebene (Tabellen 5 und 6) scheint bei der Scherfestigkeit quer zur Plattenebene (Tabellen 7 und 8) kein signifikanter Einfluß der Kraft- richtung auf die Festigkeit vorzuliegen, auch wenn sich eine Tendenz zu höheren Werten bei Krafteinleitung in Richtung Nebenachse andeutet.

Tabelle 5: Scherfestigkeiten f_r [N/mm²] in Plattenebene nach EN 789 bzw. DIN 52 367 für die 12 Platten der Dicke 15 mm sowie deren Relationen $f_{r,52367}/f_{r,789}$

Her- steller	Platten-		Hauptachse			Nebenachse		
	dicke mm	Nr.	EN 789	DIN 52 367	$\frac{f_{r,52367}}{f_{r,789}}$	EN 789	DIN 52 367	$\frac{f_{r,52367}}{f_{r,789}}$
A	15	1	1,98	1,69	0,85	1,98	1,85	0,93
		2	1,63	1,92	1,18	2,07	1,96	0,95
		3	2,13	1,46	0,69	2,11	1,73	0,82
		4	1,62	1,66	1,02	1,76	1,78	1,01
B	15	1	2,00	1,84	0,92	2,05	2,17	1,06
		2	1,90	1,80	0,95	2,23	2,22	1,00
		3	1,83	1,93	1,05	2,49	2,43	0,98
		4	2,08	2,14	1,03	2,29	2,29	1,00
C	15	1	2,08	2,48	1,19	2,51	2,56	1,02
		2	2,26	2,59	1,15	2,55	2,65	1,04
		3	2,33	2,34	1,00	2,47	2,25	0,91
		4	2,86	2,63	0,92	2,25	2,83	1,26

Tabelle 6: Scherfestigkeiten f_r [N/mm²] in Plattenebene nach EN 789 bzw. DIN 52 367 für die 12 Platten der Dicke 18 mm sowie deren Relationen $f_{r,52367}/f_{r,789}$

Her- steller	Platten-		Hauptachse			Nebenachse		
	dicke mm	Nr.	EN 789	DIN 52 367	$\frac{f_{r,52367}}{f_{r,789}}$	EN 789	DIN 52 367	$\frac{f_{r,52367}}{f_{r,789}}$
A	18	1	2,13	1,99	0,93	1,96	2,29	1,17
		2	1,87	1,91	1,02	2,13	2,14	1,00
		3	1,79	1,88	1,05	2,07	2,01	0,97
		4	1,80	1,98	1,10	1,97	2,15	1,09
B	18	1	1,96	2,01	1,03	2,33	2,04	0,88
		2	2,27	1,78	0,78	2,74	2,24	0,82
		3	1,60	1,89	1,18	2,43	2,27	0,93
		4	1,75	1,87	1,07	1,48	2,09	1,41
C	18	1	1,86	1,76	0,95	2,17	2,01	0,93
		2	1,71	1,73	1,01	1,99	1,96	0,98
		3	1,63	1,86	1,14	2,16	2,05	0,95
		4	1,64	1,96	1,20	2,11	2,06	0,98

Tabelle 7: Scherfestigkeiten f_p [N/mm²] quer zur Plattenebene nach EN 789 bzw. prEN WI 112.147 (Spalte WI 147) für die 12 Platten der Dicke 15 mm

Her- steller	Platten-		Hauptachse			Nebenachse		
	dicke mm	Nr.	EN 789	WI 147	$\frac{f_{p,147}}{f_{p,789}}$	EN 789	WI 147	$\frac{f_{p,147}}{f_{p,789}}$
A	15	1	7,79	9,28	1,19	8,08	9,38	1,16
		2	7,48	9,28	1,24	8,09	8,91	1,10
		3	8,09	8,71	1,08	7,81	8,82	1,13
		4	7,62	9,09	1,19	7,42	9,78	1,32
B	15	1	9,59	11,58	1,21	9,51	11,60	1,22
		2	8,81	11,73	1,33	9,80	11,07	1,13
		3	8,55	10,75	1,26	9,64	9,90	1,03
		4	8,71	10,29	1,18	9,47	----	----
C	15	1	7,03	11,02	1,57	7,77	9,99	1,29
		2	8,20	10,00	1,22	8,11	11,27	1,39
		3	8,04	9,52	1,18	7,71	9,94	1,29
		4	7,23	9,03	1,25	9,33	10,88	1,17

Tabelle 8: Scherfestigkeiten f_p [N/mm²] quer zur Plattenebene nach EN 789 bzw. prEN WI 112.147 (Spalte WI 147) für die 12 Platten der Dicke 18 mm

Her- steller	Platten-		Hauptachse			Nebenachse		
	dicke mm	Nr.	EN 789	WI 147	$\frac{f_{p,147}}{f_{p,789}}$	EN 789	WI 147	$\frac{f_{p,147}}{f_{p,789}}$
A	18	1	8,55	10,64	1,24	8,61	11,25	1,31
		2	7,88	10,47	1,33	9,15	11,32	1,24
		3	7,49	10,08	1,35	8,63	10,00	1,16
		4	8,88	10,12	1,14	8,87	10,14	1,14
B	18	1	7,14	9,65	1,35	9,52	11,56	1,21
		2	8,74	11,14	1,27	9,22	11,14	1,21
		3	7,83	10,33	1,32	8,59	9,97	1,16
		4	8,68	10,93	1,26	9,55	10,46	1,10
C	18	1	6,62	9,29	1,40	8,38	9,45	1,13
		2	7,80	9,24	1,18	8,03	9,02	1,12
		3	7,11	10,01	1,41	7,32	8,21	1,12
		4	6,61	8,25	1,25	8,09	8,23	1,02

Tabelle 9: Rohdichten der 15 mm-Platten, jeweils bestimmt an 12 Biegeproben (links) und 16 Scherproben (rechts), sowie deren Variationskoeffizienten V

Her- steller	Platten- dicke mm Nr.		Rohdichte kg/m ³ , bestimmt an			
			Biegeproben min... mittel ...max		V %	Scherproben min... mittel ...max
A	15	1	614... 636 ...650	1,8	592... 632 ...683	3,9
		2	635... 654 ...680	2,1	614... 649 ...721	4,7
		3	621... 641 ...683	2,8	578... 646 ...690	4,8
		4	627... 657 ...678	2,0	607... 652 ...714	5,2
B	15	1	636... 656 ...686	2,1	619... 665 ...712	4,6
		2	622... 641 ...670	2,4	620... 658 ...722	4,3
		3	632... 645 ...668	1,7	599... 660 ...713	5,1
		4	620... 640 ...667	2,3	607... 659 ...690	3,6
C	15	1	648... 672 ...690	2,4	617... 675 ...757	4,9
		2	658... 698 ...736	2,9	625... 684 ...749	4,6
		3	661... 683 ...724	2,6	623... 663 ...699	4,0
		4	645... 684 ...724	3,3	667... 700 ...746	3,3

Tabelle 10: Rohdichten der 18 mm-Platten, jeweils bestimmt an 12 Biegeproben (links) und 16 Scherproben (rechts), sowie deren Variationskoeffizienten V

Her- steller	Platten- dicke mm Nr.		Rohdichte kg/m ³ , bestimmt an			
			Biegeproben min... mittel ...max		V %	Scherproben min... mittel ...max
A	18	1	586... 621 ...651	3,6	620... 638 ...664	2,4
		2	649... 659 ...682	1,4	604... 645 ...716	4,6
		3	609... 635 ...659	2,6	562... 637 ...709	5,9
		4	619... 643 ...681	3,1	594... 655 ...702	5,1
B	18	1	600... 640 ...679	3,6	563... 631 ...689	4,7
		2	606... 647 ...678	4,0	597... 639 ...670	3,2
		3	618... 629 ...640	1,2	577... 629 ...670	5,0
		4	623... 651 ...671	2,1	616... 653 ...674	2,8
C	18	1	608... 623 ...642	1,7	576... 621 ...682	4,5
		2	615... 635 ...654	2,0	587... 628 ...663	4,0
		3	611... 631 ...667	2,8	571... 636 ...705	5,4
		4	607... 634 ...671	2,9	575... 633 ...698	5,4

4. Rohdichte und Feuchtegehalt

Die Ergebnisse der Rohdichtebestimmung sind in den Tabellen 9 und 10 angegeben. Erwartungsgemäß streuen die Einzelwerte um den jeweiligen Plattenmittelwert bei Bestimmung an den kleinen Scherproben (50 mm x 50 mm x Plattendicke) stärker als bei Bestimmung an den Biegeproben (350 x 50 x 15 mm³ bzw. 410 x 50 x 18 mm³). Dies gilt bei 21 der insgesamt 24 geprüften Platten sowohl für die Spannweite als auch für den Variationskoeffizient der Rohdichte; Ausnahmen bilden die Platten C15-4, A18-1 und B18-2.

Die Feuchtegehalte der Prüfkörper betragen zum Zeitpunkt der Prüfung für die Platten des Herstellers

- A: 8,6...**8,9**...9,2 % - B: 9,0...**9,2**...9,6 % - C: 8,5...**8,7**...9,0 %

Tabelle 11: Relation der Eigenschaft, bestimmt an kleinen Prüfkörpern, zu derselben Eigenschaft, bestimmt an mittelgroßen Prüfkörpern

Eigenschaft	Eigenschaftswert _{klein} : Eigenschaftswert _{mittelgroß}
Biege-Elastizitätsmodul	0,92... 0,96 ...1,00
Biegefestigkeit	1,21... 1,27 ...1,33
Scherfestigkeit in Plattenebene	1,00... 1,01 ...1,04
Scherfestigkeit quer zur Plattenebene	1,16... 1,22 ...1,29

5. Schlußfolgerung

Abschließend gibt Tabelle 11 die Relationen für die mechanischen Eigenschaften kleiner Prüfkörper zu denen mittelgroßer Prüfkörper an. Diese Relationen hängen nicht allein von der Prüfkörpergröße, sondern auch von der jeweiligen Prüfmethode ab. So wird z.B. die Biegeprüfung der mittelgroßen Prüfkörper nach EN 789 im Vierpunktversuch, die der kleinen Prüfkörper nach EN 310 im Dreipunktversuch durchgeführt. Andere Unterschiede gehen jeweils aus den zitierten Prüfnormen hervor, deren Titel und Ausgabedaten am Ende dieses Arbeitsberichtes aufgelistet sind.

Einfluß der Preßhaut auf die Feuchteänderung von OSB-Platten

1. Aufgabenstellung

Beim Heißpressen von Holzwerkstoffen ergibt sich durch den unmittelbaren Kontakt der Holzpartikel zu den heißen Preßblechen auf beiden Oberflächen der Holzwerkstoff-Platte eine "Preßhaut". Im Hinblick auf die wechselnden Klimabedingungen, denen unbeschichtete Holzwerkstoffe im Bauwesen ausgesetzt sind, stellt sich die Frage nach dem Einfluß der Preßhaut auf die Feuchteaufnahme bzw. Feuchteabgabe der Platte quer zur Plattenebene. Dieser Frage wird hier am Beispiel zweier Plattendicken des Plattentyps OSB/3 nachgegangen.

Als Untersuchungsmaterial standen zur Verfügung:

- 3 OSB-Abschnitte mit 12 mm Dicke (je 1 m x 1 m)
- 3 OSB-Abschnitte mit 18 mm Dicke (je 1 m x 1 m).

Aus jedem Plattenabschnitt wurden 8 Plattenstreifen mit 100 mm Breite in ausreichendem Abstand vom Plattenrand herausgetrennt (Bild 1). Die Streifen 1, 3, 5 und 7 blieben in ihrer Dicke unverändert, im folgenden als „ungeschliffen“ bezeichnet. Bei den Streifen 2, 4, 6 und 8 wurde beidseitig jeweils 1 mm abgenommen, um die Preßhaut zu entfernen. Sie werden im folgenden als „geschliffen“ bezeichnet.

Bei Vorversuchen hatte sich gezeigt, daß durch Hobeln eine definierte Dickenabnahme erreichbar ist. Deshalb wurde die Preßhaut durch Hobeln entfernt. Die einzelnen Streifen wurden in Prüfkörper nach Bild 1 aufgetrennt. Dadurch können Prüfkörper, die im Plattenabschnitt unmittelbar nebeneinander gelegen hatten, ungeschliffen bzw. geschliffen direkt miteinander verglichen werden. Um den Einfluß der Schmalflächen auf die Feuchteaufnahme bzw. Feuchteabgabe auszuschließen, wurden die Schmalflächen jeweils mit Silikon-Dichtungsmasse versiegelt und anschließend bis zum Erreichen des Gleichgewichtszustandes im Normalklima 20 °C/65 % relative Luftfeuchte gelagert.

2. Untersuchungen

Die Feuchteaufnahme wurde in konstantem Feuchtklima, bei direkter Bewitterung und bei Wasserlagerung ermittelt. Die Feuchteabgabe wurde ausschließlich in konstantem Trockenklima bestimmt. Ausgehend vom normalklimatisierten Zustand erfolgten die Einzeluntersuchungen 1 bis 4:

- 1 Feuchteabgabe von Prüfkörpern (100 mm x 100 mm) im Trockenklima 20 °C/ 35 % rel. Luftfeuchte, Schmalflächen versiegelt, 12 Prüfkörper je Plattendicke und Oberflächenart

3. Ergebnisse

Die durch Wägung ermittelte Masseänderung wurde jeweils auf die Masse des normalklimatisierten Prüfkörpers im unversiegelten Zustand bezogen. Sie wird in den Bildern 2 bis 6 als Feuchteabgabe bzw. -aufnahme bzw. -änderung in Prozent angegeben. Die Kurven der Bilder 2 bis 5 stellen mittlere Verläufe für jeweils 12 Prüfkörper dar, die des Bildes 6 mittlere Verläufe für jeweils 3 Prüfkörper. Die Streuungen der zeitgleichen Einzelwerte sind meist durch Variationskoeffizienten zwischen 5 % und 10 % gekennzeichnet.

Bild 2: Feuchteabgabe während 36 Tagen Lagerung im **Trockenklima** 20/35. Bei beiden Plattendicken geben die geschliffenen Prüfkörper schneller Feuchte ab als die ungeschliffenen.

Bild 3: Feuchteaufnahme während 36 Tagen Lagerung im **Feuchtklima** 20/85. Bei der 12 mm Platte nehmen die geschliffenen Prüfkörper schneller Feuchte auf als die ungeschliffenen. Bei der 18 mm Platte gilt dies nur für die ersten drei Wochen der Klimatisierung.

Bild 4: Feuchteaufnahme bei direkter **Bewitterung** während der ersten 36 Tage. Die geschliffenen Prüfkörper nehmen schneller Feuchte auf als die ungeschliffenen.

Bild 5: Feuchteänderung bei direkter Bewitterung über 300 Tage. Das Feuchteniveau liegt bei den ungeschliffenen Prüfkörpern meist (Plattendicke 12 mm) bzw. dauerhaft (Plattendicke 18 mm) niedriger als bei den geschliffenen.

Bild 6: Feuchteaufnahme während 36 Tagen **Wasserlagerung**. Im Unterschied zur Lagerung im Feuchtklima und zur direkten Bewitterung nehmen hier bei der 12 mm Platte die ungeschliffenen Prüfkörper schneller Wasser auf als die geschliffenen.

Die Mittelwerte der Rohdichte und des Feuchtegehaltes nach Lagerung im Normalklima 20 °C/65 % rel. Luftfeuchte sind in Tabelle 1 zusammengefaßt. Die Streuung der Einzelwerte um diese Mittelwerte wird durch Variationskoeffizienten zwischen 3,1 % und 4,4 % (Rohdichte) bzw. zwischen 0,6 % und 2,0 % (Feuchtegehalt) gekennzeichnet.

Tabelle 1: Mittlere Rohdichte und mittlerer Feuchtegehalt der OSB-Prüfkörper nach Lagerung im Normalklima 20/65

Plattendicke	Oberfläche	Rohdichte	Feuchtegehalt
12 mm	ungeschliffen	0,656 g/cm ³	8,7 %
	geschliffen	0,657 g/cm ³	8,8 %
18 mm	ungeschliffen	0,677 g/cm ³	9,0 %
	geschliffen	0,673 g/cm ³	9,1 %

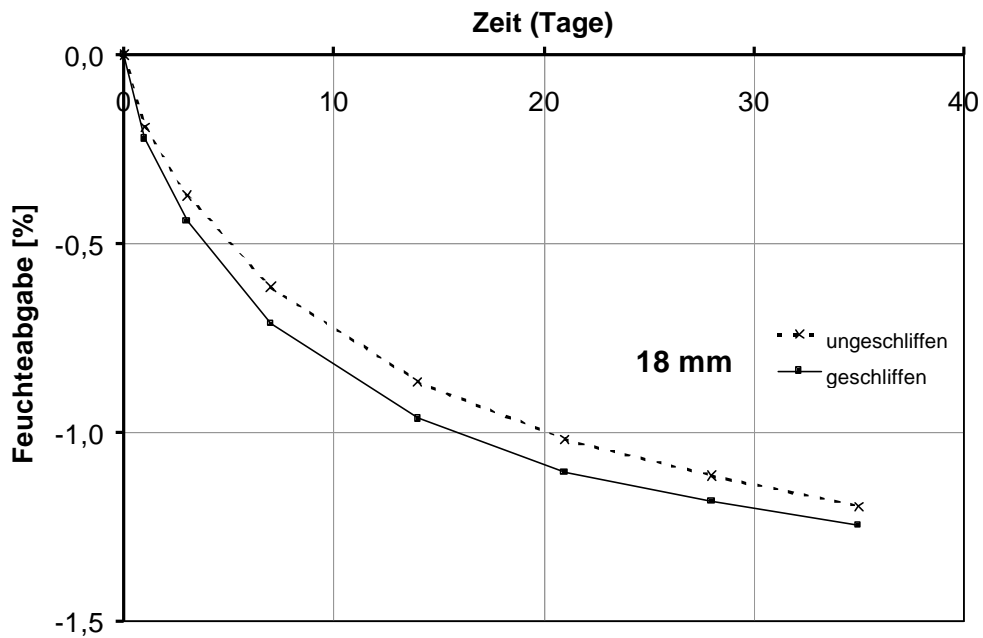
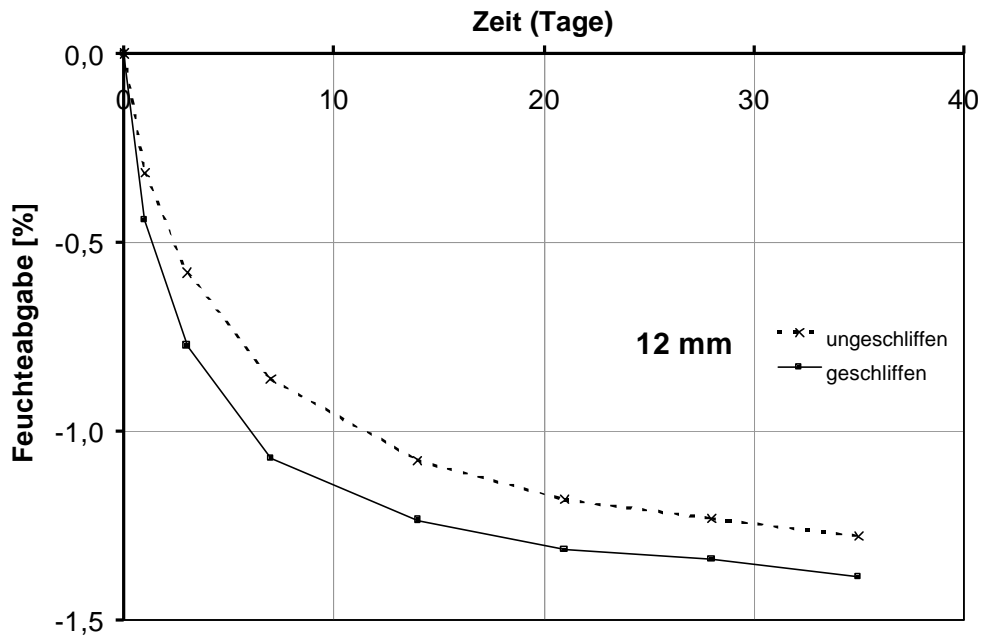


Bild 2: Feuchteabgabe der 12 mm-Platten (oben) und der 18 mm-Platten (unten) bei Lagerung im Trockenklima 20/35. Jeder Kurvenverlauf basiert auf 12 Prüfkörpern.

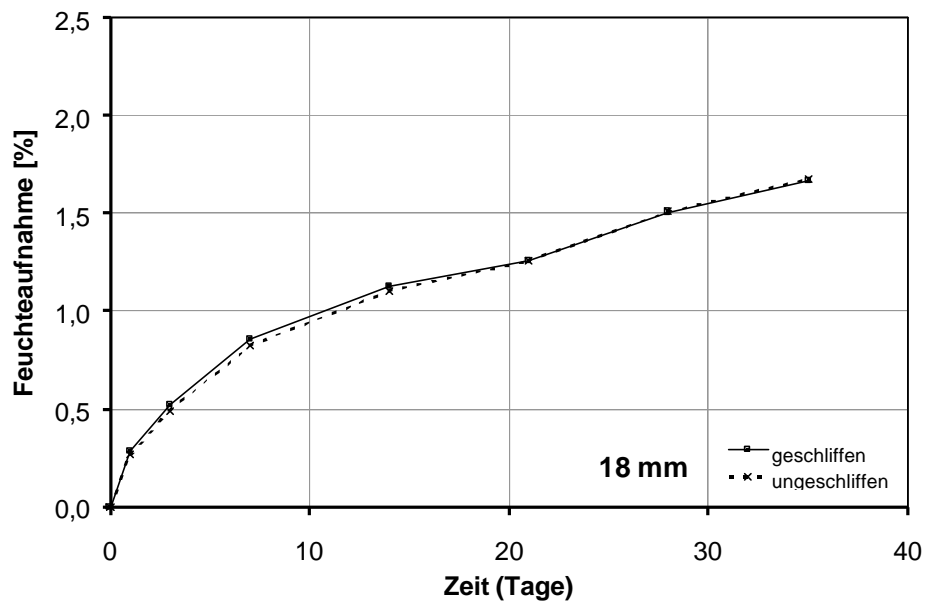
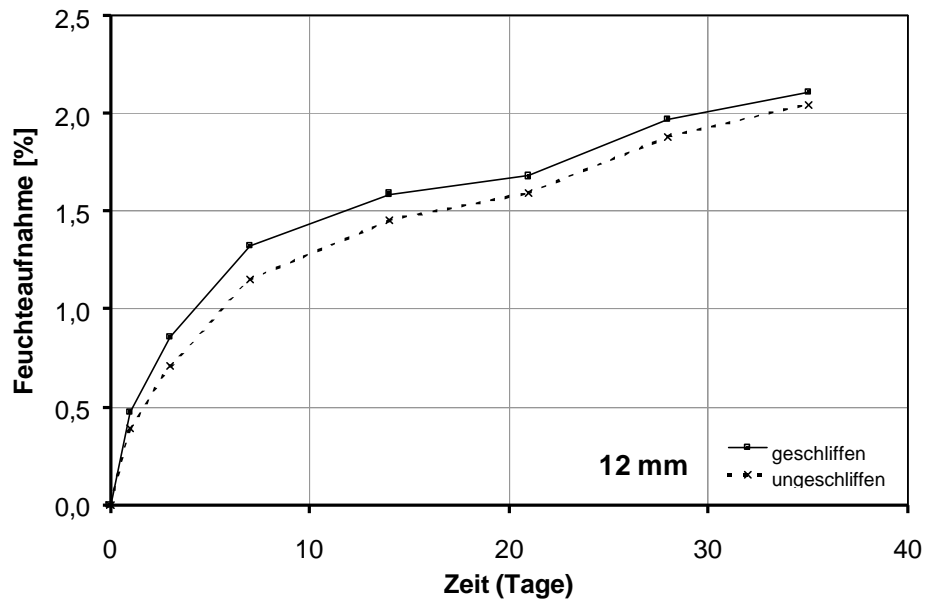


Bild 3: Feuchteaufnahme der 12 mm-Platten (oben) und der 18 mm-Platten (unten) bei Lagerung im Feuchtklima 20/85. Jeder Kurvenverlauf basiert auf 12 Prüfkörpern.

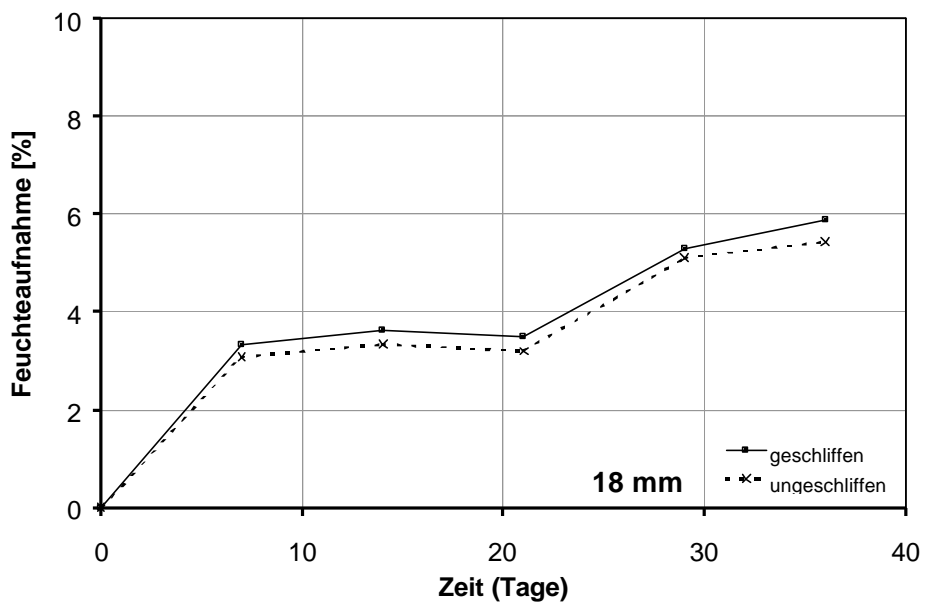
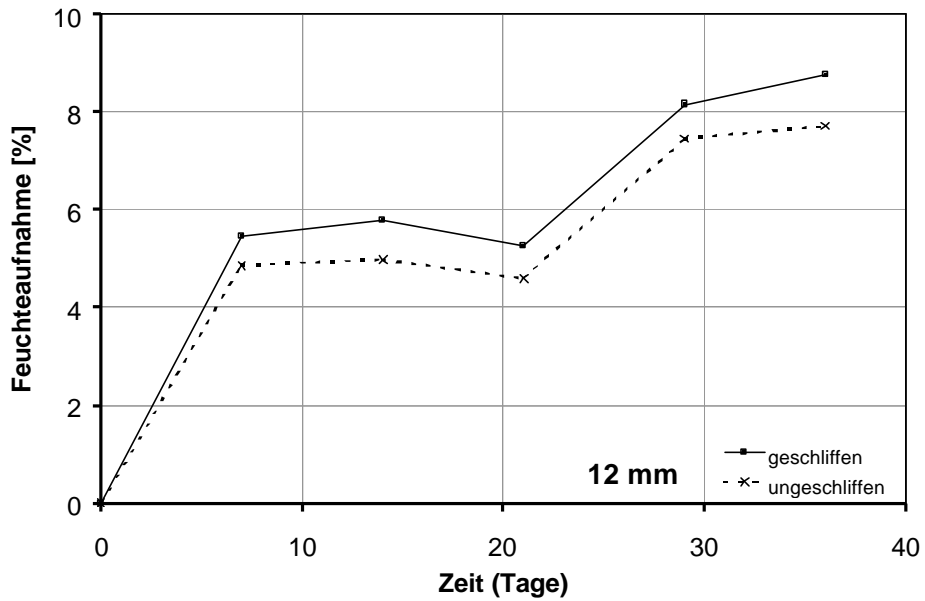


Bild 4: Feuchteaufnahme der 12 mm-Platten (oben) und der 18 mm-Platten (unten) bei direkter Bewitterung vom 09.10. bis 14.11.1997. Jeder Kurvenverlauf basiert auf 12 Prüfkörpern.

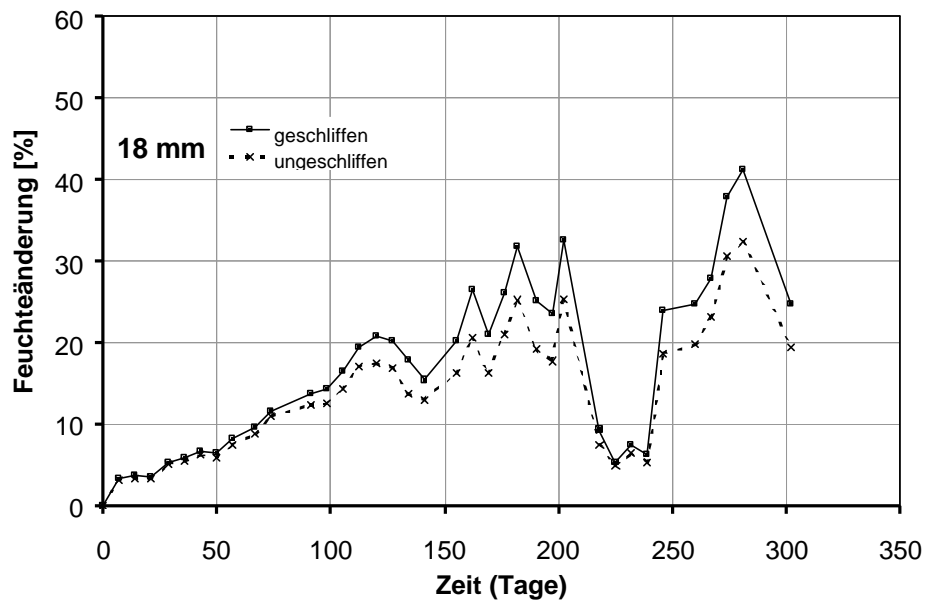
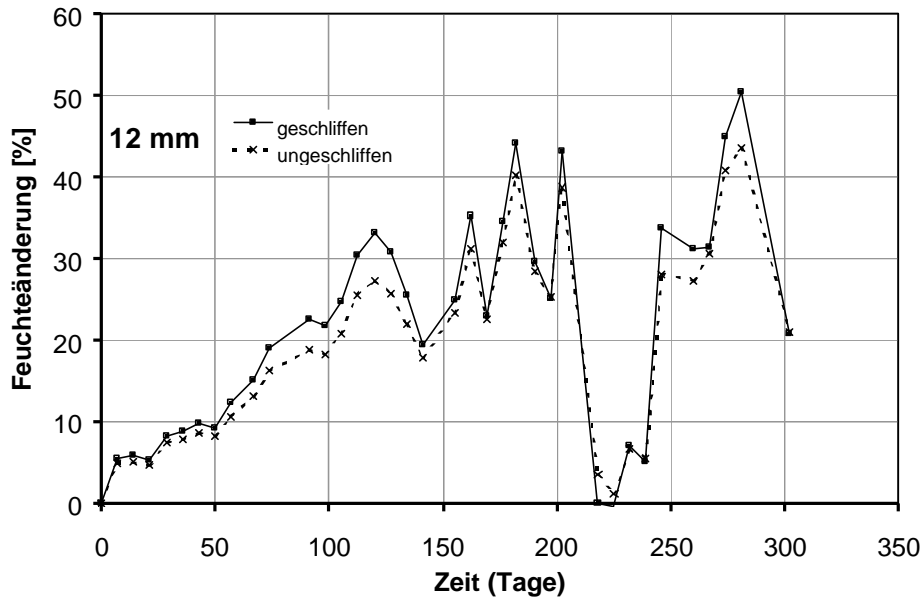


Bild 5: Feuchteänderung der 12 mm-Platten (oben) und der 18 mm-Platten (unten) bei direkter Bewitterung vom 09.10.1997 bis 07.08.1998. Jeder Kurvenverlauf basiert auf 12 Prüfkörpern.

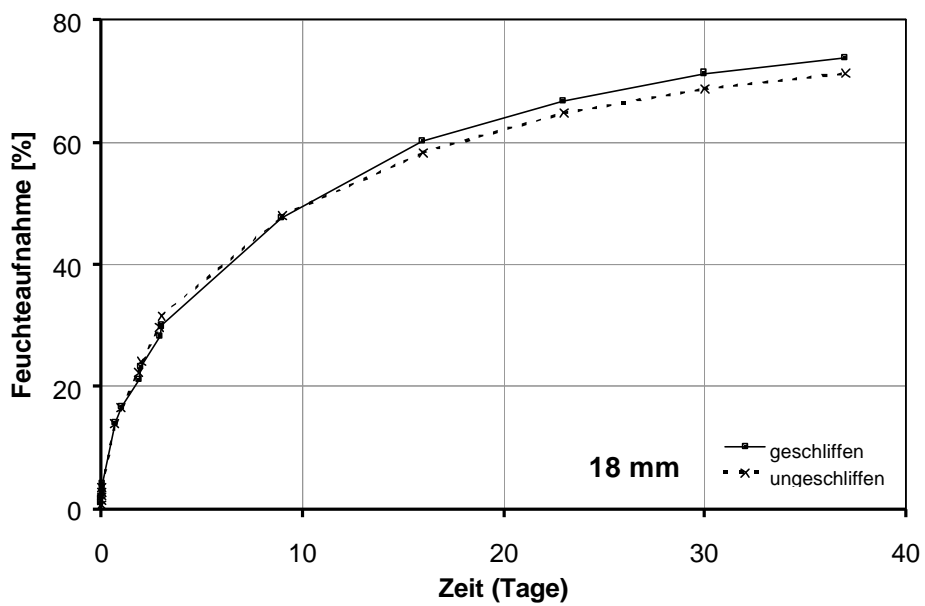
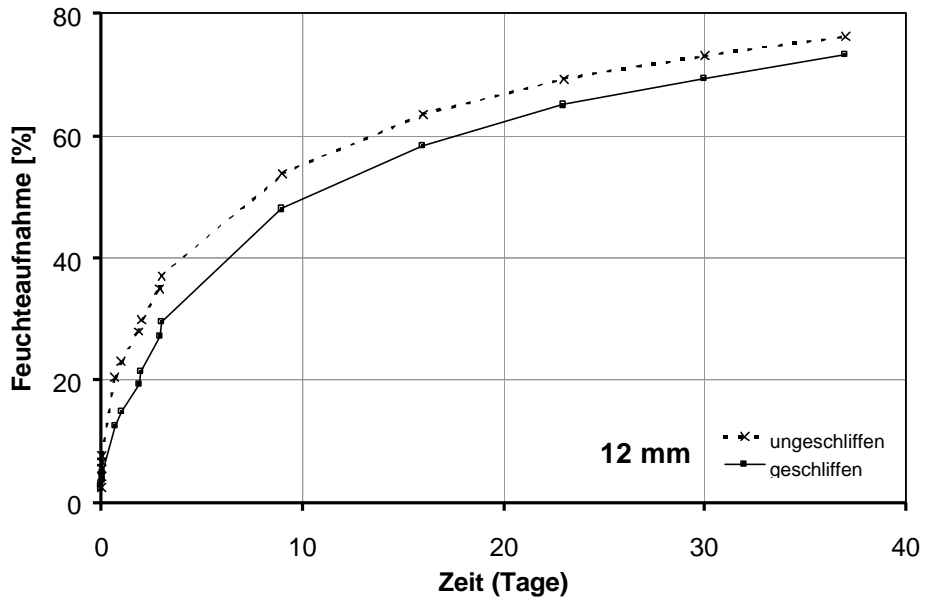


Bild 6: Feuchteaufnahme der 12 mm-Platten (oben) und 18-mm-Platten (unten) bei Lagerung in Wasser (20 °C). Jeder Kurvenverlauf basiert auf 3 Prüfkörpern.

4. Schlußfolgerungen

Die Preßhaut beeinflusst sowohl die Feuchteaufnahme als auch die Feuchteabgabe des untersuchten OSB-Plattentyps. Dabei ist der Unterschied der Feuchteänderung zwischen den geschliffenen und den ungeschliffenen Prüfkörpern bei den 12 mm-Platten meist größer als bei den 18 mm-Platten. Hierbei ist zu berücksichtigen, daß einheitlich auf beiden Platten-seiten 1 mm abgenommen wurde, so daß die Dicke der geschliffenen Platten

- auf 83 % der Ausgangsdicke 12 mm bzw.
- auf 89 % der Ausgangsdicke 18 mm reduziert wurde.

Die Ergebnisse lassen folgende Schlußfolgerungen zu:

- a) Die ungeschliffenen Platten geben im Trockenklima langsamer Feuchte ab als die geschliffenen Platten (Bild 2).
- b) Die ungeschliffenen Platten der Dicke 12 mm nehmen im Feuchtklima langsamer Feuchte auf als die geschliffenen Platten. Bei der Plattendicke 18 mm bestehen keine gesicherten Unterschiede (Bild 3).
- c) Die ungeschliffenen Platten nehmen bei direkter Bewitterung langsamer Feuchte auf (Bild 4) und behalten über längere Zeit ein niedrigeres Feuchteniveau (Bild 5) als die geschliffenen Platten.
- d) Die ungeschliffenen Platten der Dicke 12 mm nehmen bei Wasserlagerung schneller Wasser auf als die geschliffenen Platten. Für die Plattendicke 18 mm bestehen keine gesicherten Unterschiede.

Die Schlußfolgerungen a) bis c) beweisen die verzögernde Wirkung der Preßhaut beim Feuchteaustausch. Die Schlußfolgerungen b) und d) für die Plattendicke 12 mm könnten als Widerspruch verstanden werden. Sie lassen sich mit den sehr unterschiedlichen Geschwindigkeiten der Feuchte- bzw. Wasseraufnahme erklären: Im Vergleich zur Lagerung im Feuchtklima steigt der Feuchtegehalt der Platte bei Wasserlagerung sehr schnell an und bewirkt nahezu spontan eine intensive Quellung der stärker verdichteten Strands an der Plattenoberfläche. Hierdurch geht die feuchteverzögernde Wirkung der Preßhaut gleich zu Beginn der Wasserlagerung verloren. Dieser Effekt spielt bei den dickeren Platten eine geringere Rolle, weil hier der Wassertransport quer zur Plattenebene größere Bedeutung erlangt.

Kennwerte des Querdruckverhaltens von Spanplatten

1. Einführung

Bei Spanplatten können Druckbeanspruchungen quer zur Plattenebene während der Verarbeitung und während der Nutzung auftreten. Beispiele sind die Beschichtung von Platten für den Möbel- und Innenausbau sowie die konstruktive Verwendung von Spanplatten für tragende Zwecke. Tabelle 1 enthält Literaturangaben über Preßdrücke beim Furnieren und Beschichten von MDF und Spanplatten. Tabelle 2 gibt die zulässigen Querdruckspannungen für Holzwerkstoffe und zum Vergleich für Bauholz nach DIN 1052 (1988 bzw. 1996) an. Diese Angaben beruhen auf langjährigen Erfahrungen im Holzbau.

Tabelle 1: Literaturangaben über Preßdrücke beim Furnieren und Beschichten von MDF und Spanplatten

Verfahren	Druck in N/mm ²	Literatur
Furnieren Folienbeschichtung - in der Einetagen-Durchlaufpresse - in der Kurztakt-Presse	0,35 - 0,60 0,5 1,5	[5]
Heißtransferfinish-Verfahren	2	[3]
Preßbeschichtung mit MF-Papier - im Kurztakt-Verfahren	2 - 3	[4]
Kurztakt-Preßtechnik	3	[14]

Nach der Neuauflage der DIN 1052 (2003) werden zur Bemessung von Holzbauwerken charakteristische Werte benötigt, die für Holzwerkstoffe aus EN 12369 zu entnehmen sind. Allerdings enthält weder der bisher vorliegende Teil 1 für OSB, Spanplatten, Faserplatten, noch Teil 2 für Sperrholz Angaben zur Querdruckbeanspruchung. Zudem liegt bisher keine nationale, europäische (EN) oder internationale (ISO) Norm für die Druckprüfung von Holzwerkstoffen quer zur Plattenebene vor.

Diese Arbeit stellt bereits veröffentlichte Ergebnisse der Querdruckprüfung von Holzwerkstoffen vor und berichtet über die Untersuchung an sieben Bau- und Möbel-Spanplatten mit sehr unterschiedlichen Eigenschaften. Die Dicken der Platten lagen zwischen 12 und 38 mm, die mittleren Rohdichten zwischen 0,57 und 0,86 g/cm³. Empfehlungen für eine einfache Normprüfung und orientierende Hinweise für eine spätere Bestimmung charakteristischer Werte schließen sich an.

Tabelle 2: Zulässige Spannungen in N/mm^2 bei Druckbeanspruchung quer zur Faserrichtung für Holz bzw. quer zur Plattenebene für Holzwerkstoffe im Bauwesen mit Quellenangabe

Baustoff	Zulässige Spannung	DIN 1052		
		-1 (1988)	-3 (1988)	-1/A1 (1996)
Nadelholz (NH)	2,0 (2,5) ¹⁾	X		X
- nur Sortierklasse MS 13, MS 17	2,5 (3,0) ¹⁾			X
Brettschichtholz aus NH	2,5 (3,0) ¹⁾	X		X
Laubholz - Gruppe A	3,0 (4,0) ¹⁾	X		X
- Gruppe B	4,0	X		X
- Gruppe C	8,0	X		X
Furniersperrholz	3,0 (4,5) ¹⁾	X		
Spanplatte - bis 25 mm Dicke	2,5	X		
- über 25 bis 32 mm	2,0	X		
- über 32 mm Dicke	1,5	X		
Holzfasерplatte, hart	3,0		X	
Holzfasерplatte, mittelhart	2,0		X	
Strangpreßplatte, beplankt	2,5		X	
¹⁾ Bei Anwendung der Werte in () ist mit größeren Eindrücken zu rechnen.				

2. Kenntnisstand

Während Druckversuche an Holz quer zur Faserrichtung vielfach durchgeführt und publiziert wurden, sind Angaben über das Verhalten von Holzwerkstoffen bei Querdruck vergleichsweise selten. Tabelle 3 stellt einige Ergebnisse vor. Hier und im folgenden Text wird unter "Stauchgrenze" die Spannung in N/mm^2 verstanden, die zur Erzielung der genannten Stauchung erforderlich ist. Die 5%-Stauchgrenze $\sigma_{5\%}$ gibt also die Spannung an, bei der die Plattendicke um 5 % reduziert wurde. Die Stauchung kann durch Flächendruck oder durch Stempeldruck verursacht sein. Beim Flächendruck wird der Prüfkörper vollflächig auf Druck beansprucht, d.h. die Druckplatten der Prüfmaschine sind größer als die meist quadratische Prüfkörperoberfläche. Der Stempeldruckversuch, der in Tabelle 3 durch Fußnote ¹⁾ besonders gekennzeichnet ist, lehnt sich an die früher für die Holzprüfung quer zur Faserrichtung gültige DIN 52 185-2 (1954) an, nach der nur das mittlere Drittel (meist eine Fläche von 50 mm x 50 mm) eines gestreckten Prüfkörpers (meist 150 mm x 50 mm) auf Druck beansprucht wurde. DIN 52 185-2 wurde mit Erscheinen der DIN 52 192 (1979) zurückgezogen.

Tabelle 3: Meßergebnisse bei Querdruckprüfung von Holzwerkstoffen. Erläuterung der Kurzzeichen am Tabellenende

Holzwerkstoff	t mm	ρ g/cm ³	E N/mm ²	σ_{prop} N/mm ²	$\sigma_{1\%}$ N/mm ²	$\sigma_{2\%}$ N/mm ²	$\sigma_{5\%}$ N/mm ²	$\sigma_{10\%}$ N/mm ²	Lit.
SP	19				1,1	2,4	5,3		[7]
STAE	19				1,8	4,7	7,5		
SP	19	0,60				1,7 - 3,5 ¹⁾	4,3 - 6,0 ¹⁾	7,0 - 8,4 ¹⁾	[15]
SP	38	0,50	80	1,3					
SP	19	0,74	165	2,1					[9]
SP	15	0,82	460	7,0					
FU-Buche	4 - 7		550	8,2					
"leichte" SP							3,5 ¹⁾		[8]
SP	10 - 38						5 - 8,5 ¹⁾		
SP	13 - 38	< 0,60 0,60 < 0,65 0,65 < 0,70 0,70 < 0,75 > 0,75		1,3 - 2,2 1,4 - 3,9 2,5 - 3,9 4,2 - 5,7 7,7 - 8,4	0,7 0,7 - 0,8 0,9 - 1,2 0,9 - 1,6				[1]
FU-Gabun	18	0,49		4,4	1,4				
FU-Buche	17	0,77		10,8	2,5				
HFH ²⁾	6	0,95		13,0	3,5				
FP	8 - 38	0,64 - 0,79			0,6 - 1,4		5,5 - 10,5	12 - 19	[6]
	8 - 38	0,64 - 0,79					7,8 - 10,7 ¹⁾	13 - 20 ¹⁾	
HFD		0,25 - 0,28	3,5 - 5,7			0,05 - 0,11	0,13 - 0,26	0,24 - 0,42	
HFM		0,75	280			5,5	9,8	14,2	[12]
HFH		1,03	420 ³⁾			8,6	25	53	
¹⁾ Stempeldruck ²⁾ ohne Siebseite ³⁾ nach Verdichten der Siebseite 550 N/mm ² Erste Spalte: SP Spanplatte, FU Furniersperrholz, STAE Stäbchensperrholz, HFH harte, HFM mittelharte und HFD poröse Holzfaserplatte Erste Zeile: t Plattendicke, ρ Rohdichte, E Elastizitätsmodul, σ_{prop} Proportionalitätsgrenze, $\sigma_{1\%}$ bis $\sigma_{10\%}$ Stauchgrenzen (Definition auf Seite 99)									

Nach dieser Norm, die sich an ISO 3132 anlehnt, erfolgt der Druckversuch für kleine Holzkörper quer zur Faserrichtung nach geändertem Verfahren.

Kollmann (1957) hat die Spannungs-Dehnungs-Diagramme für zwei Holzwerkstoffe im Vergleich zu Fichtenholz bei Be- und Entlastung aufgenommen. Während Belastungskurve und Entlastungskurve bei der ersten Prüfung weit auseinander lagen, näherten sie sich bei wiederholter Prüfung immer weiter an. Seine in Tabelle 3 angegebenen Werte stammen aus den Diagrammen der ersten Versuche. Teichgräber (1966) gewann seine Ergebnisse an 4 verschiedenen 19 mm-Spanplatten im Stempeldruckversuch. Plath, Albers (1968) haben Prüfkörper unterschiedlicher Grundfläche aufeinander geklebt und auf Flächendruck beansprucht. Sie stellten fest, daß "die Grundfläche nicht zu klein gewählt werden darf". Später prüfte Albers (1971) ausschließlich Körper der Fläche 50 mm x 50 mm aus 20 Spanplatten unterschiedlicher Verklebung und Dicke sowie aus anderen Holzwerkstoffen. Seine Ergebnisse an Spanplatten sind in Tabelle 3 nach ihrer mittleren Rohdichte gruppiert. Kufner (1968) hat 39 Spanplatten-Typen untersucht, über die er keine näheren Angaben macht. Seine Arbeit konzentriert sich auf die Spanne und die Streuung der Eigenschaftswerte, die nicht tabelliert, sondern ausschließlich grafisch dargestellt sind.

Im Rahmen der Technischen Kommission des europäischen Spanplattenverbandes wurde von 13 Forschungsinstituten eine systematische Untersuchung der Spanplatteneigenschaften geplant, durchgeführt und veröffentlicht (FESYP 1979). Bei den Querdruckversuchen wurde die Grundfläche (25 mm x 25 mm bzw. 50 mm x 50 mm) und die Belastungsart (Flächen- bzw. Stempeldruck) variiert. Dabei zeigte sich, daß die Prüfkörper der kleinen Fläche zur Erzielung einer 5 %-Stauchung beim Stempeldruck eine etwa 50 % höhere Spannung benötigen als beim Flächendruck. Dagegen unterschieden sich auf der größeren Fläche die 5 %-Stauchgrenzen der beiden Belastungsarten nicht systematisch. Beim Flächendruck auf 50 mm x 50 mm ergab sich für den Zusammenhang zwischen der 5 %-Stauchgrenze und der mittleren Platten-Rohdichte ein Korrelationskoeffizient von $r = 0,73$, für den Zusammenhang zwischen der 5 %-Stauchgrenze und der minimalen Platten-Rohdichte $r = 0,80$. Bei allen anderen Prüfbedingungen war die Korrelation mit der minimalen Rohdichte nicht oder nur geringfügig strammer als mit der mittleren Rohdichte (Carré 1979). Dieses Ergebnis mag überraschen, weil die Stauchung primär im Minimumbereich des Rohdichteprofiles einer Platte erwartet wird. Es erklärt sich aber aus der engen Verknüpfung der minimalen mit der mittleren Rohdichte des Untersuchungsmaterials, die durch $r = 0,95$ gekennzeichnet war.

Bei der Querdruckprüfung von Holz muß die Stauchungsmessung nach DIN 52 192 (1979) direkt am Prüfkörper erfolgen, weil die indirekte Messung zwischen den Druckplatten zu Fehlern führt. Um festzustellen, ob diese Forderung der Holzprüfung auch bei Holzwerkstoffen gerechtfertigt ist, hat Schwab (1979) an Faserplatten unterschiedlicher Rohdichte Vergleichsversuche mit direkter und indirekter Stauchungsmessung durchgeführt. Dabei ergaben sich keine signifikanten Unterschiede. Demnach hat die Behinderung der Querdehnung bei plattenförmigen Holzwerkstoffen - im Unterschied zum Vollholz - keinen Einfluß auf die

Stauchung. Die in Tabelle 3 aufgeführte mittelharte Faserplatte (HFM) wurde im Trockenverfahren hergestellt, gilt also nach heutiger Sprachregelung als MDF. Ihre Stauchgrenzen liegen innerhalb der Bereiche, die bei der FESYP-Untersuchung an Spanplatten gewonnen wurden.

3. Material und Methode

Für die vorliegende Prüfung des Querdruckverhaltens wurden sieben Spanplatten-Typen im Dickenbereich 12 bis 38 mm mit mittleren Rohdichten von 0,57 bis 0,86 g/cm³ ausgewählt (Tabelle 4). Bis auf Platte 4 handelt es sich um handelsübliche Spanplatten für Möbel, Innenausbau und tragende Konstruktionen. Die mit Sulfitablauge gebundene Platte 4 wurde vor etwa 30 Jahren in Dänemark nach dem Pedersen-Verfahren hergestellt. Über die vorteilhaften Eigenschaften dieser thermisch nachbehandelten Platten berichten Roffael, Rauch (1974), über die Probleme der Herstellung Roffael, Dix (1991).

Aus jedem Platten-Typ wurden nach Lagerung im Normalklima 20/65 mindestens 60 Prüfkörper 50 mm x 50 mm x Plattendicke geschnitten. Die Druckprüfung quer zur Plattenebene erfolgte vollflächig, d.h. die stählernen Druckplatten (Durchmesser 100 mm) der Prüfmaschine waren größer als die Fläche der Prüfkörper. Gemessen und aufgezeichnet wurde

Tabelle 4: Übersicht über die untersuchten Spanplatten-Typen 1 bis 7

Platten-Typ	Dicke mm	Mittlere Rohdichte g/cm ³	Bemerkung
1	12	0,68... 0,72 ...0,77	Möbelplatte mit Feinspan-Deckschichten
2	12	0,60... 0,64 ...0,66	Bauplatte, PF-verklebt
3	18	0,73... 0,76 ...0,79	Möbelplatte mit Faser-Deckschichten
4	15	0,83... 0,86 ...0,88	Bauplatte nach Pedersen-Verfahren
5	22	0,58... 0,61 ...0,65	Möbelplatte mit Feinspan-Deckschichten
6	22	0,62... 0,66 ...0,70	Bauplatte, PF-verklebt
7	38	0,55... 0,57 ...0,60	Möbelplatte, Spangut stufenlos separiert

die Gesamtstauchung zwischen den Druckplatten in Abhängigkeit von der Druckkraft. Je Platten-Typ erfolgten drei Prüfserien, jeweils bestehend aus 10 - 12 Prüfungen:

Serie 1: Querdruckprüfung eines Prüfkörpers

Serie 2: Querdruckprüfung zweier aufeinander liegender Prüfkörper aus derselben Platte

Serie 3: Querdruckprüfung dreier aufeinander liegender Prüfkörper aus derselben Platte

Diese Serien wurden gewählt, weil die gemeinsame Prüfung von aufeinander liegenden Prüfkörpern eine Verminderung der Streuung und - wegen der größeren Meßlänge zwischen den Druckplatten - eine Erhöhung der Meßgenauigkeit verspricht. Andererseits war festzustellen, ob die gemeinsame Prüfung zu einer Verfälschung führt, z.B. weil die Prüfkörper nicht "dicht" aufeinander liegen oder weil jeweils der "schwächste" Prüfkörper das Gesamtergebnis bestimmt.

Bild 1 zeigt aufgezeichnete Kraft-Weg-Diagramme von jeweils 5 Versuchen der Serie 3 mit Platten-Typ 6 (oben) und 2 (unten). Das untere Diagramm, bei dem die vertikale Strecke von 10 mm auf dem Millimeterpapier einer Kraft von 800 N entspricht, verdeutlicht den Kurvenanlauf, der die beginnende Kraftübertragung auf die Prüfkörper beschreibt. Dieser Anlauf war von der Prüfserie unabhängig und blieb bei der Auswertung der Diagramme unberücksichtigt. Entsprechend galt der Schnittpunkt der Hooke'schen Gerade mit der Abszisse jeweils als Ursprung des Systems. Aus den Kraft-Weg-Diagrammen wurden die Spannungen σ und die Stauchungen ε durch die einfachen Beziehungen

$$\sigma = F/A$$

$$\varepsilon = \Delta t/t$$

ermittelt, wobei F: Kraft; A: Druckfläche des Prüfkörpers; Δt : Dickenänderung und t: Ausgangsdicke des Prüfkörpers (Serie 1) bzw. der Prüfkörper (Serie 2 und 3) bedeutet. Bestimmt wurden:

- der Elastizitätsmodul E aus der Steigung der Hooke'schen Gerade
- die erweiterte Proportionalitätsgrenze σ_{DP} in Anlehnung an DIN 52 192. Dabei handelt es sich um die Spannung, bei der die Steigung der Kurve zwei Drittel der Steigung der Hooke'schen Gerade beträgt
- die Stauchgrenzen $\sigma_{1\%}$, $\sigma_{2\%}$, $\sigma_{5\%}$, $\sigma_{10\%}$. Dabei handelt es sich um die Spannungen, bei denen die im Index genannten prozentualen Stauchungen erreicht sind.

Tabelle 5 zeigt am Beispiel des Platten-Typs 5 die ermittelten Kennwerte der 3 Serien einschließlich der Variationskoeffizienten als Maß für die Streuung der Einzelwerte. Auch wenn die Mittelwerte einer Eigenschaft bei den drei Serien nicht immer identisch sind, ergibt sich kein Hinweis auf eine Verfälschung der Ergebnisse durch die aufeinander liegenden Prüfkörper. Dies gilt auch für die anderen untersuchten Platten-Typen. Deshalb werden im folgenden nur die Ergebnisse der Serie 3 dargestellt, die eine höhere Meßgenauigkeit ermöglicht hat.

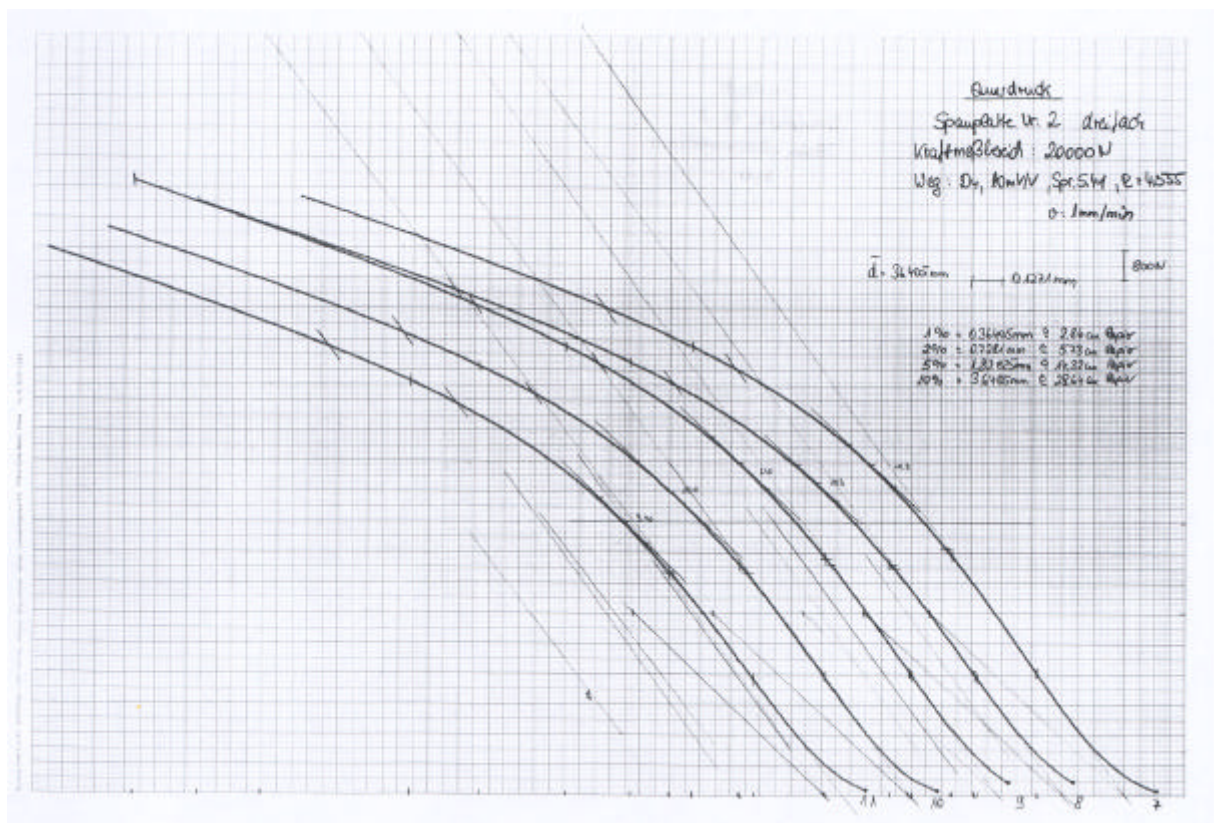
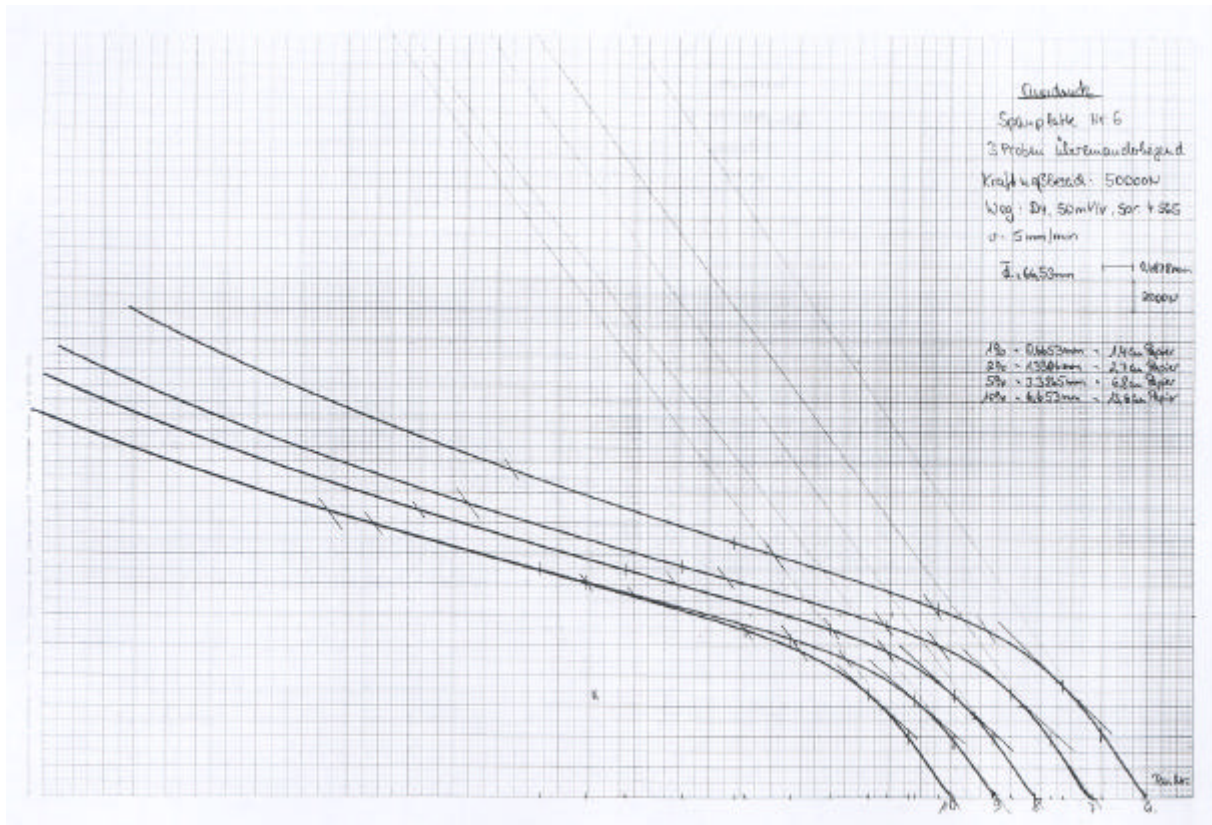


Bild 1: Beispiele aufgezeichneter Kraft-Weg-Diagramme (verkleinert) von jeweils 5 Versuchen der Serie 3 mit Platten-Typ 6 (oben) und 2 (unten)

Tabelle 5: Vergleich der Kennwerte bei Querdruckprüfung eines Prüfkörpers, zweier aufeinander liegender und dreier aufeinander liegender Prüfkörper am Beispiel des Platten-Typs 5 mit Angabe der Variationskoeffizienten V

Eigenschaft		Ein Prüfkörper	Zwei Prüfkörper	Drei Prüfkörper
Rohdichte g/cm ³	ρ_N	0,59... 0,61 ...0,65 V = 3,6 %	0,59... 0,60 ...0,63 V = 1,7 %	0,58... 0,61 ...0,65 V = 2,7 %
Elastizitätsmodul N/mm ²	E_D	109... 135 ...155 V = 11,2 %	133... 146 ...158 V = 5,9 %	135... 149 ...161 V = 7,7 %
Erweiterte Prop.-grenze N/mm ²	σ_{DP}	2,3... 3,1 ...4,1 V = 14,9 %	2,6... 2,7 ...2,8 V = 3,6 %	2,4... 2,7 ...3,0 V = 6,1 %
Stauchgrenze N/mm ²	$\sigma_{1\%}$	1,1... 1,3 ...1,6 V = 11,8 %	1,4... 1,5 ...1,6 V = 6,3 %	1,4... 1,6 ...1,7 V = 4,7 %
	$\sigma_{2\%}$	2,2... 2,7 ...3,2 V = 11,0 %	2,6... 2,7 ...2,8 V = 3,0 %	2,6... 2,7 ...2,9 V = 3,4 %
	$\sigma_{5\%}$	4,3... 4,6 ...5,4 V = 8,2 %	4,4... 4,6 ...4,8 V = 2,4 %	4,5... 4,6 ...4,9 V = 3,1 %
	$\sigma_{10\%}$	6,2... 6,8 ...7,7 V = 6,3 %	6,5... 6,7 ...7,0 V = 2,4 %	6,4... 6,7 ...7,0 V = 2,9 %

4. Ergebnisse und Diskussion

Die mittleren **Kennwerte des Querdruckverhaltens** der sieben untersuchten Spanplatten-Typen sind in Tabelle 6 angegeben. Die Streuung der Einzelwerte um diese Mittelwerte wird durch Variationskoeffizienten im Bereich 3 bis 8 % (meist 4 - 6 %) gekennzeichnet. Zwei Ausnahmen ergaben sich bei Bestimmung der erweiterten Proportionalitätsgrenze σ_{DP} der Platten-Typen 4 und 7. Hier betragen die Variationskoeffizienten 11 % bzw. 13 %. Insgesamt streuen die Einzelwerte bei den σ_{DP} -Werten stärker als bei den Stauchgrenzen, weil die allmähliche Steigungsänderung der Kraft-Weg-Diagramme die sichere Identifizierung der erweiterten Proportionalitätsgrenze erschwert.

Ein Vergleich der Elastizitätsmoduln E_D mit den Stauchgrenzen zeigt, daß die 1%-Stauchgrenze $\sigma_{1\%}$ bei allen Platten-Typen im proportionalen Bereich liegt, da $\sigma_{1\%} \approx E_D/100$. Die geringfügigen Abweichungen bei den Platten-Typen 4 bis 6 sind mit Ablese- bzw. Rundungsfehlern erklärbar. Die 2%-Stauchgrenzen liegen etwa am Ende des proportionalen Bereiches, denn $\sigma_{2\%}$ weicht nicht (Typ 1) bzw. um höchstens 10 % (Typ 5) von $E_D/50$ ab.

Tabelle 6: Mittlere Kennwerte des Querdruckverhaltens für die 7 Spanplatten-Typen der Tabelle 1. Erläuterung der Kurzzeichen in Tabelle 2. Alle Angaben in N/mm².

Kurzzeichen	Platten-Typ						
	1	2	3	4	5	6	7
E _D	210	130	140	350	150	150	90
σ _{DP}	5,5	3,4	4,2	7,8	2,7	2,8	2,2
σ _{1%}	2,1	1,3	1,4	3,4	1,6	1,6	0,9
σ _{2%}	4,2	2,4	2,7	6,5	2,7	2,8	1,7
σ _{5%}	7,9	4,6	5,4	12,0	4,6	4,6	3,3
σ _{10%}	11,9	6,4	---	17,7	6,7	6,2	4,7

Wird die einfach meßbare 2 %-Stauchgrenze als Bezugswert gewählt, dann können aus Tabelle 6 die folgenden Spannungsverhältnisse errechnet werden:

$$\sigma_{1\%}/\sigma_{2\%} \quad 0,50 \dots \mathbf{0,53} \dots 0,58$$

$$\sigma_{DP}/\sigma_{2\%} \quad 1,00 \dots \mathbf{1,25} \dots 1,55$$

$$\sigma_{5\%}/\sigma_{2\%} \quad 1,65 \dots \mathbf{1,84} \dots 2,02$$

$$\sigma_{10\%}/\sigma_{2\%} \quad 2,24 \dots \mathbf{2,61} \dots 2,86$$

Diese Relationen ermöglichen Bild 2, in dem das Spannungs-Dehnungs-Diagramm als einfaches **Schema für Spanplatten bei Querdruck** mit Angabe der Spannweiten für $\sigma_{1\%}/\sigma_{2\%}$, für $\sigma_{5\%}/\sigma_{2\%}$ und für $\sigma_{10\%}/\sigma_{2\%}$ dargestellt ist. Aufgrund der größeren Streuung bei den σ_{DP} -Werten ergibt sich auch für $\sigma_{DP}/\sigma_{2\%}$ eine größere Spanne als für die drei Stauchgrenzenverhältnisse. Bild 2 kann zur Abschätzung unterschiedlicher Stauchgrenzen von Spanplatten herangezogen werden, wenn eine definierte Stauchgrenze im Bereich $\sigma_{1\%}$ bis $\sigma_{10\%}$ bekannt ist.

Bei Querdruckbeanspruchung von Holzwerkstoffen im Bauwesen können die zulässigen Spannungen für die Bemessung nach DIN 1052 (1988) verwendet werden. Dagegen fehlen entsprechende charakteristische Werte für die neue, an den Eurocode 5 angepasste Bemessung nach DIN 1052 (2004?). Bei der Herleitung **charakteristischer Werte** für Querdruck liegt es nahe, sich an den Erfahrungen mit dem Querdruckverhalten des Vollholzes zu orientieren. Die Vorlage 2002 der prEN 384 fordert bei Laubholz für tragende Zwecke, daß der charakteristische Wert der Druckfestigkeit $f_{c,90,k}$ rechthöckig zur Faserrichtung gemäß $f_{c,90,k} = 0,015 \rho_k$ zu bestimmen ist, wobei ρ_k die charakteristische Rohdichte darstellt.

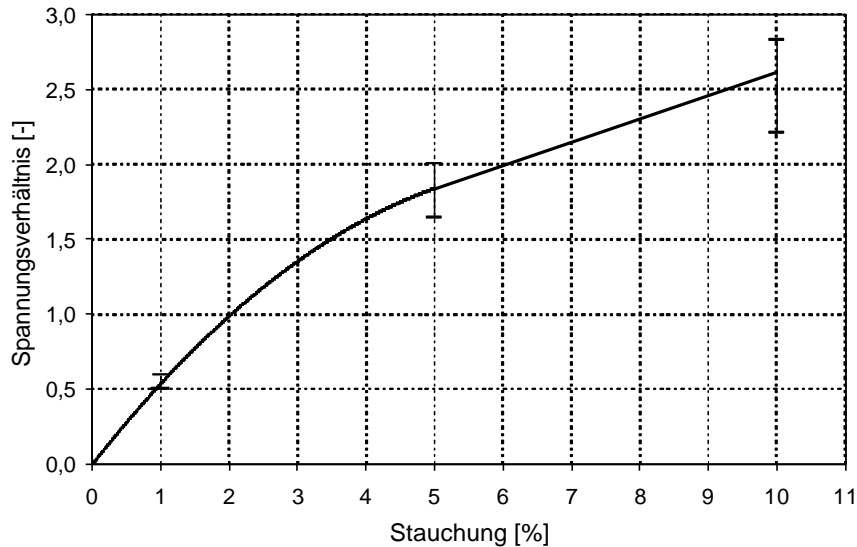


Bild 2: Stauchung von Spanplatten bei Querdruckbeanspruchung als Funktion des Spannungsverhältnisses $\sigma_x/\sigma_{2\%}$. Beispiel: Für die 5 %-Stauchung wird eine um etwa 1,8mal größere Spannung benötigt als für die 2 %-Stauchung

Für die vier Laubhölzer Eiche, Buche, Teak und Keruing, die nach DIN 1052 (2004?) der Festigkeitsklasse D 30 zugeordnet sind, ergibt sich damit der in EN 338 (2003) aufgeführte Wert von $f_{c,90,k} = 8,0 \text{ N/mm}^2$. Dieser charakteristischen Festigkeit sind in Tabelle 7 die zulässige Spannung nach DIN 1052 (1988) und einige Kennwerte des Querdruckverhaltens der genannten Laubhölzer in der schwächeren, der tangentialen Richtung zugeordnet (Schwab 1986). Demnach liegt die charakteristische Festigkeit etwa bei der 2 %-Stauchgrenze und die zulässige Spannung unterhalb der erweiterten Proportionalitätsgrenze etwa am Ende des Hooke'schen Bereiches.

Tabelle 7: Kennwerte des Querdruckverhaltens in tangentialer Richtung der vier in DIN 1052 (2003) aufgeführten Laubhölzer der Festigkeitsklasse D 30 mit Angabe der zulässigen Spannung nach DIN 1052 (1988) und der charakteristischen Festigkeit nach EN 338 (2003)

Holzart	Elastizitätsmodul N/mm ²	Erweiterte Prop.-grenze N/mm ²	2 %-Stauchgrenze N/mm ²	zulässige Spannung N/mm ²	Charakterist. Festigkeit N/mm ²
Eiche	920	5,8	8,1	} 3,0	} 8,0
Buche	720	4,7	8,0		
Teak	910	7,0	--		
Keruing	930	4,4	8,1		

Zum Vergleich enthält Tabelle 8 die entsprechenden Kennwerte des Querdruckverhaltens von Spanplatten gemäß Tabelle 6. Da die zulässige Spannung nach DIN 1052 (1988) von der Plattendicke abhängt, wurden die untersuchten Spanplatten - mit Ausnahme des nicht handelsüblichen Plattentyps 4 - in drei Dickenbereiche unterteilt. Nach Tabelle 8 liegen die zulässigen Spannungen bei Spanplatten im unteren Bereich der 2 %-Stauchgrenzen, die - wie oben erläutert - etwa den proportionalen (= Hooke'schen) Bereich der Spannungs-Dehnungs-Diagramme begrenzen. Würde die für Laubholz der Festigkeitsklasse D 30 bei Querdruckbeanspruchung gültige Relation

$$\frac{\text{charakteristische Festigkeit}}{\text{zulässige Spannung}} = \frac{8}{3} \approx 2,7$$

auf Spanplatten übertragen, dann ergäben sich bei Plattentyp 7 (bzw. den Typen 5 und 6) charakteristische Festigkeiten von $2,7 \times 1,5 \approx 4,0 \text{ N/mm}^2$ (bzw. $2,7 \times 2,5 \approx 6,8 \text{ N/mm}^2$) und damit Werte, die nach Tabelle 6 eine Stauchung von etwa 10 % verursachen. Die Frage, ob bei solchen Stauchungen bereits mit irreversibler Schädigung der Klebstoffbrücken in der Mittelschicht gerechnet werden muß, konnte mit der zusätzlich durchgeführten Scherprüfung in Plattenebene (siehe Anhang A) nicht sicher beantwortet werden. Während zwischen dem Druckverhalten von Holz quer zur Faser und dem Druckverhalten von Sperrholz und Massivholzplatten quer zur Plattenebene Analogie besteht, muß für partikelgebundene Holzwerkstoffe mit anderem Verhalten gerechnet werden. Hier sind weitere Druckprüfungen an OSB-, Span- und Faserplatten unterschiedlicher Art erforderlich, um die Datenbasis für die Bestimmung charakteristischer Werte zu erweitern.

Tabelle 8: Kennwerte des Querdruckverhaltens aller Spanplatten nach Tabelle 6 (erste Zeile) bzw. der handelsüblichen Platten unterschiedlicher Dicken (folgende Zeilen) mit Angabe der zulässigen Spannung nach DIN 1052 (1988)

Platten-typen	Dicken mm	Elastizitäts- modul N/mm ²	Erweiterte Prop.-grenze N/mm ²	2 %-Stauch- grenze N/mm ²	Zulässige Spannung N/mm ²
1 - 7	12 - 38	90 - 350	2,2 - 7,8	1,7 - 6,5	---
1 - 3	12 - 18	130 - 210	3,4 - 5,5	2,4 - 4,2	2,5
5 - 6	22	150	2,7 - 2,8	2,7 - 2,8	2,5
7	38	90	2,2	1,7	1,5

Die Erarbeitung einer **Prüfnorm für das Querdruckverhalten** von Holzwerkstoffen hätte den Vorteil, daß künftig nach einheitlichen Prüfbedingungen direkt vergleichbare Ergebnisse gewonnen würden. Schon Albers (1971) hatte das von ihm verwendete Prüfverfahren mit 50 mm x 50 mm x Plattendicke als Standardverfahren empfohlen, aber für hinreichend genau meßbare Stauchungen eine Mindestdicke gefordert. Die vorliegende Untersuchung weist für Spanplatten nach, daß mehrere aufeinander liegende Prüfkörper eine sichere Bestimmung der Stauchgrenzen bei geringer Streuung der Einzelwerte ermöglichen. Für Faserplatten hatte Schwab (1979) dies bereits nachgewiesen. Die Prüfkörperoberfläche von 50 mm x 50 mm ist heute unstrittig, da die europäischen (EN) und internationalen (ISO) Prüfnormen für Holzwerkstoffe einheitlich vom 50 mm-Raster ausgehen. Als Meßergebnis sollte in jedem Fall die 2 %-Stauchgrenze gefordert werden, aus der sich - wie Bild 2 zeigt - für Spanplatten weitere Stauchgrenzen abschätzen lassen. Vorteilhaft wäre aber die zusätzliche Bestimmung von E_D , $\sigma_{5\%}$ und $\sigma_{10\%}$ bei möglichst vielen Holzwerkstoffen, um die Parameter wie Partikelgröße, Plattenaufbau, Rohdichteprofil usw. näher untersuchen zu können. Dagegen hat sich die Bestimmung der erweiterten Proportionalitätsgrenze σ_{DP} , die in der Prüfnorm für Holz definiert wird, bei Spanplatten als unbefriedigend erwiesen.

5. Zusammenfassung

Die Prüfung des Querdruckverhaltens von Holzwerkstoffen wurde in den letzten beiden Jahrzehnten vernachlässigt, obwohl Holzwerkstoffe bei Beschichtung und bei der konstruktiven Verwendung quer zur Plattenebene auf Druck beansprucht werden und obwohl die Palette der Holzwerkstoffe in dieser Zeit wesentlich erweitert wurde. Dieser Beitrag berichtet über früher veröffentlichte Ergebnisse und über eine neue Untersuchung an Spanplatten im Dickenbereich 12 bis 38 mm und im Rohdichtebereich 0,57 bis 0,86 g/cm³. Daraus ergeben sich Empfehlungen für eine einfache Normprüfung, mit der für die Vielzahl der inzwischen entwickelten Holzwerkstoffe direkt vergleichbare Ergebnisse gewonnen werden können. Vordringliches Ziel solcher Vergleichsversuche wäre die Ermittlung charakteristischer Werte, die zur Bemessung nach DIN 1052 (2004?) bei Druckbeanspruchung quer zur Plattenebene benötigt werden.

6. Literatur

- [1] Albers, K. 1971: Querdruckverhalten von Holzwerkstoffen. Holz Roh- Werkstoff 29: 94-96
- [2] Carré, J. 1979: Druck- und Härteversuche. Anhang 9 der FESYP-Untersuchung: Baustatisch wichtige Eigenschaften von Spanplatten. Technische Kommission der Europäischen Föderation der Verbände der Spanplattenindustrie (FESYP)

- [3] Deppe, H.-J.; Ernst, K. 1996: MDF - Mitteldichte Faserplatten. DRW-Verlag Stuttgart
- [4] Deppe, H.-J., Ernst, K. 2000: Taschenbuch der Spanplattentechnik. 4. Auflage, DRW-Verlag Stuttgart
- [5] EMB 1993: MDF - a users manual. Euro MDF Board Giessen
- [6] FESYP 1979: Baustatisch wichtige Eigenschaften von Spanplatten. Technische Kommission der Europäischen Föderation der Verbände der Spanplattenindustrie. Zwei Teile mit Anhängen
- [7] Kollmann, F. 1957: Über Unterschiede im rheologischen Verhalten von Holz und Holzwerkstoffen bei Querdruckbelastung. Forschung auf dem Gebiete des Ingenieurwesens 23: 49-54
- [8] Kufner, M. 1968: Festigkeitswerte von Holzspanplatten und deren Schwankungen. Holz Roh- Werkstoff 26: 253-260
- [9] Plath, E.; Albers, K. 1968: Elastizität und Plastizität von Span- und Furnierplatten bei Druckbelastung senkrecht zur Plattenebene. Holz Roh- Werkstoff 26: 325-327
- [10] Roffael, E.; Dix, B. 1991: Lignin and ligninsulfonate in non-conventional bonding - an overview. Holz Roh- Werkstoff 49: 199-205
- [11] Roffael, E.; Rauch, W. 1974: Phenolharz- und sulfitablaugegebundene Spanplatten: Vergleich einiger Eigenschaften. Holz-Zentralblatt 100: 702-704
- [12] Schwab, E. 1979: Das Verhalten von Faserplatten bei Druckbeanspruchung quer zur Plattenebene. Bericht der 10. Sitzung des Technischen Komitees der Europäischen Föderation der Holzfaserverplatten-Fabrikanten (FEROPA): 74-88
- [13] Schwab, E. 1986: Kennwerte des Querdruckverhaltens von Laubhölzern. Holz Roh- Werkstoff 44: 259-263
- [14] Soiné, H. 1995: Holzwerkstoffe - Herstellung und Verarbeitung. DRW-Verlag Stuttgart
- [15] Teichgräber, E. 1966: Eigenschaften und Eigenschaftsprüfung. In: Kollmann, F. (Herausg.): Holzspanwerkstoffe. Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York

Anhang A: Einfluß der Querdruckbeanspruchung auf die Scherfestigkeit in Plattenebene

Zunehmender Druck quer zur Plattenebene muß bei Holzwerkstoffen zur Schädigung von Klebstoffbrücken zwischen den Holzpartikeln führen. Um den Grad der Schädigung in Abhängigkeit von der Druckbeanspruchung ermitteln zu können, empfiehlt sich die Bestimmung einer Festigkeit, die als Kriterium für die Verklebungsgüte gilt, z.B. die Zugfestigkeit quer zur Plattenebene oder die Scherfestigkeit in Plattenebene. Hier wurde die Scherfestigkeit in Plattenebene nach DIN 52 367 (2002) gewählt, weil sie nach der Querdruckbeanspruchung ohne weitere Prüfkörperänderung durchgeführt werden kann. Im Unterschied dazu setzt die Prüfung der Zugfestigkeit quer zur Plattenebene eine beidseitige Verklebung mit Jochen voraus, wobei der Prüfkörper erneut quer zur Plattenebene beansprucht werden muß.

Aus zwei Spanplatten (Dicken 16 mm bzw. 28 mm) und einer OSB-Platte (Dicke 34 mm) wurden jeweils über 200 Prüfkörper à 50 mm x 50 mm x Plattendicke geschnitten. Mindestens 20 Prüfkörper jedes Plattentyps wurden jeweils um 5 %, 10 %, 20 %, 30 % bzw. 40 % der Plattendicke gestaucht und einen Tag später bezüglich Scherfestigkeit in Plattenebene geprüft. Zusätzlich wurde für alle Prüfkörper die Rohdichte zum Zeitpunkt der Scherprüfung bestimmt. Als Kontrollproben dienten ebenfalls mindestens 20 Prüfkörper, die keiner Querdruckbeanspruchung ausgesetzt waren. Tabelle A1 zeigt die Ergebnisse der mittleren Rohdichte sowie der Scherfestigkeit (Minimal...**Mittel**...Maximalwert) in Abhängigkeit von der Stauchung. Die großen Streuungen der Scherfestigkeit ermöglichen nur die grobe Schätzung, daß die Scherfestigkeit erst bei Stauchungen über 20 % deutlich vermindert wird. Hieraus ergeben sich Zweifel, ob diese Prüfmethode tatsächlich ein Kriterium für die Verklebungsgüte auch nach Querdruckbeanspruchung liefert. Vielmehr liegt die Vermutung nahe, daß der Druck und die dadurch bewirkte bessere "Vernetzung" der Holzpartikel untereinander die eingetretene Schädigung der Klebstoffbrücken überdeckt hat.

Tabelle A1: Rohdichte und Scherfestigkeit in Plattenebene als Funktion der vorhergehenden Stauchung quer zur Plattenebene

Stauchung	Spanplatte 16 mm Dicke		Spanplatte 28 mm Dicke		OSB-Platte 34 mm	
	Rohdichte g/cm ³	Scherfestigkeit N/mm ²	Rohdichte g/cm ³	Scherfestigkeit N/mm ²	Rohdichte g/cm ³	Scherfestigkeit N/mm ²
0 %	0,67	0,97..1,37..1,84	0,60	0,96..1,12..1,31	0,60	1,13..1,55..2,01
5 %	0,67	1,08..1,28..1,53	0,61	0,90..1,05..1,30	0,61	1,29..1,73..2,04
10 %	0,68	0,61..1,22..1,47	0,62	0,88..1,15..1,41	0,62	0,97..1,62..2,00
20 %	0,73	1,04..1,26..1,54	0,65	0,83..1,10..1,34	0,66	1,19..1,55..1,99
30 %	0,78	0,81..1,15..1,49	0,73	0,73..0,93..1,05	0,71	0,99..1,48..2,12
40 %	0,84	0,59..0,93..1,40	0,80	0,74..0,91..1,14	0,79	1,16..1,52..2,08

Verzeichnis der im Arbeitsbericht aufgeführten Normen

ASTM D 143 (1978): Standard methods of testing: Small clear specimens of timber

BS 373 (1957): Methods of testing small clear specimens of timber

DIN 1052-1 (1988): Holzbauwerke; Berechnung und Ausführung

DIN 1052-1/A 1 (1996): Holzbauwerke; Berechnung und Ausführung; Änderung 1

DIN 1052-3 (1988): Holzbauteile; Holzhäuser in Tafelbauart; Berechnung und Ausführung

DIN 1052 (2004?): Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken; Allgemeine Bemessungsregeln für den Hochbau

DIN 52 181 (1975): Bestimmung der Wuchseigenschaften von Nadelholz

DIN 52 182 (1976): Prüfung von Holz; Bestimmung der Rohdichte

DIN 52 183 (1977): Prüfung von Holz; Bestimmung des Feuchtegehaltes

DIN 52 184 (1979) Prüfung von Holz; Bestimmung der Quellung und Schwindung

DIN 52 185-2 (1954): Prüfung von Holz; Druckversuch quer zur Faserrichtung
(zurückgezogen)

DIN 52 185 (1976): Prüfung von Holz; Bestimmung der Druckfestigkeit parallel zur Faser

DIN 52 186 (1978): Prüfung von Holz; Biegeversuch

DIN 52 187 (1979): Prüfung von Holz; Bestimmung der Scherfestigkeit in Faserrichtung

DIN 52 189-1 (1981): Prüfung von Holz; Bestimmung der Bruchschlagarbeit

DIN 52 192 (1979): Prüfung von Holz; Druckversuch quer zur Faserrichtung

DIN 52 367 (2002): Spanplatten; Bestimmung der Scherfestigkeit parallel zur Plattenebene

DIN 68 364 (2003): Kennwerte von Holzarten; Rohdichte, Elastizitätsmodul und Festigkeiten

DIN 68 705-3 (1981): Sperrholz; Bau-Furniersperrholz

DIN 68 705-5 (1980): Sperrholz; Bau-Furniersperrholz aus Buche

DIN EN 300 (1997): Platten aus langen, schlanken, ausgerichteten Spänen (OSB);
Definition, Klassifizierung und Anforderungen

- DIN EN 310 (1993): Holzwerkstoffe; Bestimmung des Biege-Elastizitätsmoduls und der Biegefestigkeit
- DIN EN 312 (2003): Spanplatten; Anforderungen
- DIN EN 314-1 (1993): Sperrholz; Qualität der Verklebung; Prüfverfahren
- DIN EN 318 (2002): Holzwerkstoffe; Bestimmung von Maßänderungen in Verbindung mit Änderungen der relativen Luftfeuchte
- DIN EN 322 (1993): Holzwerkstoffe; Bestimmung des Feuchtegehaltes
- DIN EN 323 (1993): Holzwerkstoffe; Bestimmung der Rohdichte
- DIN EN 338 (2003): Bauholz für tragende Zwecke; Festigkeitsklassen
- DIN EN 350-2 (1994): Natürliche Dauerhaftigkeit von Vollholz; Leitfaden für die natürliche Dauerhaftigkeit und Tränkbarkeit von ausgewählten Holzarten
- prEN 384 (Vorlage 2002): Bauholz für tragende Zwecke; Bestimmung charakteristischer Werte für mechanische Eigenschaften und Rohdichte
- DIN EN 392 (1996): Brettschichtholz; Scherprüfung der Leimfugen
- DIN EN 622-2 bis -5 (1997): Faserplatten; Anforderungen
- DIN EN 636 (2003): Sperrholz; Anforderungen
- DIN EN 789 (1997): Holzbauwerke; Prüfverfahren; Bestimmung der mechanischen Eigenschaften von Holzwerkstoffen
- DIN EN 1058 (1996): Holzwerkstoffe; Bestimmung der charakteristischen Werte der mechanischen Eigenschaften und der Rohdichte
- DIN EN 1193 (1998): Holzbauwerke; Bauholz für tragende Zwecke und Brettschichtholz; Bestimmung der Scherfestigkeit und der mechanischen Eigenschaften rechtwinklig zur Faserrichtung
- DIN EN 1438 (1998): Rund- und Schnittholz; Symbole zur Verwendung in Fachschriften bei Holz und Holzwerkstoffen
- DIN EN 1912 (1998): Bauholz für tragende Zwecke; Festigkeitsklassen; Zuordnung von visuellen Sortierklassen und Holzarten
- DIN EN 12369-1 (2001): Holzwerkstoffe; Charakteristische Werte für die Berechnung und Bemessung von Holzwerkstoffen; OSB, Spanplatten und Faserplatten

DIN EN 12369-2 (2003): Holzwerkstoffe; Charakteristische Werte für die Berechnung und Bemessung von Holzwerkstoffen; Sperrholz

DIN EN 13556 (2003): Rund- und Schnittholz; Nomenklatur der in Europa verwendeten Handelshölzer

DINV ENV 14272 (2002): Sperrholz; Rechenverfahren für einige mechanische Eigenschaften

prEN WI 112.147 (Vorlage 2003): Wood based panels; Small scale indicative test methods for certain mechanical properties

ISO 3132 (1975): Wood; Testing in compression perpendicular to grain

ISO 4469 (1981): Wood; Determination of radial and tangential shrinkage

ISO 4858 (1982): Wood; Determination of volumetric shrinkage

ISO 4859 (1982): Wood; Determination of radial and tangential swelling

ISO 4860 (1982): Wood; Determination of volumetric swelling

NF B 51-006 (1942): Bois; Détermination de la rétractibilité

TGL 25 106-4 (1970): Prüfung von Holz; Bestimmung der Quellung und Schwindung