

Vergleichende Betrachtungen europäischer Bauprodukten-Normen mit nationalen Bestimmungen
Teilprojekt: Erstellung von Eigenschaften von Bauholz für tragende Zwecke

T 2632

T 2632

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Die Originalmanuskripte wurden reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00
Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

**INSTITUT FÜR HOLZFORSCHUNG
UNIVERSITÄT MÜNCHEN**

80797 München, Winzererstraße 45

**Vergleichende Betrachtungen europäischer Bauprodukten-Normen
mit nationalen Bestimmungen**

Teilprojekt

Erstellung von Eigenschaftsprofilen von Bauholz für tragende Zwecke

Bericht 93507

Abschlußbericht an die Deutsche Gesellschaft für Holzforschung e.V.

Projekt Nr. E-92/7g

Gefördert mit Mitteln des Deutschen Instituts für Bautechnik, Berlin

P. Glos und N. Burger

München

1994

Inhaltsverzeichnis

1.	Aufgabenstellung	3
2.	Vorgehensweise bei der Erstellung der Eigenschaftsprofile	4
3.	Bestimmung charakteristischer Werte für visuell sortiertes Holz	7
3.1	Allgemeines	7
3.2	Festigkeitskennwerte	7
3.2.1	Allgemeines	7
3.2.2	Biegung	7
3.2.3	Zug parallel zur Faserrichtung	9
3.2.4	Druck parallel zur Faserrichtung	11
3.2.5	Sonstige Festigkeitseigenschaften	12
3.2.5.1	Allgemeines	12
3.2.5.2	Zug rechtwinklig zur Faserrichtung	13
3.2.5.3	Druck rechtwinklig zur Faserrichtung	14
3.2.5.4	Schub	15
3.3	Steifigkeitskennwerte	15
3.3.1	Allgemeines	15
3.3.2	Elastizitätsmodul parallel zur Faserrichtung	16
3.3.2.1	Biege-Elastizitätsmodul	16
3.3.2.2	Zug-Elastizitätsmodul	17
3.3.3	Sonstige Steifigkeitskennwerte	17
3.3.3.1	Allgemeines	17
3.3.3.2	Elastizitätsmodul rechtwinklig zur Faserrichtung	18
3.3.3.3	Schubmodul	18
3.4	Rohdichtekennwerte	19
4.	Bestimmung charakteristischer Werte für maschinell sortiertes Holz	20
4.1	Allgemeines	20
4.2	Festigkeitskennwerte	20
4.3	Steifigkeitskennwerte	22
4.4	Rohdichtekennwerte	23
5.	Klassifizierung von visuell und maschinell sortiertem Holz in Festigkeitsklassen nach prEN 338	24
6.	Zusammenfassung	30
7.	Literaturverzeichnis	33
Anhang:	A Zusammenstellung der in die Auswertung eingeflossenen Untersuchungen	37
	B Ermittlung der charakteristischen Werte nach prEN 384 für EN.TC 124.215 "Structural timber - Strength classes - Assignment of visual grades and species"	47
	C Festigkeitsklassen und charakteristische Werte nach prEN 338	50

1. Aufgabenstellung

Die Berechnung von Holzkonstruktionen nach EUROCODE 5 bzw. nach DIN 1052 beruht auf unterschiedlichen Bemessungskonzepten. Die in DIN 1052 festgelegten zulässigen Spannungen sind im wesentlichen durch Erfahrung entstanden und in der Vergangenheit anhand jeweils weniger Versuche überprüft worden. Die Bemessung nach EUROCODE 5 erfolgt dagegen nach dem inzwischen im Bauwesen üblichen probabilistischen Sicherheitskonzept. Hier werden als Eingangswerte für die Bemessung charakteristische Werte für die Baustoffeigenschaften benötigt, die als Fraktilwerte der jeweiligen Grundgesamtheit definiert sind und bei den Nachweisen mit entsprechenden Teilsicherheitsbeiwerten abzumindern sind.

Der EUROCODE 5 enthält Konstruktionsregeln und Nachweise, die mit charakteristischen Werten der Festigkeit, der Steifigkeit und der Rohdichte zu führen sind. Charakteristische Baustoffkennwerte werden im EUROCODE 5 jedoch nicht angegeben.

Auch die zugehörigen europäischen Stoffnormen enthalten explizit keine charakteristischen Baustoffkennwerte für bestimmte Holzarten und Sortierklassen. Sie regeln lediglich, wie diese Werte zu bestimmen sind (prEN 384) und enthalten einen Vorschlag für ein System von Festigkeitsklassen, in das die verfügbaren Bauholzsortimente (Schnittholz einer Herkunft, Holzart oder Holzartengruppe, Sortierklasse) eingestuft werden sollen (prEN 338, siehe Tabelle C1).

Als notwendige Voraussetzung für eine probeweise Anwendung des EUROCODE 5 in Deutschland ist es daher notwendig, die charakteristischen Baustoffkennwerte für das hier verwendete, nach DIN 4074 sortierte Bauschnittholz zu bestimmen und zu prüfen, wie dieses Holz in das vorgeschlagene System von Festigkeitsklassen eingestuft werden kann.

2. Vorgehensweise bei der Erstellung der Eigenschaftsprofile

Zu erstellen waren Eigenschaftsprofile für das in Deutschland verwendete, nach DIN 4074 sortierte Bauschnittholz. Dazu wurden die in der Literatur und in der Datenbank des Instituts für Holzforschung verfügbaren Versuchsergebnisse herangezogen, soweit die für die Auswertung benötigten Angaben, insbesondere die Sortierklasse nach DIN 4074 und die jeweiligen Versuchsbedingungen, rekonstruiert werden konnten.

Die Versuche stammen zum Teil aus Forschungsvorhaben, die die Untersuchung bestimmter Einflüsse (z.B. neuartige Waldschäden, Sekundärschäden, Temperatur, u.ä.) auf die Holzeigenschaften zum Ziel hatten. In die Auswertung wurden natürlich nur solche Prüfkörper einbezogen, die gemäß den jeweiligen Untersuchungsergebnissen als unbeeinflusst angesehen werden können (z.B. auch ungeschädigte Vergleichsproben).

Durch die Vielzahl der berücksichtigten Untersuchungen, für die die Proben in der Regel aus verschiedenen Gebieten und Sägewerken entnommen wurden, kann unterstellt werden, daß das Versuchsmaterial die in prEN 384 geforderte Repräsentativität besitzt.

Die Bestimmung der charakteristischen Festigkeits-, Steifigkeits- und Rohdichtekennwerte erfolgte grundsätzlich nach den in prEN 384 festgelegten Regelungen. Die Prinzipien und Hintergründe dieser Regeln hat Glos [11] in einem Bericht ausführlich beschrieben.

Die wesentlichen Festlegungen sind:

- Die charakteristischen Festigkeits- und Rohdichtekennwerte sind als 5%-Fraktilwert der Bezugs-Grundgesamtheit definiert, bezogen auf normierte Versuchsbedingungen. Die charakteristischen Steifigkeitskennwerte sind, ebenfalls bezogen auf normierte Versuchsbedingungen, als Mittelwert (für Verformungsberechnungen) und als 5%-Fraktilwert (für Stabilitätsnachweise) der Bezugs-Grundgesamtheit definiert.
- Das Prüfmateriale muß dementsprechend eine repräsentative Probe der Grundgesamtheit darstellen. Alle bekannten oder vermuteten Einflußgrößen auf die Verteilung der Festigkeit und Steifigkeit in der Grundgesamtheit, wie z.B. Wuchsgebiete, Sägewerke, Stammstärke oder Einschnittverfahren müssen durch die gewählten Teilstichproben (in prEN 384 "Proben" genannt) repräsentiert sein.
- Die Anzahl der Probekörper in jeder Teilstichprobe muß mindestens 40 betragen, um hinreichend gesicherte Fraktilwerte bestimmen zu können. Ein zu geringer Probenumfang ist bei der Berechnung der charakteristischen Werte durch Abminderungsfaktoren zu berücksichtigen.
- Als normierte Versuchsbedingungen sind festgelegt:
 - *Die Prüfungen sind bei einem Bezugsklima von 20°C und 65% relativer Luftfeuchte nach prEN 408 durchzuführen.
 - *An jedem Probekörper ist ein kritischer Querschnitt zu bestimmen, der für die Sortierung maßgebend ist und an dem vermutlich der Bruch eintreten wird. Der kritische Querschnitt muß im eigentlichen Prüfbereich liegen, d.h. z.B. bei der Biegeprüfung innerhalb der Lastangriffspunkte.
 - *Bei der Biegeprüfung ist die Zugseite nach Zufallsgesichtspunkten auszuwählen. Die Stützweite ist nach prEN 408 gleich der 18-fachen Höhe des Prüfkörpers zu wählen,

der Lastangriff erfolgt in den Drittelpunkten. Die Biegefestigkeit jedes einzelnen Prüfkörpers ist auf eine Referenzhöhe von 150 mm umzurechnen.

- * Bei der Zugprüfung ist die freie Prüflänge nach prEN 408 gleich der 9-fachen Breite des Prüfkörpers zu wählen. Die Zugfestigkeit jedes einzelnen Prüfkörpers ist auf eine Referenzbreite von 150 mm umzurechnen.
- Ergebnisse von Prüfungen mit abweichenden Prüfbedingungen dürfen herangezogen werden, wenn genügend Informationen darüber vorliegen, wie diese Ergebnisse auf die Referenzbedingungen umgerechnet werden können. Die entsprechenden Umrechnungsfaktoren werden in den jeweiligen Abschnitten angegeben.
- Die 5%-Fraktilwerte der Festigkeits- und der Steifigkeitswerte werden nach Umrechnung der Versuchswerte auf die normierten Prüfbedingungen parameterfrei durch Abzählen bestimmt, wobei zwischen benachbarten Werten interpoliert werden darf.
- Die Steifigkeitsmittelwerte werden nach Umrechnung der Versuchswerte auf die normierten Prüfbedingungen durch arithmetische Mittelbildung bestimmt.
- Die 5%-Fraktilwerte der Rohdichte werden unter der Annahme einer normalverteilten Grundgesamtheit berechnet.
- Die charakteristischen Festigkeits-, Steifigkeits- und Rohdichtekennwerte werden als gewichtetes arithmetisches Mittel aus den 5%-Fraktilwerten bzw. Mittelwerten der Teilstichproben berechnet. Für die Ermittlung der charakteristischen Festigkeitswerte gelten folgende Zusatzbedingungen:
 - * Ist der Mittelwert der im Verhältnis der Probenumfänge gewichteten 5%-Fraktilwerte der einzelnen Teilstichproben größer als das 1,2-fache des niedrigsten Fraktilwertes der Teilstichproben, dann ist der charakteristische Wert als das 1,2-fache dieses niedrigsten Wertes festzulegen.
 - * Ein zu geringer Probenumfang ist durch einen Abminderungsfaktor nach prEN 384, Bild 1 zu berücksichtigen.
 - * Wegen der geringeren Variabilität von maschinell sortiertem Holz im Vergleich zu visuell sortiertem Holz darf der charakteristische Wert für maschinell sortiertes Holz um den Faktor 1,12 erhöht werden.
- prEN 384 unterstellt, daß die charakteristischen Festigkeits-, Steifigkeits- und Rohdichtewerte von Holz einer Bezugs-Grundgesamtheit in einer festen Relation zueinander stehen und daß die charakteristischen Werte einer Grundgesamtheit deshalb durch die drei charakteristischen Werte der Biegefestigkeit, des Elastizitätsmoduls parallel zur Faserrichtung (Mittelwert) und der Rohdichte in hinreichender Näherung bestimmt sind.

Deshalb dürfen die charakteristischen Werte der im folgenden aufgeführten Eigenschaften nach prEN 384, Abschnitt 8, aus den charakteristischen Werten der Biegefestigkeit ($f_{m,k}$), des Elastizitätsmoduls ($E_{0,mean}$) und der Rohdichte (ρ_k) berechnet werden, wenn diese Werte nach den vorgenannten Regeln bestimmt wurden und für die jeweils zu berechnenden Eigenschaften keine Ergebnisse von Prüfungen in Gebrauchsabmessungen zur Verfügung stehen.

Charakteristische Zugfestigkeit parallel zur Faserrichtung:

$$f_{t,0,k} = 0,6 \cdot f_{m,k}$$

Charakteristische Druckfestigkeit parallel zur Faserrichtung:

$$f_{c,0,k} = 5 \cdot (f_{m,k})^{0,45}$$

Charakteristische Schubfestigkeit:	$f_{v,k} = 0,2 \cdot (f_{m,k})^{0,8}$
Charakteristische Zugfestigkeit rechtwinklig zur Faserrichtung:	$f_{t,90,k} = 0,001 \cdot \rho_k$
Charakteristische Druckfestigkeit rechtwinklig zur Faserrichtung:	$f_{c,90,k} = 0,015 \cdot \rho_k$
Charakteristischer Elastizitätsmodul von Nadelholz parallel zur Faserrichtung:	$E_{0,05} = 0,67 \cdot E_{0,mean}$
Charakteristischer Elastizitätsmodul von Nadelholz rechtwinklig zur Faserrichtung:	$E_{90,mean} = \frac{1}{30} \cdot E_{0,mean}$
Charakteristischer Schubmodul:	$G_{mean} = \frac{1}{16} \cdot E_{0,mean}$

Von den Vorgaben der prEN 384 wurde hier in zwei Punkten abgewichen:

- 1) Der in prEN 384 unterstellte Einfluß der Probenhöhe (Zunahme der Festigkeit um bis zu 30% bei Probenhöhen kleiner als 150 mm) konnte bei dem hier vorliegenden Probenmaterial nicht festgestellt werden (siehe Glos u. Henrici, 1993 [24]). Dieser Einfluß war bisher vor allem in englischen und amerikanischen Versuchen an den in diesen Ländern üblichen schlanken und nach den dortigen Vorschriften sortierten Holzquerschnitten nachgewiesen worden. Weil das hier festgestellte Ergebnis auch durch neuere Schweizer Untersuchungen bestätigt wird, wurden die Biege- und Zugversuchswerte nicht auf eine Bezugsprobenhöhe bzw. -breite von 150 mm umgerechnet, sondern unmittelbar übernommen. Weil die Abmessungen der in die Auswertung einbezogenen Proben den in prEN 384 festgelegten Bezugswert von 150 mm Höhe bzw. Breite im Mittel überschritten (vgl. Tabellen A1 bis A7), liegen die Ergebnisse somit in jedem Fall auf der sicheren Seite und erfüllen damit auch die Kriterien der prEN 384.

Hinweis: Dementsprechend darf der Höhen- bzw. Breitenfaktor auch bei der Bemessung nach EUROCODE 5 nicht berücksichtigt werden.

- 2) Als minimaler Stichprobenumfang wurden 20 Einzelproben gewählt, gegenüber 40 Proben nach prEN 384, um möglichst viele vorliegende Daten berücksichtigen zu können. Da auf diese Weise für die wesentlichen Kennwerte Biegefestigkeit, Zugfestigkeit, Elastizitätsmodul und Rohdichte wesentlich mehr Teilstichproben zur Verfügung standen als nach prEN 384 gefordert, ist damit die geforderte Repräsentativität der Stichproben gewährleistet. Auf eine Abminderung der charakteristischen Werte wegen nicht ausreichender Repräsentativität (prEN 384, Abschnitt 5.4) wurde deshalb verzichtet, wenn Ergebnisse von mindestens 5 Teilstichproben zur Verfügung standen.

In den Tabellen B1 und B2 ist zum Vergleich und als Grundlage für Entscheidungen in den europäischen Normungsgremien das Ergebnis einer Berechnung nach prEN 384 unter Einbeziehung des Höhen- bzw. Breitenfaktors sowie unter Beschränkung auf Teilkollektive mit mindestens 40 Probekörpern dargestellt. Der Vergleich mit den in Abschnitt 3 hergeleiteten Werten zeigt, daß die Ergebnisse in der gleichen Größenordnung liegen.

3. Bestimmung der charakteristischen Werte für visuell sortiertes Holz

3.1 Allgemeines

Die in die Untersuchung einbezogenen Probekörper wurden nach den Bestimmungen der DIN 4074, Ausgabe Sept. 89 sortiert. Als Sortierkriterium wurden im wesentlichen die Ästigkeit und bei Brettern zusätzlich die Markröhre berücksichtigt. Druckholz, Jahrringbreite und Faserabweichung wurden als weitere Parameter nur teilweise herangezogen, da sie nicht für alle Untersuchungen verfügbar waren. Für die Klassifizierung der Proben waren sie jedoch in der Regel nicht maßgebend.

3.2 Festigkeitskennwerte

3.2.1 Allgemeines

Der charakteristische Wert für die Festigkeiten ist nach prEN 384 mit der Formel

$$f_k = \bar{f}_{0,05} \cdot k_s \cdot k_v$$

zu berechnen. Der Wert $\bar{f}_{0,05}$ ist der Mittelwert der auf Standardprüfbedingungen umgerechneten und im Verhältnis der Stichprobenumfänge gewichteten 5%-Fraktilwerte der einzelnen Stichproben. Ist der Wert $\bar{f}_{0,05}$ größer als der 1,2-fache niedrigste 5%-Fraktilwert der einzelnen Stichproben, so ist für $\bar{f}_{0,05}$ das 1,2-fache des niedrigsten Fraktilwertes einzusetzen. Der Wert k_s ist ein Faktor zur Berücksichtigung der Stichprobenanzahl und des Stichprobenumfanges nach prEN 384, Bild 1. Der Faktor k_v berücksichtigt die geringere Variabilität der 5%-Fraktilwerte bei maschinell sortiertem Holz. Für maschinell sortiertes Holz darf $k_v = 1,12$, für visuell sortiertes Holz muß $k_v = 1,0$ gesetzt werden.

3.2.2 Biegung

Alle verwertbaren Untersuchungsergebnisse von Biegeversuchen an Proben in Gebrauchsabmessungen sind unter Angabe der Probenabmessungen im Anhang A in Tabelle A1 zusammengestellt. Tabelle 1 enthält die Teilmenge der Versuche, bei denen Zugriff zu den Einzelversuchswerten bestand und deren Probenumfang groß genug war, um die Fraktilwerte der einzelnen Stichproben parameterfrei nach prEN 384 berechnen zu können.

Zusätzlich zu der in Abschnitt 2 erwähnten Auswertemethodik waren bei der Auswertung der vorliegenden Biegeversuche zwei weitere Besonderheiten zu berücksichtigen:

- In den hier vorliegenden Untersuchungen waren die Proben bewußt ungünstig, d.h. mit der kritischen Querschnittszone auf der Zugseite, geprüft worden. Dies führt im Vergleich zu der in prEN 384 festgelegten Prüfanordnung mit zufälliger Wahl der Zugseite zu signifikant niedrigeren Festigkeitswerten. Dieser Einfluß der Prüfanordnung kann nach Glos [11] abgeschätzt werden, indem die systematisch ungünstig geprüften Proben als Teilkollektiv einer doppelt so großen Stichprobe mit zufälliger Prüfanordnung aufgefaßt werden. Unter der Annahme, daß die ungünstig geprüften Proben grundsätzlich die niedrigeren Festigkeitswerte aufweisen, entspricht die 5%-Fraktile des Gesamtkollektivs

Quelle	Querschnitte [mm]	S 7		S 10		S 13	
		An- zahl	7,5%- Fraktile	An- zahl	7,5%- Fraktile	An- zahl	7,5%- Fraktile
84506 [26]	80/80; 80/100	22	18,7	114	32,5	54	38,4
84510 [13]	45..116/75..274	68	17,0	112	22,9	44	32,3
85503 [21]	63..70/123..150	40	15,3	87	29,8	45	33,1
87503 [20]	40/90; 40/180; 60/120; 60/220	80	14,3	55	21,5	20	27,4
90504/5 [23]	50/180; 60..80/110/160	23	19,8	76	23,4	20	29,3
91508 [24]	50/50,100,150	50	18,1	84	29,8	44	36,8
91509 [25]	35/145	(15)		28	23,5	(8)	
Mittelwert		283	16,6	556	27,0	227	34,1
1,2 x minimaler Fraktilewert			17,2		25,8		32,9
Faktor k_s			1,0		1,0		1,0
Charakteristische Biegefestigkeit			16,6		25,8		32,9

Tabelle 1: Zusammenstellung der 7,5%-Fraktilewerte der Einzelstichproben für die Biegefestigkeit in N/mm^2

der 10%-Fraktile des geprüften Teilkollektivs. Hier wird der charakteristische Festigkeitskennwert für Biegung auf der sicheren Seite liegend und mit Zustimmung des entsprechenden CEN-Ausschusses aus der 7,5%-Fraktile der ungünstig geprüften Proben berechnet.

- Die Mehrzahl der Biegeversuche am Institut für Holzforschung wurde gemäß den Standardprüfbedingungen nach prEN 384 durchgeführt. Bei Stützweiten über 3000 mm wurde der Abstand der Lastangriffspunkte jedoch einheitlich auf konstant 1000 mm festgelegt. Um diese Abweichung zu berücksichtigen, wurde die tatsächliche Bruchspannung auf Normbedingungen umgerechnet. Der Umrechnungsfaktor nach prEN 384 lautet:

$$k_t = \left(\frac{l_{es}}{l_{et}} \right)^{0,3}$$

wobei l_{es} und l_{et} die effektive Länge der Standardprüfeinrichtung bzw. der tatsächlichen Prüfeinrichtung ist. Die effektiven Längen berechnen sich nach der Formel

$$l_{es} \text{ bzw. } l_{et} = \frac{1 + 3,5 \cdot \frac{a_s}{l_s}}{1 + 3,5}$$

Setzt man für $a_s = l_s/3$, kürzt l_s und setzt die effektiven Längen in die Formel für k_t ein, erhält man die allgemeine Formel für die Umrechnung auf die Standardprüfeinrichtung nach prEN 384:

$$k_t = \left(\frac{2,167}{1 + 3,5 \cdot \frac{a_t}{l_t}} \right)^{0,3}$$

Für die eigenen Untersuchungen ergeben sich somit in Abhängigkeit von der Stützweite l_{st} folgende Umrechnungsfaktoren:

$$l_{st} \leq 3000 \text{ mm}: \quad k_t = 1,0$$

$$l_{st} > 3000 \text{ mm}: \quad k_t = \left(\frac{2,167}{1 + \frac{3500}{l_t}} \right)^{0,3}$$

Aus den auf die Normbedingungen umgerechneten Einzelversuchswerten wurden getrennt nach den drei Sortierklassen der DIN 4074 die 7,5%-Fraktilwerte der einzelnen Untersuchungen und daraus die charakteristischen Kennwerte der Biegefestigkeit berechnet (siehe Tabelle 1):

$$\begin{aligned} \text{S7:} \quad f_{m,k} &= 16,6 \text{ N/mm}^2 \\ \text{S10:} \quad f_{m,k} &= 25,8 \text{ N/mm}^2 \\ \text{S13:} \quad f_{m,k} &= 32,9 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Bei den in Tabelle 1 nicht enthaltenen Untersuchungen aus Tabelle A1 konnten die Fraktilwerte wegen fehlender Einzeldaten oder zu geringer Probenzahl in den einzelnen Sortierklassen nicht durch Abzählen bestimmt werden. Sie wurden deshalb unter Annahme einer Normalverteilung berechnet. Als arithmetisches Mittel ergeben sich aus den so berechneten Fraktilwerten folgende charakteristische Biegefestigkeiten:

$$\begin{aligned} \text{S7:} \quad f_{m,k} &= 17,4 \text{ N/mm}^2 \\ \text{S10:} \quad f_{m,k} &= 25,4 \text{ N/mm}^2 \\ \text{S13:} \quad f_{m,k} &= 36,3 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Diese Werte liegen in der gleichen Größenordnung wie die Biegefestigkeiten, die aus den eigenen Versuchen ermittelt wurden.

3.2.3 Zug parallel zur Faserrichtung

Alle verwertbaren Untersuchungsergebnisse von Zugversuchen an Proben in Gebrauchsabmessungen sind unter Angabe der Holzart und der Probenabmessungen im Anhang A in Tabelle A2 zusammengestellt. Tabelle 2 enthält die Teilmenge der Versuche, bei denen Zugriff zu den Einzelversuchswerten bestand und der Probenumfang hinreichend groß war, so daß die Fraktilwerte der einzelnen Stichproben parameterfrei nach prEN 384 berechnet werden konnten.

Zusätzlich zu der in Abschnitt 2 erwähnten Auswertemethodik war bei der Auswertung der vorliegenden Zugversuche folgende Besonderheit zu berücksichtigen:

- Ein Teil der vorliegenden Zugversuche wurde nicht, wie in prEN 408 gefordert, mit einer freien Prüflänge entsprechend der 9-fachen Probenbreite, sondern mit einer kürzeren

Quelle	Querschnitte [mm]	S 7		S 10		S 13	
		An- zahl	5%- Fraktile	An- zahl	5%- Fraktile	An- zahl	5%- Fraktile
84506 [26]	20/200	(8)		48	14,1	232	22,8
87503 [20]	40/90; 50/80; 50/120; 50/180	68	17,9	89	17,3	33	23,9
90504/5 [23]	30/100..200	35	11,8	125	14,8	72	24,8
91506/7 [16/17]	30/95; 30/170	(14)		75	14,4	49	26,4
91509 [25]	35/145	(11)		49	18,0	43	22,9
89505 [14]	36/135	31	15,1	120	17,8	41	19,4
	36/175	(19)		102	17,4	103	21,6
	36/220	(14)		98	12,8	87	15,2
Mittelwert		134	15,7	706	15,9	660	21,9
1,2 x minimaler Fraktilewert			14,2		14,5		18,2
Faktor k_s			0,88		1,0		1,0
Charakteristische Zugfestigkeit			12,5		14,5		18,2

Tabelle 2: Zusammenstellung der 5%-Fraktilewerte der Einzelstichproben für die Zugfestigkeit parallel zur Faserrichtung in N/mm²

Prüflänge geprüft. Zur Umrechnung auf die Normbedingungen wurde ein von Glos [11] hergeleiteter Längenfaktor k_l verwendet:

$$k_l = \left(\frac{l}{2000} \right)^{0,15} \geq 0,75$$

wobei für l die freie Prüflänge in mm einzusetzen ist.

Mit dieser Formel ergibt sich als Faktor für die Normprüflänge, die als 9-fache Probenbreite definiert ist,

$$k_{l_n} = \left(\frac{l_n}{2000} \right)^{0,15} = \left(\frac{9 \cdot b}{2000} \right)^{0,15}$$

und für die vorhandene Prüflänge

$$k_{l_p} = \left(\frac{l_p}{2000} \right)^{0,15}$$

mit l_n freie Prüflänge unter Normprüfbedingungen
 l_p freie Prüflänge unter tatsächlichen Prüfbedingungen
 b Probenbreite

Alle Werte sind in mm einzusetzen.

Für die Auswertung sind nun die beiden Faktoren aufeinander zu beziehen, so daß sich der folgende Korrekturfaktor ergibt:

$$k = \frac{k_{l_p}}{k_{l_n}} = \left(\frac{l_p}{9 \cdot b} \right)^{0,15}$$

Aus den auf die Normbedingungen umgerechneten Versuchswerten wurden die 5%-Fraktilwerte der einzelnen Untersuchungen und daraus die charakteristischen Kennwerte der Zugfestigkeit berechnet (siehe Tabelle 2). In allen drei Fällen ist wegen der großen Streuungen der Versuchswerte der kleinste Fraktilwert der Teilstichproben maßgebend.

$$S7: \quad f_{t,0,k} = 12,5 \text{ N/mm}^2$$

$$S10: \quad f_{t,0,k} = 14,5 \text{ N/mm}^2$$

$$S13: \quad f_{t,0,k} = 18,2 \text{ N/mm}^2$$

Zwei Literaturstellen aus Tabelle A2 konnten in die Auswertung nicht einbezogen werden, weil entweder nur wenige Einzelproben für die einzelnen Sortierklassen (Egner und Kolb, 1962) bzw. keine Einzeldaten (Gruber [30]) zur Verfügung standen. Der Fraktilwert wurde deshalb auch hier unter Annahme einer Normalverteilung rechnerisch ermittelt und durch arithmetische Mittelbildung wurde ein charakteristischer Vergleichswert gewonnen:

$$S7: \quad f_{t,0,k} = 6,4 \text{ N/mm}^2$$

$$S10: \quad f_{t,0,k} = 16,8 \text{ N/mm}^2$$

$$S13: \quad f_{t,0,k} = 18,3 \text{ N/mm}^2$$

Zur Überprüfung der in prEN 384, Abschnitt 8 angegebenen und in Abschnitt 2 dieses Berichtes aufgeführten Näherungsformel $f_{t,0,k} = 0,6 \cdot f_{m,k}$ wurden die charakteristischen Zugfestigkeiten auch aus den Werten der charakteristischen Biegefestigkeiten aus Abschnitt 3.2.2 berechnet:

$$S7: \quad f_{t,0,k} = 10,0 \text{ N/mm}^2 \quad \Delta = -20 \%$$

$$S10: \quad f_{t,0,k} = 15,5 \text{ N/mm}^2 \quad \Delta = +7 \%$$

$$S13: \quad f_{t,0,k} = 19,7 \text{ N/mm}^2 \quad \Delta = +8 \%$$

Der Vergleich zeigt, daß die so ermittelten Werte teilweise höher sind als die an den Zugversuchen berechneten Werte. Dies liegt daran, daß die charakteristischen Werte der Biegefestigkeit z.T. an Proben mit großen, gedrungenen Querschnitten ermittelt wurden und die an diesen Biegeproben gewonnenen hohen Werte nicht ohne weiteres auf schlanke, zugbeanspruchte Querschnitte übertragen werden können.

3.2.4 Druck parallel zur Faserrichtung

Die verwertbaren Untersuchungsergebnisse von Druckversuchen an Proben in Gebrauchsabmessungen sind unter Angabe der Holzart und der Probenabmessungen im Anhang A in Tabelle A4 zusammengestellt. Tabelle 3 enthält die Teilmenge der Versuche, bei denen die Einzelwerte zur Verfügung standen und der Probenumfang ausreichte, um die Fraktilwerte parameterfrei nach prEN 384 berechnen zu können.

Aus den Fraktilwerten wurden folgende charakteristische Kennwerte für die Druckfestigkeit bestimmt (siehe Tabelle 3):

Quelle	Querschnitte/Länge [mm]	S 7		S 10		S 13	
		An- zahl	5%- Fraktile	An- zahl	5%- Fraktile	An- zahl	5%- Fraktile
85502 [19]	18..40/70..200 Länge: 180	(3)		21	17,7	73	26,3
87503 [20]	40/90; 50/80; 50/120; 50/180 Länge: 180	26	28,1	110	25,2	74	28,9
Graf [28]	105/105/210; 210/210/420; 280/280/560	(0)		33	18,8	28	27,9
Glos [10]	Länge: 180	(0)		(11)		275	30,0
Mittelwert		26	28,1	164	23,0	350	29,1
1,2 x minimaler Fraktilewert					21,2		31,6
Faktor k_s			0,74		0,87		0,95
Charakteristische Druckfestigkeit			20,8		20,0		27,6

Tabelle 3: Zusammenstellung der 5%-Fraktilewerte der Einzelstichproben für die Druckfestigkeit parallel zur Faserrichtung in N/mm²

$$S7: f_{c,0,k} = (20,8 \text{ N/mm}^2)$$

$$S10: f_{c,0,k} = 20,0 \text{ N/mm}^2$$

$$S13: f_{c,0,k} = 27,6 \text{ N/mm}^2$$

Der Wert für S 7 muß als wahrscheinlich auf der sicheren Seite liegender, nicht gesicherter Näherungswert angesehen werden, da er nur aus einer Stichprobe bestimmt wurde und deshalb stark abzumindern war. Der Wert für S 10 mußte wegen des geringen Probenumfangs ebenfalls abgemindert werden und liegt daher wahrscheinlich auch auf der sicheren Seite.

Mit der in prEN 384 angegebenen Näherungsformel $f_{c,0,k} = 5 \cdot (f_{m,k})^{0,45}$ ergeben sich folgende Werte:

$$S7: f_{c,0,k} = 17,7 \text{ N/mm}^2 \quad (\Delta = -15 \%)$$

$$S10: f_{c,0,k} = 21,6 \text{ N/mm}^2 \quad (\Delta = +8 \%)$$

$$S13: f_{c,0,k} = 24,1 \text{ N/mm}^2 \quad \Delta = -13 \%$$

Der Wert für S 13 liegt auf der sicheren Seite, ein Vergleich der Werte für die Sortierklassen S 7 und S 10 ist wegen des geringen Probenumfangs nicht sinnvoll.

3.2.5 Sonstige Festigkeitseigenschaften

3.2.5.1 Allgemeines

Für die Zug- und Druckfestigkeit rechtwinklig zur Faserrichtung sowie für die Schubfestigkeit von Bauholz in Gebrauchsabmessungen liegen nur wenige und im wesentlichen keine

unmittelbar verwertbaren Versuchsergebnisse vor. Zum einen wurden die Versuche wegen bisher nicht normierter Prüfbedingungen mit unterschiedlichen Prüfverfahren, Prüfkörperformen und -größen durchgeführt und sind daher sehr verschieden und untereinander nicht vergleichbar. Zum anderen sind die untersuchten Proben nicht nach DIN 4074 sortiert.

Neuere Versuche über die Zug- und Druckfestigkeit rechtwinklig zur Faserrichtung und über die Schubfestigkeit sind im Anhang A in den Tabellen A3, A5 und A6 zusammengestellt.

Die in DIN 1052 angegebenen zulässigen Spannungen für diese Beanspruchungsarten gründen im wesentlichen auf Erfahrungswerten, die punktuell durch Versuche abgestützt sind, die zwischen 1880 und 1940 von Bauschinger, Baumann, Gaber, Graf, Ros, Tetmajer u.a. durchgeführt wurden. Diese Versuche sind zum größten Teil bei F. Kollmann [36] zusammengestellt, sie sind jedoch zur Herleitung charakteristischer Festigkeitswerte nicht geeignet.

Die Kennwerte für die charakteristische Zug- und Druckfestigkeit rechtwinklig zur Faserrichtung und für die charakteristische Schubfestigkeit wurden deshalb unter Heranziehung der derzeit geltenden zulässigen Spannungen, der in prEN 384, Abschnitt 8 angeführten Näherungsformeln und der verwertbaren Versuchsergebnisse abgeschätzt.

Zur Umrechnung der zulässigen Spannungen in charakteristische Festigkeitskennwerte wird hier ein globaler Sicherheitsfaktor von 2,5 zugrundegelegt.

3.2.5.2 Zug rechtwinklig zur Faserrichtung

In Tabelle 4 sind Anhaltswerte für die charakteristische Zugfestigkeit rechtwinklig zur Faserrichtung zusammengestellt. Zeile 1 enthält als Schätzwert der charakteristischen Festigkeit die um den globalen Faktor 2,5 erhöhten zulässigen Spannungen gemäß DIN 1052. In Zeile 2 sind die nach der in prEN 384, Abschnitt 8 angegebenen Näherungsformel $f_{t,90,k} = 0,001 \cdot \rho_k$ berechnete Werte angegeben, wobei für ρ_k die in Abschnitt 3.4 dieses Berichtes ermittelten charakteristischen Rohdichten der jeweiligen Sortierklassen eingesetzt wurden.

Die Werte in Zeile 3 wurden wie folgt ermittelt:

$$\text{Nach Kollmann [37] gilt: } f_{t,0} = 32,8 \cdot f_{t,90}$$

Unterstellt man, daß diese durch Auswerten vorliegender Untersuchungen an verschiedenen Holzarten hergeleitete Beziehung auch im unteren Streubereich der Festigkeiten gilt, also auch auf die charakteristischen Werte anwendbar ist, dann ergeben sich aus den in Abschnitt 3.2.3 ermittelten Werte der charakteristischen Zugfestigkeit parallel zur Faserrichtung die in Tabelle 4, Zeile 3 angegebenen Werte für die Zugfestigkeit rechtwinklig zur Faserrichtung.

Die große Streubreite der in Tabelle A3 zusammengestellten Versuchsergebnisse zeigt, daß ein gesicherter Wert für die charakteristische Zugfestigkeit rechtwinklig zur Faserrichtung derzeit nicht angegeben werden kann und deshalb auf der sicheren Seite liegend abgeschätzt werden muß.

	S 7	S 10	S 13
nach DIN 1052	0	0,125	0,125
nach prEN 384	0,39	0,39	0,40
nach Versuchen	0,38	0,44	0,55

Tabelle 4: Anhaltswerte der charakteristischen Kennwerte für die Zugfestigkeit rechtwinklig zur Faserrichtung in N/mm^2

3.2.5.3 Druck rechtwinklig zur Faserrichtung

Bild 1 zeigt exemplarisch die Problematik bei der Definition charakteristischer Werte für die Druckfestigkeit rechtwinklig zur Faserrichtung. Je nach Prüfanforderung und Auswertemethode (Definition einer maximal zulässigen Dehngrenze) ergeben sich Werte, die in weiten Grenzen streuen. Dies belegen auch die in Tabelle A5 zusammengestellten Versuchswerte. Daraus folgt, daß charakteristische Werte für die Druckfestigkeit rechtwinklig zur Faserrichtung nicht angegeben werden können, solange kein normiertes Prüfverfahren vorliegt.

Deshalb sind in Tabelle 5 lediglich die über die zulässigen Spannungen gemäß DIN 1052 und die nach der prEN 384, Abschnitt 8 mit der dort angegebenen Näherungsformel $f_{c,90,k} = 0,015 \cdot \rho_k$ bestimmten Anhaltswerte für die entsprechenden charakteristischen Werte angegeben.

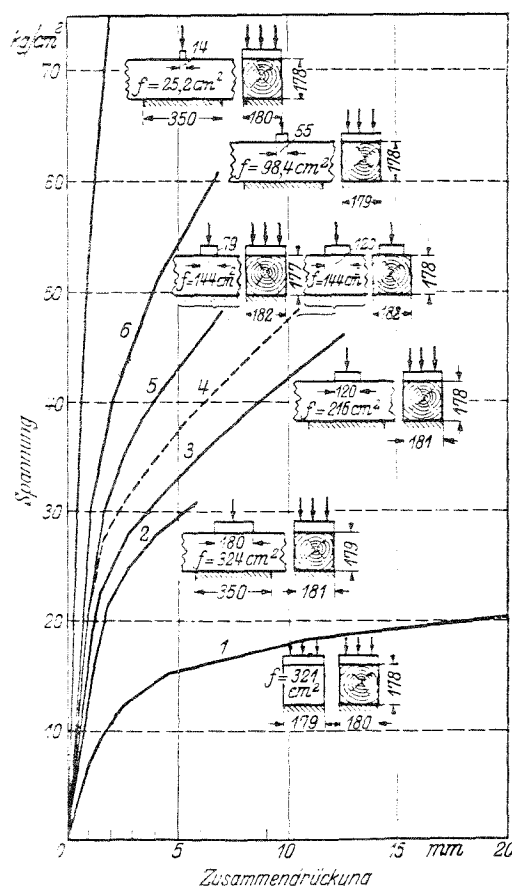


Bild 1:
Spannungs-Zusammendrückungs-
Diagramme bei Schwellen- und
Stempeldruckversuchen an Nadel-
hölzern (nach O. Graf, 1921).
Aus Kollmann, [36].

	S 7	S 10	S 13
nach DIN 1052	5,0	5,0	5,0
nach prEN 384	5,9	5,8	6,0

Tabelle 5: Anhaltswerte der charakteristischen Kennwerte für die Druckfestigkeit rechtwinklig zur Faserrichtung in N/mm²

3.2.5.4 Schub

Tabelle 6 enthält Anhaltswerte für die charakteristische Schubfestigkeit. Zeile 1 enthält als Schätzwert der charakteristischen Festigkeit die um den globalen Faktor 2,5 erhöhten zulässigen Spannungen gemäß DIN 1052. In Zeile 2 sind die nach der in prEN 384, Abschnitt 8 angegebenen Näherungsformel $f_{v,k} = 0,2 \cdot (f_{m,k})^{0,8}$ berechneten Werte angegeben, wobei für $f_{m,k}$ die in Abschnitt 3.2.2 dieses Berichtes ermittelten charakteristischen Biegefestigkeiten der jeweiligen Sortierklassen eingesetzt wurden.

In Zeile 3 wurde der aus den Versuchen von Spengler [44] berechnete Wert eingetragen (vgl. auch Tabelle A6).

	S 7	S 10	S 13
nach DIN 1052	2,25	2,25	2,25
nach prEN 384	1,9	2,7	3,2
nach Versuchen	-	-	3,4

Tabelle 6: Anhaltswerte der charakteristischen Kennwerte für die Schubfestigkeit in N/mm²

3.3 Steifigkeitskennwerte

3.3.1 Allgemeines

Charakteristische Steifigkeitswerte sind nach prEN 384 als Mittelwerte und als 5%-Fraktilwerte der Bezugs-Grundgesamtheit definiert. Die charakteristischen Werte sind die Mittelwerte der auf Standardprüfbedingungen umgerechneten und im Verhältnis der Probenumfänge gewichteten Mittelwerte bzw. 5%-Fraktilen der einzelnen Stichproben.

EUROCODE 5 und prEN 384 unterstellen, daß der Elastizitätsmodul bei Biege-, Zug- und Druckbeanspruchung in der gleichen Größenordnung liegt. Deshalb geben die Berechnungs- und Stoffnormen nur einen Wert für den Elastizitätsmodul an. Nach allgemeinem Verständnis handelt es sich dabei um den Biege-Elastizitätsmodul.

Weil hier neben den Ergebnissen von Biegeversuchen erstmals auch in größerem Umfang Ergebnisse von Zugversuchen in Gebrauchsabmessungen vorliegen, werden die Elastizitätsmoduln getrennt nach diesen beiden Beanspruchungsarten ausgewertet.

3.3.2 Elastizitätsmodul parallel zur Faserrichtung

3.3.2.1 Biege-Elastizitätsmodul

Alle verwertbaren Untersuchungsergebnisse von Biegeversuchen an Proben in Gebrauchsabmessungen sind unter Angabe der Holzart und der Probenabmessungen in Tabelle A1 zusammengestellt. Tabelle 7 enthält die Teilmenge der Versuche, bei denen Zugriff zu den Einzelversuchswerten bestand und der Probenumfang groß genug war, um die Fraktilwerte der einzelnen Stichproben parameterfrei nach prEN 384 berechnen zu können.

Der Elastizitätsmodul wurde bei diesen Versuchen gemäß prEN 408 im schubfreien Bereich ermittelt und berechnet. Diese Werte liegen in der Regel etwa 5 bis 10% über den nach DIN 52186 bestimmten und berechneten E-Modulwerten (Burger [4]).

Aus den Einzelversuchswerten wurden getrennt nach den drei Sortierklassen der DIN 4074 die Mittelwerte und die 5%-Fraktilwerte der einzelnen Untersuchungen und daraus die charakteristischen Kennwerte des Elastizitätsmoduls parallel zur Faserrichtung berechnet (siehe Tabelle 7).

$$\begin{aligned} \text{S 7: } E_{0,\text{mean}} &= 10200 \text{ N/mm}^2; & E_{0,05} &= 6100 \text{ N/mm}^2 \\ \text{S 10: } E_{0,\text{mean}} &= 11600 \text{ N/mm}^2; & E_{0,05} &= 7800 \text{ N/mm}^2 \\ \text{S 13: } E_{0,\text{mean}} &= 12400 \text{ N/mm}^2; & E_{0,05} &= 8300 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Die in prEN 384, Abschnitt 8 zur Bestimmung des charakteristischen Elastizitätsmoduls $E_{0,05}$ aus $E_{0,\text{mean}}$ angegebene Näherungsformel $E_{0,05} = 0,67 \cdot E_{0,\text{mean}}$ wird durch die vorliegenden Versuche bestätigt. Der entsprechende Faktor beträgt für die Sortierklassen S 10 und S 13 genau 0,67, bei der Klasse S 7 ergibt sich hier ein Faktor von 0,60.

Quelle	S7			S 10			S 13		
	Anzahl	Mittelwert	5%-Fraktile	Anzahl	Mittelwert	5%-Fraktile	Anzahl	Mittelwert	5%-Fraktile
84506 [26]	22	8640	3535	114	10961	7056	54	11459	6876
84510 [13]	38	10544	6768	74	11036	7519	24	13396	8549
85503 [21]	40	10097	6831	87	11857	8290	45	12845	8726
87503 [20]	80	10689	6495	55	11736	7670	20	12487	9441
90504/5 [23]	23	10498	7396	76	11439	8757	23	11897	9150
91508 [24]	50	9885	4775	84	12011	7514	44	12634	8535
91509 [25]	(8)			28	13177	8691	(15)		
Charakterist. Elastizitätsmodul	253	10219	6074	518	11565	7807	210	12369	8305

Tabelle 7: Zusammenstellung der Mittelwerte und der 5%-Fraktilwerte der Einzelstichproben für den Biege-Elastizitätsmodul parallel zur Faserrichtung in N/mm^2

3.3.2.2 Zug-Elastizitätsmodul

Die verwertbaren Untersuchungsergebnisse von Zugversuchen an Proben in Gebrauchsabmessungen sind unter Angabe der Holzart und der Probenabmessungen in Tabelle A2 zusammengestellt. Tabelle 8 enthält die Teilmenge der Versuche, bei denen der Zug-Elastizitätsmodul nach prEN 408 bestimmt wurde, Zugriff zu den Einzelversuchswerten bestand und der Probenumfang hinreichend groß war, so daß die Fraktilwerte der einzelnen Stichproben parameterfrei nach prEN 384 berechnet werden konnten.

Aus den Mittelwerten und den 5%-Fraktilwerten der einzelnen Untersuchungen wurden die in Tabelle 8 angegebenen charakteristischen Kennwerte des Zug-Elastizitätsmoduls berechnet.

Es ist zu erkennen, daß die Mittelwerte im Mittel niedriger sind als die vergleichbaren Biege-Elastizitätsmoduln, die 5%-Fraktilwerte wegen der geringeren Streuungen der Zug-Elastizitätsmodulwerte im Mittel jedoch in ähnlicher Größenordnung liegen wie die entsprechenden charakteristischen Biege-Elastizitätsmodulwerte (vgl. hierzu auch Abschnitt 4.3).

Projekt	S7			S 10			S 13		
	Anzahl	Mittelwert	5%-Fraktile	Anzahl	Mittelwert	5%-Fraktile	Anzahl	Mittelwert	5%-Fraktile
84506 [26]	(8)			48	9156	6433	232	11954	9074
85503 [21]	(16)			63	8953	6150	253	11779	7676
87503 [20]	68	10497	8019	89	10911	7875	33	12456	9855
90504/5 [23]	35	9744	7102	125	10212	7341	72	12466	9876
91506/7 [16,17]	(14)			75	10899	7321	49	13585	9547
91509 [25]	(11)			49	10412	6343	43	13141	9098
89505 A [14]	31	10756	8305	120	11796	8406	41	13520	9813
89505 B [14]	(19)			102	11043	8420	103	12814	9408
89505 C [14]	(14)			98	9985	6788	87	11198	7965
Charakterist. Zug-Elastizitätsmodul	134	10360	7846	769	10532	7422	913	12203	8770

Tabelle 8: Zusammenstellung der Mittelwerte und der 5%-Fraktilwerte der Einzelstichproben für den Zug-Elastizitätsmodul parallel zur Faserrichtung in N/mm²

3.3.3 Sonstige Steifigkeitskennwerte

3.3.3.1 Allgemeines

Wie schon in Abschnitt 3.2.5 ausgeführt, liegen über Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften rechtwinklig zur Faserrichtung sowie über den Schubmodul an Proben in Gebrauchsabmessungen nur wenige Untersuchungen und insbesondere praktisch keine hier verwertbaren Einzeldaten vor.

Die Ergebnisse neuerer Untersuchungen sind im Anhang A in den Tabellen A3, A5 und A6 zusammengestellt. Diese Werte sind, wie in Abschnitt 3.2.5 ausgeführt, untereinander nicht

unmittelbar vergleichbar und reichen zur Herleitung charakteristischer Steifigkeitskennwerte nicht aus.

Deshalb werden Kennwerte für den charakteristischen Elastizitätsmodul rechtwinklig zur Faserrichtung und für den charakteristischen Schubmodul unter Heranziehung der derzeit geltenden Rechenwerte und der in prEN 384, Abschnitt 8 angeführten Näherungsformeln abgeschätzt und mit den derzeit gültigen Rechenwerten nach DIN 1052 verglichen.

3.3.3.2 Elastizitätsmodul rechtwinklig zur Faserrichtung

In Tabelle 9 sind Anhaltswerte für den charakteristischen Elastizitätsmodul rechtwinklig zur Faserrichtung zusammengestellt. Zeile 1 enthält die derzeit geltenden Rechenwerte gemäß DIN 1052. In Zeile 2 sind die nach der in prEN 384, Abschnitt 8 angegebenen Näherungsformel für Nadelholz $E_{90,mean} = \frac{1}{30} \cdot E_{0,mean}$ berechneten Werte angegeben, wobei für $E_{0,mean}$ die in Abschnitt 3.3.2.1 dieses Berichtes ermittelten charakteristischen Elastizitätsmoduln der Sortierklassen S 7 bis S 13 eingesetzt wurden.

	S 7	S 10	S 13
nach DIN 1052	240	300	300
nach prEN 384	340	390	410

Tabelle 9: Anhaltswerte der charakteristischen Kennwerte für den Elastizitätsmodul rechtwinklig zur Faserrichtung in N/mm²

3.3.3.3 Schubmodul

In Tabelle 10 sind Anhaltswerte für den charakteristischen Schubmodul zusammengestellt. Zeile 1 enthält die derzeit geltenden Rechenwerte gemäß DIN 1052. In Zeile 2 sind die nach der in prEN 384, Abschnitt 8 angegebenen Näherungsformel $G_{mean} = \frac{1}{16} \cdot E_{0,mean}$ berechneten Werte angegeben, wobei für $E_{0,mean}$ die in Abschnitt 3.3.2.1 dieses Berichtes ermittelten charakteristischen Elastizitätsmoduln der Sortierklassen S 7 bis S 13 eingesetzt wurden.

	S 7	S 10	S 13
nach DIN 1052	500	500	500
nach prEN 384	640	720	770

Tabelle 10: Anhaltswerte der charakteristischen Kennwerte für den Schubmodul in N/mm²

3.4 Rohdichtekennwerte

In den Tabellen A1 bis A4 in Anhang A sind die verwertbaren Untersuchungsergebnisse zusammengestellt. Soweit dies möglich war, sind dort auch der Mittelwert und die 5%-Fraktile der einzelnen Teilstichproben angegeben. Die Rohdichtewerte aus 12 eigenen Untersuchungen der vergangenen 10 Jahre sind in Tabelle 11 zusammengestellt.

Nach prEN 384 ist die Rohdichte als Normal-Rohdichte, also auf eine Holzfeuchte von etwa 12% bezogen, angegeben. Die 5%-Fraktile wurden unter der Annahme einer normalverteilten Grundgesamtheit berechnet.

Aus den vorliegenden Werten der Teilstichproben wurden die charakteristischen Kennwerte der Rohdichte als nach dem Probenumfang gewichtete arithmetische Mittelwerte berechnet (siehe Tabelle 11):

$$S 7: \quad \rho_k = 390 \text{ kg/m}^3$$

$$S 10: \quad \rho_k = 390 \text{ kg/m}^3$$

$$S 13: \quad \rho_k = 400 \text{ kg/m}^3$$

Projekt		S 7			S 10			S 13		
		Anzahl	Mittelwert	5%-Fraktile	Anzahl	Mittelwert	5%-Fraktile	Anzahl	Mittelwert	5%-Fraktile
84506 [26]	Biegung	22	490	450	114	490	420	54	490	430
	Zug	(8)			48	490	430	232	520	450
84510 [13]	Biegung	68	440	390	108	430	370	44	460	370
85502 [19]	Druck	(3)			21	520	440	73	470	380
87503 [20]	Biegung	80	440	370	55	430	350	20	440	330
	Zug	68	470	400	89	450	390	33	450	370
	Druck	26	490	440	110	470	410	74	460	390
90504/5 [23]	Biegung	23	440	390	76	420	390	20	420	370
	Zug	35	440	370	125	440	380	72	450	390
91506/7 [16,17]	Zug	(14)			75	440	350	49	460	380
91508 [24]	Biegung	50	440	380	84	440	370	44	440	390
91509 [25]	Biegung	(8)			28	450	380	(15)		
	Zug	(11)			49	440	390	43	460	380
89505 A [14]	Zug	31	460	400	120	460	390	41	480	410
89505 B [14]	Zug	(19)			102	440	390	103	450	390
89505 C [14]	Zug	(14)			98	430	370	87	440	360
Charakteristische Rohdichte		403	453	392	1302	450	387	989	471	400

Tabelle 11: Zusammenstellung der Mittelwerte und der 5%-Fraktile der Einzelstichproben für die Rohdichte in kg/m^3

4. Bestimmung charakteristischer Kennwerte für maschinell sortiertes Holz

4.1 Allgemeines

Als Alternative zur herkömmlichen visuellen Festigkeitssortierung lassen die europäischen Vorschriften auch eine maschinelle Sortierung von Schnittholz zu. Auch in DIN 4074, Teil 3, Ausgabe 89 ist eine maschinelle Festigkeitssortierung vorgesehen. Deshalb sollen hier auch für die maschinellen Sortierklassen MS 10, MS 13 und MS 17 der DIN 4074 charakteristische Festigkeits-, Steifigkeits- und Rohdichtekennwerte bestimmt werden.

Bei der Bestimmung charakteristischer Werte ist ein grundsätzlicher Unterschied zwischen der visuellen und der maschinellen Festigkeitssortierung zu beachten:

Bei der visuellen Sortierung sind die Sortierregeln fest vorgegeben, die charakteristischen Festigkeits-, Steifigkeits- und Rohdichtekennwerte des nach diesen Regeln sortierten Holzes sind variabel. Sie hängen beispielsweise von der Holzart und den spezifischen Wachstumsbedingungen dieser Holzart, also der Herkunft des Holzes ab. Solche Einflüsse sind bei der Definition der Bezugs-Grundgesamtheit und der Ermittlung charakteristischer Werte zu berücksichtigen.

Bei der maschinellen Sortierung sind die Sortierregeln, insbesondere die jeweiligen Klassengrenzen variabel. Sie können so eingestellt werden, daß vorgegebene charakteristische Festigkeits-, Steifigkeits- und Rohdichtekennwerte erreicht werden. Deshalb können charakteristische Werte für maschinell sortiertes Holz nur in Abhängigkeit bestimmter Einstellwerte der Sortiermaschine und auf entsprechende Randbedingungen (Klima, Holzfeuchte, Holzabmessungen, usw.) bezogen werden.

In Deutschland wird maschinell sortiertes Holz derzeit ausschließlich in Holzleimbaubetrieben zur Herstellung von Brettlamellen für Brettschichtholz eingesetzt. Dementsprechend liegen bisher nur Versuchsergebnisse für diesen Anwendungsbereich vor. Dieser Anwendungsbereich kann beliebig ausgeweitet werden. Voraussetzung dafür ist die Festlegung entsprechender Maschineneinstellwerte nach DIN 4074, Teil 3.

Im Hinblick auf den Anwendungsbereich Holzleimbau wurden mit maschinell sortiertem Holz bisher überwiegend Zugversuche durchgeführt. Die Ermittlung charakteristischer Werte beschränkt sich deshalb im folgenden auf die Zugfestigkeit und den Zug-Elastizitätsmodul parallel zur Faserrichtung sowie die Rohdichte. Die Bezugs-Grundgesamtheit sind Bretter aus europäischem Fichtenholz mit Dicken von 33 bis 38 mm und Breiten von 135 bis 220 mm entsprechend der bisher erteilten Genehmigung zur maschinellen Festigkeitssortierung nach DIN 4074.

4.2 Festigkeitskennwerte

Die Ermittlung der charakteristischen Werte erfolgt nach der in den vorhergehenden Abschnitten beschriebenen Methode.

Die Zugprüfung erfolgte nach prEN 408, eine Umrechnung der Versuchswerte war deshalb nicht erforderlich. Der Faktor k_{fl} zur Berücksichtigung des Einflusses der Probenbreite auf die Festigkeit wurde auch hier, wie in Abschnitt 2 erläutert, nicht berücksichtigt.

Der Faktor k_v darf bei maschinell sortiertem Holz nach prEN 384 mit dem Wert 1,12 angesetzt werden, womit die geringere Variabilität der 5%-Fraktile bei maschinell sortiertem Holz berücksichtigt wird. Im Hinblick auf fehlende Erfahrungen mit der maschinellen Sortierung sind jedoch die Klassengrenzen für die Sortiermaschine so festgelegt worden, daß die charakteristischen Werte für die gewünschten Festigkeitsklassen nach prEN 338 auch ohne Berücksichtigung dieses Erhöhungsfaktors eingehalten werden.

Die Ergebnisse der vorliegenden Zugversuche sind in Anhang A, Tabelle A7 zusammengestellt. Nach prEN 384 ergeben sich folgende charakteristische Kennwerte für die Zugfestigkeit parallel zur Faserrichtung (vgl. Tabelle 12):

$$\begin{aligned} \text{MS 10: } f_{t,0,k} &= 17,5 \text{ N/mm}^2 \\ \text{MS 13: } f_{t,0,k} &= 24,4 \text{ N/mm}^2 \\ \text{MS 17: } f_{t,0,k} &= 32,9 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Vernachlässigt man den Faktor k_v , erhält man folgende Werte:

$$\begin{aligned} \text{MS 10: } f_{t,0,k} &= 15,6 \text{ N/mm}^2 \\ \text{MS 13: } f_{t,0,k} &= 21,8 \text{ N/mm}^2 \\ \text{MS 17: } f_{t,0,k} &= 29,4 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Projekt	Querschnitte [mm]	MS 10		MS 13		MS 17	
		Anzahl	5%-Fraktile	Anzahl	5%-Fraktile	Anzahl	5%-Fraktile
89505 [14] Teilkollektive							
89505 A	36/135	82	17,7	66	23,5	40	29,2
89505 B	36/175	108	16,9	73	22,9	39	28,4
89505 C	36/220	107	13,6	54	20,4	(12)	
89505 D	36/135	34	16,8	42	20,3	54	31,8
89505 E	36/175	31	13,7	37	21,1	52	30,7
89505 F	36/215	44	13,5	41	20,8	45	26,0
Mittelwert		406	15,6	313	21,8	230	29,4
1,2 x minimaler Fraktilewert			16,2		24,4		31,2
Faktor k_s			1,0		1,0		1,0
Faktor k_v			1,12		1,12		1,12
Charakteristische Zugfestigkeit			17,5		24,4		32,9

Tabelle 12: Zusammenstellung der 5%-Fraktile der Einzelstichproben für die Zugfestigkeit parallel zur Faserrichtung von maschinell sortiertem Holz in N/mm^2

4.3 Steifigkeitskennwerte

Die charakteristischen Werte für den Elastizitätsmodul parallel zur Faserrichtung werden wie in den Abschnitten 2 und 3.3 beschrieben ermittelt. Die Ergebnisse der vorliegenden Zugprüfungen sind in Anhang A, Tabelle A7 zusammengestellt. Danach ergeben sich folgende Werte für den Zug-Elastizitätsmodul parallel zur Faserrichtung (vgl. Tabelle 13):

$$\begin{aligned} \text{MS 10:} \quad E_{0,\text{mean}}(Z) &= 10100 \text{ N/mm}^2; & E_{0,05} &= 8300 \text{ N/mm}^2 \\ \text{MS 13:} \quad E_{0,\text{mean}}(Z) &= 12200 \text{ N/mm}^2; & E_{0,05} &= 10400 \text{ N/mm}^2 \\ \text{MS 17:} \quad E_{0,\text{mean}}(Z) &= 14700 \text{ N/mm}^2; & E_{0,05} &= 12400 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Eine Auswertung der Ergebnisse von zwei Untersuchungen, die am Institut für Holzforschung durchgeführt wurden und in denen an denselben Proben sowohl der Biege-Elastizitätsmodul als auch der Zug-Elastizitätsmodul jeweils nach prEN 408 bestimmt wurde [9,32], ergibt folgenden Zusammenhang zwischen diesen beiden E-Modulwerten (Burger [4]):

$$E_{0,\text{mean}}(B) = 88 + 1,077 \cdot E_{0,\text{mean}}(Z)$$

Damit ergeben sich die charakteristischen Werte für den Biege-Elastizitätsmodul parallel zur Faserrichtung zu:

$$\begin{aligned} \text{MS 10:} \quad E_{0,\text{mean}} &= 11000 \text{ N/mm}^2; & E_{0,05} &= 9000 \text{ N/mm}^2 \\ \text{MS 13:} \quad E_{0,\text{mean}} &= 13200 \text{ N/mm}^2; & E_{0,05} &= 11300 \text{ N/mm}^2 \\ \text{MS 17:} \quad E_{0,\text{mean}} &= 15900 \text{ N/mm}^2; & E_{0,05} &= 13500 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Der Elastizitätsmodul von maschinell sortiertem Holz weist stets eine geringere Streuung auf als der Elastizitätsmodul von visuell sortiertem Holz. Das Verhältnis $E_{0,05}/E_{0,\text{mean}}$ beträgt hier etwa 0,85 gegenüber 0,67 bei visuell sortiertem Holz (vgl. Abschnitt 3.3.2.1).

Projekt	MS 10			MS 13			MS 17		
	Anzahl	Mittelwert	5%-Fraktile	Anzahl	Mittelwert	5%-Fraktile	Anzahl	Mittelwert	5%-Fraktile
89505 [14] Teilkollektive									
92510 A	82	10300	8230	66	12500	10830	40	15000	13020
92510 B	108	10500	8520	73	12500	10030	39	14600	11830
92510 C	107	9700	7850	54	12100	10550	(12)		
92510 D	34	10900	9380	42	12600	10820	54	15300	13240
92510 E	31	9600	8020	37	11700	10310	52	14300	12110
92510 F	44	9800	7910	41	11100	9670	45	14200	11810
Charakterist. Elastizitätsmodul	406	10100	8250	313	12200	10380	230	14700	12430

Tabelle 13: Zusammenstellung der Mittelwerte und der 5%-Fraktilewerte der Einzelstichproben für den Zug-Elastizitätsmodul parallel zur Faserrichtung von maschinell sortiertem Holz in N/mm^2

4.4 Rohdichtekennwerte

Die charakteristische Rohdichte wurde für die maschinell sortierten Kollektive wie in den Abschnitten 2 und 3.4 beschrieben ermittelt. Die Rohdichtewerte der vorliegenden maschinell sortierten Teilstichproben sind im Anhang A in Tabelle A7 angegeben. Die verwendbaren Ergebnisse sind in Tabelle 14 zusammengestellt. Die charakteristischen Rohdichtekennwerte wurden aus den Teilstichproben als nach dem Probenumfang gewichtete arithmetische Mittelwerte berechnet (vgl. Tabelle 14):

$$\text{MS 10: } \rho_k = 380 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{MS 13: } \rho_k = 410 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{MS 17: } \rho_k = 440 \text{ kg/m}^3$$

Projekt 89505 [14] Teilkollektive	MS 10			MS 13			MS 17		
	An- zahl	Mittel- wert	5%- Fraktile	An- zahl	Mittel- wert	5%- Fraktile	An- zahl	Mittel- wert	5%- Fraktile
92510 A	82	440	380	66	470	410	40	500	460
92510 B	108	430	390	73	460	410	39	490	420
92510 C	107	420	360	54	450	400	(12)		
92510 D	34	450	400	42	470	430	54	500	460
92510 E	31	420	390	37	450	410	52	480	430
92510 F	44	410	370	41	440	410	45	480	430
Charakteristische Rohdichte	406	428	379	313	458	411	230	490	441

Tabelle 14: Zusammenstellung der Mittelwerte und der 5%-Fraktile der Einzelstichproben für die Rohdichte in kg/m^3

5. Klassifizierung von visuell und maschinell sortiertem Holz in Festigkeitsklassen nach prEN 338

prEN 338 "Bauholz für tragende Zwecke - Festigkeitsklassen" legt für den allgemeinen Gebrauch in Baunormen ein System von Festigkeitsklassen fest. Dieses System besteht aus 9 Klassen für Nadelhölzer und 6 Klassen für Laubhölzer (siehe Anhang C, Tabelle C1).

Für jede Klasse sind charakteristische Festigkeits-, Steifigkeits- und Rohdichtekennwerte angegeben. Ferner enthält prEN 338 Regeln, nach denen Holz einer Grundgesamtheit (d.h. einer Holzart bzw. Holzartenkombination, Herkunft und Sortierklasse) diesem System von Festigkeitsklassen zugeordnet werden kann.

Für die Zuordnung gelten folgende Regeln:

- Visuell sortiertes Holz muß nach einer Norm sortiert sein, die den Anforderungen von EN 518 entspricht.

Hinweis: Nach DIN 4074 visuell sortiertes Holz erfüllt diese Anforderungen.

- Maschinell sortiertes Holz muß den Anforderungen von EN 519 entsprechen.

Hinweis: Nach DIN 4074 maschinell sortiertes Holz erfüllt diese Anforderungen.

- Die charakteristischen Werte der betreffenden Holzgrundgesamtheit sind nach prEN 384 zu bestimmen.
- Die betreffende Holzgrundgesamtheit darf einer bestimmten Festigkeitsklasse zugeordnet werden, wenn die charakteristischen Werte der Biegefestigkeit, des Mittelwertes des Elastizitätsmoduls parallel zur Faserrichtung und der Rohdichte dieser Holzgrundgesamtheit größer oder gleich den Werten dieser Festigkeitsklasse sind.
- Holz kann mit einer auf die entsprechenden Festigkeitskennwerte eingestellten Gütesortiermaschine unmittelbar in eine Festigkeitsklasse sortiert werden.

In Bild 2 und in den Tabellen 15 bis 20 werden die in den Abschnitten 3 und 4 ermittelten charakteristischen Werte von nach DIN 4074, Teil 1 sortiertem Bauholz mit den charakteristischen Werten der Festigkeitsklassen von prEN 338 verglichen. Das Bild zeigt, daß nach DIN 4074 sortiertes Bauholz folgenden Festigkeitsklassen von prEN 338 zugeordnet werden kann (vgl. auch Tabellen 15 bis 20, Spalten 2 und 3):

visuelle Sortierung:	S 7	→	C 16
	S 10	→	C 24
	S 13	→	C 30
maschinelle Sortierung:	MS 10	→	C 24
	MS 13	→	C 35
	MS 17	→	C 40

In den Tabellen 15 bis 20 werden für die visuellen und maschinellen Sortierklassen der DIN 4074 unter möglichst weitgehender Anlehnung an die Eigenschaftsprofile in prEN 338 charakteristische Festigkeits-, Steifigkeits- und Rohdichtekennwerte für eine probeweise Anwendung des EUROCODE 5 vorgeschlagen.

Dieser Vorschlag weicht von prEN 338 in folgenden Punkten ab:

- Für die Zugfestigkeit rechtwinklig zur Faserrichtung wird für alle Sortierklassen ein niedrigerer charakteristischer Wert vorgeschlagen. Der Grund hierfür liegt in der Absicht, den Bereich bisheriger Erfahrungen mit den zulässigen Werten nach DIN 1052 (vgl. Tabelle 4) mangels genauerer und einheitlicher (normierter) Untersuchungen nicht zu verlassen. Weil die Zugfestigkeit rechtwinklig zur Faserrichtung von der Rohdichte abhängt, erscheint bei den maschinellen Sortierklassen MS 13 und MS 17 eine Erhöhung im Vergleich zu den bisher gültigen zulässigen Spannungen gerechtfertigt.
- Für die Druckfestigkeit rechtwinklig zur Faserrichtung wird für alle Sortierklassen ein niedrigerer charakteristischer Wert vorgeschlagen. Für die maschinelle Sortierklasse MS 17 erscheint wegen der höheren charakteristischen Rohdichte ein höherer Wert gerechtfertigt.
- Für die charakteristische Rohdichte der Sortierklassen S 7, S 10 und MS 10 werden im Vergleich zu den Werten von prEN 338 jeweils höhere Werte vorgeschlagen. Die höheren Werte sind durch die vorliegenden Versuchsergebnisse hinreichend belegt.
- In Ergänzung der prEN 338 werden charakteristische 5%-Fraktilwerte für den Elastizitätsmodul rechtwinklig zur Faserrichtung und den Schubmodul vorgeschlagen. Diese Kennwerte sind als Bemessungswerte für eine probeweise Anwendung des EUROCODE 5 erforderlich. Die charakteristischen Werte werden unter Annahme einer normalverteilten Grundgesamtheit und eines Variationskoeffizienten von 20 % nach folgenden Formeln abgeschätzt, wobei für die Werte $E_{90,mean}$ und G_{mean} die vorgeschlagenen charakteristischen Mittelwerte eingesetzt werden:

$$E_{90,05} = E_{90,mean} - 1,645 \cdot 0,20 \cdot E_{90,mean}$$

$$G_{05} = G_{mean} - 1,645 \cdot 0,20 \cdot G_{mean}$$

Festigkeitsklasse nach prEN 338										
		C 16	C 18	C 22	C 24	C 27	C 30	C 35	C 40	
Visuelle Sortierklassen										
Biegung	$f_{m,k}$	→ S 7				→ S 10		→ S 13		
Zug parallel	$f_{t,0,k}$			→ S 7		→ S 10		→ S 13		
Druck parallel	$f_{c,0,k}$			→ (S 10)	→ (S 7)					S 13 → →
Elastizitäts- modul	$E_{0,mean}$			→ S 7		→ S 10		→ S 13		
	$E_{0,05}$		→ S 7			→ S 10		→ S 13		
Rohdichte	ρ_k							→ S 7	→ S 13	
								→ S 10		
Maschinelle Sortierklassen										
Zug parallel	$f_{t,0,k}$					→ MS 10		→ MS 13		MS 17 → →
Elastizitäts- modul	$E_{0,mean}$				→ MS 10			→ MS 13		MS 17 → →
	$E_{0,05}$							→ MS 10		MS 13 → →
Rohdichte	ρ_k						→ MS 10		→ MS 13	MS 17 → →

Bild 2: Charakteristische Werte von Holz der Sortierklassen nach DIN 4074 im Vergleich zu den Grenzwerten der Festigkeitsklassen nach prEN 338

		Sortierklasse S 7		
		C 16 prEN 338	char. Werte nach Abschnitt 3	Vorschlag
Biegung:	$f_{m,k}$	16	16,6	16
Zug Faser:	$f_{t,0,k}$	10	12,5	10
Zug ⊥ Faser:	$f_{t,90,k}$	0,3	0..0,39	0,2
Druck Faser:	$f_{c,0,k}$	17	(20,8)	17
Druck ⊥ Faser:	$f_{c,90,k}$	4,6	5,0..5,9	4
Schub und Torsion:	$f_{v,k}$	1,8	1,9..2,25	1,8
E-Modul Faser:	$E_{0,mean}$	8000	10200	8000
	$E_{0,05}$	5400	6100	5400
E-Modul ⊥ Faser:	$E_{90,mean}$	270	240..340	270
	$E_{90,05}$			180
Schubmodul:	G_{mean}	500	500..640	500
	G_{05}			330
Rohdichte:	ρ_k	310	390	350

Tabelle 15: Zuordnung der Sortierklasse S 7 nach DIN 4074 zur Festigkeitsklasse C 16 nach prEN 338 - Eigenschaftsprofil nach prEN 338, ermittelte charakteristische Werte und vorgeschlagene charakteristische Werte im Vergleich, Werte in N/mm² bzw. kg/m³

		Sortierklasse S 10		
		C 24 prEN 338	char. Werte nach Abschnitt 3	Vorschlag
Biegung:	$f_{m,k}$	24	25,8	24
Zug Faser:	$f_{t,0,k}$	14	14,5	14
Zug ⊥ Faser:	$f_{t,90,k}$	0,4	0,125..0,44	0,2
Druck Faser:	$f_{c,0,k}$	21	(20,0)	21
Druck ⊥ Faser:	$f_{c,90,k}$	5,3	5,0..5,8	5
Schub und Torsion:	$f_{v,k}$	2,5	2,25..2,7	2,5
E-Modul Faser:	$E_{0,mean}$	11000	11600	11000
	$E_{0,05}$	7400	7800	7400
E-Modul ⊥ Faser:	$E_{90,mean}$	370	300..390	370
	$E_{90,05}$			250
Schubmodul:	G_{mean}	690	500..720	690
	G_{05}			460
Rohdichte:	ρ_k	350	390	380

Tabelle 16: Zuordnung der Sortierklasse S 10 nach DIN 4074 zur Festigkeitsklasse C 24 nach prEN 338 - Eigenschaftsprofil nach prEN 338, ermittelte charakteristische Werte und vorgeschlagene charakteristische Werte im Vergleich, Werte in N/mm² bzw. kg/m³

		Sortierklasse S 13		
		C 30 prEN 338	char. Werte nach Abschnitt 3	Vorschlag
Biegung:	$f_{m,k}$	30	32,9	30
Zug Faser:	$f_{t,0,k}$	18	18,2	18
Zug ⊥ Faser:	$f_{t,90,k}$	0,4	0,125..0,55	0,2
Druck Faser:	$f_{c,0,k}$	23	27,6	23
Druck ⊥ Faser:	$f_{c,90,k}$	5,7	5,0..6,0	5
Schub und Torsion:	$f_{v,k}$	3,0	2,25..3,4	3,0
E-Modul Faser:	$E_{0,mean}$	12000	12400	12000
	$E_{0,05}$	8000	8300	8000
E-Modul ⊥ Faser:	$E_{90,mean}$	400	300..410	400
	$E_{90,05}$			270
Schubmodul:	G_{mean}	750	500..770	750
	G_{05}			500
Rohdichte:	ρ_k	380	400	380

Tabelle 17: Zuordnung der Sortierklasse S 13 nach DIN 4074 zur Festigkeitsklasse C 30 nach prEN 338 - Eigenschaftsprofil nach prEN 338, ermittelte charakteristische Werte und vorgeschlagene charakteristische Werte im Vergleich, Werte in N/mm² bzw. kg/m³

		Sortierklasse MS 10		
		C 24 prEN 338	char. Werte nach Abschnitt 4	Vorschlag
Biegung:	$f_{m,k}$	24		24
Zug Faser:	$f_{t,0,k}$	14	15,6..17,5	14
Zug ⊥ Faser:	$f_{t,90,k}$	0,4		0,2
Druck Faser:	$f_{c,0,k}$	21		21
Druck ⊥ Faser:	$f_{c,90,k}$	5,3		5
Schub und Torsion:	$f_{v,k}$	2,5		2,5
E-Modul Faser:	$E_{0,mean}$	11000	11000	11000
	$E_{0,05}$	7400	9000	7400
E-Modul ⊥ Faser:	$E_{90,mean}$	370		370
	$E_{90,05}$			250
Schubmodul:	G_{mean}	690		690
	G_{05}			460
Rohdichte:	ρ_k	350	380	380

Tabelle 18: Zuordnung der Sortierklasse MS 10 nach DIN 4074 zur Festigkeitsklasse C 24 nach prEN 338 - Eigenschaftsprofil nach prEN 338, ermittelte charakteristische Werte und vorgeschlagene charakteristische Werte im Vergleich, Werte in N/mm² bzw. kg/m³

		Sortierklasse MS 13		
		C 35 prEN 338	char. Werte nach Abschnitt 4	Vorschlag
Biegung:	$f_{m,k}$	35		35
Zug Faser:	$f_{t,0,k}$	21	21,8..24,4	21
Zug ⊥ Faser:	$f_{t,90,k}$	0,4		0,3
Druck Faser:	$f_{c,0,k}$	25		25
Druck ⊥ Faser:	$f_{c,90,k}$	6,0		5
Schub und Torsion:	$f_{v,k}$	3,4		3,4
E-Modul Faser:	$E_{0,mean}$	13000	13200	13000
	$E_{0,05}$	8700	11300	8700
E-Modul ⊥ Faser:	$E_{90,mean}$	430		430
	$E_{90,05}$			290
Schubmodul:	G_{mean}	810		810
	G_{05}			540
Rohdichte:	ρ_k	400	410	400

Tabelle 19: Zuordnung der Sortierklasse MS 13 nach DIN 4074 zur Festigkeitsklasse C 35 nach prEN 338 - Eigenschaftsprofil nach prEN 338, ermittelte charakteristische Werte und vorgeschlagene charakteristische Werte im Vergleich, Werte in N/mm² bzw. kg/m³

		Sortierklasse MS 17		
		C 40 prEN 338	char. Werte nach Abschnitt 4	Vorschlag
Biegung:	$f_{m,k}$	40		40
Zug Faser:	$f_{t,0,k}$	24	29,4..32,9	24
Zug ⊥ Faser:	$f_{t,90,k}$	0,4		0,3
Druck Faser:	$f_{c,0,k}$	26		26
Druck ⊥ Faser:	$f_{c,90,k}$	6,3		6
Schub und Torsion:	$f_{v,k}$	3,8		3,8
E-Modul Faser:	$E_{0,mean}$	14000	15900	14000
	$E_{0,05}$	9400	13500	9400
E-Modul ⊥ Faser:	$E_{90,mean}$	470		470
	$E_{90,05}$			310
Schubmodul:	G_{mean}	880		880
	G_{05}			590
Rohdichte:	ρ_k	420	440	420

Tabelle 20: Zuordnung der Sortierklasse MS 17 nach DIN 4074 zur Festigkeitsklasse C 40 nach prEN 338 - Eigenschaftsprofil nach prEN 338, ermittelte charakteristische Werte und vorgeschlagene charakteristische Werte im Vergleich, Werte in N/mm² bzw. kg/m³

6. Zusammenfassung

Die Bemessung von Holzkonstruktionen nach EUROCODE 5 bzw. nach DIN 1052 beruht auf unterschiedlichen Bemessungskonzepten. Während die Bemessung nach DIN 1052 über zulässige Spannungen und Durchbiegungen erfolgt, sind für die Bemessung nach EUROCODE 5 Grenzzustände der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit nachzuweisen. Dafür werden charakteristische Baustoffkennwerte benötigt. Diese Werte sind jedoch weder im EUROCODE 5 noch in den zugehörigen europäischen Stoffnormen explizit angegeben. Für eine probeweise Anwendung des EUROCODE 5 waren deshalb die charakteristischen Werte für das in Deutschland verwendete, nach DIN 4074 sortierte Holz zu bestimmen. Weiterhin war zu prüfen, wie das nach DIN 4074 sortierte Holz in das vorgeschlagene System von Festigkeitsklassen nach prEN 338 eingestuft werden kann.

Für die Bestimmung der charakteristischen Festigkeits-, Steifigkeits- und Rohdichtewerte von nach DIN 4074, Teil 1 sortiertem Holz wurden neben den in der Literatur verfügbaren Daten etwa 3500 eigene Versuche, die in den vergangenen 10 Jahren im Rahmen verschiedener Untersuchungen durchgeführt wurden, ausgewertet. Dabei handelt es sich vorwiegend um Biege- und Zugversuche, in geringerem Umfang auch um Druckversuche parallel zur Faserrichtung.

Die Versuche waren in der Regel nach prEN 408 durchgeführt worden. Wo dies nicht der Fall war, wurden die Einzelversuchswerte mit Umrechnungsfaktoren nach prEN 384 an die Normbedingungen angepaßt.

Die einzelnen Untersuchungen wurden im Sinne von prEN 384 als Teilstichproben aufgefaßt. Für jede Sortierklasse standen in der Regel mehrere solcher Teilstichproben mit jeweils unabhängig voneinander gewonnenen Proben zur Verfügung. Die geforderte Repräsentativität des zugrundeliegenden Materials war dadurch gewährleistet und eine Abminderung der Festigkeitskennwerte wegen zu geringer Stichprobenanzahl war daher meist nicht erforderlich.

Die Festigkeits- und Steifigkeitsfraktilwerte der Teilstichproben wurden nach prEN 384 parameterfrei durch Abzählen bestimmt. Die 5%-Fraktilwerte der Rohdichte wurden unter der Annahme einer normalverteilten Grundgesamtheit berechnet.

Die charakteristischen Festigkeits-, Steifigkeits- und Rohdichtekennwerte wurden als gewichtete arithmetische Mittelwerte aus den 5%-Fraktilwerten bzw. Mittelwerten der Teilstichproben berechnet, wobei für die charakteristischen Festigkeitskennwerte als Zusatzbedingung galt, daß diese Werte höchstens das 1,2-fache des niedrigsten Fraktilwertes der vorhandenen Teilstichproben betragen durften.

Für die visuellen Sortierklassen S 7, S 10 und S 13 wurden anhand der vorliegenden Versuche folgende Kennwerte ermittelt:

- Charakteristische Biegefestigkeit
- Charakteristische Zugfestigkeit parallel zur Faserrichtung
- Charakteristische Druckfestigkeit parallel zur Faserrichtung
- Charakteristische Elastizitätsmoduln parallel zur Faserrichtung (Mittelwert und 5%-Fraktile)
- Charakteristische Rohdichte

Für die übrigen Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften lagen keine bzw. keine ausreichende Anzahl verwertbarer Versuche vor. Deshalb wurden diese Kennwerte mit in prEN 384 angegebenen Formeln aus der charakteristischen Biegefestigkeit, dem charakteristischen Elastizitätsmodul parallel zur Faserrichtung und der charakteristischen Rohdichte abgeschätzt und mit den derzeit nach DIN 1052 gültigen Rechenwerten verglichen. Die zulässigen Spannungen nach DIN 1052 wurden dafür mit einem globalen Sicherheitsfaktor von 2,5 auf charakteristische Vergleichswerte umgerechnet.

Für die maschinellen Sortierklassen MS 10, MS 13 und MS 17 wurden anhand vorhandener Versuche folgende Kennwerte ermittelt:

- Charakteristische Zugfestigkeit parallel zur Faserrichtung
- Charakteristische Zug-Elastizitätsmoduln parallel zur Faserrichtung (Mittelwert und 5%-Fraktile)
- Charakteristische Rohdichte

Die wichtigsten Ergebnisse sind:

- Nach DIN 4074 sortiertes Schnittholz weist Festigkeits- und Steifigkeitsprofile auf, die im allgemeinen gut mit den Werten der Festigkeitsklassen in prEN 338 übereinstimmen.
- Nach DIN 4074 sortiertes Schnittholz kann folgenden Festigkeitsklassen der prEN 338 zugeordnet werden. Allerdings sollten die Rohdichtewerte der Sortierklassen S 7, S 10 und MS 10 höher angesetzt und die Zug- und Druckfestigkeiten rechtwinklig zur Faserrichtung niedriger angesetzt werden als in den entsprechenden Festigkeitsklassen angegeben ist.

S 7	→	C 16
S 10	→	C 24
S 13	→	C 30
MS 10	→	C 24
MS 13	→	C 35
MS 17	→	C 40

Die für die einzelnen Sortierklassen vorgeschlagenen charakteristischen Werte sind in Tabelle 21 zusammenfassend dargestellt.

		Sortierklasse				
		nach DIN 4074 Teil 1				
		S7/MS7	S10/MS10	S13	MS13	MS17
Biegung:	$f_{m,k}$	16	24	30	35	40
Zug Faser:	$f_{t,0,k}$	10	14	18	21	24
Zug ⊥ Faser:	$f_{t,90,k}$	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3
Druck Faser:	$f_{c,0,k}$	17	21	23	25	26
Druck ⊥ Faser:	$f_{c,90,k}$	4	5	5	5	6
Schub und Torsion:	$f_{v,k}$	1,8	2,5	3,0	3,4	3,8
E-Modul Faser:	$E_{0,mean}$	8000	11000	12000	13000	14000
	$E_{0,05}$	5400	7400	8000	8700	9400
E-Modul ⊥ Faser:	$E_{90,mean}$	270	370	400	430	470
	$E_{90,05}$	180	250	270	290	310
Schubmodul:	G_{mean}	500	690	750	810	880
	G_{05}	330	460	500	540	590
Rohdichte:	ρ_k	350	380	380	400	420

Tabelle 21: Vorgeschlagene charakteristische Festigkeits- und Steifigkeitskennwerte für Vollholz in N/mm², vorgeschlagene charakteristische Rohdichtekennwerte für Vollholz in kg/m³

7. Literaturverzeichnis

- [1] BELDIE, I.P.; 1968:
Die Bestimmung der Schubmoduln des Fichtenholzes
Holz als Roh- und Werkstoff 26, 1968, S.261-266
- [2] BODIG, J.; 1963:
The effect of anatomy on the initial stress-strain relationship in transverse compression
Forest Products Journal, Vol. 15, 1963, S.197-202
- [3] BODIG, J.; 1965:
Effect of growth characteristics on the mechanical properties of Douglas-fir in radial compression
Holzforschung, Bd.19, 1965, S.83-87
- [4] BURGER, N.; 1994:
Untersuchungen zum Verhältnis zwischen den Elastizitätsmoduln bei Zug- und Biegebeanspruchung eingereicht als Kurzbericht in Holz als Roh- und Werkstoff, 1994
- [5] BURMESTER, A.; 1983:
Einfluß der Nadelperforation auf die Biegefestigkeit von Fichtenholz
Holz als Roh- und Werkstoff 41, 1983, S. 331-332
- [6] EBRAHIMI, G.; SLIKER, A.; 1981:
Measurement of shear modulus in wood by a tension test
Wood Science, Vol.13, No.3, 1981, S.171-176
- [7] EGNER, K.; KOLB, H.; 1962:
Festigkeitsuntersuchungen an Brettern und Bohlen für den Holznagelbau als Grundlage für Gütevorschriften
Berichte aus der Bauforschung, Heft 24, 1962
- [8] FELDBORG, T.; 1991:
Timber in structural sizes - Stiffness and strength perpendicular to grain
SBI-Bericht R13-83, Danish Building Research Institute, 1991
- [9] GAEDE, G.; 1989:
Non-destructive evaluation for the pre-installation assessment and in-situ inspection of wooden transmission poles
Bericht 88501, Institut für Holzforschung, Universität München, 1988/89
- [10] GLOS, P.; 1978:
Zur Bestimmung des Festigkeitsverhaltens von Brettschichtholz bei Druckbeanspruchung aus Werkstoff- und Einwirkungskenngrößen
Berichte zur Zuverlässigkeitstheorie der Bauwerke, Heft 35, SFB 96, Laboratorium für den konstruktiven Ingenieurbau, Technische Universität München, 1978
- [11] GLOS, P.; 1990:
Vergleichende Berechnungen für Bauteile und Verbindungsmittel auf der Grundlage des neuen Sicherheitssystems - EUROCODE 5 - Holzbauwerke; Teilprojekt I: Baustoffe
Bericht 89501, Institut für Holzforschung, Universität München, 1990

- [12] GLOS, P.; 1991:
Characteristic strength values of European grades of timber in relation to EUROCODE 5
Study for the Commission of the EEC, Research Contract No. MA1B-0116-D (GDF), Final Report,
Institut für Holzforschung, Universität München, Feb. 1991
- [13] GLOS, P.; DIEBOLD, R.; 1987:
Einfluß verschiedener Sortierbedingungen auf die Biegefestigkeit von Bauholz
Bericht 84510, Institut für Holzforschung, Universität München, 1987
- [14] GLOS, P.; DIEBOLD, R.; 1994:
Verfahrensentwicklung und Erprobung zur maschinellen Schnittholzsortierung
Bericht 89505, Institut für Holzforschung, Universität München, 1994
- [15] GLOS, P.; GAEDE, G.; 1992:
Zugfestigkeit von Brettlamellen aus Fichtenholz
Bericht 89502, Institut für Holzforschung, Universität München, 1992
- [16] GLOS, P.; GAEDE, G.; 1992:
Zugfestigkeit von Brettlamellen aus Fichtenholz
Bericht 91506, Institut für Holzforschung, Universität München, 1992
- [17] GLOS, P.; GAEDE, G.; 1992:
Zugfestigkeit von Brettlamellen aus Fichtenholz
Bericht 91507, Institut für Holzforschung, Universität München, 1992
- [18] GLOS, P.; GAEDE, G.; 1993:
Zugfestigkeit von Brettlamellen aus Fichtenholz quer zur Faserrichtung
Bericht 93503, Institut für Holzforschung, Universität München, 1993
- [19] GLOS, P.; GAMM, A.; 1987:
Untersuchung der Festigkeit von Fichten-Bauholz nach Schädlingsbefall infolge von Waldschäden
Bericht 85502, Institut für Holzforschung, Universität München, 1987
- [20] GLOS, P.; GAMM, A.; DIEBOLD, R.; 1988:
Ermittlung von Klassifizierungskriterien für einheimisches Fichtenschnittholz mit kleinen Querschnitten
Bericht 87503, Institut für Holzforschung, Universität München, 1988
- [21] GLOS, P.; GAMM, A.; FUCHS, H.; 1986:
Untersuchung der Festigkeitseigenschaften von Bauschnittholz aus Kiefern unterschiedlicher
Schadstufen aus Waldschadensgebieten
Bericht 85503, Institut für Holzforschung, Universität München, 1986
- [22] GLOS, P.; HENRICI, D.; 1990:
Festigkeit von Bauholz bei hohen Temperaturen
Bericht 87505, Institut für Holzforschung, Universität München, 1990
- [23] GLOS, P.; HENRICI, D.; 1993:
Festigkeitseigenschaften von Bauschnittholz aus Fichtensturmholz
Bericht 90504/5, Institut für Holzforschung, Universität München, 1993
- [24] GLOS, P.; HENRICI, D.; 1993:
Einfluß der Querschnittshöhe auf die Biegefestigkeit von Fichtenschnittholz mit kleinen Querschnitten
Bericht 91508, Institut für Holzforschung, Universität München, 1993

- [25] GLOS, P.; HENRICI, D.; 1993:
Vergleichende Betrachtungen europäischer Bauprodukten-Normen mit nationalen Bestimmungen -
Teilprojekt: Klassifizierung von Brettlamellen für den Holzleimbau
Bericht 91509, Institut für Holzforschung, Universität München, 1993
- [26] GLOS, P.; SPENGLER, R.; 1985:
Festigkeitseigenschaften von Bauschnittholz aus gesunden und unterschiedlich stark erkrankten
Fichten
Bericht 84506, Institut für Holzforschung, Universität München, 1985
- [27] GOULET, M.; 1960:
Die Abhängigkeit der Querszugfestigkeit von Feuchtigkeit und Temperatur
Holz als Roh- und Werkstoff 18, 1960
- [28] GRAF, O.; 1938:
Tragfähigkeit der Bauhölzer und der Holzverbindungen - Grundlagen für die Beurteilung der Hölzer
nach Güteklassen; zulässige Beanspruchungen
Mitteilungen des Fachausschusses für Holzfragen, Heft 20, 1938
- [29] GRAF, O.; 1941:
Aus Versuchen mit Bauholz und mit hölzernen Bauteilen
Holz als Roh und Werkstoff 10, 1941, S. 347-360
- [30] GRUBER, R.; 1972:
German project on stress grading
Anglo-Scandinavian Conference on Stress Grading, Princess Risborough, June 1972
- [31] HEMMER, K.; 1985:
Versagensarten des Holzes der Weißtanne unter mehrachsiger Beanspruchung
Berichte der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, 4.Folge, Heft 11, Universität Karlsruhe, 1985
- [32] HENRICI, D.; GARSKE, H.; DIEBOLD, R.; 1992:
Biege-E-Moduli von Fichtenschnittholz bei unterschiedlichen Rand- und Prüfbedingungen und deren
Korrelationen zur Zugfestigkeit
Bericht 90501, Institut für Holzforschung, Universität München, 1992
- [33] KESSEL, M.H.; SANDOZ, J.L.; 1989:
Zur Effizienz der Festigkeitssortierung von Fichtenkantholz - Vergleich europäischer Normen
Holz als Roh- und Werkstoff 47, 1989, S. 279-284
- [34] KOLB, H.; GOTH, H.; EPPLE, A.; 1984:
Untersuchungen zum Einfluß von Dauerbelastung, Temperatur- und Klimawechsellagerung auf die
Querszugfestigkeit von Fichtenholz
Bericht I.4-33654, FMPA Stuttgart, Referat I.4-Holz, 1984
- [35] KOLB, H.; GRUBER, R.; 1981:
Radiometrisches Verfahren für die Holzsortierung - Teil 2: Grundlagen für die Anwendung
Holz als Roh- und Werkstoff 39, 1981, S. 367-377
- [36] KOLLMANN, F.; 1951:
Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe, Band I
Erster Band, 2. Auflage, Springer Verlag, 1951
- [37] KOLLMANN, F.; 1956:
Untersuchungen über die Querszugfestigkeit der Hölzer
Forstwissenschaftliches Centralblatt, 75. Jg., 1956

- [38] KOLLMANN, F.; 1957:
Über Unterschiede im rheologischen Verhalten von Holz und Holzwerkstoffen bei Querdruckbelastung
Forsch. Ing.-Wes., Bd.23, 1957
- [39] KÜRTH, J.; 1993:
Querzugversuche an Brettschichtholz
persönliche Mitteilung aus Karlsruhe, 1993
- [40] KUNESH, R.H.; 1968:
Strength and elastic properties of wood in traverse compression
Forest Products Journal 18 (1), 1968, S.67-73
- [41] MANDERY, W.L.; 1969:
Relationship between perpendicular compressive stress and shear strength of wood
Wood Science, Vol.1, No.3, 1969, S.177-182
- [42] MISTLER, H.L.; 1979:
Die Tragfähigkeit des am Endauflager unten rechtwinklig ausgeklinkten Brettschichtträgers
Dissertation, Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktion, Technische Hochschule Karlsruhe, 1979
- [43] SAMSON, M.; SOTOMAYOR-CASTELLANOS, J.R.; 1991:
Constant bending method for determining modulus of elasticity of lumber in structural size
Wood and Fiber Science, Vol.23, No.4, 1991, S.520-532
- [44] SPENGLER, R.; 1982:
Festigkeitsverhalten von Brettschichtholz unter zweiachsiger Beanspruchung - Teil 1: Ermittlung des Festigkeitsverhaltens von Brettelelementen aus Fichte durch Versuche
Berichte zur Zuverlässigkeitstheorie der Bauwerke, Heft 62, SFB 96, Laboratorium für den Konstruktiven Ingenieurbau, Technische Universität München, 1982

Anhang A: Zusammenstellung der in die Auswertung eingeflossenen Untersuchungen

Tabelle A1:	Biegung
Tabelle A2:	Zug parallel zur Faserrichtung
Tabelle A3:	Zug rechtwinklig zur Faserrichtung
Tabelle A4:	Druck parallel zur Faserrichtung
Tabelle A5:	Druck rechtwinklig zur Faserrichtung
Tabelle A6:	Schub
Tabelle A7:	Maschinelle Sortierung, Zug parallel zur Faserrichtung

Tabelle A1: Biegung

Quelle	Holzart	Querschnitt [mm]	Feuchte [%]	Sortier- klasse	Anzahl	Festigkeit [N/mm ²]		Elastizitätsmodul [N/mm ²]		Rohdichte [kg/m ³]	
						Mittelwert	7,5%- Fraktile	Mittelwert	5%- Fraktile	Mittelwert	5%- Fraktile
Graf, 1938 [28]	Fi,Ta,Ki	54..178/55..133	14	S10	30	40,2	24,9			430	390
				S7	17	32,3	20,5 ²⁾			420	340
Egner/Kolb, 1962 [7]	Fi,Ta,Ki	24..50/100..170	14	S13	5	41,4	35,2 ²⁾			480	350
				S10	15	29,5	22,8 ²⁾			430	390
				S7	13	28,7	17,9 ²⁾			410	390
Kolb/Gruber, 1981 [35]	Fi	20,30/140,200	10	S13	193	52,5	32,5 ¹⁾				
				S10	399	43,5	22,4 ¹⁾				
				S7	153	29,4	11,8 ¹⁾				
Burmester, 1983 [5]	Fi	50..100/80..120	16	S13	250	58,8	48,7 ¹⁾			450	
				S10		53,2	38,3 ¹⁾			450	
84506: Glos/Spengler, 1985 [26]	Fi	80/80; 80/160	12	S13	54	57,8	38,4	11459	6876	490	430
				S10	114	49,5	32,5	10961	7056	490	420
				S7	22	38,6	18,7	8640	3535	490	450
85503: Glos/Gamm/Fuchs, 1986 [21]	Ki	63..70/123..150	12	S13	45	63,7	33,1	12845	8726	530	460
				S10	87	49,4	29,8	11857	8290	520	430
				S7	40	32,7	15,3	10097	6831	510	440
84510: Glos/Diebold, 1987 [13]	Fi	45..116/75..274	12	S13	44	48,6	32,3	13396	8549	460	370
				S10	112	37,3	22,9	11036	7519	430	370
				S7	68	32,2	17,0	10544	6768	440	390

Tabelle A1: Biegung (Fortsetzung)

Quelle	Holzart	Querschnitt [mm]	Feuchte [%]	Sortier- klasse	Anzahl	Festigkeit [N/mm ²]		Elastizitätsmodul [N/mm ²]		Rohdichte [kg/m ³]	
						Mittelwert	7,5%- Fraktile	Mittelwert	5%- Fraktile	Mittelwert	5%- Fraktile
87503: Glos/Gamm/Diebold, 1988 [20]	Fi	40/90; 40/180; 60/120; 60/220	12	S13	20	45,9	27,4	12487	9441	440	330
				S10	55	38,4	21,5	11736	7670	430	350
				S7	80	29,5	14,3	10689	6495	440	370
Kessel/Sandoz, 1989 [33]	Fi	100/220		S13		52,0	32,1 ¹⁾				
				S10		39,6	24,1 ¹⁾				
				S7		40,4	23,4 ¹⁾				
90504/5: Glos/Henrici, 1993 [23]	Fi	50/180; 60..80/110; 60..80/160	12	S13	20	43,5	29,3	11897	9150	420	370
				S10	76	36,3	23,4	11439	8757	420	370
				S7	23	28,5	19,8	10498	7396	440	390
91508: Glos/Henrici, 1993 [24]	Fi	50/150; 100/150; 150/150	12	S13	44	55,8	36,8	12634	8535	440	390
				S10	84	46,5	29,8	12011	7514	440	370
				S7	50	32,6	18,1	9885	4775	440	380
91509: Glos/Henrici, 1993 [25]	Fi	35/145	12	S13	15	47,1	27,2 ²⁾	14530	10193 ²⁾	460	390 ²⁾
				S10	28	42,0	23,5	13177	8691	450	380
				S7	8	37,2	26,8 ²⁾	12028	8905 ²⁾	450	400

¹⁾ Werte nicht abgezählt, sondern unter Annahme einer Normalverteilung berechnet

²⁾ Minimalwert des Kollektivs (weniger als 20 Versuchswerte vorhanden)

Tabelle A2: Zug parallel zur Faserrichtung

Quelle	Holzart	Querschnitt [mm]	Feuchte [%]	Sortier- klasse	Anzahl	Festigkeit [N/mm ²]		Elastizitätsmodul [N/mm ²]		Rohdichte [kg/m ³]	
						Mittelwert	5%- Fraktile	Mittelwert	5%- Fraktile	Mittelwert	5%- Fraktile
Egner/Kolb, 1962 [7]	Fi,Ta,Ki	18..35/97..110	14	S13	4	31,9	25,0 ²⁾				
				S10	16	31,9	23,1 ²⁾				
				S7	23	20,0	8,3				
Gruber, 1972 [30]	Fi	34/180	12	S13	39	34,0	15,5				
				S10	43	21,3	9,7				
				S7	18	12,8	2,0 ²⁾				
84506: Glos/Spengler, 1985 [26]	Fi	20/200	12	S13 ³⁾	232	39,4	22,8	11954	9074	520	450
				S10	48	22,9	14,1	9156	6433	490	430
				S7	8	15,2	6,4 ²⁾	6651	4934 ²⁾	480	420
87503: Glos/Gamm/Diebold, 1988 [20]	Fi	40/90; 50/80; 50/120; 50/180	12	S13	33	38,6	23,9	12456	9855	450	370
				S10	89	30,7	17,3	10911	7875	450	390
				S7	68	28,5	17,9	10497	8019	470	400
90501:Henrici/Garske/Diebold, 1992 [32]	Fi	50/120	12	S13	17	32,3	19,5 ²⁾	11113	8766 ²⁾	450	370
				S10	18	29,4	17,6 ²⁾	10566	7037 ²⁾	450	390
				S7	15	25,0	21,3 ²⁾	10440	8404 ²⁾	460	390

Tabelle A2: Zug parallel zur Faserrichtung (Fortsetzung)

Quelle	Holzart	Querschnitt [mm]	Feuchte [%]	Sortier- klasse	Anzahl	Festigkeit [N/mm ²]		Elastizitätsmodul [N/mm ²]		Rohdichte [kg/m ³]		
						Mittelwert	5%- Fraktile	Mittelwert	5%- Fraktile	Mittelwert	5%- Fraktile	
91506/7: Glos/Gaede, 1992 [16,17]	Fi	30/95; 30/170	12	S13	49	45,5	26,4	13585	9547	460	380	
				S10	75	31,7	14,4	10899	7421	440	350	
				S7	14	29,4	11,9 ²⁾	10424	8300	460	350	
90504/5: Glos/Henrici, 1993 [23]	Fi	30/100..200	12	S13	72	40,2	24,8	12466	9876	450	390	
				S10	125	28,8	14,8	10212	7341	440	380	
				S7	35	26,9	11,8	9744	7102	440	370	
91509: Glos/Henrici, 1993 [25]	Fi	35/145	12	S13	43	42,1	22,9	13141	9098	460	380	
				S10	49	29,1	18,0	10412	6343	440	390	
				S7	11	25,4	17,6 ²⁾	9702	7622	440	400	
89505: Glos/Diebold, 1993 [14]	A	Fi	12	S13	41	39,7	19,4	13520	9813	480	410	
				S10	120	30,3	17,8	11796	8406	460	390	
				S7	31	25,2	15,1	10756	8305	460	400	
	B	Fi	36/175	12	S13	103	40,4	21,6	12814	9408	450	390
					S10	102	28,8	17,4	11043	8420	440	390
					S7	19	26,1	16,9 ²⁾	10585	8169 ²⁾	460	400
	C	Fi	36/220	12	S13	87	31,6	15,2	11198	7965	440	360
					S10	98	23,9	12,8	9985	6788	430	370
					S7	14	17,0	8,2 ²⁾	8559	5997	410	360

¹⁾ Werte nicht abgezählt, sondern unter Annahme einer Normalverteilung berechnet

²⁾ Minimalwert des Kollektivs (weniger als 20 Versuchswerte vorhanden)

³⁾ Markröhre wurde bei der Klassifizierung nicht berücksichtigt

Tabelle A3: Zug rechtwinklig zur Faserrichtung

Quelle	Holzart	Richtung	Querschnitt [mm]	Feuchte [%]	Sortierklasse	Anzahl	Festigkeit [N/mm ²]		Elastizitätsmodul [N/mm ²]		Rohdichte [kg/m ³]	
							Mittelwert	5%-Fraktile	Mittelwert	5%-Fraktile	Mittelwert	5%-Fraktile
Goulet, 1960 [27]	Fi	rad.	10/10	12		7	9,2	8,1 ²⁾				
		tang.	10/10	12		12	4,4	2,7 ²⁾				
Kolb/Goth/Epple, 1984 [34]	Fi	rad.	25/50	14		60	3,1	1,9 ¹⁾				
Hemmer, 1985 [31]	Ta	tang.	Hohlzylinder			5	3,9	3,5 ²⁾				
Glos/Gaede, 1993 [18]	Fi,BSH	rad.	100/250	12		9	0,62	0,52 ²⁾	373	308 ²⁾	470	400
	Fi,Lam	rad.	100/250	12		13	1,53	0,98 ²⁾			520	470
	Fi,Lam	tang.	45/70	12		10	2,42	2,23 ²⁾	230	208 ²⁾	450	400
Mistler, 1979 [42]			variabel			450	1,64	0,84 ¹⁾				
Kürth, 1993 [39]	Fi	rad.	100/250			36	0,70	0,48			470	400
Feldborg, 1991 [8]	Fi	rad.	115/175	14-16		50	1,11	0,87	328	268		

¹⁾ Werte nicht abgezählt, sondern unter Annahme einer Normalverteilung berechnet

²⁾ Minimalwert des Kollektivs (weniger als 20 Versuchswerte vorhanden)

Tabelle A4: Druck parallel zur Faserrichtung

Quelle	Holzart	Querschnitt [mm]	Feuchte [%]	Sortier- klasse	Anzahl	Festigkeit [N/mm ²]		Elastizitätsmodul [N/mm ²]		Rohdichte [kg/m ³]	
						Mittelwert	5%- Fraktile	Mittelwert	5%- Fraktile	Mittelwert	5%- Fraktile
Graf, 1938 [28]	Fi	64..79/75..154 Länge: 84..296	14	S13	3	33,6	27,7 ²⁾			440	400
				S10	17	29,4	23,1 ²⁾			430	380
				S7	4	30,6	21,4 ²⁾			430	410
Graf, 1941 [29]	Fi	105/105/210; 210/210/420; 280/280/560	19	S13	28	35,6	27,9			510	410
			19/25	S10	33	24,3	18,8			490	410
Glos, 1978 [10]	Fi	Länge: 180		S13	275		30,0				
				S10	11		25,0 ²⁾				
85502: Glos/Gamm, 1987 [19]	Fi	18..40/70..200 Länge: 180	12	S13	73	37,3	26,3	14138	7682	470	380
				S10	21	29,6	17,7	8453	4295	520	440
				S7	3	23,6	19,8 ²⁾	4612	3579 ²⁾	530	500 ²⁾
87503: Glos/Gamm/Diebold, 1988 [20]	Fi	40/90; 50/80; 50/120; 50/180 Länge: 180	12	S13	74	38,5	28,9	13977	8850	460	390
				S10	110	34,0	25,2	11054	7251	470	410
				S7	26	33,7	28,1	10133	7230	490	440

¹⁾ Werte nicht abgezählt, sondern unter Annahme einer Normalverteilung berechnet

²⁾ Minimalwert des Kollektivs (weniger als 20 Versuchswerte vorhanden)

Tabelle A5: Druck rechtwinklig zur Faserrichtung

Quelle	Holzart	Richtung	Querschnitt [mm]	Feuchte [%]	Sortierklasse	Anzahl	Festigkeit [N/mm ²]		Elastizitätsmodul [N/mm ²]		Bemerkungen zur Ermittlung der Festigkeit
							Mittelwert	5%-Fraktile	Mittelwert	5%-Fraktile	
Kollmann, 1957 [38]	Fi	rad.	60/60 Höhe: 19	13-15			3,0				2,5%-Dehngrenze
Bodig, 1963 [2]	Doug.	rad.	13/19 Höhe: 13	10			6,3				Plastizitätsgrenze
	W.-Redc.	rad.		10			4,4				Plastizitätsgrenze
Bodig, 1965 [3]	Doug.	rad.	10/25 Höhe: 25	20		33	3,8	2,4	300	220	Bruchspannung
Kunesh, 1968 [40]	Doug.	rad.					5,0		220		Bruchspannung
	W.-Hem.	rad.					4,2		180		Bruchspannung
Hemmer, 1985 [31]	Ta	tang.	Hohlzylinder			5	5,2	4,4 ²⁾			Bruchspannung
Feldborg, 1991 [8]	Fi	rad.	115/175 8 Lamellen Höhe: 33	14-16		20	2,8	2,4	330	280	Bruchspannung
						20	1,6	1,3			Plastizitätsgrenze

¹⁾ Werte nicht abgezählt, sondern unter Annahme einer Normalverteilung berechnet

²⁾ Minimalwert des Kollektivs (weniger als 20 Versuchswerte vorhanden)

Tabelle A6: Schub

Quelle	Holzart	Querschnitt [mm]	Feuchte [%]	Sortier- klasse	Anzahl	Festigkeit [N/mm ²]		Elastizitätsmodul [N/mm ²]		
						Mittelwert	5%- Fraktile	Mittelwert	5%- Fraktile	
Beldie, 1968 [1]	Fi	verschiedene	7-14					656		
Mandery, 1969 [41]	Doug.	17/38			32	5,3	4,9 ¹⁾			
Ebrahim/Sliker, 1981 [6]	Ye.-pop.		12		4			1013	820 ²⁾	aus Zugversuchen mit schiefem Faserverlauf
					2			878	868 ²⁾	
	Redwood		12		3			950	873 ²⁾	bzw. nach ASTM D 3044-76
					1			917		
Spengler, 1982 [44]	Fi	22..32/80..140			47	5,1	3,4			

¹⁾ Werte nicht abgezählt, sondern unter Annahme einer Normalverteilung berechnet

²⁾ Minimalwert des Kollektivs (weniger als 20 Versuchswerte vorhanden)

Tabelle A7: Maschinelle Sortierung (Zug parallel zur Faserrichtung)

Quelle: 89505 [14]		Holzart	Querschnitt [mm]	Feuchte [%]	Sortierklasse	Anzahl	Festigkeit [N/mm ²]		Elastizitätsmodul [N/mm ²]		Rohdichte [kg/m ³]	
							Mittelwert	5%-Fraktile	Mittelwert	5%-Fraktile	Mittelwert	5%-Fraktile
1. Teilkollektiv	A	Fi	36/135	12	MS17	40	44,0	29,2	15000	13020	500	460
					MS13	66	32,9	23,5	12500	10830	470	410
					MS10	82	25,2	17,7	10300	8230	440	380
	B	Fi	36/175	12	MS17	39	49,0	28,4	14600	11830	490	420
					MS13	73	37,8	22,9	12500	10030	460	410
					MS10	108	26,4	16,9	10500	8520	430	390
	C	Fi	36/220	12	MS17	12	53,1	32,5 ¹⁾	15100	13440 ¹⁾	490	440
					MS13	54	33,4	20,4	12100	10550	450	400
					MS10	107	23,2	13,6	9700	7850	420	360
2. Teilkollektiv	D	Fi	36/135	12	MS17	54	45,2	31,8	15300	13240	500	460
					MS13	42	31,9	20,3	12600	10820	470	430
					MS10	34	27,0	16,8	10900	9380	450	400
	E	Fi	36/175	12	MS17	52	44,3	30,7	14300	12110	480	430
					MS13	37	31,6	21,1	11700	10310	450	410
					MS10	31	23,8	13,7	9600	8020	420	390
	F	Fi	36/220	12	MS17	45	43,1	26,0	14200	11810	480	430
					MS13	41	29,8	20,8	11100	9670	440	410
					MS10	44	22,2	13,5	9800	7910	410	370

¹⁾ Minimalwert des Kollektivs (weniger als 20 Versuchswerte vorhanden)

**Anhang B: Ermittlung der charakteristischen Werte
nach prEN 394 für EN.TC 124.215 "Struc-
tural timber - Strength classes - Assign-
ment of visual grades and species"**

Tabelle B1: Biegung

Tabelle B2: Zug

Tabelle B1: Biegung

Sortier- klasse	Holzart	Quelle	Dicke	Höhe	An- zahl	Feuchte	Festigkeitswerte							Steifigkeitswerte				Rohdichtewerte				
							Rohdaten			Längen- anpassung		+ Höhen- anpassung		char. Wert	Mittel	Fak- tor	ange- paßt	char. Wert	5%	Fak- tor	ange- paßt	char. Wert
							Mittel	Std. abw.	5%	Fak- tor	5%	Fak- tor	5%									
S 13	Fi/Ta	84506 [26]	80	80/160	54	12	57,8	10,8	38,4	1,0	38,4	1,07	36,6	33,3	11460	1,0	11460	12420	0,43	1,0	0,43	0,40
		84510 [13]	45..115	75..260	44	12	49,9	11,0	32,3	1,03	32,3	0,99	30,3		13400	1,0	13400		0,37	1,0	0,37	
		91508 [24]	50	50/100/150	44	12	55,8	12,7	36,8	1,0	36,8	1,12	32,3		12630	1,0	12630		0,39	1,0	0,39	
	Ki	85503 [21]	63..70	123..150	45	12	63,7	15,6	33,1	1,0	33,1	1,01	32,7	32,7	12850	1,0	12850	12850	0,46	1,0	0,46	0,46
S 10	Fi/Ta	84506 [26]	80	80/160	114	12	49,5	10,2	32,5	1,0	32,5	1,05	32,3	26,4	10960	1,0	10960	11360	0,42	1,0	0,42	0,38
		84510 [13]	45..110	75..275	112	12	37,9	10,7	22,9	1,02	22,9	1,04	23,3		11040	1,0	11040		0,37	1,0	0,37	
		87503 [20]	40/60	90/120/ 180/220	55	12	38,9	11,5	22,4	1,01	21,5	1,04	23,1		11740	1,0	11740		0,35	1,0	0,35	
		94504/5 [23]	50..80	110..180	76	12	36,4	5,6	23,4	1,0	23,4	1,01	23,8		11440	1,0	11440		0,39	1,0	0,39	
		91508 [24]	50	50/100/150	84	12	46,5	11,9	29,8	1,0	29,8	1,09	26,8		12010	1,0	12010		0,37	1,0	0,37	
	Ki	85503 [21]	63..70	135..145	87	12	49,4	14,9	29,8	1,0	29,8	1,01	29,5	29,5	11860	1,0	11860	11860	0,43	1,0	0,43	0,43
S 7	Fi/Ta	84510 [13]	45..100	75..250	68	12	32,8	9,7	17,6	1,02	17,0	1,03	17,4	15,8	10540	1,0	10540	10440	0,39	1,0	0,39	0,38
		87503 [20]	40/60	90/120/ 180/220	80	12	29,9	10,8	14,4	1,01	14,3	1,04	13,8		10690	1,0	10690		0,37	1,0	0,37	
		91508 [24]	50	50/100/150	50	12	32,6	9,1	18,1	1,0	18,1	1,11	16,7		9890	1,0	9890		0,38	1,0	0,38	
	Ki	85503 [21]	63..70	135..145	40	12	32,7	11,4	15,3	1,0	15,3	1,01	15,2	15,2	10100	1,0	10100	10100	0,44	1,0	0,44	0,44

* minimaler Fraktilwert maßgebend

Tabelle B2: Zug

Sortier- klasse	Holzart	Quelle	Dicke [mm]	Breite [mm]	An- zahl	Feuchte	Festigkeitswerte							Steifigkeitswerte				Rohdichtewerte				
							Rohdaten			Längen- anpassung		+ Breiten- anpassung		char. Wert	Mittel	Fak- tor	ange- paßt	char. Wert	5%	Fak- tor	ange- paßt	char. Wert
							Mittel	Std. abw.	5%	Fak- tor	5%	Fak- tor	5%									
S 13	Fi/Ta	84506 [26]	20	200 ¹⁾	232	12	47,8	14,3	27,6	1,21	22,8	0,94	24,1	22,7	11950	1,0	11950	12360	0,45	1,0	0,45	0,39
		91506/7 [16,17]	30	95/170 ¹⁾	49	12	53,0	15,9	31,2	1,16	26,4	1,0	27,0	19,6*	13590	1,0	13590		0,38	1,0	0,38	
		90504/5 [23]	30	100..200 ¹⁾	72	12	46,6	9,9	29,4	1,16	24,8	1,0	25,6		12470	1,0	12470		0,39	1,0	0,39	
		91509 [25]	35	145 ²⁾	43	12	48,8	15,4	30,6	1,16	22,9	1,0	22,7		13140	1,0	13140		0,38	1,0	0,38	
		89505 [14]	36	135	41	12	39,7	11,0	19,4	1,0	19,4	1,02	19,0		13520	1,0	13520		0,41	1,0	0,41	
		89505 [14]	36	175	103	12	40,4	14,3	21,6	1,0	21,6	0,97	22,3		12810	1,0	12810		0,39	1,0	0,39	
		89505 [14]	36	220	87	12	31,6	12,7	15,2	1,0	15,2	0,93	16,3		11200	1,0	11200		0,36	1,0	0,36	
	Ki	85503 [21]	20	110..200 ¹⁾	253	12	48,2	23,8	18,1	1,21	14,9	0,97	15,5	15,5	11780	1,0	11780	11780	0,41	1,0	0,41	0,41
S 10	Fi/Ta	84506 [26]	20	200 ¹⁾	48	12	27,8	7,9	17,1	1,21	14,1	0,94	14,9	16,0	9160	1,0	9160	10670	0,43	1,0	0,43	0,39
		91506/7 [16,17]	30	95/170 ¹⁾	75	12	36,2	14,0	17,1	1,14	14,4	0,98	14,8		10900	1,0	10900		0,35	1,0	0,35	
		90504/5 [23]	30	100..200 ¹⁾	125	12	33,4	9,4	16,5	1,16	14,8	1,0	14,0		10210	1,0	10210		0,38	1,0	0,38	
		91509 [25]	35	145 ²⁾	49	12	33,9	10,4	19,2	1,16	18,0	1,0	17,8		10410	1,0	10410		0,39	1,0	0,39	
		89505 [14]	36	135	120	12	30,3	8,5	17,8	1,0	17,8	1,02	17,4		11800	1,0	11800		0,39	1,0	0,39	
		89505 [14]	36	175	102	12	28,8	9,6	17,4	1,0	17,4	0,97	17,9		11040	1,0	11040		0,39	1,0	0,39	
		89505 [14]	36	220	98	12	23,9	9,8	12,8	1,0	12,8	0,93	13,9		9990	1,0	9990		0,37	1,0	0,37	
	87503 [20]	40/50	80/90/ 120/180 ¹⁾	89	12	34,1	10,2	20,6	1,11	17,3	1,05	18,0		10910	1,0	10910	0,39	1,0	0,39			
Ki	85503 [21]	20	110..200 ¹⁾	63	12	22,6	7,1	11,9	1,20	10,2	0,98	10,1	10,1	8950	1,0	8950	8950	0,40	1,0	0,40	0,40	
S 7	Fi/Ta	87503 [20]	40/50	80/90/ 120/180 ¹⁾	68	12	31,1	9,5	19,0	1,09	17,9	1,08	15,9	15,9	10500	1,0	10500	10500	0,40	1,0	0,40	0,40

¹⁾ Länge 500 mm

²⁾ Länge teils 150 mm, teils 9xBreite

* minimaler Fraktilwert maßgebend

Anhang C: Festigkeitsklassen und charakteristische Werte nach prEN 338

Tabelle C1: Festigkeitsklassen und charakteristische Werte nach prEN 338

Tabelle C1: Festigkeitsklassen und charakteristische Werte nach prEN 338

Festigkeiten und Steifigkeiten in [N/mm²] und Rohdichte in [kg/m³]

	Pappel und Nadelholz										Laubholz					
	C14	C16	C18	C22	C24	C27	C30	C35	C40	D30	D35	D40	D50	D60	D70	
Biegung $f_{m,k}$	14	16	18	22	24	27	30	35	40	30	35	40	50	60	70	
Zug parallel zur Faserrichtung $f_{t,0,k}$	8	10	11	13	14	16	18	21	24	18	21	24	30	36	42	
Zug senkrecht zur Faserrichtung $f_{t,90,k}$	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,9	
Druck parallel zur Faserrichtung $f_{c,0,k}$	16	17	18	20	21	22	23	25	26	23	25	26	29	32	34	
Druck senkrecht zur Faserrichtung $f_{t,90,k}$	4,3	4,6	4,8	5,1	5,3	5,6	5,7	6,0	6,3	8,0	8,4	8,8	9,7	10,5	13,5	
Schub $f_{v,k}$	1,7	1,8	2,0	2,4	2,5	2,8	3,0	3,4	3,8	3,0	3,4	3,8	4,6	5,3	6,0	
Mittlerer Elastizitätsmodul parallel zur Faserrichtung $E_{0,mean}$	7000	8000	9000	10000	11000	12000	12000	13000	14000	10000	10000	11000	14000	17000	20000	
5%-Fraktile des Elastizitätsmoduls parallel zur Faserrichtung $E_{0,05}$	4700	5400	6000	6700	7400	8000	8000	8700	9400	8000	87000	94000	11800	14300	16800	
Mittlerer Elastizitätsmodul senkrecht zur Faserrichtung $E_{90,mean}$	230	270	300	330	370	400	400	430	470	640	690	750	930	1130	1330	
Mittlerer Schubmodul G_{mean}	440	500	560	630	690	750	750	810	880	600	650	700	880	1060	1250	
Mittlere Rohdichte ρ_{mean}	350	370	380	410	420	450	460	480	500	640	670	700	780	840	1080	
5%-Fraktile der Rohdichte ρ_k	290	310	320	340	350	370	380	400	420	530	560	590	650	700	900	