

DIN 1052:2004 – Neue Grundlagen für Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken

Teil 1: Material- und Werkstoffverhalten

Es werden die Materialeigenschaften von Holz als ein biologisches Material, welches im Wald entsteht, beschrieben. Bauholz ist ein nichthomogenes Material, das wachstumsbedingte Fehler in Form von Ästen, einem nichtparallelen Faserverlauf usw. enthält. Daraus folgend werden die nichthomogenen Eigenschaften, der Einfluß von Fehlern auf die Festigkeitseigenschaften, die Bedeutung der Holzfeuchte und der Festigkeitssortierung sowie die Prinzipien der Dauerhaftigkeit behandelt.

DIN 1052:2004 – New basics for design, calculation and dimensioning of timber structures. Part 1: Material behaviour. *This article describes the material properties of timber as a biological material, which is growing in the forest. Timber in structural dimension is a nonhomogeneous material, which contains growth defects in the form of knots, nonparallel fibre orientation etc. Concluding from that the nonhomogeneous character, the influence of defects on the strength properties the importance of moisture content, the strength grading of timber, the principles of durability will be described.*

1 Einleitung

Die neue DIN 1052 entstand in Anlehnung an den EC 5 und gilt solange als deutsche Holzbaunorm, bis der EC 5 bauaufsichtlich eingeführt wird. Die bauaufsichtliche Einführung des EC 5 ist für den Zeitraum 2010/2012 zu erwarten.

Die Bemessung nach der neuen DIN 1052 beruht im Gegensatz zur Bemessung nach der DIN 1052 (Ausgabe 04/1988/1996) auf dem Sicherheitskonzept nach der Methode der Grenzzustände.

Neben dem neuen Sicherheitskonzept enthält die neue Norm zahlreiche neue Regeln für die Berechnung von Holzbauteilen und Holzbauverbindungen. Die wesentlichen Grundlagen der neuen Norm sollen im Folgenden in einzelnen Teilen vorgestellt werden. Weitere ausführliche Darlegungen findet der Leser in der ausgewählten Fachliteratur (s. zum Beispiel [1] bis [4]).

2 Holz als Baustoff

2.1 Ökologische und wirtschaftliche Bedeutung

Holz ist einer der ältesten Baustoffe, den uns die Natur bietet. Es ist ein bedeutender Rohstoff der Erde und nach wie vor ein begehrter Baustoff.

Infolge des Rückgangs fossiler Rohstoffe wird seine Bedeutung erheblich steigen, weil Holz einer der wenigen reproduzierbaren Rohstoffe ist, der zu seiner Erzeugung – im Gegensatz zu fast allen anderen wichtigen Rohstoffen – keine mechanische oder elektrische Energie benötigt und die Umwelt nicht verschmutzt. Ganz im Gegenteil! Als Energiequelle dienen bei der Photosynthese die Sonne bzw. ihre Lichtstrahlen. Mit ihrer Hilfe bilden die Pflanzen aus anorganischem Material organische Stoffe (u. a. Holz s. Bild 1). Gleichzeitig geben diese Pflanzen Sauerstoff ab. Der Wald ist zugleich, eine planmäßige Forstwirtschaft vorausgesetzt, Rohstofflieferant, Klimaregler und Erholungsgebiet.

So enthält 1 kg Fichtensamen ca. 130000 Samenkörner. Daraus lassen sich 50000 Pflanzen gewinnen. Durch planmäßige Aufforstung können mit diesen Pflanzen 12 ha Fichtenkultur bepflanzt werden. Nach 80 bis 120 Jahren Wachstum werden daraus 11000 m³ Rohholz. Im Zuge ihres Wachstums speichern die Pflanzen ca. 2,75 Mio. kg CO₂! Das entspricht immerhin einer CO₂-Menge, die 611 Autos bei einer Fahrleistung von 30000 km in einem Jahr in die Umwelt ausstoßen. Werden die vorgenannten 11000 m³ Rohholz im Hausbau verwendet, so können daraus 370 Einfamilienhäuser in Holzbauweise errichtet werden.

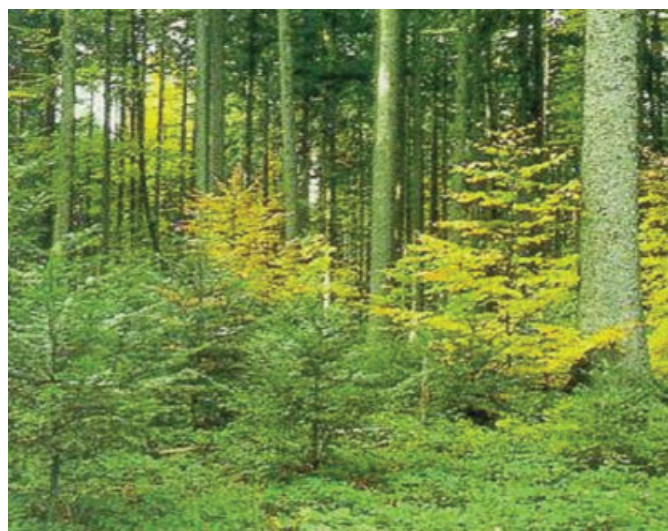


Bild 1. Der Wald als Baustofflieferant
Fig. 1. The forest as supplier of building material

2.2 Wichtige Eigenschaften des Holzes

Holzfehler

Holz besitzt wuchsbedingte Holzfehler. Holzfehler sind Abweichungen in den Eigenschaften. Als Bezugsbasis gelten die Eigenschaften des normal gewachsenen Holzes. Holzfehler sind:

- Wuchsfehler
 - Klima- und technische Schädigungen
 - Schädigungen durch Organismen (s. auch DIN 68800 Teil 4).
- (s. auch DIN 4074, DIN 18334, DIN EN 518, DIN EN 519, DIN 68365 und DIN 68367)

Im Einzelnen können dies sein:

- **Formmißbildungen**, z. B. starke Abholzigkeit, Krümmwüchsigkeit, Unrundheit, Zwiesel, Wustholzbildung
- **Strukturfehler**, z. B. Ästigkeit, Faserabweichungen, unregelmäßige ringförmige Zonen, Kernverlagerungen, Drehwuchs, Farbfehler (Blaufäule, oxidative Vorgänge)
- **mechanisch verursachte Fehler**, z. B. Risse durch Wuchsspannungen, Schwindrisse, Ringrisse (Schalenrisse), Frostrisse, Blitzrisse, Kernrisse
- **biologisch-zerstörende Beeinträchtigungen**, z. B. Stammfäulen (Kiefernbaumschwamm am lebenden Baum u. a.), Verstockungen (z. B. bei Buche), holzschädigende Pilze und Insekten, Weißfäule, Rotfäule.

Drehwuchs ist wahrscheinlich auf Wachstumsspannungen zurückzuführen; maßgeblich werden die Umwelteinflüsse angesehen.

Drehwüchsiges Holz ist für statisch beanspruchte Zwecke nicht brauchbar.

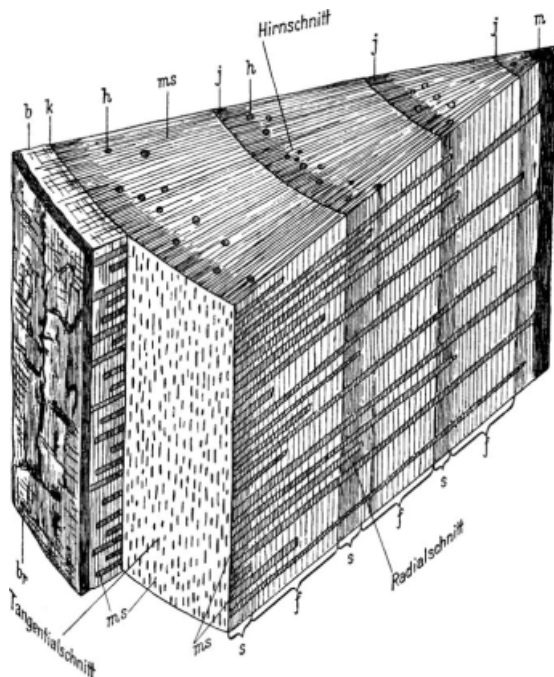


Bild 2. Holz ist von Natur aus perfekt (Keilstück, Holzart Kiefer – aus [5]); **Kernholzbereich** – tragendes Element, **Splintholzbereich** – Versorgungsanlage, Kambium (k) – Bau-Zentrum (Peripherie), Bast (b), Frühholz (f), Harzkanal (h), Jahringgrenze (j), Mark (m), Markstrahl (ms), Spätholz (s)
Fig. 2. Timber is by nature a perfect material

2.3 Holzaufbau und Festigkeitseigenschaften

Holz ist ein anisotroper, inhomogener, organisch gewachsener Baustoff (Bilder 2 und 3). Die Festigkeitseigenschaften von Holz werden in erster Linie dadurch beeinflusst, in welcher Weise die hochpolymeren Zellulosebestandteile als Gerüstsubstanz und amorphes Lignin als Kittsubstanz verteilt sind. Die Zellulose verleiht dem Holz elastische, das Lignin plastische Eigenschaften. In Verbindung mit der Wirkung des Wassers führt es zu spezifischen Zusammenhängen in Bezug auf das Festigkeits- und Formänderungsverhalten (Bild 19).

Holz ist ein poröser Stoff, deshalb ist für die Bewertung der technischen Eigenschaften die Rohdichte besonders wichtig. Für die Beurteilung der technischen Gebrauchseigenschaften müssen auch die Jahrringe mit ihrem wechselnden Früh- und Spätholzanteil, ebenso das Kern- und Splintholz herangezogen werden (Bild 2).

Früh- und Spätholz besitzen infolge ihres unterschiedlichen Aufbaus voneinander abweichende physikalische und mechanische Eigenschaften. Generell gilt:

Engringiges Nadelholz ist für tragende Holzkonstruktionen besser geeignet als breitringiges.

Kern- und Splintholz haben stark voneinander abweichende Eigenschaften, die je nach Verwendungszweck unterschiedlich beurteilt werden. Eine gewisse Rolle spielt das Breitenverhältnis zwischen Kern und Splint. Maßgeblich sind aber die unterschiedlichen physikalischen, mechanischen und technischen Eigenschaften.

Im Allgemeinen ist die Festigkeit des Holzes abhängig (s. Bild 4):

- von der Holzart
- von den Wachstumsverhältnissen
- vom Feuchtegehalt
- von der Rohdichte
- vom Faserverlauf
- von der Ästigkeit

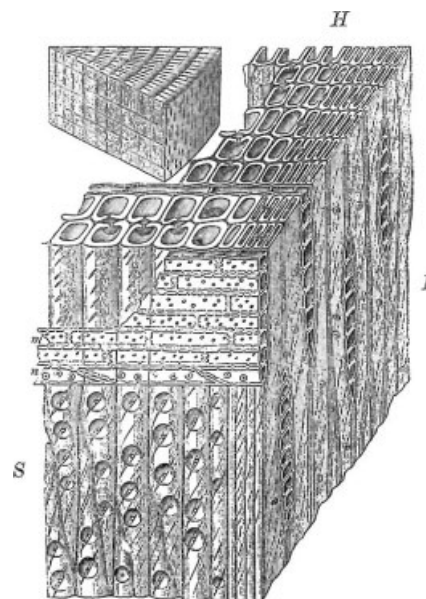


Bild 3. Innerer Aufbau (Fichtenholz-Ausschnitt aus [9])
H Hirnschnitt, F Fladen- (Tangential-)schnitt, S Spiegel- (Faserlängs-)schnitt
Fig. 3. Cellular structure of timber

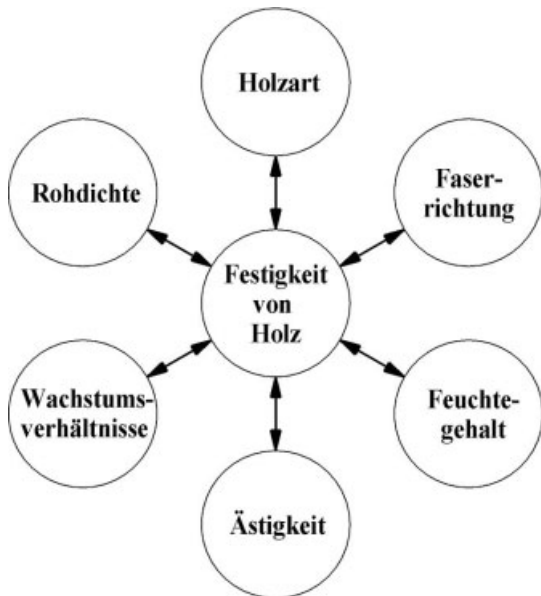


Bild 4. Abhängigkeit der Holzfestigkeit (aus [2])
Fig. 4. Dependence of timber strength



Bild 5. Rundholzträger aus Douglasienholz für den Hörsaal einer Fachhochschule, (das Kernholz ist deutlich durch die dunklere Färbung erkennbar)
Fig. 5. Beam of round timber from Douglas fir

Die Inhomogenität des Holzes ist nur dann von Nachteil, wenn bei der baulichen Verwendung des Holzes die spezifischen Eigenschaften des Holzes nicht beachtet werden. Die Planung und Ausführung eines wirtschaftlichen und dauerhaften Holzbaues setzt daher ausreichende Fachkenntnisse zum Baustoff Holz voraus.

2.4. Wachstumsverhältnisse und Festigkeitseigenschaften

Die Festigkeit des Holzes ist von den Wachstumsverhältnissen abhängig. Auf das Wachstum wirken ein:

- Standort
- Klima

- Sonnenintensität
- Bestandsdichte
- Bodenbeschaffenheit
- Grundwasserstand und
- Windrichtung

2.5. Holzart und Festigkeitseigenschaften

Von den einheimischen Nadel- und Laubhölzern lassen sich verschiedene Holzarten als Bauholz nutzen (s. Tabelle 1).

Prinzipiell hat „weicheres“ Holz eine geringere Festigkeit als „härteres“ Holz. Entscheidend ist hier der prozen-

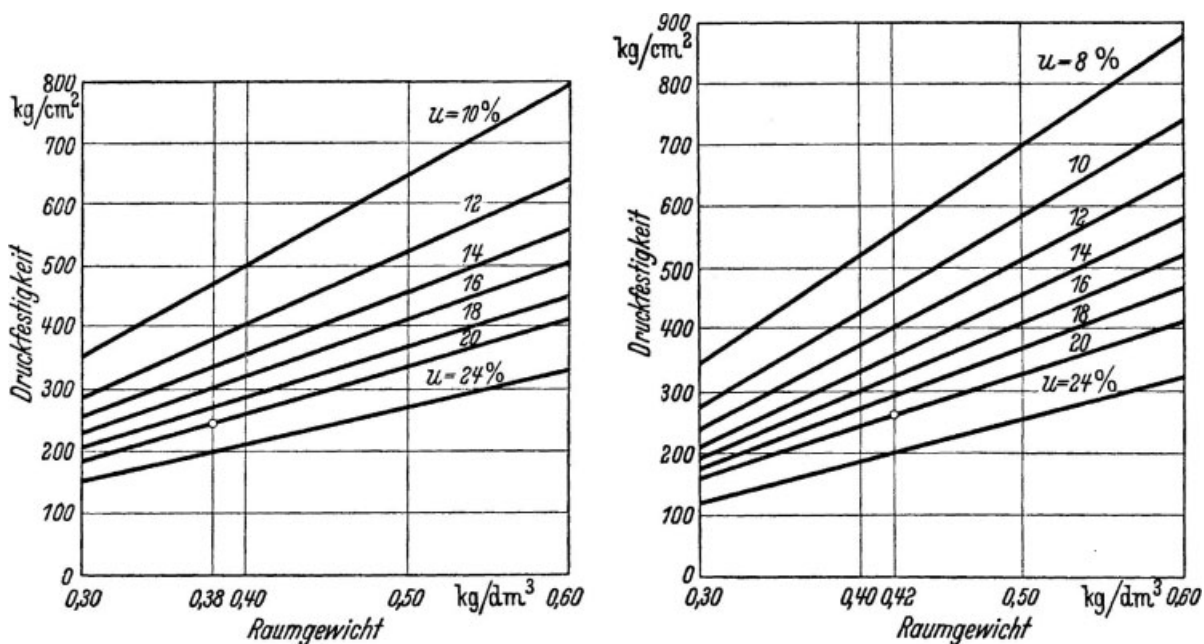


Bild 6. Zusammenhang zwischen Rohdichte und Druckfestigkeit parallel zur Faser in Abhängigkeit von der Rohdichte nach Otto Graf (linkes Bild Fichtenholz; rechtes Bild Kiefernholz – aus [7])
Fig. 6. Influence of bulk density on the compression strength parallel to the fibres according to Otto Graf (left fig. for white-wood; right fig. for redwood)

Tabelle 1. Gebräuchliche Bauholzarten
Table 1. Common types of timber

Name	Lat. Gattungs- und Artnamen	Kurzbezeichnung	Bemerkungen
Nadelgehölze (der Familie Kieferngewächse)			
Kiefer	(<i>Pinus sylvestris</i>)	KI	Kernholz farblich deutlich dunkler als das Splintholz, Kernholz harzhaltig, mittelschweres Holz ($\rho_{\text{mean}} = 520 \text{ kg/m}^3$) mit guten Festigkeits- und Elastizitätseigenschaften, gut bearbeitbar, nach DIN EN 335-2 mäßig bis wenig dauerhaft gegen holzerstörende Pilze
Fichte	(<i>Picea abies</i>)	FI	Kein Farbunterschied zwischen Kern- und Splintholz, mittelschweres weiches Holz ($\rho_{\text{mean}} = 470 \text{ kg/m}^3$) mit guten Festigkeits- und Elastizitätseigenschaften, gut bearbeitbar, nach DIN EN 335-2 wenig dauerhaft gegen holzerstörende Pilze
Tanne	(<i>Abies alba</i>)	TA	Kein Farbunterschied zwischen Kern- und Splintholz, mittelschweres Holz ($\rho_{\text{mean}} = 470 \text{ kg/m}^3$) mit guten Festigkeits- und Elastizitätseigenschaften, gut bearbeitbar, nach DIN EN 335-2 wenig dauerhaft gegen holzerstörende Pilze
Lärche	(<i>Larix decidua</i>)	LA	Kernholz deutlich dunkler als das Splintholz, Kernholz harzhaltig, schweres Holz ($\rho_{\text{mean}} = 590 \text{ kg/m}^3$) mit guten Festigkeits- und Elastizitätseigenschaften, gut bearbeitbar, nach DIN EN 335-2 mäßig bis wenig dauerhaft gegen holzerstörende Pilze
Douglasie	<i>Pseudotsuga Menziesii</i>	DG	Kernholz deutlich dunkler als das Splintholz (Beispiel s. Bild 5), Kernholz harzhaltig, schweres Holz ($\rho_{\text{mean}} = 510 \text{ bis } 560 \text{ kg/m}^3$) mit guten Festigkeits- und Elastizitätseigenschaften, gut bearbeitbar, nach DIN EN 335-2 mäßig bis wenig dauerhaft gegen holzerstörende Pilze
Laubgehölze			
Eiche	(<i>Quercus robur</i>)	EI	Kernholz deutlich dunkler als das Splintholz, Kernholz sehr harzhaltig, schweres Holz ($\rho_{\text{mean}} = 670 \text{ kg/m}^3$) mit sehr guten Festigkeits- und Elastizitätseigenschaften, gut bearbeitbar, nach DIN EN 335-2 dauerhaft gegen holzerstörende Pilze
Buche	(<i>Fagus sylvatica</i>)	BU	Kein wesentlicher Farbunterschied zwischen Kern- und Splintholz, schweres Holz ($\rho_{\text{mean}} = 690 \text{ kg/m}^3$) mit sehr guten Festigkeits- und Elastizitätseigenschaften, gut bearbeitbar, nach DIN EN 335-2 nicht dauerhaft gegen holzerstörende Pilze
Robinie	(<i>Robinia pseudoacacia</i>)	ROB	Kernholz deutlich dunkler als das Splintholz, Kernholz harzhaltig, sehr schweres und hartes Holz ($\rho_{\text{mean}} = 730 \text{ kg/m}^3$) mit sehr guten Festigkeits- und Elastizitätseigenschaften, gut bearbeitbar, nach DIN EN 335-2 dauerhaft bis sehr dauerhaft gegen holzerstörende Pilze, keine bauaufsichtlich geregelte Holzart!

tuale Volumenanteil der Holzzellen. Die Rohdichte charakterisiert diesen Volumenanteil.

Rohdichte (ρ)

Allgemein ist die Rohdichte das Verhältnis aus Masse m zu Volumen V (s. DIN EN 384, DIN 1306). Die Bestimmung der Rohdichte für Holz erfolgt nach DIN EN 384, DIN 52182, ISO 3131, für Faserplatten nach DIN 52350, für Spanplatten nach DIN 52361 und für Sperrholz nach DIN 52374.

Für die Beurteilung der Festigkeitseigenschaften einer Holzart ist die Rohdichte ein wichtiger Kennwert. Mit zunehmender Rohdichte steigt die Festigkeit. Die Bilder 6 und 7 zeigen diesen Zusammenhang für die Druck- und Biegefestigkeit.

Die charakteristische Rohdichte ρ_k ist jetzt auch in den Tabellen für die Rechenwerte der Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften von Vollholz, Brettschichtholz und Holzwerkstoffen der DIN 1052, neu (siehe Anhang F, Tabelle F 5 bis F 21) angegeben. Bild 7 zeigt die charakteristische

Biegefestigkeit nach DIN 1052:2004 mit Bezug auf die charakteristische Rohdichte der jeweiligen Festigkeitsklasse für die in der Norm geregelten Nadel- und Laubhölzer.

In Schadensfällen oder bei historischen Konstruktionen können mit Hilfe der Rohdichte Aussagen über vorhandene Festigkeiten gemacht werden. Dazu wird die ermittelte Rohdichte mit der Rohdichte gesunden Holzes gleicher Art verglichen (s. [11]).

2.6 Faserverlauf und Festigkeitseigenschaften

Der Faserverlauf des Holzes ist je nach Wuchsbedingungen nicht immer parallel. Lokale Abweichungen, d. h. Schrägfaserigkeit, sind durch Drehwuchs oder im Bereich großer Äste möglich. Die Schrägfaserigkeit vermindert die Festigkeit u. U. wesentlich (s. Bild 8), besonders bei Beanspruchung auf Zug parallel zur Faser und Biegung. Geringer ist dagegen der Einfluss bei Beanspruchung auf Druck parallel zur Faser (zulässige Abweichungen s. auch DIN 4074-1, DIN 4074-5 und DIN 68365).

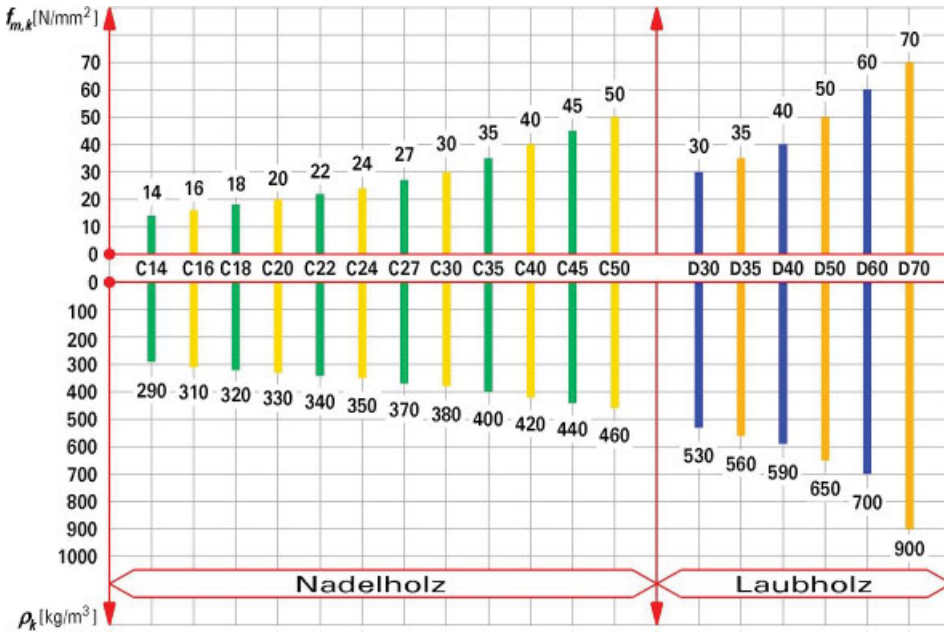


Bild 7. Charakteristische Biegefestigkeit und charakteristische Rohdichte nach DIN 1052:2004 für die in der Norm geregelten Festigkeitsklassen von Nadel- und Laubhölzern

Fig. 7. Characteristic values of flexural strength and bulk density for softwood and hardwood according to DIN 1052:2004

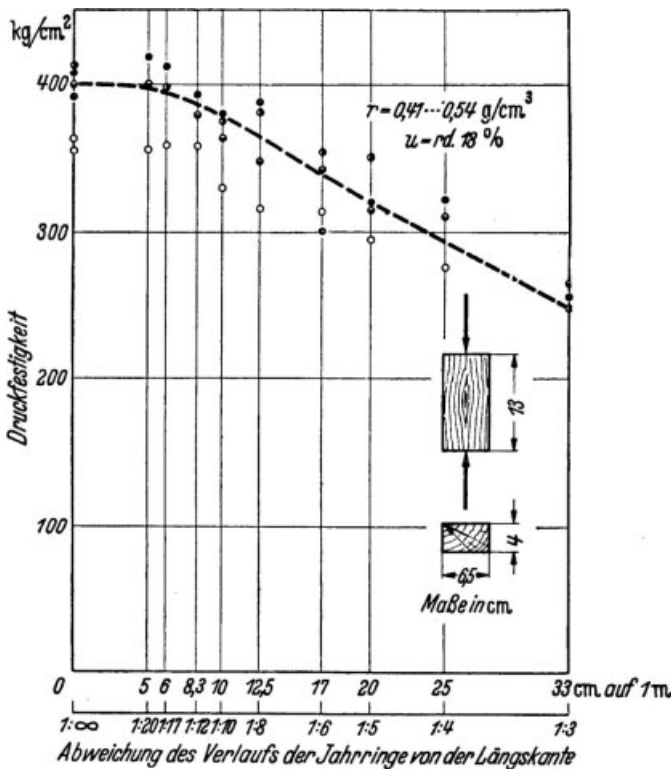


Bild 8. Die Druckfestigkeit von Fichtenholz in Abhängigkeit vom Faserverlauf nach Otto Graf (aus [7]) – im Vergleich dazu die Grenzwerte für den Faserverlauf für Nadelholz (visuell sortiert) nach DIN 4074-1: Sortierklasse S7, 1 : 6,3; Sortierklasse S10; 1 : 8,3; Sortierklasse S13, 1 : 14,3)

Fig. 8. Influence of grain direction on the compression strength according to Otto Graf for whitewood

2.7 Ästigkeit und Festigkeitseigenschaften

Sorgen bereitet die Ästigkeit des Holzes. Äste sind oft Ausgangspunkt von Holzbrüchen. Die Ästigkeit eines Bauteils

beeinflusst die Zug-, Druck- und Biegefestigkeit (s. Bilder 9 und 10) festigkeitsmindernd.

Der Zusammenhang von Rohdichte und Biegefestigkeit wird in Bild 10 deutlich. Allerdings ist dieser Zusammenhang bei astfreiem Holz bzw. Holz mit geringer Ästigkeit am größten (z. B. Nadelholz der Sortierklasse S13). Auf den Zusammenhang zwischen Rohdichte und Biege-Modul hat dagegen die Ästigkeit keinen Einfluss (s. Bild 10). Zulässige Abweichungen von visuell sortiertem Nadel- und Laubholz s. auch DIN 4074- 1 und DIN 4074-5, DIN 68365. In geringerem Maße wird die Druckfestigkeit parallel zur Faser durch Äste beeinflusst (s. Bild 9).

Dem tragfähigkeitsmindernden Einfluß von Ästen im Bereich von Holzbau-Verbindungen ist beim Entwurf besondere Aufmerksamkeit zu schenken.

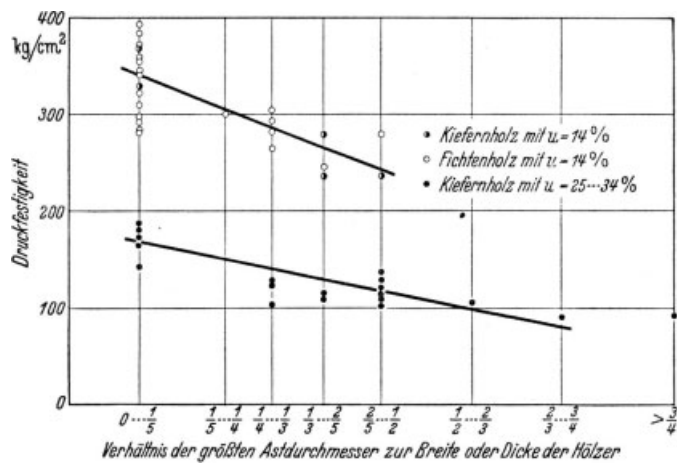


Bild 9. Einfluss der Ästigkeit auf die Druckfestigkeit parallel zur Faser bei Fichten- und Kiefernholz unterschiedlicher Holzfeuchte nach Otto Graf (aus [7])

Fig. 9. Influence of knot density on the compression strength for whitewood and redwood according to Otto Graf

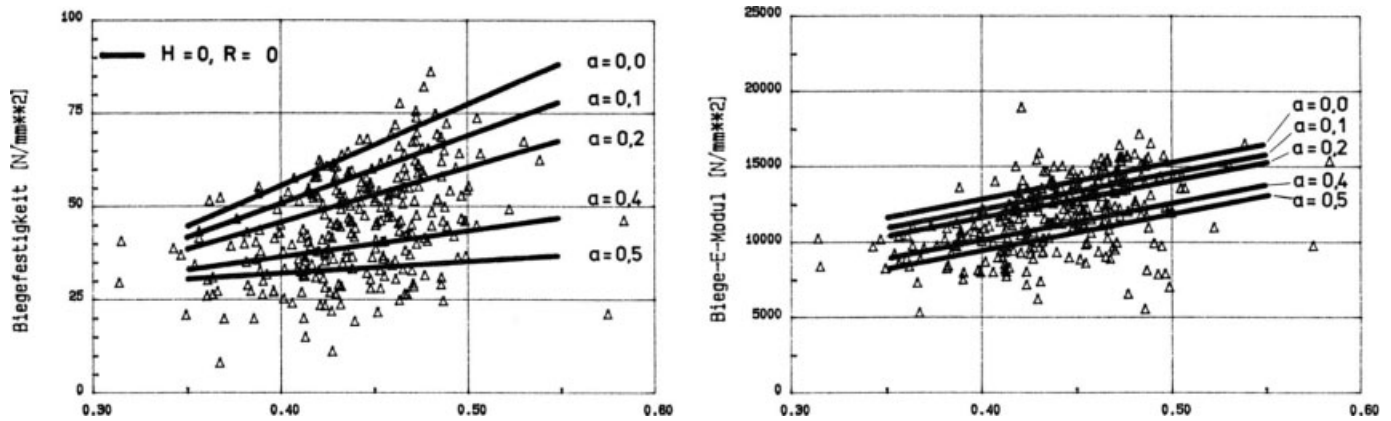


Bild 10. Zusammenhang zwischen Rohdichte und Biegefestigkeit sowie Biege-E-Modul in Abhängigkeit von der Ästigkeit, ermittelt von Glos/Gamm [12] an 280 Balken aus Fichtenholz (im Vergleich dazu die Grenzwerte für die Ästigkeit bei visuell sortiertem Nadelholz nach DIN 4074-1: Sortierklasse S7: bis 0,6; Sortierklasse S10 bis 0,4; Sortierklasse S13: bis 0,2)
 Fig. 10. Relation between bulk density and flexural strength and MOE dependent on knot density, established by Glos/Gamm on 280 beams from whitewood

2.8. Bedeutung des hygroskopischen Verhaltens des Holzes

Das Holz hat als organisches Gebilde einen porigen Aufbau, dessen Hohlräume aus den Zellhohlräumen und den saftführenden Gefäßen gebildet werden.

Die Holzzellen haben die Aufgabe,

- Wasser und Säfte zu leiten (saftführende Zellen)
- Nährstoffe zu speichern (speichernde Zellen) und
- dem Baum bzw. dem Holz Festigkeit zu verleihen (stützende Zellen).

Der überwiegend aus Wasser bestehende Saft füllt die Hohlräume und Gefäße (s. Bild 11a).

Man nennt dieses Wasser „freies Wasser“. Aber auch die Holzsubstanz, also die Zellwände, ist vom Wasser durchtränkt. Durch Anziehungskräfte, die von der Holzsubstanz auf das Wasser ausgeübt werden, wird es unter hohen statischen Druck gesetzt.

Beim Trocknen verdunstet zunächst das Wasser aus den Zellhohlräumen und Gefäßen, dann erst aus der Holzsubstanz der Zellwände (s. Bilder 11b und 11c).

Die Holz Trocknung tritt ein, wenn die umgebende Atmosphäre nicht mit Wasserdampf gesättigt ist. Zunächst verdunstet das freie Wasser, bis die Holzfeuchte je nach Holzart $u \approx 22$ bis 35 % beträgt.

Die Holzfeuchte, bei der kein freies Wasser mehr vorhanden ist, nennt man den Fasersättigungspunkt (Zustand

nach Bild 11c). Dieser Punkt der Holzfeuchte ist für Holzkonstruktionen wichtig, weil bei weiterer Wasserabgabe aus den Zellwänden das Schwinden des Holzes beginnt und sich seine physikalischen und mechanischen Eigenschaften verändern (Zustand gemäß Bild 11c). Die Trocknung schreitet weiter, bis dieser Vorgang schließlich zum Stillstand kommt, d. h., es bildet sich ein Gleichgewichtszustand heraus, bei dem die Holzfeuchte in geringem Maße von der Temperatur, hauptsächlich aber von der relativen Luftfeuchte abhängt (s. Bild 12).

2.8.1. Zusammenhang zwischen Lufttemperatur/-feuchtigkeit und Holzfeuchte

Die Feuchte, die sich mit der relativen Luftfeuchte im Gleichgewicht befindet, nennt man Gleichgewichts- oder Ausgleichsfeuchte. DIN 1052:2004 definiert die Ausgleichsfeuchte als die im Mittel sich in einem Bauwerk einstellende Holzfeuchte. Es ist die Holzfeuchte, die sich im Holz unter der Wirkung eines Klimas bis zur Massekonstanz einstellt (s. Bild 12).

Im Entwurf zur neuen DIN 1052 sind Nutzungsklassen angegeben, die über die Lufttemperatur und die -feuchtigkeit definiert sind.

Nutzungsklasse 1: Sie ist gekennzeichnet durch eine Holzfeuchte, die einer Temperatur von 20 °C und einer



Bild 11. Wassereinlagerung in einer Holzzelle
 Fig. 11. Moisture in timber cell

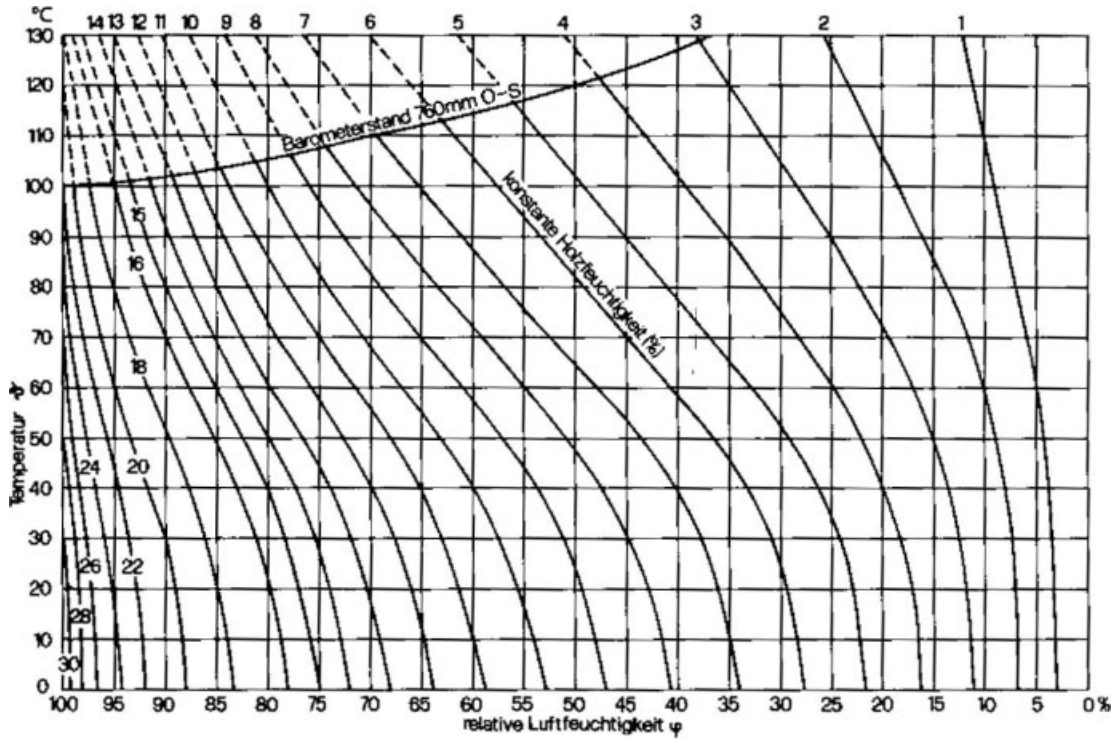


Bild 12. Hygroskopische Isothermen (Fichtenholz – aus [5])
 Fig. 12. Hygroscopic isotherm (whitewood)

relativen Luftfeuchte der umgebenden Luft entspricht, die nur für einige Wochen pro Jahr einen Wert von 65 % übersteigt.

Aus dem Diagramm Bild 12 ergibt sich hieraus eine Ausgleichsfeuchte von etwa 12 %. Dieser Wert entspricht dem oberen Grenzwert (9 + 3 = 12 %) für beheizte Räume.

2.8.2. Holzfeuchte – Gleichgewichtsfeuchte

Die Holzfeuchte u ist der auf die darrtrockene Masse des Holzes bezogene Feuchtesatz, der in Prozent oder Kilogramm Wasser je Kilogramm Holz ausgedrückt wird.

Es gilt:

$$u = \frac{G_{\text{nass}} - G_{\text{trocken}}}{G_{\text{trocken}}} [\%].$$

Zur genauen Bestimmung der Holzfeuchte wird die Probe gewogen (G_{nass}) und anschließend in einem Darrofen bis zur Gewichtskonstanz getrocknet (G_{trocken}).

In der Praxis wird die Holzfeuchte mit einem elektrischen Messgerät bestimmt. Der elektrische Widerstand zwischen zwei Elektroden wird in der Anzeige direkt in den Feuchtegehalt umgewandelt. Die modernen Geräte haben einen großen Messbereich und gestatten Messungen verschiedener Werkstoffe.

Für den konstruktiven Holzbau sind genaue Feuchtemessungen des zu verarbeitenden Holzes erforderlich. Qualitative Aussagen über Holz müssen den Feuchtegehalt (gemessen mit elektrischen Messgeräten oder anderen Prüfmethoden) genau angeben.

Wie groß der Anteil des Wassers tatsächlich ist, kann an dem folgenden Beispiel verdeutlicht werden.

In einem Dachstuhl wurden ca. $7,00 \text{ m}^3$ Holz mit einem Feuchtegehalt von ca. 28 % eingebaut. Die Dachflächen wurden oben und unten dampfdicht abge-

schlossen. Es wird ermittelt, welche Wassermenge ausfällt, wenn das Holz auf eine Feuchtegehalt von 12 % abtrocknet. Das Darrgewicht für Fichtenholz wird zu $m_o = 450 \text{ kg/m}^3$ angenommen (aus [18])

Berechnung:

$$u = \frac{m_u - m_o}{m_o} \cdot 100 [\%]$$

m_o Darrgewicht [kg/m^3]

m_u Nassgewicht [kg/m^3]

$$m_u = m_o \cdot (u/100 + 1) [\text{kg/m}^3]$$

$$m'_o = V \cdot m_o [\text{kg}]$$

$V = \text{Holzvolumen} [\text{m}^3]$

bzw.

$$m'_u = V \cdot m_u [\text{kg}]$$

$$m_W = m'_u - m_o [\text{kg}]$$

m_W Wassergewicht [kg]

Bei den getroffenen Annahmen ergibt sich somit ein Wassergehalt von:

$$m'_u = 7,0 \cdot 450 \cdot (1/100 + 1) = 3181,5 \text{ kg}$$

$$m'_o = 7,00 \cdot 450 = 3150 \text{ kg}$$

$$m_W = 3181,5 - 3150 = 31,5 \text{ kg}$$

je 1 % Holzfeuchte

Bei einer Austrocknung von der Fasersättigung von 28 % bis zur Ausgleichsfeuchte von 12 % mit $\Delta u = 28 \% - 12 \% = 16 \%$

fällt eine Masse von

$$m_W = 16 \cdot 31,5 = 504,0 \text{ kg}$$

oder **504 Liter Wasser** an. Hiervon kann nur ein Teil vom Luftvolumen aufgenommen werden.

Je nach Höhe des mittleren Feuchtesatzes (mittlere Holzfeuchte nach DIN 4074-1 und 5 = Mittelwert der Feuchte eines Querschnitts) werden unterschieden:

- darrtrockenes Holz $u = 0 \%$
 - trockenes Holz $u \leq 20 \%$
- (Messbezugsfeuchte für trockensortiertes Holz nach DIN 4074-1 und 4074-5)
- halbtrockenes Holz $u \leq 20 \dots 30 \%$
(bei Querschnitten über 200 cm^2) $u \leq 35 \%$
 - fasergesättigtes Holz $u = 22 \dots 35 \%$
 - nasses bzw. saftfrisches Holz $u \geq 30 \%$
(bei Querschnitten über 200 cm^2) $u \geq 35 \%$
- (s. auch DIN 4074, DIN 68365).

Einfluss der Feuchtigkeit auf Festigkeitseigenschaften

Besitzt das Holz im eingebauten Zustand eine dauernd wirkende Holzfeuchte von über 18 %, so sind sowohl die Steifigkeitswerte als auch die Festigkeit von Voll- und Brettschichtholz und auch die Tragfähigkeit von Verbindungen mit diesen Materialien um ca. 1/8 abzumindern. Notwendig ist dies dann bei Verwendung des Holzes in Nutzungsklasse 3. Bild 13 zeigt den Einfluss der Feuchtigkeit am Beispiel der Biegefestigkeit. Die höchste Festigkeit wird bei 10 bis 12 % erreicht. Dann fällt sie kontinuierlich ab.

Bei Holzwerkstoffen ist ein Einfluß der Holzfeuchte schon in der Nutzungsklasse 2 zu berücksichtigen. Die Abminderung beträgt hier ebenfalls ca. 1/8.

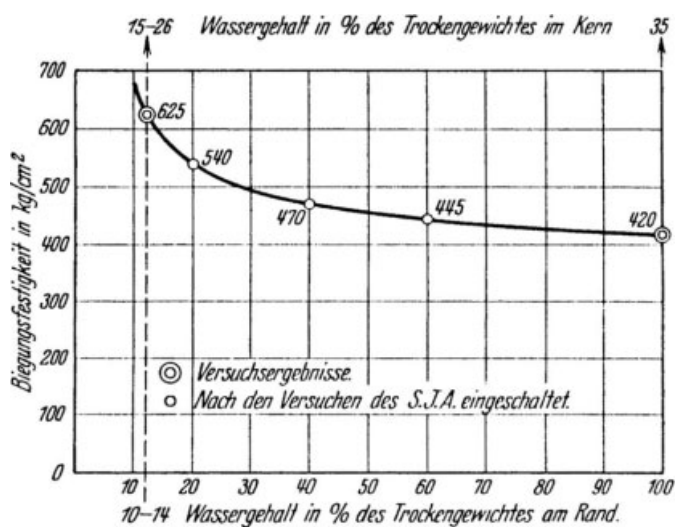


Bild 13. Einfluss der Feuchte auf die Biegefestigkeit (Mittelwerte aus Versuchen, aus [8])
Fig. 13. Influence of moisture on the flexural strength (mean values from tests – from [8])

Aus den vorstehenden Ausführungen können für ein schadenfreies Bauen eine Reihe von Folgerungen gezogen werden:

- Die Hauptregel für ein schadenfreies Bauen ist der **Einbau trockenen Holzes**. Dies gilt sowohl für den Wohnhaus- als auch für den Hallenbau. Selbst bei Bauten im Freien sollte abgelagertes Holz verwendet werden.
- Und wenn der Bauherr und der Architekt noch so sehr jammern, nasses Holz muss von der Baustelle, zusammen mit den Leuten, die es verwenden. Im Nachhinein weiß niemand mehr etwas von den Absprachen. Trockenes Holz steht in Form von Konstruktionsvollholz und Massivholz in ausreichender Menge zur Verfügung.

2.8.3. Quellen und Schwinden von Vollholz und Holzwerkstoffen

Die Auswertung der Erkenntnisse von der Gleichgewichtsfeuchte hat zu einer Qualitätsverbesserung von Holzkonstruktionen geführt. Während bei Feuchteabgabe unterhalb des Fasersättigungspunktes das Holz schwindet, quillt es bei Feuchteaufnahme.

Schwinden und Quellen des Holzes sind in den drei Hauptrichtungen (längs, radial und tangential) unterschiedlich. Bezogen auf das Schwinden in Faserlängsrichtung ist die Verformung infolge Quellen und Schwinden bei Nadelholz in radialer Richtung (Radialschnitt gemäß Bild 3) 15-mal und in tangentialer Faserrichtung (Tangentialschnitt gemäß Bild 3) 30-mal größer (s. Bild 14). Tabelle 2 zeigt die Rechenwerte für das Quell- und Schwindmaß nach den Regelungen in DIN 1052:2004.

Das Schwinden beim Trocknen führt zu Spannungen und zu Rissen im Holz. Die Spannungen im Holz treten als unerwünschte Formänderungen, Gestaltänderungen oder Längenänderungen in Erscheinung.

Bild 15 zeigt typische Verformungen des Schnittholzes entsprechend seiner Lage im Stamm, die durch das unterschiedliche Schwinden in radialer und tangentialer Richtung entstehen. Sie sind auch bei sorgfältiger Trocknung nicht zu vermeiden.

Kann das Holz langsam abtrocknen, werden die auftretenden Zugspannungen teilweise plastisch abgebaut, und die Rissbreiten werden geringer.

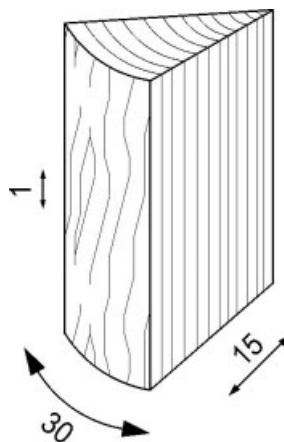


Bild 14. Verhältniswerte Quell- und Schwindverhalten (Nadelholz)
Fig. 14. Relations between swelling and shrinkage (softwood)

Tabelle 2. Rechenwerte für das Quell- und Schwindmaß rechtwinklig zur Faserrichtung des Holzes bzw. in Plattenebene bei unbehindertem Quellen und Schwinden nach DIN 1052:2004, Tabelle F4

Table 2. Calculation values for swelling and shrinkage right-angled to the timber grain direction (unhindered swelling and shrinkage) according to DIN 1052:2004, Table F4

Baustoff	Schwind- und Quellmaß in % für Änderung der Holzfeuchte um 1 % unterhalb des Fasersättigungsbereiches
Fichte, Kiefer, Tanne, Lärche, Douglasie, Western Hemlock, Afzelie, Soutern Pine, Eiche	0,24
Buche	0,30
Teak, Yellow Cedar	0,20
Azobe (Bongossi), Ipe	0,36
Sperrholz	0,02
Brettsperrholz	0,02
Furnierschichtholz ohne Querfurniere	
– in Faserrichtung der Deckfurniere	0,01
– rechtwinklig zur Faserrichtung der Deckfurniere	0,32
Furnierschichtholz mit Querfurnieren	
– in Faserrichtung der Deckfurniere	0,01
– rechtwinklig zur Faserrichtung der Deckfurniere	0,03
Kunstharzgebundene Spanplatten; Faserplatten	0,035
Zementgebundene Spanplatten	0,03
OSB-Platten, Typ OSB/2 und OSB/3	0,03
OSB-Platten, Typ OSB/4	0,015

a) Werte gelten für etwa gleichförmige Feuchteänderung über den Querschnitt

b) Für Hölzer nach den Zeilen 1 bis 4 gilt in Faserrichtung des Holzes ein Rechenwert von 0,01 %/1 %

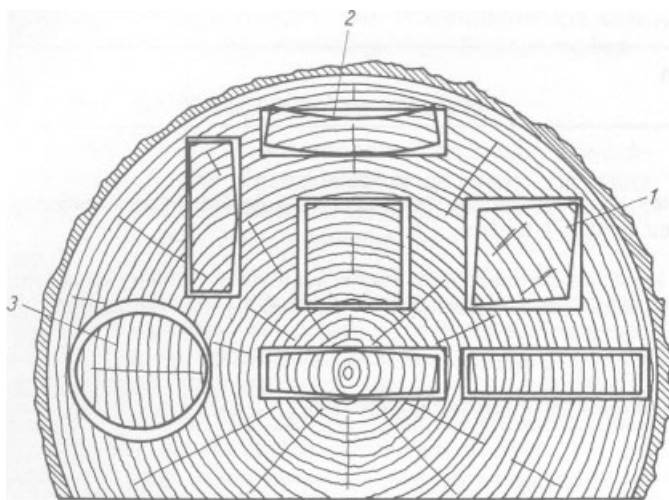


Bild 15. Verformungen des Schnittholzes entsprechend seiner Lage im Stamm; 1 rautenförmig schief verformt; 2 Brett hohl auf der Splintseite; 3 runder Querschnitt verformt sich ellipsenförmig (eiförmig)

Fig. 15. Shrinkage deformation of sawn timber according to the location in the tree

Die Bilder von Schwindrissen, selbst mit mehr als 10 mm Breite wie im Bild 16 dargestellt, sind leider aus der Praxis nur allzu gut bekannt.

Die Schwindverformungen treten nicht nur bei frisch eingeschnittenen bzw. eingebauten Hölzern sondern auch bei Altholz auf, das einem anderen Klima ausgesetzt wird. Bild 17 zeigt klaffende Schwindrisse in einem etwa 100 Jahre

alten Gebäude, das längere Zeit unbenutzt und mit teilweise offenen Wänden stand. Es wurde umgebaut und als beheiztes Ausstellungs- und Begegnungszentrum genutzt. Die hier sichtbaren Risse sind schon nach kurzer Zeit aufgetreten.

Daraus wird die Forderung nach DIN 1052:2004, Abschnitt 6.2 für Holzkonstruktionen abgeleitet:

„(3) Zur Verminderung von Schwindrissen und Maßänderungen sind in den Nutzungsklassen 1 und 2 die Hölzer mit Einbaufeuchten von höchstens 20 % einzubauen, für die Nutzungsklasse 3 sollte die Einbaufeuchte höchstens 25 % betragen.“



Bild 16. Klaffende Schwindrisse in einem Fachwerkobergurt
Fig. 16. Large breaks in a compression member of a lattice girder



Bild 17. Klaffende Schwindrisse in einem alten, nun beheizten Gebäude

Fig. 17. Shrinkage breaks in an old building, after heating the building

(4) Ist die Holzfeuchte zum Zeitpunkt des vorgesehenen Einbaus wesentlich höher als die in der vorgesehenen Nutzungsklasse zu erwartenden Ausgleichsfeuchte im Gebrauchszustand, so darf dieses Holz nur dann verwendet werden, wenn es nachtrocknen kann und die Bauteile selbst sowie die angrenzenden Bauteile gegenüber den hierbei auftretenden Schwindverformungen nicht empfindlich sind.“

Diese Regeln stehen im Zusammenhang mit dem allgemeinen Grundsatz, dass Holzkonstruktionen mit einer Holzfeuchte einzubauen sind, die der während der Nutzung zu erwartenden Gleichgewichtsfeuchte entspricht. Bei der Planung einer Holzkonstruktion sind deshalb die Nutzungsbedingungen so genau wie möglich zu bestimmen. Als Orientierung und zur Berücksichtigung des Einflusses der Feuchte auf die Festigkeits- und Steifigkeitswerte der Holzwerkstoffe gelten die im Abschnitt 7.1.1 der DIN 1052:2004 angegebenen Nutzungsklassen.

DIN 4074-1 und DIN 4074-5 weisen ausdrücklich darauf hin, daß eine mittlere Holzfeuchte von $u \leq 20\%$ kurzfristig nur durch technische Trocknung erreicht werden kann. Eine häufig in der Praxis erforderliche Holzfeuchte von $u \leq 15\%$ ist in der Regel ausschließlich durch technische Trocknung erreichbar.

Konstruktionsvollholz hat eine garantierte Holzfeuchte von $u = 15\% \pm 3\%$ (s. auch [1]).

Brettschichtholz und Balkenschichtholz haben aus klebetechnischen Gründen ab Werk eine Holzfeuchte von $9 \pm 3\%$.

Jedoch kann es nicht nur beim Einbau von feuchtem Holz, sondern auch bei Brettschichtholz in beheizten Gebäuden zu einer tragfähigkeitsmindernden Rissbildung kommen, wie das folgende Beispiel zeigt:

In einer Halle herrscht produktionsbedingt ein Klima, bei dem das bei einer weitgespannten Fachwerkkonstruktion verwendete Brettschichtholz auf eine Feuchte von 4,5 bis 5,5 % heruntertrocknet. Die rechnerischen Quer-

schnittsänderungen infolge Schwindens betragen dann für den Querschnitt des Untergurtes:

Binderuntergurt $b/h = 200/560$ mm

Feuchte beim Einbau (geschätzt): $u_0 = 12\%$
 Holzfeuchte gemessen: i. Mittel $u_{G1} = 5,5\%$
 Rechenwert für Schwind- und Quellmaß
 lt. DIN 1052:2004 (s. Tabelle 2) $\alpha_u = 0,24\%$
 1 % Feuchteänderung

Mittlere Änderung der Querschnittshöhe bei Rücktrocknung:

$$\Delta H = \alpha_u / 100 \cdot (u_0 - u_{G1}) \cdot h \\ = 0,24 / 100 \cdot (12 - 5,5) \cdot 560 \text{ mm} = \underline{8,7 \text{ mm}}$$

Mittlere Änderung der Querschnittsbreite bei Rücktrocknung:

$$\Delta B = \alpha_u / 100 \cdot (u_0 - u_{G1}) \cdot b \\ = 0,24 / 100 \cdot (12 - 5,5) \cdot 200 \text{ mm} = \underline{3,1 \text{ mm}}$$

der Querschnitt erreicht folgende Maße:

$$H = 560 \text{ mm} - 8,7 \text{ mm} = \underline{551,3 \text{ mm}}$$

$$B = 200 \text{ mm} - 3,1 \text{ mm} = \underline{196,9 \text{ mm}}$$

Mit den Schwindverformungen sind Zwängungsspannungen im Holz verbunden, die zu Trocknungsrisse führen. Die Neigung zur Rissbildung ist dabei um so größer, je schneller das Holz heruntertrocknet. Die an der Konstruktion gemessenen Rissbreiten liegen in Summe in der Größenordnung der gemessenen Querschnittsänderungen.

Da die Schwindverformungen des Holzes insbesondere an den Knotenpunkten des Fachwerkträgers durch eine hohe Anzahl von Stabdübel behindert werden, kommt es an den betreffenden Stellen zu Zwängungsspannungen und infolge dessen zu einer deutlichen Rissbildung (s.



Bild 18. Tragfähigkeitsmindernde Rissbildung im Bereich von Stabdübelverbindungen eines Zugstoßes (Stabkraft:

$v_{orh} N_{t,d} = 1230 \text{ kN}$)

Fig. 18. Breaks which decrease the load bearing capacity nearly stiftbolts in a tension joint

Bild 18). Dies wirkt sich tragfähigkeitsmindernd aus, da bei einigen Stabdübeln das Vorholz in Beanspruchungsrichtung aufgerissen ist und der Dübel keine Beanspruchung mehr aufnehmen kann.

2.9 Dauerhaftigkeit von Holz

Bei der baulichen Verwendung des Holzes wird eine lange Dauerhaftigkeit des eingebauten Holzes angestrebt. Sie ist abhängig von

- der richtigen Holz Auswahl
- der zweckmäßigen Konstruktion
- der Beachtung der Grundforderungen des baulichen Holzschutzes
- einem sachgemäßen chemischen Holzschutz
- der Art und Intensität äußerer Einwirkungen
- regelmäßiger Baukontrolle und Behebung von Bauschäden

Unter Dauerhaftigkeit wird auch die Resistenz, d. h. die natürliche Widerstandsfähigkeit gegenüber chemischen Einflüssen oder gegenüber Holzschädlingen verstanden.

Zahlreiche Hölzer haben gegenüber den Einwirkungen verschiedener Schadeneinflüsse eine hohe natürliche Dauerhaftigkeit. Sie beruht auf bestimmten Inhaltsstoffen im Holz. Da diese ausschließlich im Kernholz vorkommen, ist das Splintholz aller Holzarten anfälliger.

Im Hinblick auf die Widerstandsfähigkeit des Holzes gegen Pilzbefall existieren Resistenzklassen (s. DIN 68364), die bei der Planung baulicher und chemischer Holzschutzmaßnahmen nach DIN 68800 Teil 1 bis 4 zu beachten sind. Zur Definition von Gebrauchs- und Gefährdungsklassen für Holz und Holzprodukte siehe DIN EN 335-1 bis DIN EN 335-3. DIN EN 350-2 enthält einen umfassenden Überblick über die natürliche Dauerhaftigkeit von europäischen Holzarten gegen holzerstörende Pilze, zerstörende Käfer, Termiten und Holzschädlingen im Meerwasser.

Zur Dauerhaftigkeit des Holzes gegenüber Einwirkungen aus chemischen Stoffen (Flüssigkeiten und Gasen) siehe die entsprechende Literatur (z. B. [11]).

Die natürliche Dauerhaftigkeit ist kein feststehender Wert; sie kann innerhalb einer Holzart, ja innerhalb eines Stammes wechseln und sich im Laufe der Zeit ändern. DIN 1052, neu definiert ebenfalls Anforderungen an die Dauerhaftigkeit (s. Abschnitt 6 der Norm). Danach sind die Forderung nach einem dauerhaften Tragwerk erfüllt, wenn es während der vorgesehenen Nutzungsdauer seine Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit ohne wesentlichen Verlust der Nutzungseigenschaften und mit einem vertretbaren Instandhaltungsaufwand behält.

Möglichen Schadeinflüssen ist zur Sicherstellung der Dauerhaftigkeit Rechnung zu tragen, und es sind schon bei der Planung des Bauwerks die notwendigen Vorkehrungen zu treffen. Gerade bei Konstruktionen aus Holz und Holzwerkstoffen kann durch baulich-konstruktive Maßnahmen und durch die Auswahl geeigneter Holzbaustoffe mit natürlicher Dauerhaftigkeit gegen biologische Schädigungen eine hohe Dauerhaftigkeit bzw. Nutzungsfähigkeit erreicht werden.

Wie meisterlich solche baulich-konstruktiven Regeln beherrscht wurden, zeigen heute noch zahlreiche historische Dachkonstruktionen aus dem 12. bis 16. Jahrhundert.

3 Festigkeit des Holzes

3.1 Arten der Beanspruchung

Nach der Beanspruchungsart werden unterschieden:

- Zugstäbe
- Druckstäbe
- Biegestäbe

Seltener werden Holzstäbe auf Torsion beansprucht.

Neben diesen Beanspruchungsarten, die am häufigsten auftreten, sind Fälle der **Überlagerung** von mehreren Beanspruchungen möglich, z. B.

- Biegung mit der Normalkraft Druck
- Biegung mit der Normalkraft Zug
- Biegung mit Torsion, Zug oder Druck mit Torsion
- Doppelbiegung (schiefe Biegung)

Bei der Biegung tritt gleichzeitig eine Schubbeanspruchung auf.

Je nach Beanspruchung wird unterschieden (s. DIN 1052:2004, Anhang F)

Druckfestigkeit

- a) in der Faserrichtung $f_{c,0}$
- b) senkrecht zur Faserrichtung $f_{c,90}$
- c) schräg zur Faserrichtung $f_{c,\alpha}$

Zugfestigkeit

- a) in der Faserrichtung $f_{t,0}$
- b) senkrecht zur Faserrichtung $f_{t,90}$

Biegefestigkeit f_m

Scherfestigkeit f_v (Schub und Torsion).

Bei der Betrachtung der Holzfestigkeit ist Folgendes zu beachten:

Holz ist in seinem Gefüge sehr ungleich, weil jeder Stamm anders gewachsen ist. Bei einer statistischen Analyse der Festigkeitseigenschaften erhält man daher relativ große Streuungen, so dass statistisch abgesicherte Untersuchungen eine hohe Probenanzahl erfordern. Bild 19 zeigt die Festigkeit (Mittelwerte) des Holzes in Abhängigkeit von der Beanspruchung, ermittelt an fehlerfreien Proben.

3.2 Druckfestigkeit

Da sich das Holz bei Druckbelastung in Faserrichtung anders verhält als senkrecht dazu, wird zwischen Längs- und Querdruckfestigkeit unterschieden (Bild 19).

a) Druckfestigkeit parallel zur Faser

Sie ist von folgenden Faktoren abhängig:

- Rohdichte
- Holzfeuchte
- Faserverlauf
- Lage der Krafrichtung zur Faserrichtung
- Holzart
- Spätholzanteil
- Querschnittsgröße
- Ästigkeit
- Belastungsdauer
- Schlankheitsgrad.

Der Einfluß der Baumkanten beim Schnittholz ist gering. Die Druckfestigkeit des Holzes steht in einfacher Be-

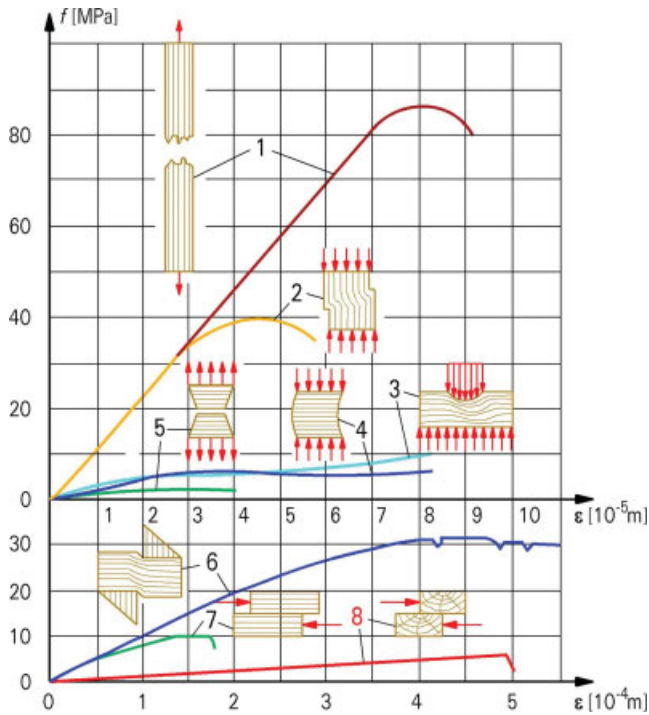


Bild 19. Festigkeit von Nadelholz in Abhängigkeit von der Beanspruchung nach [10] (gültig für fehlerfreies Holz: Kurve 1: $f_{t,0}$; Kurve 2: $f_{c,0}$; Kurve 3+4: $f_{c,90}$; Kurve 5: $f_{t,90}$; Kurve 6: f_v ; Kurve 7: f_v -parallel zur Faser; Kurve 8: f_v -senkrecht zur Faser)
 Fig. 19. Softwood strength in dependence on static strain according to [10] (timber without defects)

ziehung zur Rohdichte: Die Druckfestigkeit des Holzes steigt mit zunehmender Rohdichte.

In Bild 6 ist der Zusammenhang zwischen der Dichte und der Druckfestigkeit für Fichten- und Kiefernholz dargestellt. Die Druckfestigkeit von Nadelholz liegt im Bereich hochfester Betone, z. B. C 45/55. Von großer Bedeutung für die Druckfestigkeit ist der Feuchtegehalt des Holzes (s. Bild 6).

Die Druckfestigkeit nimmt mit wachsender Holzfeuchte (bis $u \approx 25$ bis 30%) ab.

Aus Bild 6 ist zu erkennen, daß Fichtenholz bei $u = 10\%$ und Kiefernholz bei $u = 8\%$ Holzfeuchte die höchsten Festigkeitswerte bei Druck in Faserrichtung aufweist. Zu beachten ist, daß die gezeigten Abhängigkeiten für fehlerfreie Holzproben gelten. Bei Bauteilen in Bauholzabmessungen entsteht in Abhängigkeit von der Querschnittsgröße und evtl. eines Schutzsystems ein Dämpfungseffekt, der den Holzfeuchtewechsel verzögert. Der Einfluss der Feuchte ist dann nicht so gravierend.

Ferner ist die Abhängigkeit der Druckfestigkeit von der **Lage der Krafrichtung zur Faserrichtung** bedeutungsvoll. Die Druckfestigkeit nimmt mit steigendem Kraft-Faser-Winkel ab.

Bild 22 zeigt den Zusammenhang zwischen dem Kraft-Faser-Winkel und der Druckfestigkeit für Holz. Schon bei 15° Neigung der Krafrichtung gegen die Fasern geht die Druckfestigkeit auf etwa 77% , bei 30° Neigung auf etwa 45% und bei 45° Neigung auf etwa 25% der Druckfestigkeit parallel zur Faser zurück.

Wird Holz in Faserrichtung belastet, so treten, bevor es die Bruchgrenze erreicht, starke Verformungen auf, bei

denen sich die härteren Holzteile in die weicheren eindrücken.

Holz ist warnfähig. Dies ist eine sehr wichtige Eigenschaft. Vor dem Brechen sind deutlich knisternde Geräusche zu hören. Die Warnfähigkeit von Holz geht bei langjährigen chemischen Einwirkungen verloren.

b) Druckfestigkeit rechtwinklig zur Faserrichtung

Die Zerstörungserscheinungen sind andere als bei Druck parallel zur Faser (Bild 20). Bei Nadelholz beträgt die versuchsmäßig festgestellte Druckfestigkeit rechtwinklig zur Faser etwa $1/7$ bis $1/10$ derjenigen längs zur Faser (s. Bild 19), bei Laubholz etwa $1/3$ bis $1/5$.

Nadelholz hat wesentlich geringere Querdruckfestigkeiten als Eiche und Buche.

Mit zunehmender Druckwirkung quer zur Faserrichtung schließen sich die Hohlräume im Inneren des Holzes ohne äußere Brucherscheinungen. Unter Druckbelastung brechen die einzelnen Holzzellen in sich zusammen, es tritt keine Querkontraktion ein. Dabei wird aber das Holz zusammengedrückt und sehr stark deformiert (Bilder 20 und 21). Auch die Größe der Druckfläche ist von Einfluss (s. Bild 21).

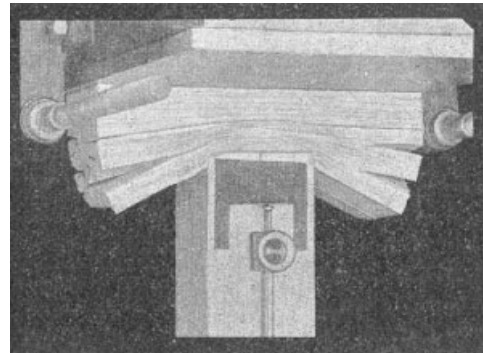


Bild 20. Querdruckversuch nach Gustav Lang 1915 (aus [15])
 Fig. 20. Lateral pressure test according to Gustav Lang (from [15])

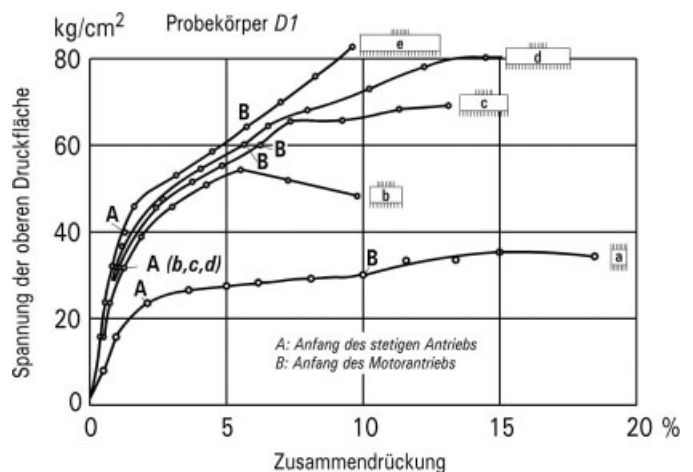


Bild 21. Querdruckfestigkeit in Abhängigkeit der Fläche der Beanspruchung nach Suenson [13] (Probenquerschnitt 150×150 mm, Probenlänge: Probe a = 150 mm, Probe b = 300 mm, Probe c = 450 mm, Probe d = 600 mm, Probe e = 750 mm; Druckfläche: 150×150 mm)
 Fig. 21. Resistance to lateral pressure in dependence on the static strain area

Bei der Querdruckfestigkeit unterscheidet man zwischen Würfel-, Schwellen- und Stempeldruckfestigkeit. Im Allgemeinen ist die Würfeldruckfestigkeit geringer als die der Schwellen- und Stempeldruckfestigkeit, weil bei den letzteren Beanspruchungen die zu unbelasteten Flächen weiterreichenden Randfasern einen Teil der Belastung aufnehmen. Sie vergrößern damit indirekt die Belastungsfläche (vergleiche Kurve zu Probe a) mit e) in Bild 21). Für die Beurteilung ist die Quetschgrenze wichtig. Das ist die Druckbeanspruchung, bei der im Spannungs-Stauchungs-Diagramm der gleichmäßige Anstieg der Verformung in den Bereich der starken Verdichtung übergeht.

Die Druckfestigkeit rechtwinklig zur Faser sinkt ab, wenn die Druckübertragungsfläche mit der Fläche des gedrückten Holzes ganz oder an drei Kanten abschließt (Bild 21 – Kurve a)).

c) Druckfestigkeit im Winkel α zur Faserrichtung

Wirkt der Druck unter dem Winkel α zur Faserrichtung, so gilt:

$$f_{c,0} > f_{c,\alpha} > f_{c,90}$$

Eine Druckbeanspruchung schräg zur Faserrichtung tritt z. B. bei Versätzen auf. Mit Versätzen können relativ große Kräfte übertragen werden.

3.3 Zugfestigkeit

Infolge des anatomischen Aufbaus von Holz ist die Zugfestigkeit in Faserrichtung wesentlich größer als quer zu dieser ($> 50 : 1$ – siehe Bild 19, Kurve 1 im Vergleich zu Kurve 5).

a) Zugfestigkeit parallel zur Faser

Der Feuchtigkeitseinfluss ist geringer als bei Druckfestigkeit zur Faser. Die größte Festigkeit liegt bei etwa 8 % Holzfeuchtigkeit.

Im Allgemeinen steigt die Zugfestigkeit

- mit zunehmender Rohdichte
- mit größerem Spätholzanteil
- mit sinkender Holzfeuchte
- mit abnehmender Größe des Winkels zwischen Faserrichtung und Krafrichtung.

Bei den üblichen Holzfeuchten von 8 bis 25 % bewirkt 1 % Holzfeuchteabnahme ein durchschnittliches Ansteigen der Zugfestigkeit von 3 % (gültig für fehlerfreie Holzproben).

Die Festigkeitsminderungen, die sich durch erhöhte Holzfeuchten ergeben, sind besonders bei Schadensuntersuchungen zu beachten.

Im Allgemeinen ist die Zugfestigkeit gerade gewachsener Bauhölzer bedeutend größer als die Längsdruckfestigkeit.

Für stark beanspruchte Zugstäbe sind astfreie Hölzer auszusuchen!

b) Zugfestigkeit senkrecht zur Faser

Kennzeichnend für das Verhalten bei Querzugbeanspruchung ist ein ausgesprochen sprödes Bruchverhalten, abhängig von der jeweiligen Holzart, strukturellen Störungen, der Holzfeuchte und der Lastdauer.

Zugbeanspruchungen des Holzes senkrecht zur Faser sind möglichst zu vermeiden; sie führen dazu, dass das Holz aufreißt. Sind sie nicht zu umgehen, dann sind besondere konstruktive Vorkehrungen zu treffen.

Querzugbeanspruchungen treten bei ausgeklinkten Trägern aus Brettschichtholz, satteldachförmigen Brettschichtholzträgern, Durchbrüchen in Brettschichtholzträgern oder Queranschlüssen auf und sind beim Entwurf derartiger Träger besonders zu beachten.

c) Zugfestigkeit im Winkel zur Faser

Weit mehr als die Druckfestigkeit parallel zur Faser ist die Zugfestigkeit in starkem Maße von der Lage der Krafrichtung zur Faserrichtung abhängig (Bild 22). Es ist zu erkennen, daß die Zugfestigkeit schon bei 15° Neigung der Krafrichtung zur Faserrichtung weniger als die Hälfte der Festigkeit beträgt, die bei gerade gewachsenem Holz gleichlaufend zur Stammachse auftrat. Bei einem Winkel von 90° erreicht sie mit etwa 1/20 ihren niedrigsten Wert.

3.4 Biegefestigkeit

Die Biegefestigkeit des Holzes ist eine oft genutzte Eigenschaft im Holzbau (z. B. beim Sparren, bei der Pfette, beim Balken, beim Träger, beim Binder).

Die Biegefestigkeit wird beeinflusst von

- der Holzart
- der Holzstruktur
- der Holzfeuchte
- dem Verlauf der Jahrringe
- dem Winkel zwischen Krafrichtung und Faserrichtung
- der Querschnittsform

Äste und Wuchsfehler wirken sich besonders im Bereich der Maximalmomente sehr erheblich aus und mindern die Biegefestigkeit im zugbeanspruchten Querschnittsteil in hohem Maße; die Zugfasern zerreißen meistens zuerst. Erhöhte dauernde Holzfeuchte und Dauerbelastung wirken ebenfalls festigkeitsmindernd.

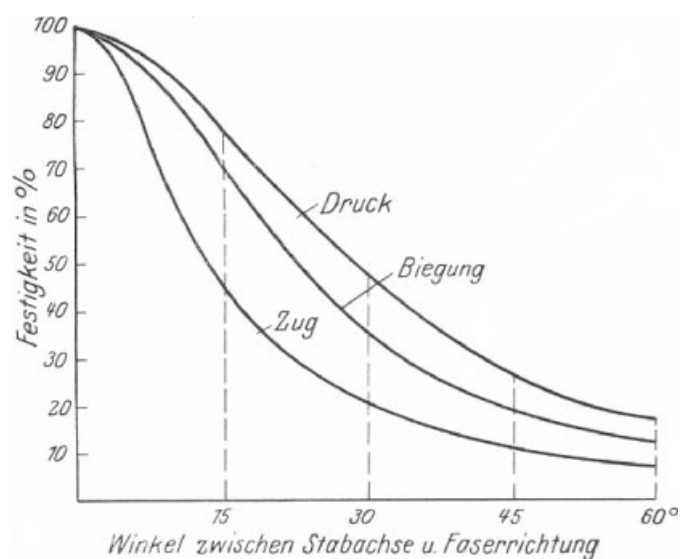


Bild 22. Festigkeitsabfall in Abhängigkeit von Last-Faser-Winkel nach Angaben in [17]

Fig. 22. Strength decrease in dependence on the orientation of load to the fibre

Äste sind Ausgangspunkte für Biegebrüche im Zugbereich. Bei astreichem Holz fällt die Biegezugfestigkeit erheblich ab.

Allgemein steigt die Biegefestigkeit

- mit wachsender Rohdichte
- mit sinkender Feuchte
- mit abnehmendem Winkel zwischen Krafrichtung und Faserrichtung.

Für kurze, stark belastete, auf Biegung beanspruchte Querschnitte ist die Schubbeanspruchung eine maßgebende Bemessungsgröße.

3.5 Scherfestigkeit

Die Scherfestigkeit des Holzes ist relativ gering ($> 1/5$ der Druckfestigkeit parallel zur Faser bzw. $1/10$ der Zugfestigkeit parallel zur Faser – s. Bild 19). Sie wird beeinflusst durch die Holzfeuchte, die Festigkeit des Frühholzes, durch die Schwindrisse, die Lage der Jahrringe zur Scherfuge und die Rohdichte.

Allgemein steigt die Scherfestigkeit

- mit steigender Rohdichte
- mit sinkender Holzfeuchte
- bis die Scherfläche die Jahrringe unter 45° schneidet (Maximum bei 45°).

Die Scherfestigkeit kann bei Schwindrissen, die am Ende von stabförmigen Holzteilen in unmittelbarer Nähe von Scherfugen liegen, erheblich gemindert und bei kurzen Scherfugen oft fast ganz aufgehoben sein. Aus diesem Grunde gilt:

Bei allen auf Abscheren beanspruchten Bauteilen ist besonders auf Risse im Vorholz zu achten.

Die Scherfestigkeit nimmt mit der Länge der Scherfuge ab, da die Spannungsverteilung über die Scherlänge ungleichmäßig ist.

3.6 Festigkeitssortierung

Holz muss sortiert werden, um die Schwankungen der festigkeitsbestimmenden Eigenschaften einzugrenzen. Dies erfolgt traditionell seit 1939 nach visuellen Kriterien gemäß DIN 4074, Teil 1 und Teil 5. Seit 1989 erlaubt die Normfassung der DIN 4074 auch die Sortierung mit maschinellen Verfahren (die Zertifizierung und Überwachung der Maschinen erfolgt nach DIN 4074, Teil 3 und Teil 4). Gerade die maschinellen Verfahren verfügen über eine bessere Trennschärfe bei der Sortierung, was zu einer zuverlässigeren Festigkeitssortierung führt (s. auch [14]). Die charakteristischen Festigkeitswerte sind bei maschineller Sortierung wesentlich höher (vergleiche Sortierklasse S13 mit $f_{t,0,k} = 17,7 \text{ N/mm}^2$ in Bild 23 mit den Festigkeitsklassen MS13 mit $f_{t,0,k} = 22,9 \text{ N/mm}^2$ und MS17 mit $f_{t,0,k} = 30,6 \text{ N/mm}^2$ in Bild 24). Durch die maschinelle Sortierung ist die Ausbeute von Hölzern höherer Güte (z. B. MS13 und MS17 in Bild 24) wesentlich höher (im Vergleich dazu S10 in Bild 23).

3.7 Erdbebenbeanspruchung

Der **elastische Baustoff Holz**, Rahmenkonstruktionen und die auf Zug und Biegung beanspruchbaren Verbindungen lassen Holzkonstruktionen starke bis stärkste Erschütte-

rungen überstehen. Dies ist in vielen Erdbebengebieten ein großer Vorteil:

Richtig konstruierte Holzkonstruktionen haben sich als erdbebensicher erwiesen.

So haben Fertighäuser aus Holz Erdbeben, z. B. in Jugoslawien und Japan, ohne Schaden überstanden. Diese gute Eigenschaft hat sich auch als günstig bei nachträglichen technologischen Einbauten in Holzkonstruktionen erwiesen, die diese in Schwingungen versetzen (z. B. Einbau von Förderbändern). Dies gilt jedoch nicht bei genagelten Konstruktionen.

3.8 Dauerfestigkeit

Die Dauerfestigkeit von Holz unterliegt, unabhängig von

- der Holzart
- der Holzfeuchte und
- dem Spannungszustand

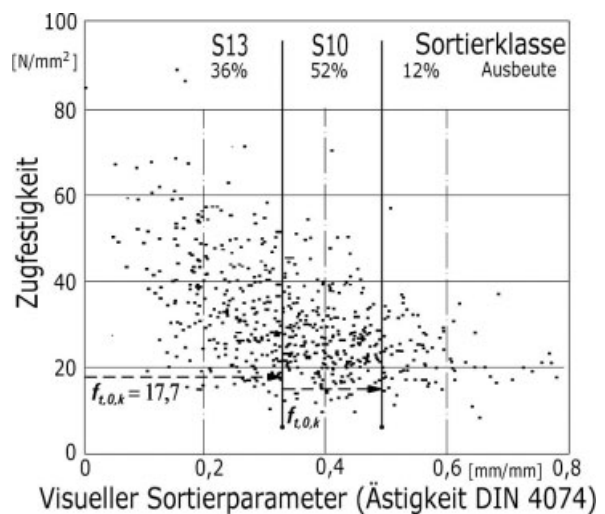


Bild 23. Ausbeute und charakteristische Zugfestigkeit bei visueller Sortierung nach [14]

Fig. 23. Yield and characteristic values of tension strength by visual sorting of timber

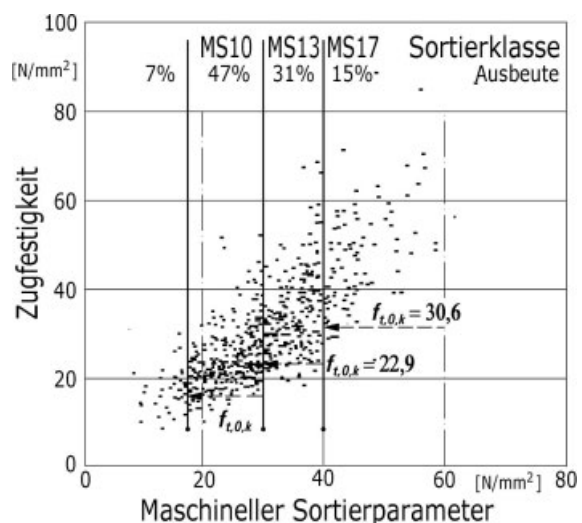


Bild 24. Ausbeute und charakteristische Zugfestigkeit bei maschineller Sortierung nach [14]

Fig. 24. Yield and characteristic values of tension strength by machine sorting of timber

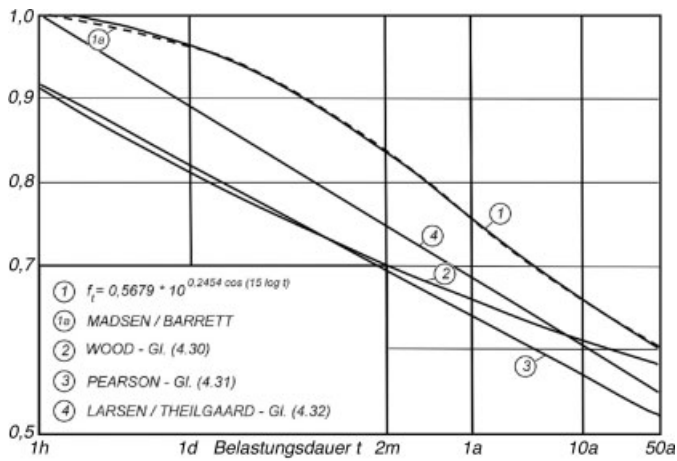


Bild 25. Verlauf der Festigkeit in Abhängigkeit der Lastwirkungsdauer (aus [16])

Fig. 25. Duration of load effects in timber

einer Gesetzmäßigkeit, dargestellt durch die Funktion σ (lg t).

Dieser Zusammenhang wurde an fehlerfreien Proben ermittelt, s. Kurve 2 in Bild 25. Diese Kurve lag bisher der DIN 1052:1988/1996 zugrunde. An fehlerbehafteten Proben wurde bisher ein nicht so signifikanter Einfluss langdauernder Belastungen festgestellt. Neuere Untersuchungen zeigt Bild 25 (s. Kurve 1 und 1a in Bild 25). Bei der Bemessung nach DIN 1052:2004 orientiert man sich jetzt an Kurve 1 in Bild 25.

Literatur

[1] Lißner, Felkel, Hemmer, Radovic, Rug, Steinmetz: DIN 1052 Praxishandbuch Holzbau (BDZ., Hrsg), Beuth- und WEKA-Verlag, Berlin/Augsburg 2005.

[2] Rug, W., Mönck, W.: Holzbau; 15. Auflage, Verlag Bauwesen, Berlin 2007; (www.holzbau-statik.de).

[3] Werner, G., Zimmer, K.: Holzbau, Teile 1 und 2; 3. Auflage, neubearbeitet von Zimmer, K. und Lißner, K., Springer Verlag Berlin, Heidelberg 2004/2005.

[4] Blaß, Ehlbeck, Kreuzinger, Steck: Erläuterungen zu DIN 1052:2004-08, DGfH, München 2004.

[5] Kollmann, F.: Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe, Berlin 1951.

[6] Glos, Grosser, Radovic, Rug: Holz als konstruktiver Baustoff, Informationsdienst Holz, Bonn 2007 (in Vorbereitung).

[7] Stoy, W.: Der Holzbau, Berlin 1952.

[8] Schaechterle, K.: Die vorläufigen Bestimmungen für Holztragwerke (BH) der Deutschen Reichsbahngesellschaft, Bautechnik (1927) H. 2, S. 21–23, H. 7, S. 84–87.

[9] Kersten, C.: Freitragende Holzbauten, Berlin 1921.

[10] Dutko, P.: Drevene Konstrukcie (Holzkonstruktionen), Bratislava 1976.

[11] Lißner, K., Rug, W.: Holzbausanieerung, Berlin 2000.

[12] Glos, P., Gamm, A.: Untersuchung zur Festigkeit von Fichten-Bauholz nach Schädlingsbefall infolge Waldschäden, Forschungsbericht, TU München 1987.

[13] Suenson, E.: Zulässiger Druck auf Querholz, Holz als Roh- und Werkstoff (1938), H. 6, S. 213–217.

[14] Glos, P., Diebold, R.: Maschinelle Sortierung DIN 4074 zugelassen, Mikado (1994) H. 7–8, S. 79–82.

[15] Lang, G.: Das Holz als Baustoff, Wiesbaden 1915.

[16] Steck, G.: Die Zuverlässigkeit des Vollholzbalkens unter reiner Biegung, Dissertation, Universität Karlsruhe, 1982.

[17] Gehri, E.: Einführung in die Norm SIA 164 (1981) Holzbau, Publikation Nr. 81-1, ETH Zürich 1981.

[18] Lohmann, U.: Holzhandbuch, 4. Auflage, Stuttgart 1990.

Autoren dieses Beitrages:

Dr.-Ing. Karin Lißner, Ingenieurbüro Lißner, Forststraße 35, 01099 Dresden
 Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Rug, Ingenieurbüro Prof. Rug, Wilhelmstraße 25, 19322 Wittenberge
 Prof. Dipl.-Ing. Dieter Steinmetz, SUS-Ingenieure GmbH, Pforzheimer Straße 53, 76275 Ettlingen