

1. PHYSIKALISCHE EIGENSCHAFTEN DES HOLZES

1.1. DIE DICHTEN DES HOLZES

Im Rahmen der physikalischen Eigenschaften des Holzes kommt dem Begriff „*Dichte*“ eine besondere Bedeutung zu. Es gibt eine enge Korrelation zwischen Dichte und:

- Festigkeitseigenschaften des Holzes
- Brennwert des Holzes
- Ausbeute in der Holzindustrie
- Holzernte- und Transportkosten

Die Dichte eines Stoffes ist der Quotient aus der Masse (m) und dem Volumen (V)

$$\text{Dichte } (\rho) = \text{Masse (m)} / \text{Volumen (V)}$$

Da Holz seine Masse mit wechselndem Feuchtigkeitsgehalt und unterhalb des Sättigungsbereiches auch sein Volumen ändert, ist der Zustand des Holzes von Bedeutung und stets anzugeben.

Entsprechend werden folgende Dichtebegriffe unterschieden:

Begriff	Definition	Einheit
Reindichte (ρ_h)	Masse pro Festsubstanz ohne Poren Feuchtigkeitsgehalt 0%	g/cm ³
Rohdichte (ρ_u)	Masse pro Volumen bei einem Feuchtigkeitsgehalt u%	g/cm ³
Darrdichte (ρ_o)	Masse pro Volumen Feuchtigkeitsgehalt 0%	g/cm ³
Raumdichte (R)	Masse ohne Wasser pro Volumen mit Wasser	kg/m ³

Baumart	Darrdichte (ρ_o) Mittelwerte g/cm ³
Balsa	0,13
Fichte	0,43
Douglasie	0,47
Eiche	0,64
Buche	0,66
Hainbuche	0,79
Pockholz	1,23

1.2. HOLZ UND WASSER

Holz ist ein poriger Körper, der im natürlichen Zustand stets Wasser enthält. Der Wassergehalt ist jedoch sehr stark wechselnd, denn er ist:

- holartenspezifisch
- unterschiedlich von Baum zu Baum
- variabel nach der Fällung und Aufbereitung.

Der Wassergehalt hat eine entscheidende Einflußgröße auf:

- Holzdichte
- Holzgewicht
- Heizwert
- Festigkeitseigenschaften
- Elektrische Eigenschaften
- Dauerhaftigkeit.

Die Feuchte des Holzes kann unterschiedlich ausgedrückt werden. Man unterscheidet:

Begriff	Definition	Formel	Einheit
Feuchtigkeitsgehalt F_0	Gewichtsunterschiede zwischen feuchter (m_u) und trockener Holzprobe (m_0) bezogen auf das Gewicht der trockenen Holzprobe	$F_0 = (m_u - m_0) / m_0 * 100$	%
Wassergehalt F_U	Gewichtsunterschiede zwischen feuchter (m_u) und trockener Holzprobe (m_0) bezogen auf das Gewicht der feuchten Holzprobe	$F_U = (m_u - m_0) / m_u * 100$	%
Trockengehalt T	Quotient aus dem Gewicht der Trockensubstanz (m_0) und Gesamtgewicht (m_u) (inkl. Wasser) in Prozent, also wird auch hier vor und nach dem Trocknen gewogen; die Ergebnisse werden dividiert.	$T = m_0 / m_u * 100$	%

Je nach Feuchtigkeitsgehalt wird der Zustand des Holzes mit folgenden Begriffen beschrieben:

Begriff	Erklärung
waldfrisch	Feuchtigkeitsgehalt des Holzes unmittelbar nach dem Einschlag
waldtrocken	unbestimmter Zustand zwischen waldfrisch und lufttrocken
lufttrocken (lutro)	12 % bis 15 % Holzfeuchte, Wert ändert sich je nach Luftfeuchtigkeit
absolut trocken (atro)	0% Holzfeuchte

1.2.1. QUELLEN UND SCHWINDEN

Das Holz ändert infolge wechselnder Holzfeuchte sein Volumen. Holz **arbeitet** also.

Die Einlagerung von Wasser in die Zellwandsubstanz nennt man **Quellung**.

Das Entweichen dieses dort eingelagerten Wassers nennt man **Schwindung**.

Schwindmaße sind nach den drei folgenden Schnittrichtungen ungleich groß, was die Holzverwendung ganz erheblich stört. Dieses Phänomen nennt man **Anisotropie des Holzes**. Je nach Raumrichtung sind die Schwindmaße unterschiedlich im Verhältnis:

Schwindung	Verhältnis
Längsschwindmaß	1
Radialschwindmaß	10
Tangentialschwindmaß	20

Quellen und Schwinden bedeutet nicht nur eine Vergrößerung oder Verkleinerung des Holzkörpers an sich, sondern auch eine Veränderung der Form aufgrund unterschiedlicher Schwindmaße. Während der Trocknung arbeitet das Holz, indem es sich krümmt, wirft, schüsselt oder gar Risse bildet.

1.3. THERMISCHE EIGENSCHAFTEN

- Wärmeleitfähigkeit

Die Wärmeleitfähigkeit wird ausgedrückt in kJ. Es ist die Wärmemenge, die durch einen Würfel von 1m³ in 1 Stunde bei einem Temperaturunterschied von 1°C hindurchgeht.

<i>Beurteilung</i>	<i>Vergleichswerte in kJ</i>
Infolge seines porigen Gefüges leitet Holz Wärme schlecht (guter Isolator). Die Wärmeleitfähigkeit hängt ab von: • Rohdichte • Feuchte • Temperatur • Richtung des Wärmestroms	• Holz 0,42 • Wasser 17 • Glas 19 • Eisen 1400 • Aluminium: 17000

- Spezifische Wärme:

Die spezifische Wärme ist die Wärmemenge, die nötig ist, um 1kg eines Stoffes um 1°C zu erhöhen. Die Einheit ist kJ/kg.

<i>Beurteilung</i>	<i>Vergleichswerte in kJ/kg</i>
Die spezifische Wärme des Holzes wird vor allem durch die Holzfeuchte beeinflusst. Die spezifische Wärme steigt mit der Feuchte des Holzes.	• Eisen ca. 200 • Glas ca. 800 • Bausteine ca. 850 • Holz (darrtrocken) ca. 1300 • Wasser 4200

- Wärmedehnung:

Die Wärmedehnung ist die Zunahme der Längen- und Volumeneinheit eines Körpers bezogen auf die Ausgangslänge (das Ausgangsvolumen) bei einer Temperaturänderung von 1°C.

<i>Beurteilung</i>	<i>Vergleichswerte</i>
Die Wärmedehnung bei Holz ist sehr gering. Da Holz bei Erwärmung trocknet, wird die thermische Ausdehnung von der gegensätzlich wirkenden Schwindung überlagert.	Von besonderer Bedeutung im Brandfall: Holzkonstruktionen verbiegen und verziehen sich nicht, während Stahl- und Stahlbetonkonstruktionen bei Temperaturen von 500°C ihre Formbeständigkeit verlieren und zusammenbrechen. Ebenfalls geringe Wärmedehnung haben Glas und Porzellan.

- Heizwert des Holzes

Der Heizwert des Holzes ist die Wärmemenge, die bei vollkommener Verbrennung eines Stoffes frei wird. Die Einheit ist in kJ/kg.

<i>Beurteilung</i>	<i>Vergleichswerte</i>
Der durchschnittliche Heizwert absolut trockenen Holzes beträgt 18000 kJ/kg. Er ist bei den meisten Holzarten gleich, bei Nadelhölzern liegt er u.U. wegen des Harzgehaltes etwas höher. Der Brennwert ist abhängig von der Holzfeuchte.	• Holz bei F_U 13000 • Holz bei F_0 19000 • Briketts 20000 • Koks 30000 • Heizöl 42000

Heizwerte verschiedener Holzarten (absolut trockenes Holz):

<i>Holzarten</i>	<i>Heizwert in kJ/kg</i>
Douglasie	20004
Kiefer	19820
Eiche	19370
Fichte	19370
Buche	18710
Weide	18480

1.4. AKUSTISCHE EIGENSCHAFTEN DES HOLZES

Das besondere Verhalten des Holzes gegenüber Schallwellen wird in zwei ganz unterschiedlichen Bereichen deutlich:

Bau von Musikinstrumenten	 Abb. 1: Bau von Musikinstrumenten
Schalldämmung im Bauwesen	 Abb. 2: Schalldämmung im Bauwesen

Wegen der Komplexität dieses Themas wird dieser Punkt in diesem Kapitel nicht weiter vertieft.

1.5. ELEKTRISCHE EIGENSCHAFTEN DES HOLZES

Die elektrische Leitfähigkeit des darrtrockenen Holzes ist außerordentlich gering, es besitzt hervorragende Isolierungseigenschaften. Die elektrische Leitfähigkeit des Holzes steigt jedoch mit:

- zunehmender Rohdichte
- zunehmender Holzfeuchte.

Der Einfluß der Feuchtigkeit läßt sich folgendermaßen zusammenfassen:

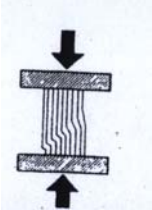
Feuchtigkeitsgehalt des Holzes	Elektrische Leitfähigkeit
Darrtrockenes Holz (atro)	guter Isolator
Lufttrockenes Holz (lutro)	Leitfähigkeit zwischen einem Isolator und einem Metall
Maximaler Wassergehalt	kein nennenswertes Isolationsvermögen

2. MECHANISCHE EIGENSCHAFTEN

Das Verhalten von Holz gegenüber äußeren Belastungen wird gekennzeichnet durch seine mechanischen Eigenschaften, insbesondere seine Widerstandskraft gegenüber Formveränderungen und Trennung. Da Holz sich im Verhältnis zu anderen Werkstoffen unter Berücksichtigung seines Gewichtes sehr günstig verhält, eignet es sich hervorragend als Bau- und Werkstoff.

2.1. DRUCK- UND KNICKFESTIGKEIT

Die Druckfestigkeit ist der Widerstand des Holzes gegenüber Zerstörung durch Druck parallel bzw. quer zur Faserrichtung.

Darstellung	Verhalten
 Abb. 3: Prüfverfahren der Druckfestigkeit	• Mit sinkender Holzfeuchte steigt die Druckfestigkeit. • Wuchsunregelmäßigkeiten und Äste senken die Druckfestigkeit. • Die Querdruckfestigkeit der Hölzer ist 5-10x mal kleiner als Längsdruckfestigkeit. Bedeutung: z.B. Verwendung von Grubenholzstempel.

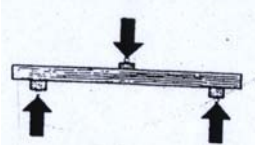
2.2. ZUGFESTIGKEIT

Die Zugfestigkeit ist der Widerstand gegenüber einer ziehend angreifenden Kraft, die versucht den Körper zu verlängern oder zu zerreißen.

Darstellung	Verhalten
 Abb. 4: Prüfverfahren der Zugfestigkeit	• Die Beanspruchung auf Zug ist bei Holz relativ selten. • Die Längszugfestigkeit ist 25-30x höher als die Querszugfestigkeit. • Wuchsabweichungen (ungleichmäßiger Jahrringaufbau, Drehwuchs, Astigkeit usw.) senken die Zugfestigkeit.

2.3. BIEGEFESTIGKEIT

Die Biegefestigkeit ist der Widerstand eines Holzkörpers gegen das Durchbiegen oder Zerbrechen, wobei die äußeren Kräfte senkrecht zur Längsrichtung wirken. Druck- und Zugspannung wirken zusammen. Die Holzfasern an der oberen Seite des Tragbalkens werden zusammengepresst und verkürzt, die an der unteren Seite gedehnt. Die Fasern im mittleren Teil des Balkens behalten ihre ursprüngliche Länge.

Darstellung	Verhalten
 Abb. 5: Prüfverfahren der Biegefestigkeit	Der Widerstand gegen Durchbiegung ist bei hochkant gestellten Balken höher als bei flachkant gestellten Balken.

2.4. SCHERFESTIGKEIT

Die Scherfestigkeit ist der Widerstand eines Körpers gegenüber einer von außen einwirkenden Kraft, die zwei fest miteinander verbundene Teile des Körpers gegeneinander zu verschieben oder abzuscheren sucht.

Darstellung	Verhalten
 Abb. 6: Prüfverfahren der Scherfestigkeit	- Steigende Scherfestigkeit mit steigender Rohdichte - Steigende Scherfestigkeit mit sinkender Holzfeuchte

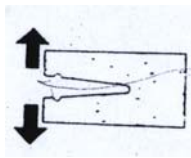
2.5. TORSIONSFESTIGKEIT (VERDREHFESTIGKEIT)

Die Torsionsfestigkeit ist der Widerstand, den ein Stab einem Bruch durch Verdrehen entgegensetzt.

Darstellung	Verhalten
 Abb. 7: Prüfverfahren der Torsionsfestigkeit	• Torsion in Faserrichtung führt zu einem Aufspalten der Stäbe in Längsrichtung. • Eine sehr hohe Torsionsfähigkeit hat die Esche.

2.6. SPALTFESTIGKEIT

Die Spaltfestigkeit ist der Widerstand, den das Holz seiner Auftrennung in Teile entgegensetzt.

Darstellung	Verhalten
 Abb. 8: Prüfverfahren der Spaltfestigkeit	• Die Spaltfestigkeit ist tangential größer als radial. • Anzahl, Breite und Höhe der Holzstrahlen senken die Spaltfestigkeit. • Äste, Drehwuchs, verschlungener Faserverlauf erhöhen die Spaltfestigkeit- Bedeutung: sehr wichtige Eigenschaft zur Zeit der Schindelherstellung sehr leicht spaltbar: Fichte, Tanne leicht spaltbar: Buche, Kiefer schwer spaltbar: Eiche, Esche sehr schwer spaltbar: Ulme, Hainbuche

2.7. SCHLAGBIEGEFESTIGKEIT

Die Schlagbiegefestigkeit kennzeichnet den Widerstand gegen schlagartige Beanspruchung. Holz wird im Gebrauch meist durch schlagartige Überbeanspruchung zerstört z.B. bei Sturmbruch, Fällungsschäden.

Verhalten
• zähes Holz hat eine hohe Schlagbiegefestigkeit z.B. Akazie, Roteiche, Esche, Hickory • sprödes Holz hat eine niedrigere Schlagbiegefestigkeit z.B. Fichte Bedeutung: wichtige Größe bei der Herstellung von Gerätestiele. Beispiele gegliedert nach steigender Schlagbiegefestigkeit: Kiefer<Fichte<Lärche<Pappel<Eiche<Esche<Buche<Robinie

2.8. HÄRTE UND ABRIEBFESTIGKEIT

Die Härte ist der Widerstand, den ein Werkstoff dem Eindringen eines härteren Prüfkörpers entgegensetzt. Die für das Eindringen benötigte Kraft wird in N/cm^2 ausgedrückt.

Abriebfestigkeit ist der Widerstand, den der Prüfkörper regelmäßigem Befahren, Begehen oder Schleifen entgegensetzt. Gemessen wird der Gewichts- oder Volumenverlust des Prüfkörpers.

Darstellung	Verhalten
 Abb. 9: Gerät zur Härteermittlung	• Die Härte sinkt mit steigender Holzfeuchte • Die Härte in Faserrichtung ist doppelt so groß wie die Härte quer zur Faserrichtung Bedeutung: Der Abnutzungswiderstand bzw. die Abriebfestigkeit des Holzes ist z.B. bei Holzfußböden (Parkett), bei Ladeflächen von Wagons und Lkw's von Bedeutung. Beispiel gegliedert nach steigendem Abnutzungswiderstand: Robinie<Buche<Esche<Eiche<Erle<Kiefer<Lärche<Fichte