

*Universität der Bundeswehr München*

Institut für **Werkstoffe**  
**des Bauwesens**

# Bauchemie und Werkstoffe des Bauwesens Holz

Univ.-Prof. Dr.-Ing. K.-Ch. Thienel

Wintertrimester 2023

# Inhaltsverzeichnis

	1
1 Allgemeines / Einleitung	4
2 Aufbau des Holzes	7
2.1 Chemische Zusammensetzung [6]	7
2.2 Chemische Bestandteile [6-10]	7
2.2.1 Zellulose	7
2.2.2 Hemizellulosen	7
2.2.3 Lignin	7
2.2.4 Extraktstoffe / Holzinhaltsstoffe	8
2.3 Physikalischer Aufbau des Holzes	8
2.3.1 Makroskopischer Aufbau [8-11]	8
2.3.2 Mikroskopischer Aufbau [8-10, 13]	11
3 Holzarten und Sorten [1, 3, 14]	14
3.1 Europäische Nadelhölzer	14
3.2 Europäische Laubhölzer	14
3.3 Außereuropäische Laubhölzer	15
3.4 Außereuropäische Nadelhölzer	15
3.5 Holzfehler und Sortiermerkmale [7, 9, 11, 16]	16
3.6 Holzqualitäten, Lieferformen und Sortierklassen [6, 8, 17]	17
4 Physikalische Eigenschaften [11, 16, 22]	21
4.1 Dichte und Rohdichte	21
4.2 Feuchtigkeitsgehalt	22
4.2.1 Schwinden und Quellen ("Arbeiten" des Holzes)	24
4.2.2 Thermische Eigenschaften	25
4.2.3 Verhalten bei höheren Temperaturen / Brandverhalten	25
4.3 Mechanische Eigenschaften	27
4.3.1 Festigkeiten	27
4.3.2 Dauerfestigkeit	29
4.4 Härte	30
4.5 Dauerhaftigkeit	30
4.5.1 Widerstand gegen mechanische Abnutzung	30
4.5.2 Widerstand gegen chemische Angriffe	30
4.5.3 Widerstand gegen Witterungseinfluss	30
5 Holzwerkstoffe [6, 14, 22]	32
5.1 Brettschichtholz	32
5.2 Konstruktionsvollholz und Balkenschichtholz (BASH)	34
5.3 Lagenholz	34
5.3.1 Multiplan-Platten	35
5.3.2 Sperrholz	35
5.4 Spanholz / Spanplatten	37
5.4.1 Flachpressplatten	37
5.4.2 Strangpressplatten	37
5.4.3 OSB-Platten	37
5.5 Holzfaserplatten	38
5.6 Holzwolleleichtbauplatten	39
5.7 Thermoholz (TMT) [27, 28]	39
6 Holzschädlinge [6, 22, 29]	41
6.1 Pilze	41
6.2 Insekten	43
7 Holzschutz [22]	44

7.1	Baulicher Holzschutz	45
7.2	Chemischer Holzschutz nach DIN 68800-3 [33]	46
8	Literatur	51

# 1 Allgemeines / Einleitung

Die Bedeutung der Wälder als wertvolle Ökosysteme für die Erhaltung der natürlichen Lebensgrundlagen der Menschheit ist unbestritten. Ihre Rolle bei der Reduzierung des Treibhauseffekts ist anerkannt. Die Notwendigkeit einer nachhaltigen, naturverträglichen und vielfältigen Holznutzung ist augenscheinlich: 3,3 Mrd. m<sup>3</sup> Holz werden jährlich weltweit genutzt. Etwa die Hälfte davon ist unersetzlicher Brennstoff, vor allem in den Entwicklungsländern. Die andere Hälfte wird vorwiegend in Form von hochwertigen Produkten für das Bauen und Wohnen sowie als Papierrohstoff genutzt. Holz ist also als nachwachsender Roh-, Bau- und Werkstoff sowie Energieträger unverzichtbar.

In Deutschland liegt der durchschnittliche Bestand bei 330 m<sup>3</sup> je Hektar Wald [1]. Der Holzzuwachs beträgt 11,2 m<sup>3</sup> je Hektar und Jahr oder 121,6 Mio. m<sup>3</sup> pro Jahr. In Deutschland werden derzeit durchschnittlich 70 Millionen m<sup>3</sup> Rohholz (Erntefestmeter ohne Rinde) pro Jahr genutzt [2]. Dies sind 87 % des Zuwachses [3]. Damit liegt die laufende Holznutzung unter dem nachhaltig nutzbaren Rohholzpotenzial. Es gibt deutliche Unterschiede ja nach Baumart (Bild 1) [4]. Perspektivisch wird der Zuwachs zurückgehen (Bild 2) [4]. Auf die energetische Nutzung entfallen aktuell gut 30 % des Rohholzverbrauchs in Deutschland [2].

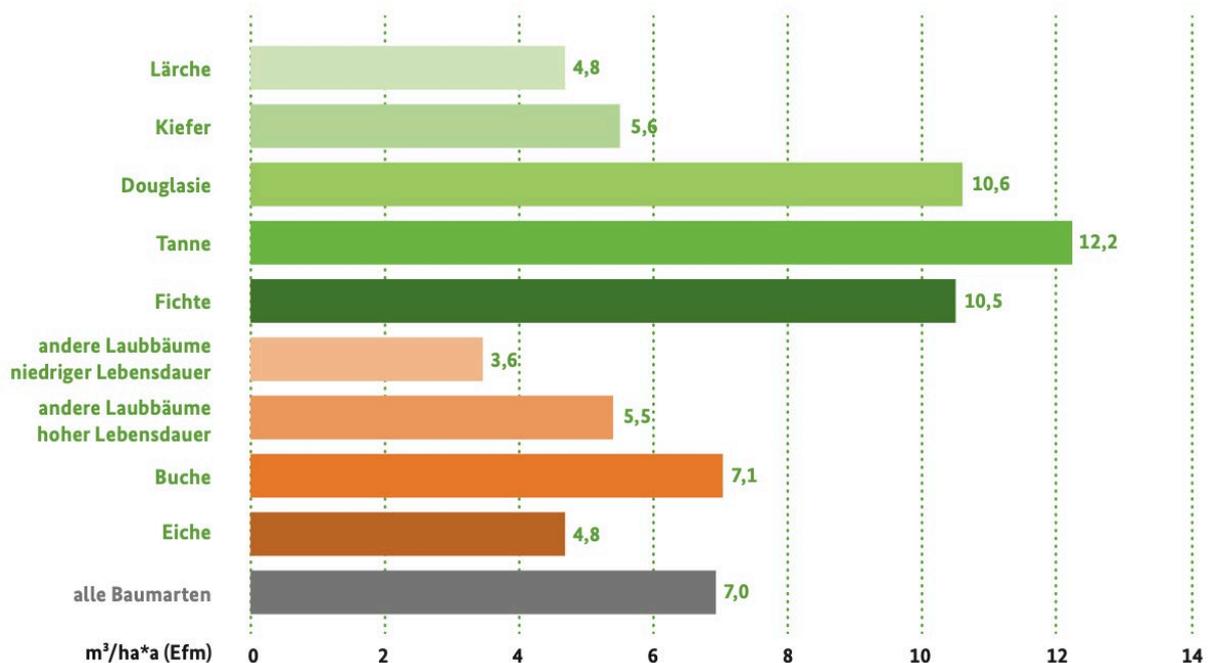


Bild 1: Mittleres Rohholzpotenzial der Jahre 2013–2052 nach Baumartengruppe [4]

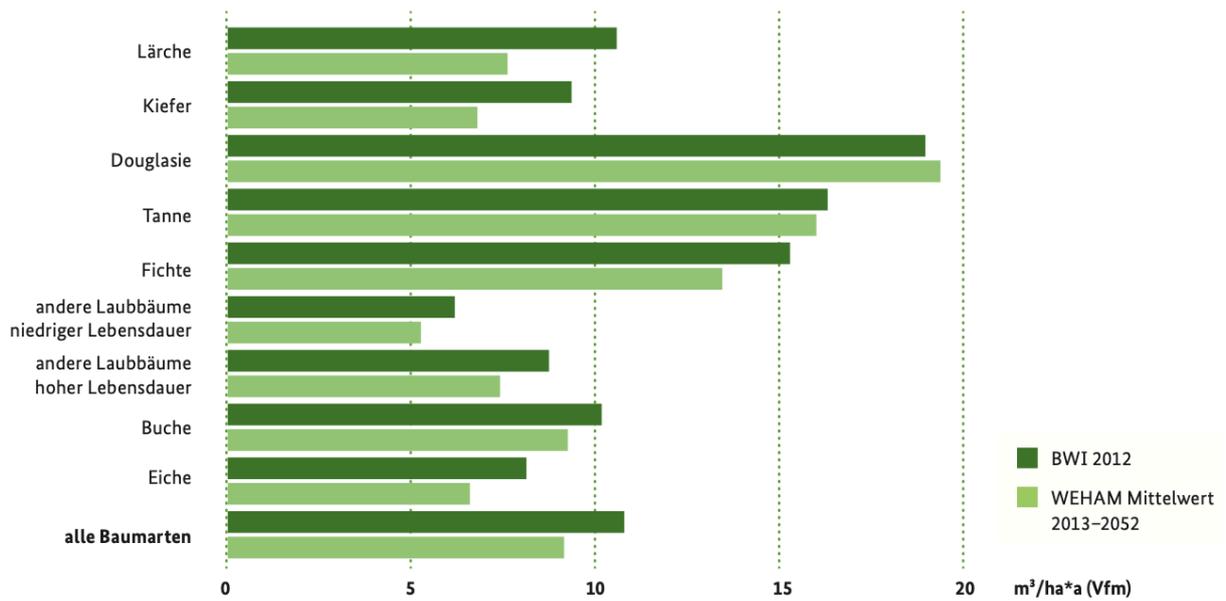


Bild 2: Mittlerer Zuwachs der Jahre 2013–2052 und der BWI 2012 (für die Jahre 2002–2012) nach Baumartengruppen im Hauptbestand [4]

Die Verwendung des Holzeinschlags verteilt sich auf verschiedene Bereiche (Bild 3). Ein Großteil geht in die Papierindustrie, die Möbelindustrie und die Bauindustrie. Der Baustoff Holz weist zahlreiche Vorteile wie vor allem die einfache Bearbeitbarkeit auf, die seine große Verbreitung erklären. Dagegen stehen Nachteile, wie z.B. organische Zersetzbarkeit. Tabelle 1 fasst einige Vor- und Nachteile des Baustoffs Holz zusammen.

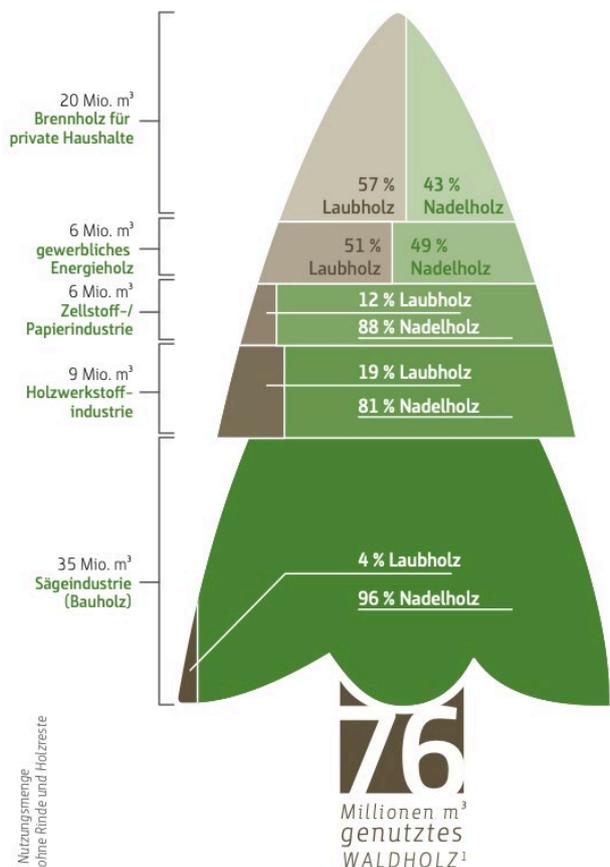


Bild 3: Holzwirtschaft in Deutschland - Verwendung des Holzes [5]

Tabelle 1: Vorteile und Nachteile von Holz

<b>Vorteile</b>	<b>Nachteile</b>
geringes Gewicht hohe Festigkeit leicht zu bearbeiten vielfältiger Einsatz durch Leimbauweise (Spanplatten, Binder)	Schwinden und Quellen (abhängig vom Feuchtegehalt) Zerstörung durch Brand und Schädlinge ungleichmäßiges Gefüge durch Holzwuchs (Fehler)

## 2 Aufbau des Holzes

### 2.1 Chemische Zusammensetzung [6]

Die Elementaranalyse zeigt bei verschiedenen Holzarten nur geringe Unterschiede im Verhältnis der einzelnen Elemente zueinander. In Tabelle 2 sind die Bestandteile des Holzes mit ihren entsprechenden Anteilen angegeben.

Tabelle 2: Elementaranalyse des Holzes

Bestandteil	Wertebereich [M.-%]
Kohlenstoff	48 - 50
Sauerstoff	43 - 45
Wasserstoff	5 - 6
Stickstoff	0,04 - 0,26
Mineralsubstanzen (Asche)	0,2 - 0,6

### 2.2 Chemische Bestandteile [6-10]

Die chemischen Bestandteile unterscheiden sich im Gegensatz zur Elementaranalyse bei den verschiedenen Holzarten, dem Alter, dem Standort und Wachstum des Holzes recht deutlich. Die unterschiedlichen Eigenschaften des Holzes sind auf deren unterschiedliche chemische Zusammensetzung zurückzuführen. In Tabelle 3 sind die chemischen Bestandteile des Holzes mit ihren entsprechenden Anteilen angegeben. Die Gerüstbausteine der Holzzellwände sind neben der Zellulose, die Hemizellulose (Holzpolyose) sowie das Lignin.

Tabelle 3: Chemische Bestandteile des Holzes

Hauptbestandteile	Zellulose	40 - 60 M.-%
	Hemizellulose (Holzpolyosen)	15 - 20 M.-%
	Lignin	15 - 40 M.-%
Holzinhaltstoffe / Extraktstoffe	Fette, Öle, Harze, Wachse, Mineralstoffe	2 - 7 M.-%

#### 2.2.1 Zellulose

Die Zellulose ist ein wasserunlösliches Polysaccharid und bildet als Gerüstsubstanz den Hauptbestandteil der pflanzlichen Zellwände. Zellulose bildet die Zellwandsubstanz des Holzes und ist somit in erster Linie für die Zugfestigkeit des Holzes maßgebend.

#### 2.2.2 Hemizellulosen

Hemizellulosen (auch Holzpolyosen) haben im Gegensatz zur Zellulose einen uneinheitlichen Aufbau. Hemizellulosen festigen gemeinsam mit Lignin das Zellulosegerüst der Zellwände und dienen den Pflanzen teils als Gerüststoff, teils als Vorratsstoff. Sie werden von Schädlingen leicht angegriffen. Hemizellulose und Zellulose zusammen werden teilweise als Holozellulose bezeichnet [9].

#### 2.2.3 Lignin

Lignin ist ein Gemisch aromatischer Verbindungen, das nach abgeschlossenem Wachstum der Zellen in das Zellulosegerüst eingelagert wird. Lignin gilt als "Kittsubstanz", die eine

Versteifung, auch Verholzung genannt, der Zellwände bewirkt. Lignin wird für die Druckfestigkeit des Holzes verantwortlich gemacht.

#### 2.2.4 Extraktstoffe / Holzinhaltsstoffe

Neben den genannten Gerüstbausteinen finden sich in weitaus geringerem Umfang noch so genannte Extraktstoffe im Holz - mehr oder weniger lösliche Bestandteile aus den Stoffgruppen der Kohlenhydrate, Proteine, Phenole und Phenylpropane, Terpene, Fette, Alkaloide. Einige Holzarten, vor allem aus dem tropischen Bereich, enthalten giftige Bestandteile. Die Holzinhaltsstoffe (anorganische und organische Inhaltstoffe) beeinflussen und bedingen oft die chemischen, biologischen und physikalischen Eigenschaften. Harze und Fette finden sich in fast allen Holzarten und wirken zusammen mit Gerbstoffen stark konservierend. Gerbstoffreiches Holz (z.B. Eiche) ist deshalb beständiger als gerbstoffarmes oder -freies Holz. Zellulosefasern, Hemizellulose und Lignin bilden zusammen lange Mikrofibrillen von etwa 10 bis 20 nm Durchmesser, aus denen in mehreren Schichten die Zellwände entstehen. Diese Mikrofibrillen bestehen wiederum aus submikroskopischen, stäbchenförmigen kristallinen Bündeln von Zellulosemolekülen ( $\varnothing$  2-4 nm), den Protofibrillen oder Micellen. Zwischen diesen befinden sich feinste Spalten, in die Wassermoleküle eindringen können. Die Zellwände sind dadurch quellfähig aber unlöslich [6].

### 2.3 Physikalischer Aufbau des Holzes

Das Holz des Baumstamms wird in drei Hauptachsen bzw. Schnittrichtungen unterschieden. Der Querschnitt (auch Hirnschnitt genannt) verläuft senkrecht zur Stammachse (Bild 1 links). Direkt durch die Stammachse (Mark) verläuft der Radialschnitt (Bild 1 Mitte), parallel des Marks. Der Radialschnitt wird auch Spiegelschnitt genannt, da er die glänzenden (spiegelnden) Markstrahlen gut erkennen lässt. Ebenso parallel aber neben der Stammachse verläuft der Tangentialschnitt, auch Sehnenschnitt genannt (Bild 1 rechts). Im Tangentialschnitt erscheinen die kegelförmig angeordneten Jahrringe als für Holz typische Fladerung, die als optisch besonders ansprechend gilt.

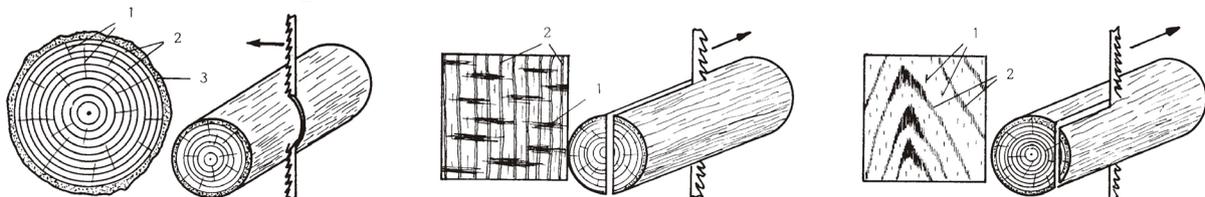


Bild 1: Querschnitt, Radial- und Tangentialschnitt des Holzes [9];  
1) Holzstrahlen, 2) Jahresringe, 3) Rinde

#### 2.3.1 Makroskopischer Aufbau [8-11]

Der makroskopische Aufbau des Holzes kann im Querschnitt mit bloßem Auge an den ringförmigen Schichten (von außen nach innen) unterschieden werden (Bild 2, Bild 3): Rinde (Borke), Bast, Kambium (Wachstumsschicht), Splintholz (jung, oft heller, saftreich und daher leicht verderblich), Kernholz (älter, oft dunkel, saftarm, haltbar), Markröhre mit dem Mark (bei älteren Bäumen oft zusammengeschrumpft).

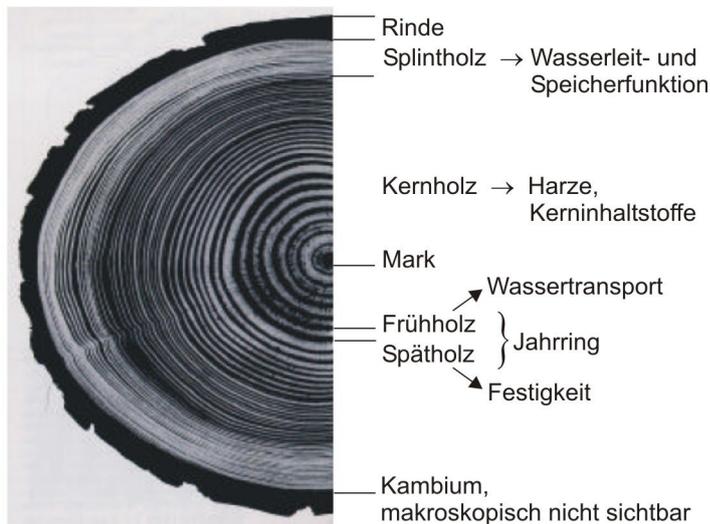


Bild 2: Querschnitt eines Nadelholzstammes

Die Produktionsstätte des Holzes befindet sich im Baum unter der Rinde: Das **Kambium** ist eine mikroskopisch feine Gewebeschicht, die nach innen Holzzellen und nach außen Bastzellen produziert (sekundäres Dickenwachstum). Die jährliche Rhythmik der Kambialaktivität bei Bäumen der gemäßigten Zone führt zur Bildung von **Jahringen** im Holz. Ein Jahring besteht aus Früh- und Spätholz. Da die Wachstumsbedingungen im Frühjahr - zu Beginn der Vegetationsperiode - besonders günstig sind, geht das Wachstum schnell vonstatten und führt zum weniger dichten, helleren und porösen **Frühholz**. Es besteht aus dünnwandigen Zellen mit großen Hohlräumen und dient vorwiegend der Wasserleitung. Im Sommer und Herbst entsteht das **Spätholz**, welches aufgrund des langsameren Wachstums in dieser Jahreszeit härter, dichter und damit dunkler erscheint. Spätholz besteht aus dickwandigen kleinlumigen Zellen, die vorwiegend der Festigung dienen. Die Bildung von Jahringen ist von den Jahreszeiten abhängig und besonders bei Bäumen der nördlichen Hemisphäre zu erkennen. In Bild 3 ist deutlich das Alter des Baumes mit vier Jahren bzw. vier Zuwachszonen zu erkennen. In den Tropen und Subtropen werden im Holz Zuwachszonen gebildet, die weniger deutlich oder gar nicht zu erkennen sind.

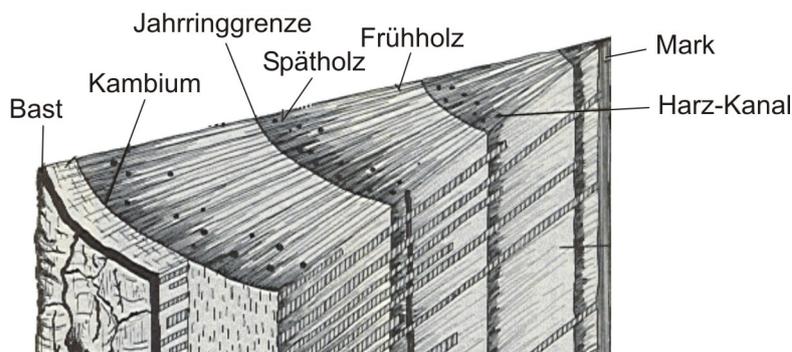


Bild 3: Quer- und Radialschnitt einer vierjährigen Kiefer [12]

Das Holzgrundgewebe ist stets axial orientiert. Eingebettet finden sich die radial orientierten **Mark- oder Holzstrahlen**, die bei einigen Laubhölzern (z.B. Eiche und Buche) schon mit bloßem Auge erkennbar sind. Sie setzen sich bis in den Bast als Baststrahlen fort. Holzstrahlen (Markstrahlen) verlaufen radial und dienen als Speicher und Stoffleitungsgewebe. Die meisten Nadelhölzer und einige Laubhölzer bilden außerdem **Harzkanäle** aus (Bild 3), die parallel zur Stammachse verlaufen. Als Harzkanal werden röhrenförmige, mit Harz angefüllte Gänge im Spätholz bezeichnet. Sie kommen in den meisten Nadelhölzern, aber auch zum Teil bei Tropenhölzern vor.

Den unterschiedlichen Aufbau des Holzes von Nadel- und Laubholz verdeutlichen Bild 4 und Bild 5.

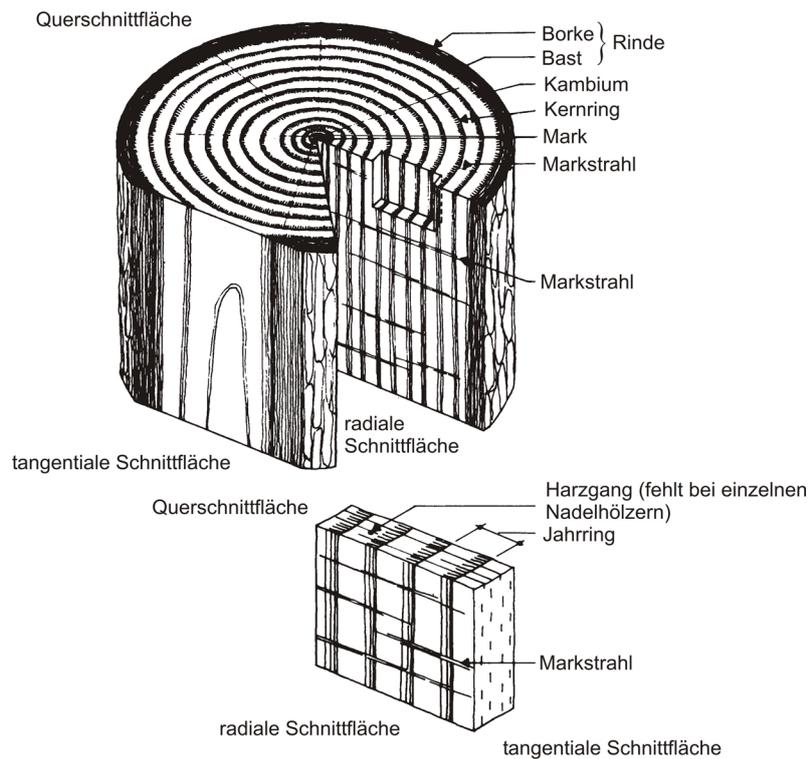


Bild 4: Quer-, Tangential- und Radialschnitt eines Nadelholzbaumes [6]

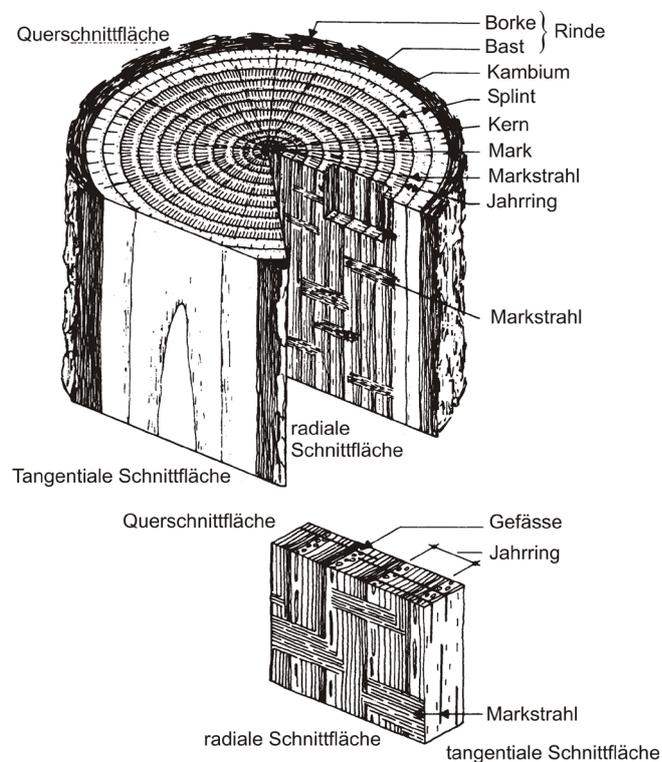
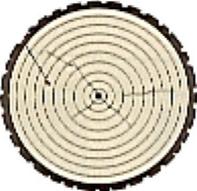
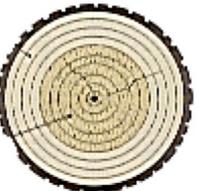


Bild 5: Quer-, Tangential- und Radialschnitt eines Laubholzbaumes [6]

Als **Splintholz** wird die Zone zwischen Kern-/Reifholz und Bast bezeichnet. Es kann auch den gesamten Stammquerschnitt bei sog. Splintholzbäumen einnehmen. Bei diesen Bäumen sind weder Farb- noch Feuchtigkeitsunterschiede über den Querschnitt messbar. Das außenliegende

Splintholz dient am stehenden Stamm der Wasserleitung des nährstoffreichen Wassers von den Wurzeln bis zu den Blättern infolge Kapillarwirkung in den feinen Holzzellen. **Reifholz** (auch Trockenkernholz) unterscheidet sich vom hellen Splint nicht farblich, jedoch ist ein deutlicher Feuchtigkeitsunterschied feststellbar. Reifholz weist außer der Feuchte keine Unterschiede in seinen Eigenschaften gegenüber dem Kernholz auf. Das innen liegende, oft dunklere **Kernholz**, besteht aus abgestorbenen Zellen. Diese Verkernung beginnt, wenn die Splintholzzone die zur Nährstoffversorgung des Baumes notwendige Dicke erreicht hat. Die Holzzellen verlieren ihre Wasser leitende und speichernde Funktion und lagern Holzinhaltstoffe in die abgestorbenen Zellen ein. Von **Kernreifholz** spricht man, wenn sich zwischen trockenem Kern und feuchtem Splint ein Ring trockenes unverfärbtes Holz befindet. In Tabelle 4 sind zu jeder Kategorie Beispiele und eine Abbildung des typischen Querschnittsbildes angegeben.

Tabelle 4: Unterteilung von Bäumen nach Kern-, Splint- und Reifholz [11]

<p><b>Splintholzbaum:</b> keine farbliche oder härtemäßige Unterscheidung zwischen Splintholz und Kernholz</p>		<p>z.B. Ahorn, Espe, Birke, Hainbuche, Erle</p>
<p><b>Reifholzbaum:</b> Das verkernte Reifholz unterscheidet sich farblich kaum vom Splintholz.</p>		<p>z.B. Fichte, Tanne, Linde, Rotbuche, Birnbaum</p>
<p><b>Kernholzbaum:</b> Splint und Kernholz unterscheiden sich klar durch Farbe.</p>		<p>z.B. Kiefer, Lärche, Douglasie, Eibe, Eiche, Nussbaum, Pappel, Robinie</p>
<p><b>Kernreifholzbaum:</b> farblich abgehobener Kern, verkerntes Reifholz, Splintholz</p>		<p>z.B. Rüstler, Esche</p>

### 2.3.2 Mikroskopischer Aufbau [8-10, 13]

Grundbaustein des mikroskopischen Aufbaus des Holzes sind die Holzzellen. Auf die Zellbildung wird im Weiteren hier nicht eingegangen. Nach Erreichen der endgültigen Zellform und Zellgröße setzt das Dickenwachstum (auch Verholzung genannt) ein. Hierbei bilden sich Schichten zur Festigung des Pflanzenkörpers, die vorwiegend aus Hemizellulose und Lignin bestehen (Bild 6). Die Hauptfunktionen der Holzzellen sind Leiten, Stützen und Speichern. Zellverbände gleicher Funktion und gleichen Aufbaus bezeichnet man als Gewebe.

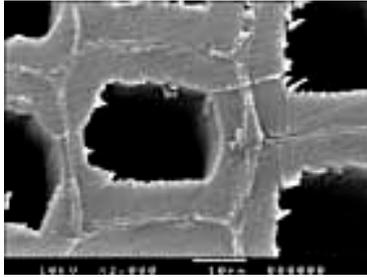


Bild 6: Spätholzzellen im Fichtenholz mit deutlich erkennbarer Mittellamelle und Sekundärwand (Querschnitt unter REM) [13]

**Parenchymzellen** sind in Laub- und Nadelhölzern vorhanden. Sie verlaufen entweder in Stammrichtung axial, sog. Strangparenchymzellen oder radial als Strahlenparenchymzellen, auch als Mark- oder Holzstrahlen bezeichnet. Parenchymzellen dienen der Speicherung von Reservestoffen für die Knospen- und Blütenbildung.

Das entwicklungsgeschichtlich ältere **Nadelholz** (Bild 7) besitzt ein einfaches, axial ausgerichtetes Grundgewebe aus **Tracheiden** mit 3 bis 10 mm Länge. Die schlauchförmigen Tracheiden weisen im Frühholz (Frühholztracheiden) große Hohlräume und relativ dünne Zellwände auf. Diese dienen dem Safttransport. Spätholztracheiden erfüllen mit ihren dicken Zellwänden und geringem Hohlraumgehalt stützende und festigende Funktion. In die Tracheiden eingebettet sind die Holzstrahlen, welche den radialen Transport (Holzstrahltracheiden) zur Versorgung des Kambiums und Speicherungsfunktion (Holzstrahlparenchym) übernehmen. Die Holzstrahlen tragen außerdem zur Quersugfestigkeit des Holzes bei. Der Wassertransport zwischen den Zellen erfolgt über so genannte Tüpfel, die ähnlich wie Ventile zwischen den Tracheiden wirken.

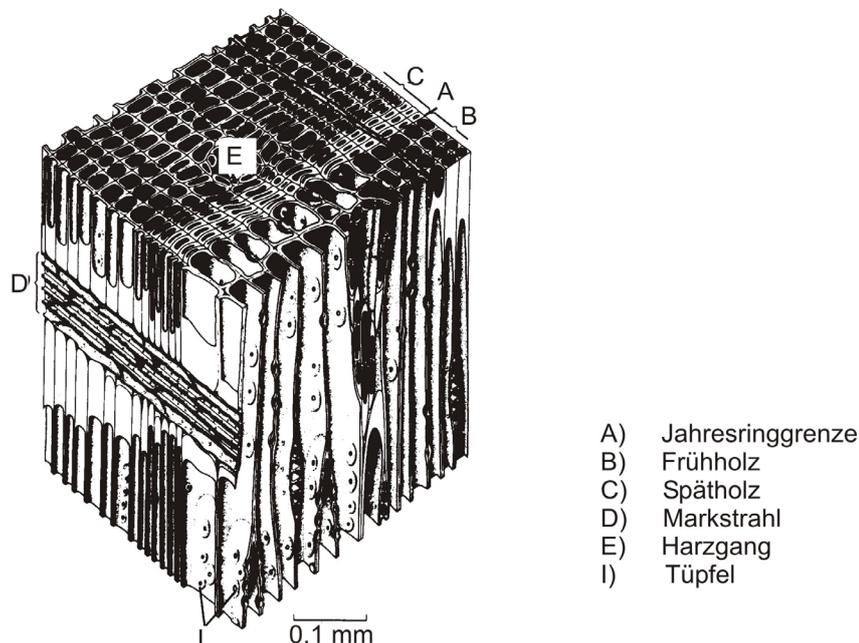


Bild 7: schematische Darstellung von Nadelholz [6]

**Laubhölzer** besitzen neben den Tracheiden röhrenförmige **Gefäße**, auch **Tracheen** oder Poren genannt, die der Saftleitung dienen (Bild 8). Diese Gefäße erreichen im Durchschnitt 10 cm, aber auch bis zu 2 m Länge. Je nach Anordnung der Gefäße (Poren) unterscheidet man **zerstreutporige Hölzer** (z. B. Buche, Birke, Ahorn) und **ringporige Hölzer** (z. B. Eiche, Ulme, Esche). Die Poren der Eiche erreichen einen Durchmesser von bis zu 0,4 mm. Die einzelnen Gefäßglieder sind durch einfache oder leiterförmige Durchbrechungen verbunden. Hartfasern bilden die Hauptmasse des Laubholzes. Sie sind dickwandig, 0,5 bis 1,5 mm lang,

nicht Saft führend und verleihen dem Laubholz als Stützzellen die Festigkeit. Die in Querrichtung verlaufenden **Markstrahlzellen** erreichen bei einigen Arten enorme Breiten und Höhen, so dass sie deutlich die makroskopische Struktur bestimmen (z. B. bei Eiche, Buche).

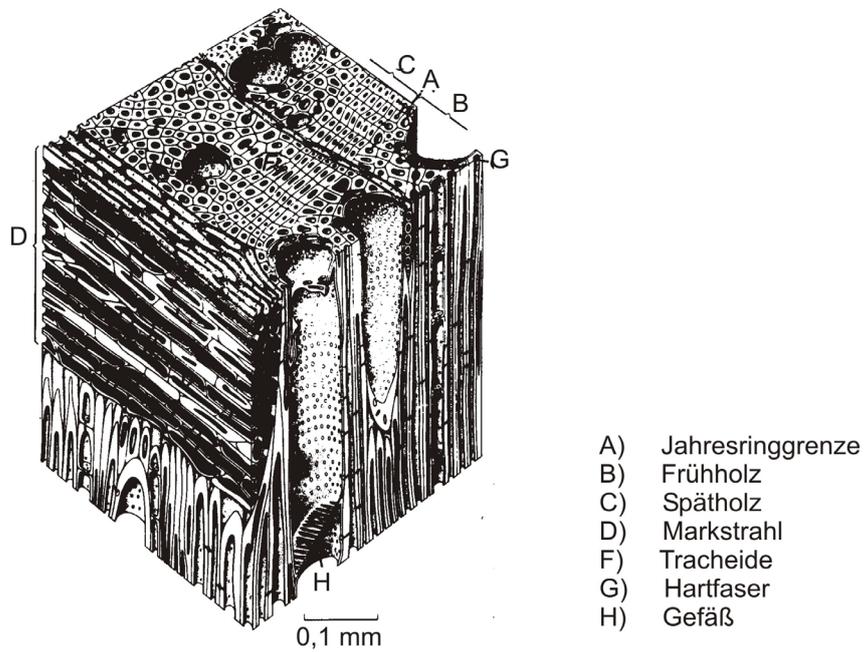


Bild 8: schematische Darstellung von Laubholz [6]

### 3 Holzarten und Sorten [1, 3, 14]

#### 3.1 Europäische Nadelhölzer

In der Bundesrepublik Deutschland besteht die Waldfläche zu etwa 60 % aus Nadelholz (Bild 9) [3]. Als Bauholz werden vorwiegend die Nadelhölzer Fichte, Tanne, Kiefer und Lärche verwendet, die auch aus dem europäischen Ausland importiert werden. Diese Hölzer weisen bei geringer Rohdichte, also geringem Eigengewicht, gute Festigkeiten und geringes Schwinden und Quellen auf. In Tabelle 5 sind die beiden wichtigsten europäischen Nadelhölzer mit ihren Erkennungsmerkmalen und Eigenschaften aufgelistet.

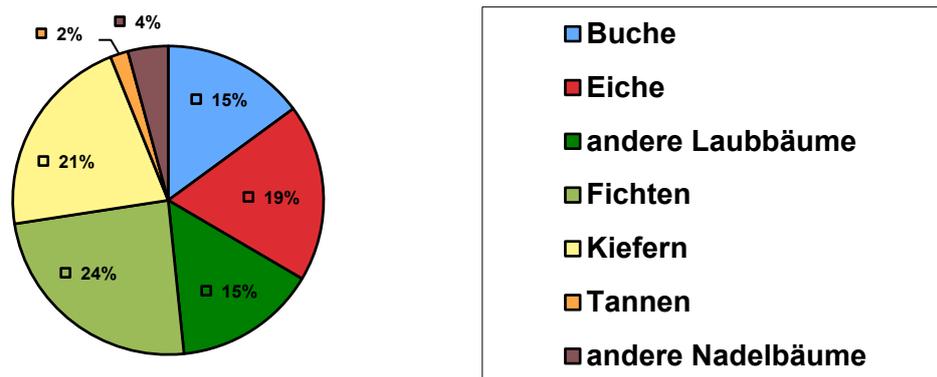


Bild 9: Einheimische Holzarten und ihre Verteilung im Waldbestand [3]

Tabelle 5: Europäische Nadelhölzer, Eigenschaften, Erkennungsmerkmale [13, 15]

Holzart	Rohdichte in [g/cm <sup>3</sup> ] bei 12 % Holzfeuchte	Holzfarbe	Eigenschaften
Fichte	0,47	Splint und Kern gelbweiß bis rötlich weiß, Altersfarbe gelblich braun	weich bis mittelhart, mäßig leicht, elastisch und fest, schwindet wenig, gutes Stehvermögen, gut zu trocknen, leicht zu bearbeiten, gut zu beizen und zu imprägnieren
Kiefer	0,52	Splint gelblich weiß bis rötlich weiß, Kern dunkler, dunkelt stark nach	mäßig hart, leicht, elastisch und sehr fest, schwindet wenig, gutes Stehvermögen, gut zu trocknen, leicht zu bearbeiten, ist vor dem Beizen zu entharzen

#### 3.2 Europäische Laubhölzer

Die einheimischen Laubhölzer weisen eine höhere Rohdichte auf als einheimisches Nadelholz, sind daher schwerer zu bearbeiten und wachsen zudem weniger gleichmäßig. Laubholz ist teurer, weist größere Schwind- und Quellmaße auf, hat aber eine höhere Druckfestigkeit quer zur Faser (Hartholz). Diese Hölzer werden im Allgemeinen nur für spezielle Anwendungen wie Auflagerplatte, Dübel oder Keile verwendet. In Tabelle 6 sind die wichtigsten europäischen Laubhölzer mit ihren Erkennungsmerkmalen und Eigenschaften aufgelistet.

Tabelle 6: Europäische Laubhölzer, ihre Eigenschaften und Erkennungsmerkmale [13, 15]

<b>Holzart</b>	<b>Rohdichte in [g/cm<sup>3</sup>] bei 12 % Holzfeuchte</b>	<b>Holzfarbe</b>	<b>Eigenschaften</b>
Ahorn	0,63	Holz weiß bis gelblich weiß, Altersfarbe grauweiß	mäßig hart, mittelschwer, fest, elastisch und zäh, schwindet mäßig, gutes Stehvermögen, neigt zum Reißen, ist langsam zu trocknen, gut zu bearbeiten, gute Oberflächenbehandlung
Birke	0,66	Splint weiß bis rötlich weiß, Kern gleichfarben, dunkelt stark nach	hart, schwer, fest, zäh und elastisch, schwindet mäßig, gutes Stehvermögen, mäßig gut zu trocknen, gut zu bearbeiten, gute Oberflächenbehandlung
Pappel	0,44	Splint weißlich bis weißgrau, Kern bräunlich bis rötlich	sehr weich und leicht, porös, schwindet wenig, gutes Stehvermögen, bedingt gut zu trocknen, leicht zu bearbeiten, mäßig gute Oberflächenbehandlung neigt zum Werfen
Eiche	0,71	Splint grauweiß, schmal, Kerngelbbraun bis lederbraun, dunkelt stark nach	hart, mittelschwer, elastisch, sehr fest, schwindet wenig, gutes Stehvermögen, trocknet langsam, gut zu bearbeiten, bedingt gute Oberflächen
Rotbuche	0,71	Splintholz und Reifholz gelblich weiß, dunkelt gelbbraun nach	hart, schwer, fest, schwindet sehr stark, geringes Stehvermögen, neigt zum Reißen, ist langsam zu trocknen, gut zu bearbeiten, gute Oberflächenbehandlung

### ***3.3 Außereuropäische Laubhölzer***

Von den außereuropäischen Laubhölzern werden nur wenige als Bauholz verwendet. Hierzu gehören die Hölzer Teak, Azobe (Bongossi) und Afzelia.

### ***3.4 Außereuropäische Nadelhölzer***

Außereuropäische Nadelhölzer werden meist nur für besondere Konstruktionen verwendet, bei denen außergewöhnliche Anforderungen an das Bauholz gestellt werden. Diese sind günstige, gleichmäßige Wuchsbedingungen, höhere Festigkeiten und größere Widerstandsfähigkeit gegen Pilze und Feuer. Diese positiven Eigenschaften sind alle auf die größere Rohdichte, d.h. auf die kleinere Porigkeit und die bei größerem Stammdurchmesser auch größeren Kerndurchmesser zurückzuführen. Meist verwendet sind hier Douglasie, Southern pine und Western Hemlock. Eine Zusammenfassung verschiedenster außereuropäischer Nadelhölzer bietet Tabelle 7.

Tabelle 7: außereuropäische Nadelhölzer, Eigenschaften, Erkennungsmerkmale [13, 15]

Holzart und Herkunftsland	Rohdichte in [g/cm <sup>3</sup> ] bei 12 % Holzfeuchte	Holzfarbe	Eigenschaften
Douglasie oder Oregon pine (westliches Nordamerika)	0,50	Splint weiß bis gelblich grau, Kern gelblich braun bis rotbraun, nachdunkelnd	hart, fest, schwindet mäßig, gutes Stehvermögen, gut zu bearbeiten, nachträglicher Harzaustritt störend
Hemlock (Nordamerika)	0,49	Splint gelblich grau, Kern gelblich braun, schwach nachdunkelnd	weich, mäßig fest, spröde, schwindet wenig, gutes Stehvermögen, gut zu bearbeiten

### 3.5 Holzfehler und Sortiermerkmale [7, 9, 11, 16]

Als Holzfehler gelten Abweichungen von der normalen Beschaffenheit und dem normalen Wuchs. Holzfehler mindern den Gebrauchswert von Bauholz; inwiefern der wirtschaftliche Wert beeinträchtigt wird, hängt vom Verwendungszweck ab. Man unterscheidet u. a. folgende Fehler:

- Krümmung
- Abholzigkeit
- Drehwuchs
- exzentrischer Wuchs
- Verfärbungen
- Risse (Schwindrisse, Trockenrisse, Kernrisse, Spaltrisse und Blitzrisse)
- Ringschäle (Ring- oder Schälriss oder Kernschäle)
- Frostleisten
- Druckholz
- Harzgallen und Harzrisse

Man spricht von **Ästigkeit**, wenn Äste im Schnittholz vorhanden sind. Äste bringen sehr starke Störungen in den Faserverlauf, die zu erheblichen Verminderungen der Zug- und Biegezugfestigkeit führen können, während die Druckfestigkeit weniger beeinflusst wird. Inwiefern die Ästigkeit die Qualität des Holzes vermindert wird nach DIN 4074-1 [17] und DIN EN 1309-3 [18] beurteilt.

Die **Jahrringbreite** im Nadelholz wird nach DIN 4074-1 [17] und DIN EN 1309-3 [18] bestimmt und ist ein Sortierkriterium zur Einteilung in Sortierklassen. Nur ein deutlicher Wechsel der Jahrringbreiten gilt als Holzfehler. Geringfügige Änderungen der Breite einzelner Jahrringe und allmähliche Zunahme oder Abnahme der Jahrringbreite über größere Strecken haben wenig Einfluss auf die Holzverwendung.

Holz mit unterschiedlichen Jahrringbreiten hat demzufolge auch sehr unterschiedliche mechanische Eigenschaften, wie z. B. Schwinden und Elastizität, was zu Verwerfungen und Rissbildung führen kann. Ungleicher Jahrringaufbau tritt bei Reaktionsholz als Begleiterscheinung auf.

### 3.6 Holzqualitäten, Lieferformen und Sortierklassen [6, 8, 17]

Das gewachsene Vollholz wird als Baurundholz und Schnittholz verwendet.

Als **Baurundholz** werden entästet und entrindete Stämme ohne weitere Bearbeitung bezeichnet. Die Verwendung als Rundholz hat den Vorteil einer besseren Querschnittsausnutzung, eines ungestörten Faserverlaufs und dadurch einer höheren Tragfähigkeit. Nachteil ist der wechselnde Querschnitt und die damit verbundenen schlechteren Verbindungsmöglichkeiten. Baurundholz wird z. B. bei Pfosten und Lehrgerüsten bevorzugt verwendet.

Im Allgemeinen wird als Bauholz **Bauschnittholz** verwendet. Der entrindete Stamm (Rohholz) wird im Sägewerk mit Gatter-, Band- und Kreissägen zu Schnittholz mit verschiedenen Maßen weiterverarbeitet. Unterschieden wird das Bauschnittholz nach Latte, Brett, Bohle und Kantholz (Tabelle 8). Als Schnittholz wird nach [17] ein Holzzeugnis von mindestens 6 mm Dicke, das durch Sägen oder Spanen von Rundholz parallel zur Stammachse hergestellt wurde, bezeichnet.

Tabelle 8: Schnittholzeinteilung nach DIN 4074-1 [17]

Schnittholzart	Dicke d bzw. Höhe h	Breite <sup>b</sup>
Latte	$d \leq 40 \text{ mm}$	$b < 80 \text{ mm}$
Brett <sup>a</sup> Bohle <sup>a</sup>	$d \leq 40^b \text{ mm}$ $d > 40 \text{ mm}$	$b \geq 80 \text{ mm}$ $b > 3 d$
Kantholz	$b \leq h \leq 3 b$	$b > 40 \text{ mm}$

<sup>a</sup> Vorwiegend hochkant biegebeanspruchte Bretter und Bohlen sind wie Kantholz zu sortieren und entsprechend zu kennzeichnen.  
<sup>b</sup> Dieser Grenzwert gilt nicht für Bretter für Brettschichtholz (BS-Holz).

Nach der Tragfähigkeit von Nadelschnittholz unterscheidet man bei visueller Sortierung drei **Sortierklassen** nach DIN 4074-1 (Tabelle 9). Die Einordnung des Schnittholzes in diese Sortierklassen erfolgt anhand von Sortierkriterien. Die Einteilung für Kanthölzer bei visueller Sortierung nach DIN 4074-1 ist in Tabelle 10 angegeben. Bei Brettern, Bohlen und Latten erfolgt die Einteilung in ähnlicher Weise.

Tabelle 9: Sortierklassen nach DIN 4074-1 [17]

Klasse <b>S 7</b>	geringe Tragfähigkeit
Klasse <b>S 10</b>	übliche Tragfähigkeit
Klasse <b>S 13</b>	überdurchschnittliche Tragfähigkeit

Bei **maschineller Sortierung** nach DIN 4074-1 lauten die Klassen MS 7, MS 10 und MS 13. Hier kommt noch die Klasse MS 17 (besonders hohe Tragfähigkeit) dazu und es gelten zusätzliche Sortierkriterien.

Tabelle 10: Sortierkriterien für Kanthölzer und vorwiegend hochkant beanspruchte Bretter und Bohlen bei der visuellen Sortierung nach DIN 4074-1 [17]

Sortiermerkmale		Sortierklassen		
		S 7, S 7K	S 10, S 10K	S 13, S 13K
1.	Äst	bis 3/5	bis 2/5	bis 1/5
2.	Faserneigung	bis 12 %	bis 12 %	bis 7 %
3.	Markröhre	zulässig	zulässig	zulässig
4.	Jahrringbreite im Allgemeinen bei Douglasie	bis 6 mm bis 8 mm	bis 6 mm bis 8 mm	bis 4 mm bis 6 mm
5.	Risse Schwindrisse <sup>a</sup> Blitzrisse Ringschäle	bis 1/2 nicht zulässig	bis 1/2 nicht zulässig	bis 2/5 nicht zulässig
6.	Baumkante	bis 1/4	bis 1/4	bis 1/5
7.	Krümmung <sup>b</sup> Längskrümmung Verdrehung	bis 8 mm 1 mm / 25 mm Breite	bis 8 mm 1 mm / 25 mm Breite	bis 8 mm 1 mm / 25 mm Breite
8.	Verfärbungen, Fäule Bläue nagelfeste braune und rote Streifen Braunfäule Weißfäule	zulässig bis 2/5  nicht zulässig	zulässig bis 2/5  nicht zulässig	zulässig bis 1/5  nicht zulässig
9.	Druckholz	bis 3/5	bis 2/5	bis 1/5
10.	Insektenfraß durch Frischholzinsekten	Fraßgänge bis 2 mm Durchmesser: zulässig		
11.	sonstige Merkmale	Sind in Anlehnung an die übrigen Sortiermerkmale sinngemäß zu berücksichtigen.		

<sup>a</sup> Bei Kantholz mit einer Breite > 120 mm zulässig.

<sup>b</sup> Diese Sortiermerkmale bleiben bei nicht trocken sortierten Hölzern unberücksichtigt.

Für die Bezeichnung sind folgende Angaben notwendig:

- Schnittholzart DIN 4074 - Sortierklasse - trocken sortiert (soweit zutreffend) - Holzart

Beispiel:

- Bezeichnung eines visuell sortierten Kantholzes Sortierklasse S 10, trocken sortiert (TS), aus Fichte (FI):  
Kantholz DIN 4074 – S 10TS - FI
- Bezeichnung einer visuell sortierten Bohle, als Kantholz sortiert (K) Sortierklasse S13, aus Kiefer (KI):  
Bohle DIN 4074 – S 13K - KI

Die Regelungen für Laubholz nach DIN 4074-5 [19] entsprechen weitgehend denen für Nadelholz. Zur Unterscheidung wird der Schnittklasse ein „L“ vorangestellt.

Die nachstehende Tabelle 11 zeigt für trocken sortiertes Holz die Zuordnung von Laub- bzw. Nadelholz und den Sortierklassen zu Festigkeitsklassen nach DIN EN 1912 [20] auf Grundlage der Hochkantbiegeprüfung nach DIN EN 338 [21].

Tabelle 11: Zuordnung der Sortierklassen in Deutschland für Laub- bzw. Nadelholz [17-19] zu Festigkeitsklassen nach [20]

Nadelholz			Laubholz		
Holzart	Sortierklasse nach DIN 4074-1 [17]	Festigkeitsklasse [21]	Holzart	Sortierklasse nach DIN 4074-5	Festigkeitsklasse [21]
Tanne, Lärche, Douglasie	S 7 / S 7K	C16	Eiche, Ahorn	LS 10 / LS 10K oder besser	D30
Fichte, Tanne, Kiefer, Lärche, Douglasie, Southern pine, Hemlocktanne	S 10 / S 10K	C24	Buche	LS 10	D35
Fichte, Tanne, Kiefer, Lärche, Douglasie	S 13 / S 13K	C30	Buche, Esche	LS 13 / LS 13K LS 10 / LS 10K oder besser	D40
Fichte, Tanne, Kiefer, Lärche, Douglasie,	S 13 / S 13K	C35			

Vorwiegend hochkant biegebeanspruchte Bretter und Bohlen sind wie Kantholz zu sortieren und mit "K" zu kennzeichnen, z. B. S 10K

Tabelle 12: Rechenwerte für die charakteristischen Festigkeits-, Steifigkeits- und Rohdichtekennwerte für Nadelholz der Festigkeitsklassen C14 bis C50 [21]

	Klasse	C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50
<b>Festigkeitseigenschaften, in N/mm<sup>2</sup></b>													
Biegung	$f_{m,k}$	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50
Zug in Faserrichtung	$f_{t,0,k}$	7,2	8,5	10	11,5	13	14,5	16,5	19	22,5	26	30	33,5
Zug rechtwinklig zur Faserrichtung	$f_{t,90,k}$	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Druck in Faserrichtung	$f_{c,0,k}$	16	17	18	19	20	21	22	24	25	27	29	30
Druck rechtwinklig zur Faserrichtung	$f_{c,90,k}$	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,5	2,7	2,7	2,8	2,9	3,0
Schub	$f_{v,k}$	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
<b>Steifigkeitseigenschaften, in kN/mm<sup>2</sup></b>													
Mittelwert des Elastizitätsmoduls bei Biegung in Faserrichtung	$E_{m,0,mean}$	7,0	8,0	9,0	9,5	10,0	11,0	11,5	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0
5%-Quantil des Elastizitätsmoduls bei Biegung in Faserrichtung	$E_{m,0,k}$	4,7	5,4	6,0	6,4	6,7	7,4	7,7	8,0	8,7	9,4	10,1	10,7
Mittelwert des Elastizitätsmoduls bei Biegung rechtwinklig zur Faserrichtung	$E_{m,90,mean}$	0,23	0,27	0,30	0,32	0,33	0,37	0,38	0,40	0,43	0,47	0,50	0,53
Mittelwert des Schubmoduls	$G_{mean}$	0,44	0,50	0,56	0,59	0,63	0,69	0,72	0,75	0,81	0,88	0,94	1,00
<b>Rohdichte, in kg/m<sup>3</sup></b>													
5%-Quantil der Rohdichte	$\rho_k$	290	310	320	330	340	350	360	380	390	400	410	430
Mittelwert der Rohdichte	$\rho_{mean}$	350	370	380	400	410	420	430	460	470	480	490	520

Tabelle 13: Rechenwerte für die charakteristischen Festigkeits-, Steifigkeits- und Rohdichtekennwerte für Laubholz der Festigkeitsklassen D18 bis D80 [21]

	Klasse	D18	D24	D27	D30	D35	D40	D45	D50	D55	D60	D65	D70	D75	D80
<b>Festigkeitseigenschaften, in N/mm<sup>2</sup></b>															
Biegung	$f_{m,k}$	18	24	27	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
Zug in Faserrichtung	$f_{t,0,k}$	11	14	16	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48
Zug rechtwinklig zur Faserrichtung	$f_{t,90,k}$	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Druck in Faserrichtung	$f_{c,0,k}$	18	21	22	24	25	27	29	30	32	33	35	36	37	38
Druck rechtwinklig zur Faserrichtung	$f_{c,90,k}$	4,8	4,9	5,1	5,3	5,4	5,5	5,8	6,2	6,6	10,5	11,3	12,0	12,8	13,5
Schub	$f_{v,k}$	3,5	3,7	3,8	3,9	4,1	4,2	4,4	4,5	4,7	4,8	5,0	5,0	5,0	5,0
<b>Steifigkeitseigenschaften, in N/mm<sup>2</sup></b>															
Mittelwert des Elastizitätsmoduls bei Biegung in Faserrichtung	$E_{m,0,mean}$	9,5	10,0	10,5	11,0	12,0	13,0	13,5	14,0	15,5	17,0	18,5	20,0	22,0	24,0
5%-Quantil des Elastizitätsmoduls bei Biegung in Faserrichtung	$E_{m,0,k}$	8,0	8,4	8,8	9,2	10,1	10,9	11,3	11,8	13,0	14,3	15,5	16,8	18,5	20,2
Mittelwert des Elastizitätsmoduls bei Biegung rechtwinklig zur Faserrichtung	$E_{m,90,mean}$	0,63	0,67	0,70	0,73	0,80	0,87	0,90	0,93	1,03	1,13	1,23	1,33	1,47	1,60
Mittelwert des Schubmoduls	$G_{mean}$	0,59	0,63	0,66	0,69	0,75	0,81	0,84	0,88	0,97	1,06	1,16	1,25	1,38	1,50
<b>Rohdichte, in kg/m<sup>3</sup></b>															
5%-Quantil der Rohdichte	$\rho_k$	475	485	510	530	540	550	580	620	660	700	750	800	850	900
Mittelwert der Rohdichte	$\rho_{mean}$	570	580	610	640	650	660	700	740	790	840	900	960	1020	1080

## 4 Physikalische Eigenschaften [11, 16, 22]

### 4.1 Dichte und Rohdichte

Die **Reindichte** fast aller Hölzer praktisch gleich, da sie sich hinsichtlich ihres Grundstoffes kaum unterscheiden. Sie beträgt rund 1500 kg/m<sup>3</sup> für sehr harzreiches Holz und 1600 kg/m<sup>3</sup> für stark verkerntes Holz. Werte für verschiedene Dichtebegriffe enthält Tabelle 14.

Tabelle 14: verschiedene Dichtebegriffe bei Holz am Beispiel Kiefer:

Dichtebegriff	Wert [g/cm <sup>3</sup> ]
Reindichte (Durchschnitt für alle Hölzer) (für Cellulose 1,6 g/cm <sup>3</sup> ; für Lignin 1,4 g/cm <sup>3</sup> )	1,53
Rohdichte	0,52
Darrdichte	0,49
Raumdichte	0,43

Unterschiede in der **Rohdichte** zwischen den Hölzern ergeben sich bei gleicher Holzfeuchte fast ausschließlich durch den Porenraum bzw. die Zellwanddicke. Die Rohdichte ist die wichtigste Eigenschaft des Holzes, weil alle anderen physikalischen Eigenschaften von ihr abhängen. Die Holzart hat den größten Einfluss auf die Rohdichte. Im darrtrockenen Zustand liegen die Extremwerte bei 0,13 g/cm<sup>3</sup> (Balsaholz) und 1,23 g/cm<sup>3</sup> (Pockholz) (Tabelle 15).

Tabelle 15: ausgewählte Dichten im Überblick

Baumart	Rohdichte [g/cm <sup>3</sup> ] bei 12 % Wassergehalt (lufttrocken)	Rohdichte [g/cm <sup>3</sup> ]	Darrdichte [g/cm <sup>3</sup> ]		Grenzen [g/cm <sup>3</sup> ]
Balsa			0,13	sehr leicht	< 0,45
Schwarzpappel			0,41	leicht	0,45 - 0,55
Weißtanne			0,41		
Fichte	~0,47	0,33 - 0,75	0,43	(ziemlich) leicht	
Douglasie			0,47		
Kiefer	0,52	0,33 - 0,89	0,49		
Lärche	0,60	0,44 - 0,85	0,55	mäßig schwer	0,55 - 0,65
Eiche	0,70	0,43 - 0,96	0,65		
Buche	0,73	0,54 - 0,91	0,68	schwer	0,65 - 0,80
Hainbuche			0,79		
Bongossi			1,04		
Pockholz			1,23		

Da auch das Wachstum eine wesentliche Rolle spielt, ist die Rohdichte auch stark von der Lage im Stamm abhängig und kann bei Bauholz um  $\pm 35\%$  vom Mittelwert abweichen. Dies ist der Grund dafür, dass beim Ablesen von Rohdichtewerten aus Tabellen die Holzfeuchte beachtet werden muss. Obwohl die genauesten Werte bei 0 % Holzfeuchte (Darrgewicht, Darrdichte)

gemessen werden können, ermittelt man die Rohdichte meist bei 12 – 15 % Holzfeuchte (Lufttrockenheit). Die Messergebnisse der Hölzer liegen zwischen 0,15 und 1,35 g/cm<sup>3</sup>. Die Rohdichte lufttrockener europäischer Nadel- und Laubhölzer beträgt weniger als 1,0 g/cm<sup>3</sup> - sie sind leichter als Wasser und schwimmen daher.

Die Rohdichteunterschiede zwischen verschiedenen Stämmen und Beständen sind sehr groß. Wegen der hohen Variabilität innerhalb einzelner Stämme ist eine statistische Sicherheit für bestimmte Gruppen schwer zu erbringen. Es gibt Untersuchungen an einer Vielzahl von Bohrspänen, um z.B. Mittelwerte für verschiedene Kiefernarten und für verschiedene Wuchsgebiete zu berechnen. Solche Stratifizierungen sind wichtig für die so genannte Gewichtsvermessung von Industrieholz. Die Streuung der Rohdichte beträgt etwa 30 % um den Mittelwert. Unterschiede bestehen auch zwischen Ast-, Stamm- und Wurzelholz (Bild 10).

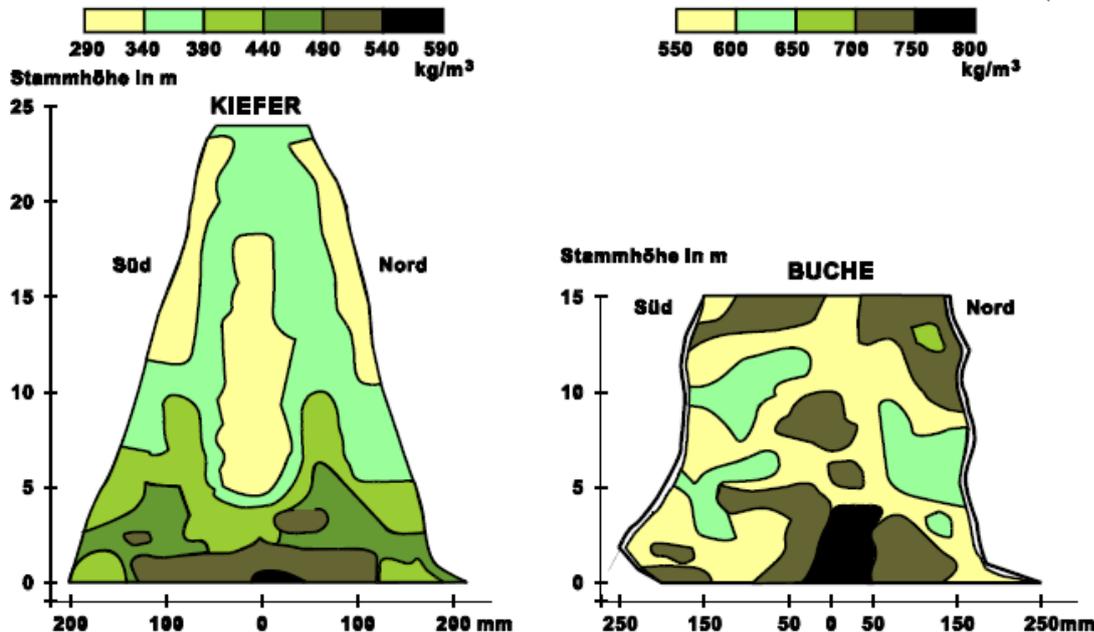


Bild 10: Exemplarische Verteilung der Rohdichte über den Stammlängsschnitt [22]

## 4.2 Feuchtigkeitsgehalt

Holz besitzt aufgrund seiner mikroskopischen Kapillarporosität eine sehr große innere Oberfläche. Es kann daher Feuchtigkeit aus der Umgebung aufnehmen oder an sie abgeben. Je nach Art, Standort und Fällzeit besitzt Holz frisch gefällt 50 bis 150 M.-% Feuchte, bezogen auf die Trockenmasse (Darrmasse), wobei die Feuchte im Splint meist höher als im Kern ist. Die Holzfeuchte wird auf das wasserfreie (darrtrockene) Holz bezogen und in M.-% ausgedrückt. Die Feuchtestufen des Holzes werden eingeteilt nach darrtrocken, lufttrocken, fasergesättigt, waldfrisch und wassergesättigt.

Beim Austrocknen des geschlagenen Holzes wird zunächst nur das so genannte freie Wasser in den Zellhohlräumen abgegeben. Erst anschließend verdunstet das so genannte gebundene Wasser aus den feineren Poren der wassergesättigten Fasern der Zellwände. Die Grenzfeuchte zwischen diesen beiden Austrocknungsbereichen bezeichnet man als Fasersättigungsfeuchte. Bei den europäischen Hölzern kann man mit **Fasersättigung** bei Holzfeuchten zwischen 22 und 35 M.-% und im Mittel von **30 M.-%** rechnen. Der Fasersättigungspunkt hängt vom hygroskopischen Verhalten der Zellwand ab, also von Lignin, Cellulose und Holzpolyosen. An der unteren Grenze liegen Nadelhölzer mit hohem Harzgehalt und ringporige Laubhölzer, an der oberen Grenze Nadelhölzer ohne Kern und zerstreutporige Laubhölzer. Vom Fasersättigungspunkt bis hinab zu einer Holzfeuchte von etwa 15 % wird das Wasser in den Kapillaren angelagert.

Zwischen 15 M.-% und 6 M.-% wird Wasser durch van-der-Waalssche Kräfte und unterhalb von 6 M.-% durch chemische Reaktion an die Zellulosefasern (als gebundenes Wasser in den Zellwänden der Micelle und Fibrillen) gebunden. In Abhängigkeit vom Umgebungsklima stellt sich eine Gleichgewichtsfeuchte im Holz ein. Sie beträgt z. B. in einem Klima mit 20 °C und 65 % relativer Luftfeuchte 12 M.-%.

Oberhalb der Fasersättigung verändert sich die Zellwand nicht mehr. Nur bis zu diesem Wert finden demzufolge Volumenänderungen statt. Wasseranteile darüber hinaus werden in Kapillaren eingelagert und führen zu keiner weiteren Volumenänderung mehr, lediglich das Gewicht des Holzes verändert sich weiterhin (Tabelle 16). Bei 100 % relativer Luftfeuchte sind die Fasern der Zellwände gesättigt. In Abhängigkeit von der Holzfeuchte ändern sich praktisch alle Holzeigenschaften. Während mit steigender Holzfeuchte das Volumen zunimmt, nehmen z. B. die Festigkeit und das Wärmedämmvermögen ab.

Tabelle 16: Arten der Wasserbindung im Holz

Wassergehalt [M.-%]	Art der Wasserbindung
über 30 %	als freies Wasser in den Kapillaren des Holzes (in Poren und Hohlräumen des Holzes)
bis 30 %	als gebundenes Wasser in den Zellwänden (über 30 % keine Volumenveränderung nur Gewichtsveränderung)
6 - 15 %	durch Adsorption an der Oberfläche interfibrillärer und interzellulärer Räume
0 - 6 %	durch Chemo-Sorption als chemische Bindung an freien Hydroxylgruppen von Cellulose und Polyosemolekülen

Üblicherweise werden im mitteleuropäischen Klima für die Holzfeuchte als Ausgleichsfeuchte folgende Werte angenommen:

- in geschlossenen, beheizten Räumen  $9 \pm 3 \%$ ,
- in geschlossenen, unbeheizten Räumen  $12 \pm 3 \%$ ,
- in überdeckten, offenen Bauwerken  $15 \pm 3 \%$ ,
- in Bauwerken, die der Witterung ausgesetzt sind  $18 \pm 6 \%$ .

Bild 11 zeigt die Abhängigkeit der Holzfeuchte der herrschenden Umgebungsbedingungen.

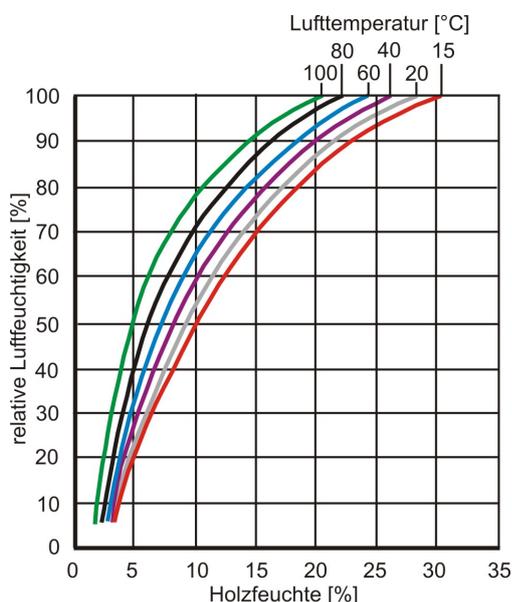


Bild 11: Holzfeuchte in Abhängigkeit der relativen Luftfeuchte und Lufttemperatur [6, 22]

#### 4.2.1 Schwinden und Quellen ("Arbeiten" des Holzes)

Als Quellen des Holzes wird die Einlagerung von Wasser in die Zellwandsubstanz bezeichnet (die Micelle und Fibrillen rücken auseinander). Schwinden bedeutet Entweichen dieses dort eingelagerten Wassers. Beide Vorgänge gehen mit einer Volumenveränderung einher.

Schwinden und Quellen treten erst auf, wenn die Feuchte des Holzes nicht mehr zur Fasersättigung ausreicht (d. h. unter ca. 30 % Feuchte). Wegen der Ausrichtung der Holzfasern sind das Schwinden und das Quellen in den drei anatomischen Hauptrichtungen sehr unterschiedlich (Bild 12). Die hygrische Längenänderung verhält sich bei Nadelholz etwa wie 1:10:20 (axial : radial : tangential). Unterhalb der Fasersättigung hängen das Schwinden und das Quellen linear von der Holzfeuchte ab.

Um die hygrischen Längenänderungen im Verlauf der Nutzungsdauer, das so genannte Arbeiten, möglichst gering zu halten, sollte Holz mit dem Feuchtegehalt eingebaut werden, der der Gleichgewichtsfeuchte beim mittleren Nutzungsklima entspricht. Infolge Schwindens können sich z. B. Anschlüsse lockern; durch Quellen können erhebliche Drücke aufgebaut werden, die zu großen Zwängungsbeanspruchungen führen können. Durch ungleiche Anteile von radialem und tangentialem Schwinden im Querschnitt kann sich Schnittholz erheblich verziehen (Bild 13).

Das Schwinden und Quellen ist im Splintholz größer als im Kernholz (wichtig bei Leim- und Nagelträgern) und bei weiten Jahrringen größer als bei engen Jahrringen. Daher sollten Deckenbalken mit Kern bzw. Ganzhölzern mit der Seite mit engen Jahrringen nach oben verlegt werden. Bei Fußbodendielen und bei Treppenstufen sollte jedoch die Kernseite unten liegen, um Schiefen zu vermeiden (Bild 14).

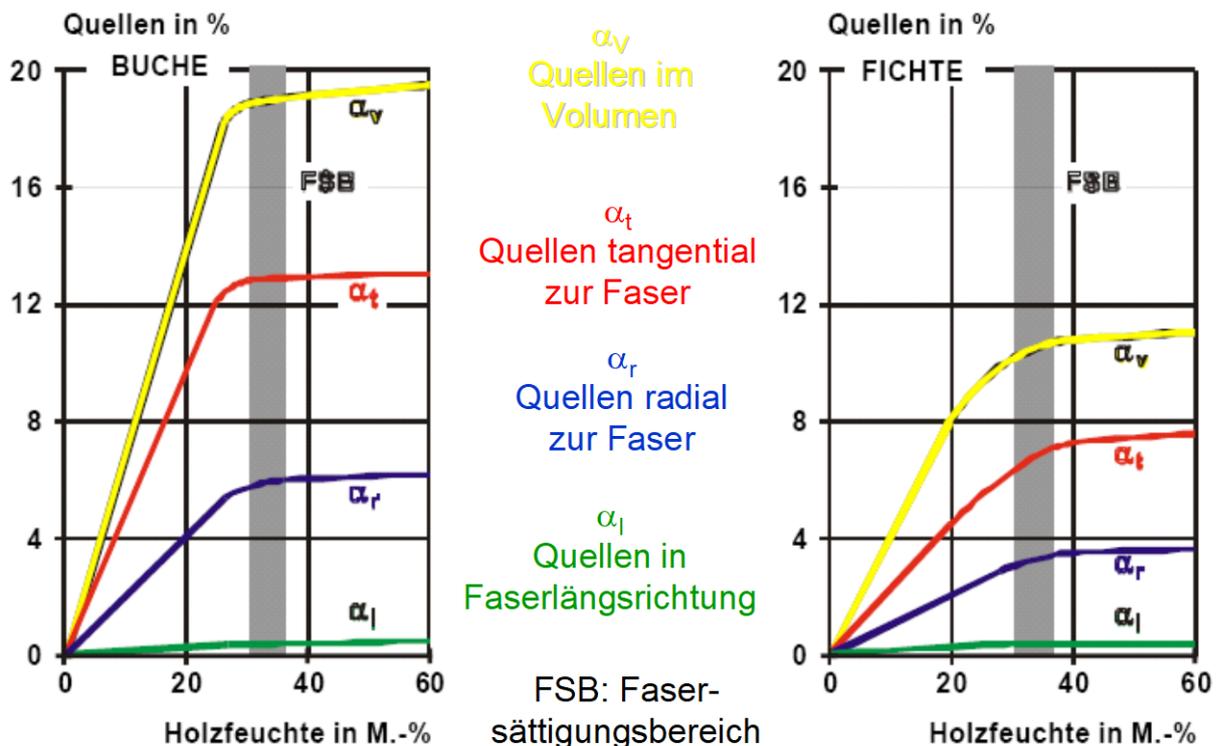


Bild 12: Quellen des Holzes in Abhängigkeit von der Holzfeuchte am Beispiel Buche und Fichte [6, 22]

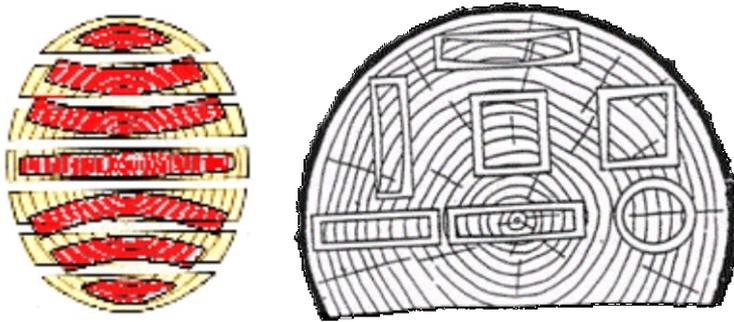
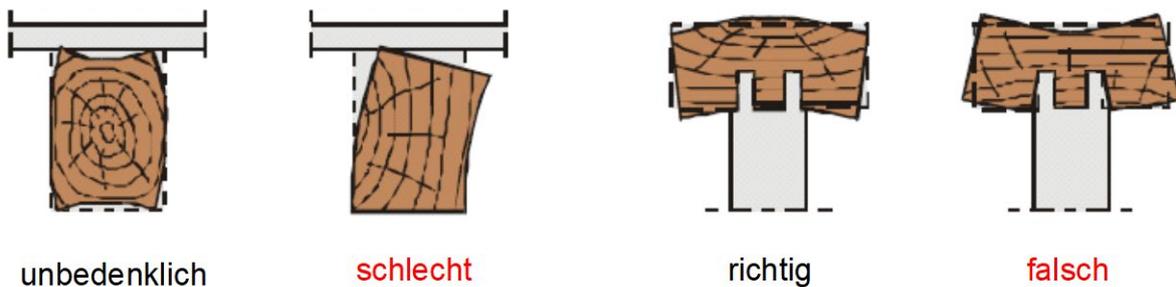


Bild 13: Querschnittsänderungen des Holzes beim Schwinden an verschiedenen Querschnitten

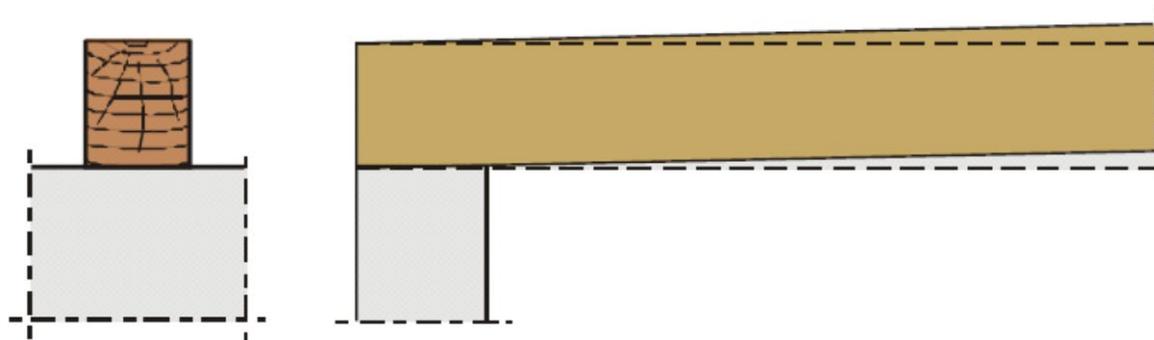


unbedenklich

schlecht

richtig

falsch



bei Deckenbalken Kernseite nach oben

Bild 14: Folgen des Schwindens von Schnittholz [22]

#### 4.2.2 Thermische Eigenschaften

Da die spezifische Wärmekapazität  $c$  von wasserfreiem Holz mit  $1,36 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$  nahe bei derjenigen von Luft ( $1,00 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ ) liegt, ist die Rohdichte nur von geringem Einfluss. Um so größer ist der Einfluss der Holzfeuchte, da die spezifische Wärmekapazität des Wassers  $4,2 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$  beträgt.

Bei einer mittleren Holzfeuchte von 12 M.-% ergibt sich für alle Hölzer eine im Vergleich zu anderen Baustoffen deutlich höhere spezifische Wärmekapazität von  $1,6 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ .

#### 4.2.3 Verhalten bei höheren Temperaturen / Brandverhalten

Bis etwa  $100 - 150 \text{ }^\circ\text{C}$  ist Holz thermisch beständig. Bei einem Brand wird es chemisch zersetzt unter Bildung von Holzkohle und brennbaren Gasen.

Spontane Entzündungen treten im Temperaturbereich von  $340 \text{ }^\circ\text{C}$  bis  $430 \text{ }^\circ\text{C}$  (in Abhängigkeit von der Rohdichte) auf (bei langfristiger Erwärmung schon ab  $150 \text{ }^\circ\text{C}$ ) (Bild 15 und Bild 16).

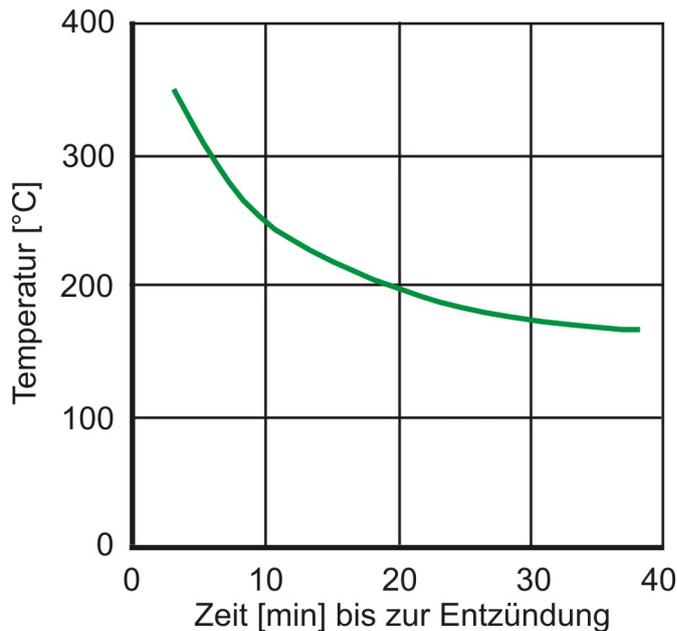
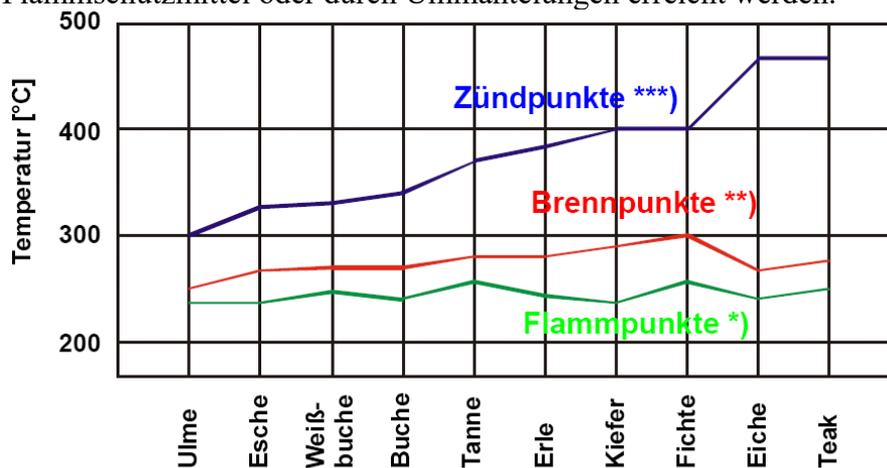


Bild 15: Zeitabhängigkeit der Entzündungstemperatur von Kiefernholz [22]

Bei Temperaturen über 300 °C schreitet der Brand ohne Zufuhr äußerer Energie fort (exotherm), d. h. das gefährlichste Stadium der Brandentstehung und Brandausbreitung ist dann erreicht. Es bilden sich brennbare Gase mit einem steigenden Anteil von Kohlenwasserstoffen (größter Anteil bei rund 400 °C). Über 500 °C geht die Gasbildung stark zurück, es steigert sich die Bildung von Holzkohle. Durch die gegenüber nicht verbranntem Holz wesentlich geringere Wärmeleitfähigkeit (rd. 80 % niedriger), wird die thermische Zersetzung des Holzes im Inneren eines Querschnittes erheblich verzögert.

Besonders vorteilhaft ist ein großer Querschnitt mit geringer Oberfläche und mit wenig Fugen und Rissen (Gegensatz: Holzstaub-Luft-Gemisch kann explodieren). Die Brandsicherheit von dicken Holzbalken ist größer als allgemein angenommen. Geeignete Konstruktionen erreichen Feuerwiderstandsklassen R30 und R60. Ein zusätzlicher Brandschutz kann durch Flammschutzmittel oder durch Ummantelungen erreicht werden.



\*) entweichende Gase können entzündet werden

\*\*) Brennvorgang erhält sich von selbst

\*\*\*) entstehende Gase entzünden sich von selbst

Bild 16: Flamm-, Brenn- und Zündpunkte verschiedener Holzarten [22]

## 4.3 Mechanische Eigenschaften

### 4.3.1 Festigkeiten

Bedingt durch die Röhrenbündelstruktur ist Holz vor allem für die Aufnahme von Kräften in Faserrichtung geeignet. Die höchste Festigkeit wird unter Zugbeanspruchung erreicht. Unter Druckbeanspruchung in Faserrichtung versagt Holz durch Ausknicken der Faserbündel sowie ggf. durch Aufreißen des Verbundes zwischen den Gefäßen. Bei weiterer Belastung bildet sich eine Gleitebene schräg zu den Fasern aus (Bild 17).

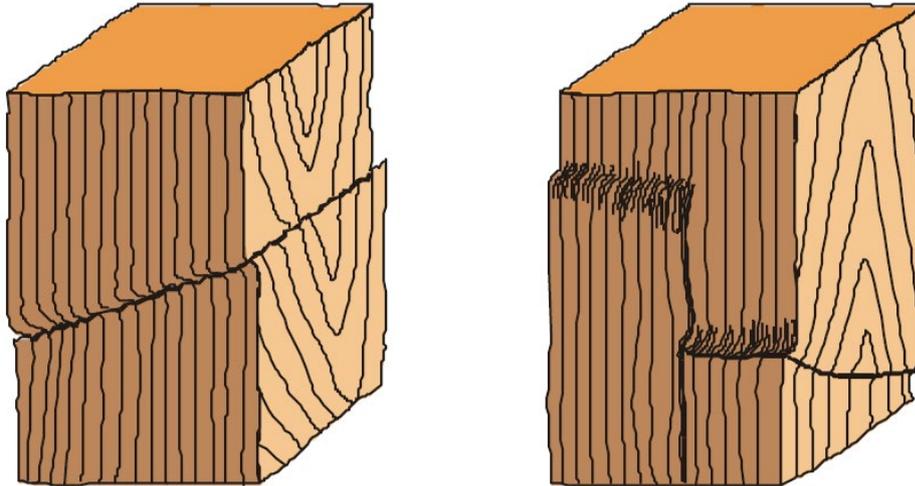


Bild 17: Probekörper nach der Druckfestigkeitsprüfung [6, 22]

Von großer Bedeutung ist das im Vergleich zu anderen klassischen Werkstoffen wie Stahl und Beton wesentlich günstigere Verhältnis von Eigengewicht zu Festigkeit (Tabelle 17).

Zwischen der Rohdichte und den Festigkeiten der Hölzer besteht ein linearer Zusammenhang (Bild 18). Die Druckfestigkeit ist in Faserrichtung im Mittel etwa halb so groß wie die Zugfestigkeit. Die Biegefestigkeit liegt etwa 10 - 20 % unter der Zugfestigkeit (Bild 19). Die Scherfestigkeit beträgt etwa ein Zehntel der Zugfestigkeit.

Tabelle 17: typische Leistungsfähigkeit für tragende Bauteile

Baustoff	$\frac{\text{Gewicht}}{\text{Druckfestigkeit}}$	$\frac{\text{Kosten}}{\text{zulässige Belastung}}$ ( <i>Druck</i> )
Holz (Vollholz)	8 - 16	54
Beton (C20/25)	100	25
Stahl (S235)	20	85

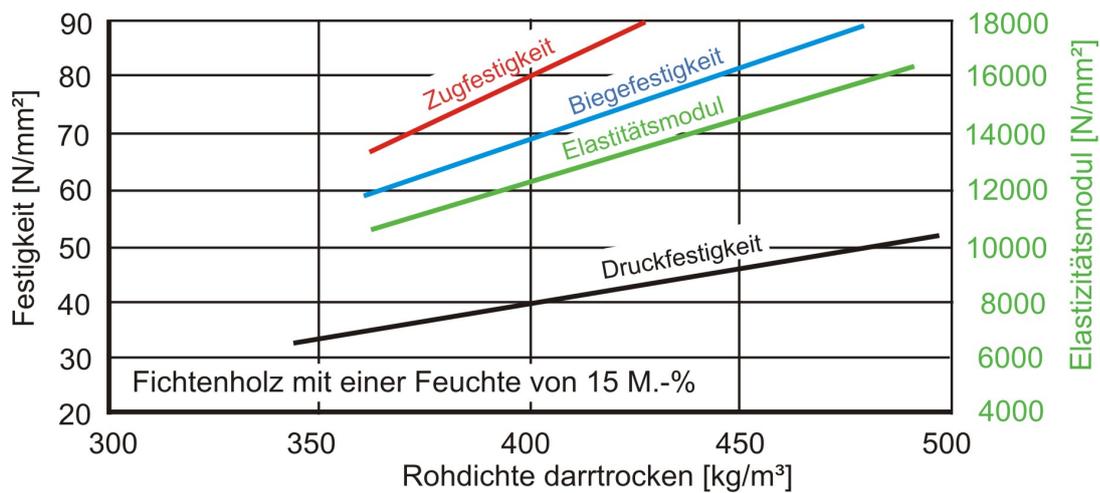


Bild 18: Abhängigkeit der Festigkeit und des E-Moduls von der Rohdichte [6, 22]

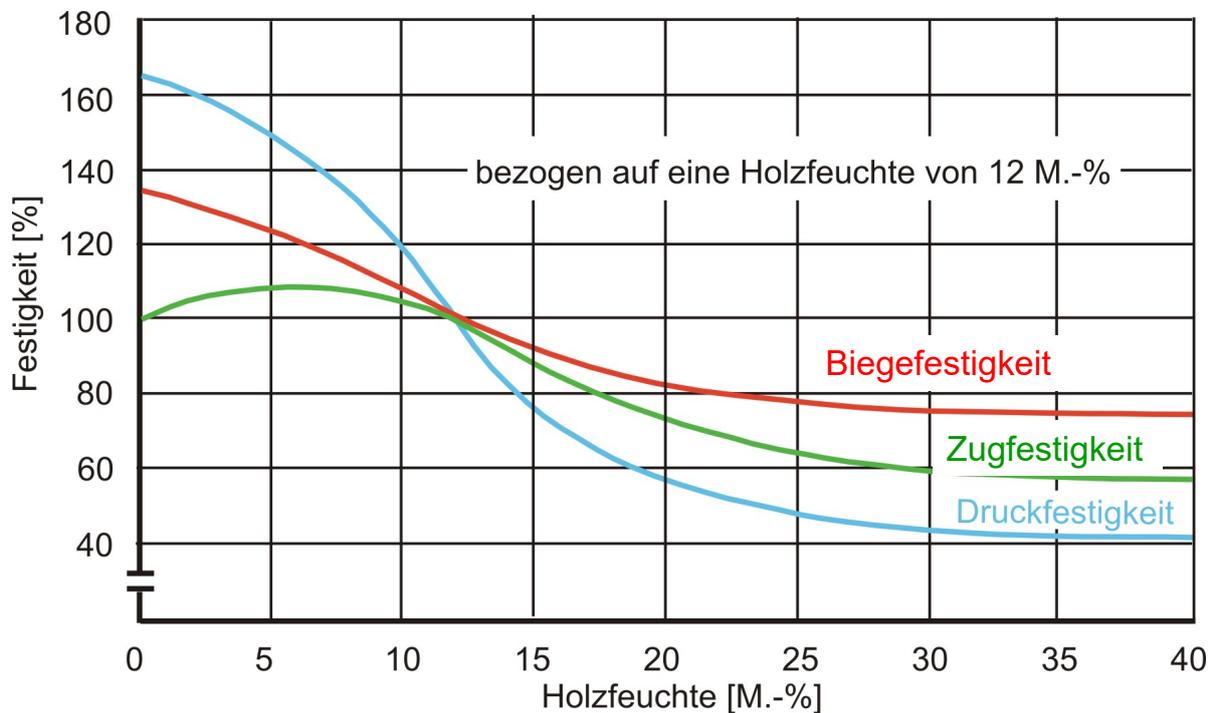


Bild 19: Abhängigkeit der Festigkeiten und des E-Moduls von der Feuchte bei Nadelholz [6, 22]

Die Festigkeitswerte der Hölzer sind in hohem Maße abhängig vom Winkel zwischen Kraftangriff und Faser (Bild 20). In Faserrichtung ist die Festigkeit am größten. Schon bei geringer Abweichung der Last- von der Faserrichtung nimmt vor allem die Zugfestigkeit stark ab. Bei Zug quer zur Faser spaltet sich das Holz auf. Druck quer zur Faser quetscht das Röhrenbündel der Holzzellen zusammen. Unter einem Faser-Last-Winkel von  $45^\circ$  beträgt die Zugfestigkeit bereits weniger als 20 % und unter  $90^\circ$  weniger als 10 %. Hierbei ist zu beachten, dass die Festigkeiten an fehlerfreien Proben ermittelt wurden; in der Praxis liegt die Zugfestigkeit quer zur Faser aufgrund von Rissen und Ästen nahe Null. Eine deutlich geringere Abhängigkeit vom Faser-Last-Winkel weist die Druckfestigkeit auf: Sie beträgt bei  $45^\circ$  immerhin noch über 40 %. Die Biegefestigkeit liegt wegen des kombinierten Beanspruchungszustands (teils Zug teils Druck) und einer geringeren Druck- als Zugfestigkeit des Holzes zwischen der Zug- und der Druckfestigkeitskurve, nahe bei der Letzteren.

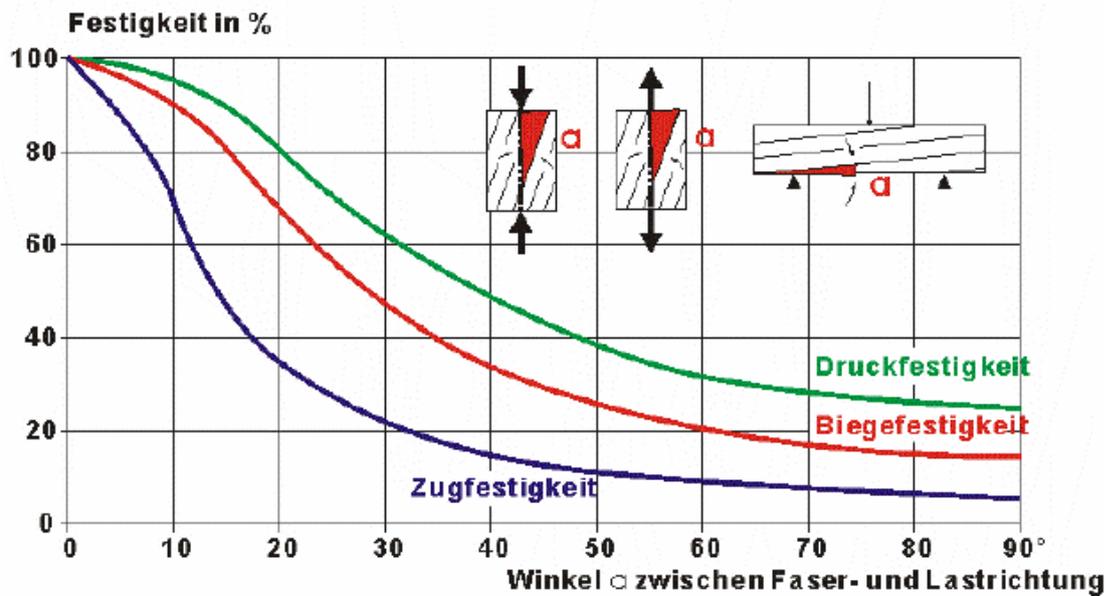


Bild 20: Abhängigkeit der Festigkeiten des Holzes vom Winkel zwischen Beanspruchungs- und Faserrichtung [6, 22]

### 4.3.2 Dauerfestigkeit

Die Dauerfestigkeit (Bild 21) bei Zug- und Druckbeanspruchung von Holz ist wesentlich niedriger als die entsprechende Kurzzeitfestigkeit (rd. 60 %). Besonders nachteilig wirken sich Änderungen in der Faserrichtung (z. B. Äste) und Kerben (z. B. Dübel) aus. Manche ausländischen Baubestimmungen sehen vor, dass bei kurzer Beanspruchung (Wind, Stoßlasten) um 50 bis 100 % höhere Spannungen zulässig sind als für Dauerbelastung.

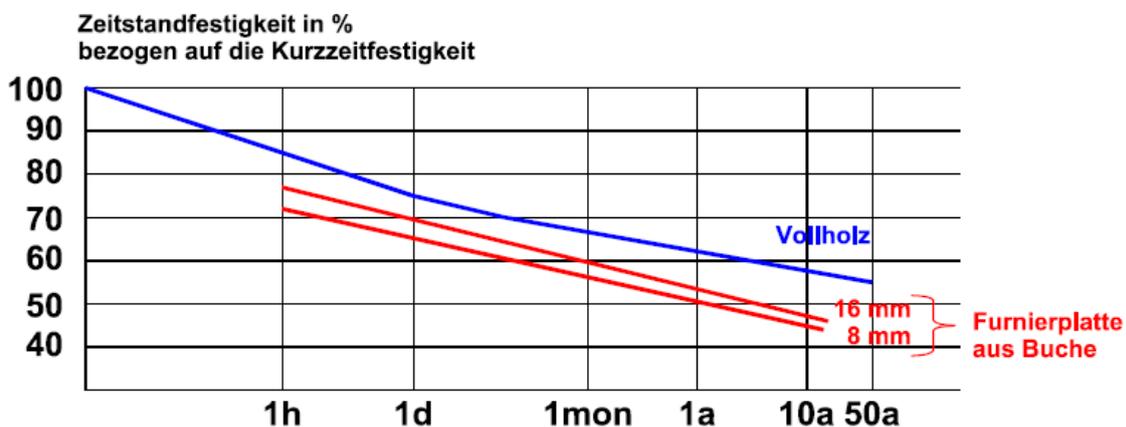


Bild 21: Abhängigkeit der Festigkeit von der Belastungsdauer [22]

Die Schwingfestigkeit wird mit zunehmender Anzahl der Lastspiele geringer, bis nach  $10^5$  bis  $10^6$  Lastspielen annähernd eine horizontale Asymptote, die so genannte Dauerschwingfestigkeit, erreicht wird (Bild 22). Sie beträgt nur 25 bis 40 % der statischen Kurzzeitfestigkeit. Hohe Holzfeuchtigkeit mindert die Dauerschwingfestigkeit erheblich.

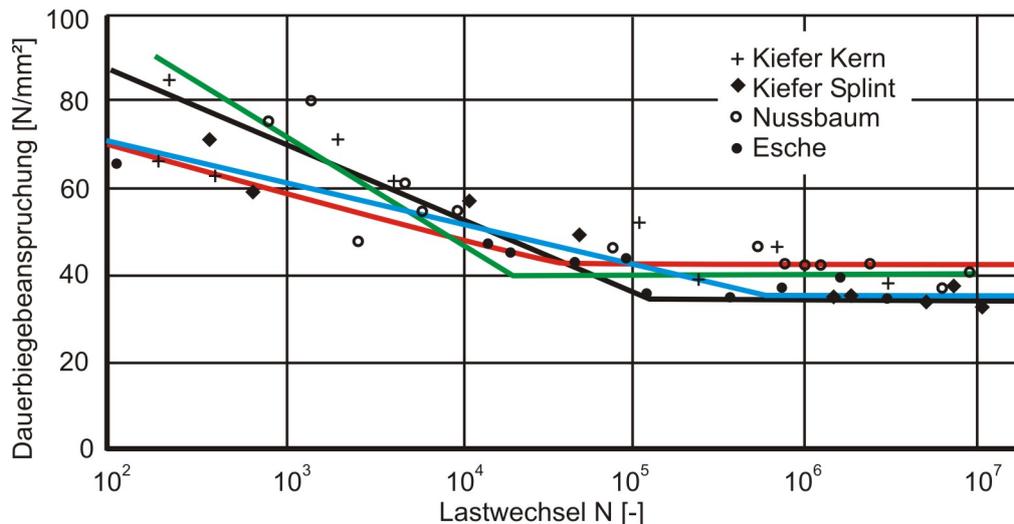


Bild 22: Wöhlerkurven bei Wechselbiegebeanspruchung [22]

#### 4.4 Härte

Die Härte ist abhängig von Art, Rohdichte und Feuchte des Holzes. In Faserrichtung ist sie etwa doppelt so groß wie quer zur Faser. Steigende Feuchte bis zum Fasersättigungspunkt mindert die Härte um 60 bis 80 %:

- Weichhölzer: Fichte, Tanne, Kiefer
- mittelharte Hölzer: Buche, Eiche, Lärche, Douglasie, Southern Pine, Teak
- sehr harte Hölzer (Wasserbauhölzer): Azobé (Bongossi, Afrika), Angelique (Südamerika), Greenhart (Südamerika).

Die Streuung ist infolge unterschiedlicher Wuchseigenschaften erheblich.

#### 4.5 Dauerhaftigkeit

##### 4.5.1 Widerstand gegen mechanische Abnutzung

Der Verschleißwiderstand spielt z. B. bei Böden eine wichtige Rolle. Er wächst mit steigender Rohdichte und Härte sowie abnehmender Holzfeuchte. Darüber hinaus ist er auf der Tangentialschnittfläche am kleinsten, d. h., er ist bei stehenden Jahresringen größer als bei liegenden. Durch Oberflächenschutzsysteme (z. B. Imprägnierungen) kann er erheblich verbessert werden.

##### 4.5.2 Widerstand gegen chemische Angriffe

Verschiedene Holzarten sind gegenüber chemischen Substanzen verhältnismäßig widerstandsfähig. Dies gilt vor allem für die Beanspruchung durch Laugen und Säuren mit pH-Werten zwischen 3 und 10. Nadelhölzer verhalten sich besser als Laubhölzer. Das Auskristallisieren von Salzen aus aufgesaugten Lösungen zerstört das Holz mechanisch. Mit Metallen kommt es in Gegenwart von Elektrolyten zu einem eng begrenzten langsamen Angriff. Verfärbungen beim Kontakt Eisen - gerbstoffhaltiges Holz und Holz - Zement oder Kalk sind für die Holzfestigkeit ohne Bedeutung.

Holz wird daher in zunehmendem Maße beim Bau von Lagerhallen mit korrosivem Klima (chemische Industrie, Salzlager für den Straßen-Winterdienst etc.) eingesetzt.

##### 4.5.3 Widerstand gegen Witterungseinfluss

Das Holz wird durch Sonneneinstrahlung und häufige Feuchte- Temperaturwechsel beansprucht.

UV-Strahlen zerstören die obersten Holzschichten, was eine Verfärbung zur Folge hat und Wassereinwirkung lässt die Holzoberfläche vergrauen. Schutzmaßnahmen mindern die Wasseraufnahme und die Einwirkung von UV-Strahlen.

Bei jedem Wechsel der Feuchte (und Temperatur) arbeitet das Holz, d. h., es quillt bzw. schwindet, so dass es aufreißt. Über die Risse dringt dann nicht nur Feuchtigkeit ein, sondern auch Holz zerstörende Pilze.

Wird das Holz ständig unter Süßwasser genutzt (unter Luftabschluss), so bleibt es unbegrenzt haltbar. Seewasser hingegen hat eine korrodierende Wirkung.

## 5 Holzwerkstoffe [6, 14, 22]

Durch Weiterverarbeitung des Holzes können wesentliche Nachteile, die in den Wuchseigenschaften, der Anisotropie und der Empfindlichkeit gegenüber Feuchteänderungen liegen, aufgehoben, bzw. verbessert werden. Die Weiterverarbeitung zu Holzwerkstoffen und deren Anwendung haben in den letzten Jahren stark an Bedeutung zugenommen.

Die Möglichkeiten der Weiterverarbeitung gliedern sich folgende Hauptbereiche:

- Aufteilen des Holzes (Lamellen, Furniere) und Wiedervereinigung durch Verleimen unter Druck: Lagenholz
- Zerkleinern (Holzwolle, Holzspäne, Holzfasern) und Neubindung durch Bindemittel: Holzspan- und Holzfaserwerkstoffe
- Chemischer Aufschluss (völlige Holzfaserzerstörung) und Pressen unter hohem Druck mit oder ohne Bindemittel: Holzfaserwerkstoffe

Im Vergleich zu Vollholz ermöglichen sie nicht nur eine wesentlich wirtschaftlichere Ausnutzung des Rohstoffes Holz, sondern erlauben auch andere Formen (Bild 23). Dadurch ergibt sich eine Fülle neuer Anwendungsmöglichkeiten. So können z. B. sehr große dreidimensionale Dachschalen gebaut werden, die aus großen vorgefertigten Teilen bestehen. Darüber hinaus sind sie auch eine Basis der rasanten Entwicklung im Geschosswohnungsbau, wo ebenfalls vorgefertigte Großtafeln eingesetzt werden. In vielen Fällen weisen die Holzwerkstoffe gegenüber Vollholz bessere technische Eigenschaften auf. Bauaufgaben, die bisher anderen Stoffen vorbehalten waren, können mit den neuen Materialien problemlos wirtschaftlich bewältigt werden. Zum Teil sind die im Folgenden genannten Holzwerkstoffe noch nicht genormt, sondern können nur auf der Basis einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung oder einer Zulassung im Einzelfall angewendet werden.



Bild 23: Dachtragwerk aus dem Holzwerkstoff Brettschichtholz

### 5.1 Brettschichtholz

Brettschichtholz (abgekürzt auch BS-Holz oder BSH) ist ein industriell gefertigtes Produkt für tragende Konstruktionen. In älteren Publikationen wird BS-Holz auch als Leimholz oder Leimbalken bezeichnet. BSH besteht aus mindestens drei faserparallel miteinander verklebten getrockneten Brettern oder Brettlamellen aus Nadelholz. Es ist infolge der Festigkeitssortierung des Ausgangsmaterials und der Homogenisierung durch schichtweisen Aufbau vergütet und hat bis zu 80 % höhere Tragfähigkeiten als übliches Bauholz. BS-Holz ist herstellungsbedingt ein sehr formstabiler und weitgehend rissminimierter Baustoff.

Träger großer Spannweiten können aus einzelnen Brettlamellen aufgebaut werden, wobei besondere Sorgfalt bei der Auswahl und Anordnung der Bretter und bei der Verleimung angewendet werden muss. Wuchsfehler des Vollholzes können ausgeglichen und gleichmäßige Festigkeiten im Querschnitt (Bild 24) erreicht werden. Es können Träger mit veränderlicher Querschnittshöhe und auch gekrümmte Leimbinder hergestellt werden. In den hoch beanspruchten äußeren Zonen werden zweckmäßigerweise nur qualitätsmäßig beste Bretter angeordnet, wobei die Brettlamellen durchgehen sollen. In der Nähe der neutralen Achse kann Holz geringerer Güte verwendet werden. Durch Trocknung, Homogenisierung und

Festigkeitssortierung entsteht ein sehr formstabiles, rissminimiertes Produkt, das eine bis zu 80 % größere zulässige Biegespannung als übliches Bauschnittholz aufweist.

Die Vorteile von BSH sind

- Minimierung von Störzonen (z. B. Äste und Risse)
- Zweckmäßiger Aufbau (hochwertige Bretter außen)
- Bessere Ausnutzung des vorhandenen Holzes (z. B. Reduzierung des Verschnitts, Formgebung)
- Geringere Formänderungen bei Feuchtewechseln
- Größere Querschnitte/Spannweiten möglich
- Gekrümmte Bauteile möglich (Bild 25)

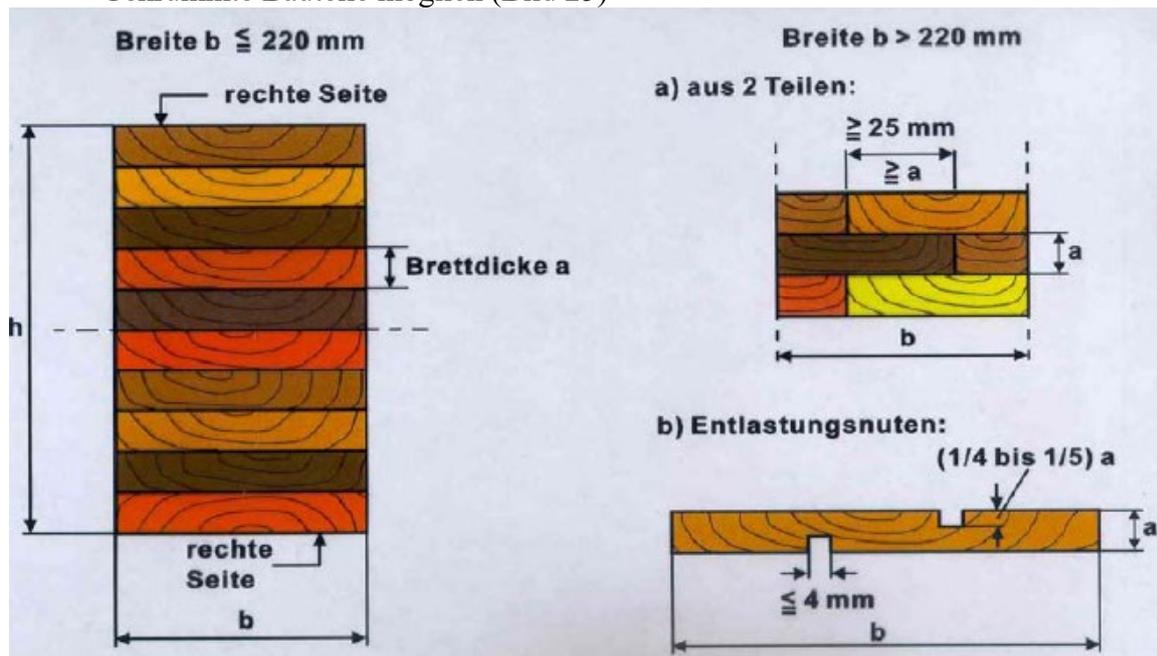


Bild 24: Aufbau von Brettschichtholz im Querschnitt [22]

Beispiele für brettschichtverleimte Balken an Bauwerken in München sind:

- Fachwerkträger im Cosimabad,
- überdeckte Fachwerkbrücke über den Isarkanal bei Unterföhring.
- Leimbinder: Circus Krone in München, Reitstadion in München-Riem.

BSH nach derzeit nach DIN EN 14080 [23] in die Klassen GL20h, GL20c, GL22h, GL22c, GL24h, GL24c, GL26h, GL26c, GL28h, GL28c, GL30h, GL30c, GL32h und GL32c eingeteilt. GL steht dabei für „Glulam“: "glued laminated timber". Die nachfolgende Zahl gibt die charakteristische Biegefestigkeit in  $N/mm^2$  an. Das h bzw. c steht für „homogeneous“ bzw. „combined“ Brettschichtholz. Für homogenes BSH müssen alle Lamellen die gleiche Festigkeitsklasse haben. Im Fall des kombinierten BSH sind die Festigkeitsklassen der inneren und der äußeren Lamellen unterschiedlich.

Die Bezeichnung von BSH setzt sich wie folgt zusammen:

- [Breite]x[Höhe] [Festigkeitsklasse] z. B.: 200x800 GL 28c

Zur Reduzierung Feuchte bedingter Querzugspannungen müssen die Lamellen im Querschnitt so angeordnet werden, dass die "rechten" (also die der Markröhre zugewandten) Seiten der Bretter in dieselbe Richtung weisen. Zur Reduzierung der Rissbildung und zum Vermeiden von sogenannten Abschilferungen müssen in Bauteilen, die in der Nutzungsklasse (NKL) 3 nach DIN EN 335 [24] verwendet werden sollen, beide äußeren Bretter mit der rechten Seite nach außen weisen (Bild 24). Neuere Entwicklungen sind Verbundquerschnitte (sogenannte blockverleimte Querschnitte (Bild 25)) [14].



Bild 25: gekrümmter BSH Träger bei der Herstellung (links), fertiges BSH mit verschiedenen Querschnitten (rechts)

### 5.2 *Konstruktionsvollholz und Balkenschichtholz (BASH)*

Eine weitere Möglichkeit größere oder noch formstabile Querschnitte herzustellen bietet industriell hergestelltes Konstruktionsvollholz und Balkenschichtholz (BASH) (Bild 26).

Konstruktionsvollholz erfüllt höhere Anforderungen als für die Sortierklasse S 10 gefordert und ist u. a. allseits gehobelt, technisch getrocknet auf  $15 \pm 3 \%$  sowie Einschnitt herzgetrennt oder auf Wunsch herzförmig (siehe Bild unten links). Für Balkenschichtholz nach DIN EN 14080 [23] werden Nadelholz-Balken (Fichte, Tanne, Kiefer, Lärche und Douglasie) aus 2 oder 3 faserparallel miteinander verklebten Einzelhölzern gleicher Querschnittsmaße zu Balkenschichtholz (BASH) verarbeitet.



Bild 26: Beispiele für Konstruktionsvollholz (links) und Balkenschichtholz (Mitte und rechts)

### 5.3 *Lagenholz*

Die 0,5 bis 8 mm dicke Furniere werden meistens als endloses Band vom Stamm geschält, seltener in Stammbreite geschnitten oder gesägt. Die Furniere werden in der Regel durch Schälen von Rundholz erzeugt (Schäl furniere). Als dekorative Oberflächen kommen auch gemesserte (Messerfurniere), selten gesägte Furniere zum Einsatz (Sägefurniere) (Bild 27).

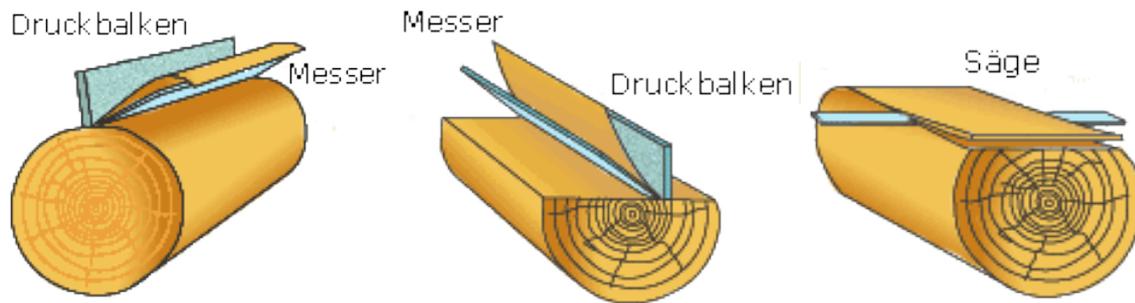


Bild 27: verschiedene Furnierschnittarten

### 5.3.1 Multiplan-Platten

Multiplan-Platten bestehen aus 3 bis 5 Lagen kreuzweise verleimter Nadelholzbretter. Die äußere Lage ist rd. 7 mm dick, die Dicke der inneren Lagen variiert zwischen 7 und 27 mm. Es werden Platten mit einer Breite bis 2 m und einer Länge bis 20 m bei Dicken bis 4 cm hergestellt. Die mechanischen Eigenschaften sind mit denen von Baufurniersperrholz und Furnierschichtholz vergleichbar.

### 5.3.2 Sperrholz

Unter dem Sammelbegriff Sperrholz werden alle Platten aus mindestens drei aufeinander geleimten Holzlagen verstanden, deren Faserrichtungen um 90° gegeneinander versetzt sind (Bild 28). Durch das "Absperren" der einzelnen Lagen zueinander wird das Quellen und Schwinden besonders in Plattenebene (also in Länge und Breite der Platte) minimiert und die richtungsgebundenen Festigkeitseigenschaften des massiven Holzes homogenisiert. Die gängigen Sperrhölzer für allgemeine Zwecke werden in den Verleimungen EF (nicht wetterbeständig) und AW (bedingt wetterbeständig) angeboten. Bei Sperrholz können die einzelnen Lagen aus Furnieren, Holzstäben oder -stäbchen bestehen. Dabei werden unterschieden:

**Furniersperrholz** (frühere Bezeichnung: Furnierplatte) besteht aus mindestens drei Lagen von parallel zur Plattenebene angeordneten Furnieren. Die Furniersperrhölzer sind in der Regel aus einer ungeraden Zahl von kreuzweise miteinander verleimten Lagen symmetrisch aufgebaut. Durch Änderung von Zahl, Dicke und Anordnung der Einzellagen ergeben sich zahlreiche Möglichkeiten des Plattenaufbaus und damit auch der resultierenden Platteneigenschaften. Auch die Furnierholzart ist von entscheidender Bedeutung für die Sperrholzeigenschaften, wobei Sperrhölzer auch symmetrisch aus verschiedenen Holzarten aufgebaut sein können.

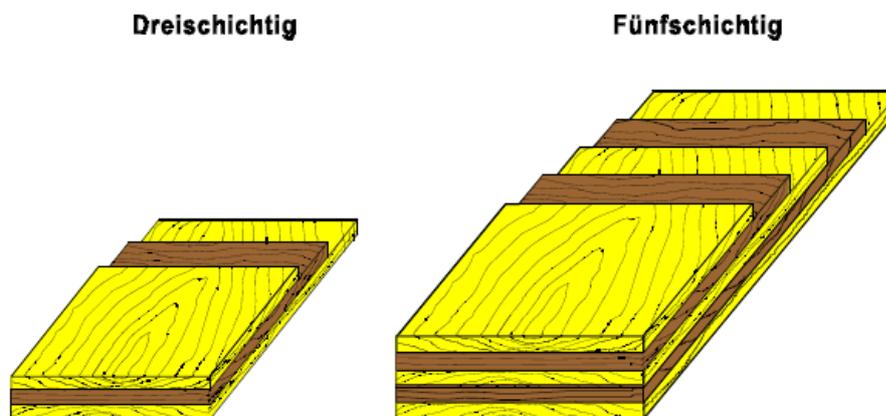


Bild 28: Aufbau von Furniersperrholz [22]

Platten mit Dicken über 12 mm und mit mindestens 5 Lagen werden auch als Multiplexplatten bezeichnet. Bei besonders hohen Ansprüchen an gleiche Eigenschaften in allen Richtungen der

Plattenebene können die Einzellagen auch sternförmig (Sternholz) angeordnet werden. Bestehen die Lagen einer Platte aus unterschiedlichen Holzarten, spricht man von Kombi-Sperrholz. Dort werden die höherwertigen Holzarten als Deckfurniere eingesetzt.

**Stabsperrholz** (frühere Bezeichnung: Tischlerplatte mit Stabmittellage) besteht aus einer Mittellage von etwa 24 mm breiten, gesägten Vollholzleisten ("Stäben"), auf der beidseitig jeweils ein Deckfurnier (3-lagige Platte) oder ein Absperr- und ein Deckfurnier (5-lagige Platte) aufgebracht sind. Die Faserrichtungen der benachbarten Lagen kreuzen sich jeweils (Bild 29).

**Stäbchensperrholz** (frühere Bezeichnung: Tischlerplatte mit Stäbchenmittellage) besteht aus einer Mittellage von 5 bis 8 mm dicken, hochkant gestellten Schäl furnierstreifen ("Stäbchen"), auf der beidseitig jeweils ein Deckfurnier (3-lagige Platte) oder ein Absperr- und ein Deckfurnier (5-lagige Platte) aufgebracht sind (kein Welligwerden der Plattenoberfläche bei Feuchteänderungen). Dieser zusätzliche Absperrereffekt gewährleistet beim weiteren Überfurnieren für hochwertige Möbeloberflächen eine besonders ebene und glatte Oberfläche.

**Stabsperrholz  
(ST)**

**Stäbchensperrholz  
(STAE)**

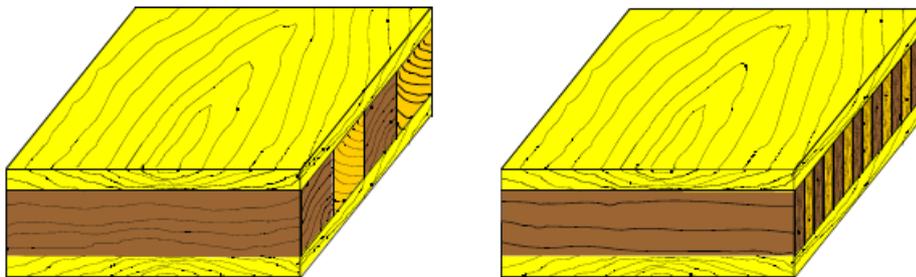


Bild 29: Aufbau von Stab- und Stäbchensperrholz [22]

**Zusammengesetztes Sperrholz** besitzt mindestens eine zusätzliche Lage, die nicht aus Furnieren, Stäben oder Stäbchen besteht. Die beiden Außenlagen bestehen aus Furnierlagen und bewirken den Absperrereffekt. Für die Innenlagen kommen neben anderen Holzwerkstoffen, z. B. Spanplatten, auch nicht holzhaltige Materialien in Frage, z. B. biege weiche Kunststoffschichten zur Verbesserung der Schalldämmung; Metalle und glasfaserverstärkte Kunststoffe, die zur Erhöhung der Steifigkeit dienen, werden meist auf die Plattenoberfläche aufgebracht, so dass sie als Beschichtung oder Beplankung des Trägermaterials Sperrholz dienen.

Entsprechend des unterschiedlichen Aufbaus von Sperrholz, der unterschiedlichen Materialien und der unterschiedlichen Möglichkeiten der Herstellung von Spezialprodukten, sind die **Verwendungsmöglichkeiten** von Sperrholz breit gefächert. Im Rohbau wird es für Außenwände, Dachschalung, Innenwände und Decken, für Außenbekleidung und Betonschalung eingesetzt. Im Ausbau findet es Einsatz für Trennwände, Türen, Treppen, Wand- und Deckenbekleidung, Dachausbauten, Einbauschränke, Regale und als Trägermaterial für moderne Holzfußböden und Fertigparkett. Beim Möbelbau wird es für Wohnmöbel, Möbel für Feuchträume, Sitzmöbel, Werkstatt-, Labor- und Schultische verwendet. Im Behälter- und Verkehrsmittelbau wird es für Verpackungen, im Container-, Fahrzeug- und Bootsbaue eingesetzt. Sonstige Anwendungsbereiche finden sich im Laden-, Messe- und Gaststättenbau (schwerentflammbare Spezialplatten), bei Geldinstituten (beschussichere Spezialplatten), im Kühlraumbau (wärmedämmende Spezialplatten), für Schablonen, Gleitbahnen usw. (Kunstharz-Pressholz) und für hochstrapazierbare Industrieregale. Weiterer Verwendungsbereich ist der Musikinstrumentenbau.

## **5.4 Spanholz / Spanplatten**

Unter Spanplatten versteht man im allgemeinen Platten aus kurzen Spänen von wenigen Zentimetern Länge. Als Bindemittel werden meist Kunstharz, seltener Zement, Gips und Magnesit verwendet. Die Späne bestehen aus Holz, aus dem kein Bauholz mehr gewonnen werden kann, d. h. Abfall- oder Altholz. Es werden aber auch andere holzartige Faserstoffe verwendet. In der Mittellage können ohne Festigkeitsverlust auch bis zu 20 % durch Altpapier ersetzt werden. Da der massive Holzverbund aufgehoben ist, haben diese Platten in Richtung der Plattenebene, also Länge und Breite der Platte, nahezu die gleichen Quell- und Schwindeigenschaften, allerdings auch wesentlich geringere Festigkeiten als Vollholz. Durch die Rohstoffwahl und das Herstellungsverfahren können die Eigenschaften der Spanplatten in einem weiten Bereich variiert werden. Wird z. B. Gips als Bindemittel verwendet, ist das Schwinden sehr gering. Allgemein wird der Feuerwiderstand durch mineralische Bindemittel deutlich erhöht. Diese Platten genügen höheren Anforderungen hinsichtlich ihres Brandverhaltens. Während des Herstellungsprozesses können Pilzschutzmittel und Feuerschutzmittel für spezielle Plattenanforderungen beigemischt werden. Nach der Herstellung können die Platten mit Furnieren, Kunststoffen, Folien oder Lacken beschichtet werden. Man unterscheidet Flachpressplatten und Strangpressplatten.

Spanplatten haben eine breite Palette von Verwendungsmöglichkeiten mit Schwerpunkten im Möbelbau, Innenausbau und Bauwesen. Im Rohbau wird es für Innenwände, Außenwände, Decken, Außenbekleidung, Dachschalungen und im landwirtschaftlichen Stallbau eingesetzt. Im Ausbau werden sie für Trennwände, Wand- und Deckenbekleidungen (Paneele), Fußboden-Unterböden, Dachausbauten, Einbauschränke und Regale benutzt. Ebenso zu Einsatz kommen Spanplatten im Möbel-, Behälter- und Verkehrsmittelbau. In vielen Verwendungsbereichen kann die Spanplatte gleichermaßen wie Sperrholz eingesetzt werden und ersetzt dieses aus Kostengründen. Dort jedoch, wo hohe Anforderungen an die Festigkeit und Formstabilität des Werkstoffs gestellt werden, ist Sperrholz klar im Vorteil.

### **5.4.1 Flachpressplatten**

Flachpressplatten entstehen durch Streuen beleimter Späne auf eine plane Unterlage und anschließendes Pressen quer zur Plattenebene. Dabei ergibt sich eine Orientierung der Späne in Plattenebene. Flachpressplatten besitzen deshalb günstige Zug-, Druck- und Biegefestigkeiten in Plattenebene, aber infolge des relativ lockeren Spanverbandes in der Mittelschicht eine geringe Zugfestigkeit bei Beanspruchung quer zur Plattenebene. Durch eine besondere Plattenstruktur (ausgeprägtes Rohdichteprofil mit hohen Rohdichten bis etwa  $1 \text{ g/cm}^3$  in den Deckschichten) und dem damit hervorgerufenen Beplankungseffekt oder durch Orientierung flacher Späne können die Festigkeitseigenschaften in Plattenebene noch verbessert werden. In Mitteleuropa haben die Flachpressplatten unter den Holzwerkstoffen für tragende Zwecke mengenmäßig die größte Bedeutung erlangt.

### **5.4.2 Strangpressplatten**

Strangpressplatten werden durch Stopfen der beleimten Späne in einen Pressschacht mit den Abmessungen der späteren Plattendicke und Plattenbreite hergestellt. Hierdurch ergibt sich eine Orientierung der Späne quer zur Plattenebene, aus der eine relativ hohe Zugfestigkeit quer zur Plattenebene resultiert. Strangpressplatten müssen als reine Mittellagenplatten beidseitig beplankt werden, z. B. mit Furnieren, Furniersperrholz oder harten Holzfaserverplatten, wenn sie auf Zug, Druck oder auf Biegung in Plattenebene beansprucht werden sollen.

### **5.4.3 OSB-Platten**

OSB-Platten (oriented strand board) sind in DIN EN 300 [25] definiert. Die Norm klassifiziert die OSB-Platten hinsichtlich ihrer Festigkeit, Steifigkeit und ihres Verhaltens unter

Feuchteinfluss. OSB-Platten werden aus 60 bis 75 mm langen und 0,6 mm dicken rechteckigen Flachspänen in 3 Lagen hergestellt. Die Flachspäne werden durch Brechen von Schäl furnieren (vorwiegend Kiefer) gewonnen. In den Deckschichten sind die Späne in der Hauptbeanspruchungsrichtung (Plattenlängsrichtung) ausgerichtet, in der Mittellage quer dazu. Die mit wenigen Prozent Phenolharz verleimten Platten sind 6 bis 25 mm dick, bis 5,0 m lang und bis 2,5 m breit. Die zulässigen Spannungen liegen zwischen Baufurnier-Sperrholz und Flachpress-Spanplatten. OSB wurde als eine Konstruktionsplatte entwickelt und hat im Bauwesen ihre Haupteinsatzgebiete. Sie ist besonders für die nordamerikanische Holzrahmenbauweise geeignet. Weiterhin kann sie als Trägerplatte für Sandwichkonstruktionen oder Fertigparkett, in der Verpackungsindustrie, im Gestellbau, dem Container- und Wohnwagenbau, im gesamten Innenausbau und im Außenbau in Form von Dach- und Wandschalungen, Trennwänden und Fußböden zum Einsatz kommen. Außerdem bietet die Platte durch Form und Anordnung der Späne dekorative Verwendungsmöglichkeiten.

## 5.5 *Holz faserplatten*

Holz faserplatten werden im Nassverfahren, bei dem der Zusammenhalt der Fasern und Faserbündel weitgehend auf natürlicher Faserbindung beruht, oder im Trockenverfahren mit Kunstharz als Bindemittel hergestellt. Holzfasern oder Faserbündel werden zu ebenmäßigen Platten geformt, deren struktureller Zusammenhalt im Wesentlichen auf der Verfilzung des Faserstoffes und den holzeigenen Bindekräften oder zugesetzten Klebstoffen beruht. Sie werden als Ein- oder Mehrschichtplatten erzeugt und verhalten sich wie die flach gepressten Spanplatten in der Plattenebene in allen Richtungen gleichmäßig. So weisen sie in der Plattenebene in allen Richtungen gleichartiges Quell- und Schwindverhalten auf. In der Regel haben die Querschnitte von Holz faserplatten ein einheitliches Gefüge. Man kann jedoch auf der Plattenoberseite eine Schicht feineren oder anders gearteten Faserstoffes aufbringen und dadurch eine besonders dichte Oberfläche erzielen. Je nach Pressdruck und daraus resultierender Verdichtung des Faservlieses werden unterschiedlich dichte Platten produziert; sie weisen somit verschiedene Rohdichten auf:

- Poröse Holz faserplatten mit Rohdichten unter  $0,35 \text{ g/cm}^3$  für Dämmzwecke (z. B.  $\lambda = 0,50 \text{ W/(mK)}$ ). Die Oberfläche lässt sich leicht eindrücken.
- Bitumen-Holz faserplatten sind poröse Holz faserplatten, die durch Zugabe von Bitumen erhöhte Feuchtebeständigkeit besitzen.
- Mittelharte Holz faserplatten (MDF-Platten = Medium Density Fibreboard) mit Rohdichten zwischen  $0,35$  und  $0,80 \text{ g/cm}^3$ . Für tragende und aussteifende Zwecke im Bauwesen kommen allerdings nur Platten mit Mindestroh dichten von  $0,65 \text{ g/cm}^3$  in Frage.
- Harte Holz faserplatten mit Rohdichten über  $0,8 \text{ g/cm}^3$  werden meist in Dicken zwischen 1,2 und 6 mm hergestellt. Ihre Rückseiten weisen eine so genannte Siebstruktur auf. Daneben werden auch beidseitig glatte Platten hergestellt. Die Plattendicke beträgt bis zu 8 mm, vorzugsweise 3 bis 4 mm. Für die Deckschichten verwendet man gern Feinstoff, um eine homogene, geschlossene Oberfläche zu erhalten. Zur Verbesserung der Festigkeitseigenschaften können die Platten nachvergütet werden (Extrahart-Platten). Für dekorative Zwecke werden sie vielfach lackiert oder beschichtet.
- Extra harte Faserplatten haben ein deutlich geringeres Quellvermögen als harte Faserplatten. Sie werden unter anderem in der Betonschalung und für Spezialverpackungen verwendet.
- Auch im Bereich der Holz faserplatten gibt es Neuentwicklungen, z. B. die Gipsfaserplatten, für die bisher aber noch keine Qualitätsnormen vorliegen.

## **5.6 Holzwolleleichtbauplatten**

Holzwolleleichtbauplatten werden aus Holzwolle mit mindestens 80 mm Spanlänge und einem mineralischen Bindemittel (Zement, Gips oder Magnesit) hergestellt. Bei Magnesitbindung bleibt Holzwolle zäh, während sie bei Verwendung von Zement und Gips versprödet. Holzwolleleichtbauplatten sind nach DIN 4102-4 [26] schwer entflammbar und finden Verwendung als Wärmeschutz, Zwischenwände und Bekleidungen (Putzträger).

## **5.7 Thermoholz (TMT) [27, 28]**

Als Thermoholz wird thermisch modifiziertes Holz (englisch: Thermally Modified Timber, kurz TMT) bezeichnet [28]. Es ist das Endprodukt einer thermischen Behandlung (Erhitzen) von Holz auf mindestens 160 °C bei Sauerstoffmangel (unter Wasser oder in Öl). Chemisch handelt es sich bei TMT um das Ergebnis einer Teilpyrolyse in sauerstoffarmer Atmosphäre. Es werden für etwa 24 bis 48 Stunden Temperaturen von 170 °C bis 250 °C eingesetzt.

Die thermische Behandlung ändert die OH-Gruppen (Hydroxylgruppen), die zwischen Hemizellulose und Lignin verbunden sind. Hemizellulose (kurzkettige Zuckerbausteine) wird ab etwa 140 °C partiell abgebaut und kristallisiert in anderer Form wieder aus. Durch das Erhitzen des Holzes werden Acetylgruppen an den Hemizellulose abgespalten und Essigsäure gebildet. Die Essigsäure wirkt als Katalysator beim Abbau der Hemizellulose und führt zur Abnahme des Polymerisationsgrades der Hemizellulosen. Ab etwa 150 °C wird auch Alpha-Zellulose abgebaut. Durch Ligninkondensation steigt der relative Ligninanteil im Holz. Flüchtige Stoffe wie Harze und Abbauprodukte der Hemizellulose und des Lignins werden ausgetrieben.

Durch die Umwandlung bzw. Besetzung freier OH-Gruppen werden Schwind- und Quellmaß in tangentialer, axialer und radialer Richtung um bis zu 70 % verringert. Die Dauerhaftigkeit gegen tierische und pilzliche Holzschädlinge wird durch die thermische Behandlung erhöht. Die Temperaturbehandlung führt zu einer deutlichen Reduzierung des pH-Wertes auf 1,5. So wird den Mikroorganismen der Nährboden entzogen. Zugleich wird Wasser nur eingeschränkt aufgenommen. Rotbuchenholz kann als thermisch modifiziertes Holz je nach Intensität des Thermo-Prozesses Resistenzklassen 1, Fichtenholz Klasse 2 und Eschenholz Klasse 1 bis 2 erreichen (siehe Kapitel 7.1). Die Holzfarbe wird dunkler (durch den ganzen Querschnitt), ist jedoch nicht UV-beständig (Aufhellung) (Bild 30).

Ein großer Unterschied besteht zwischen Thermonadelholz und Thermolaubholz. Die wärmebehandelten Nadelhölzer haben durch den Substanzabbau und durch den Harzaustritt eine reduzierte Dichte und sind sehr weich, was bei Laubhölzern nicht in dem Maße der Fall ist. Je nach Behandlungsintensität bzw. -methode verringern sich die Festigkeitswerte (Druck- und Biegezugfestigkeit) des Holzes durch die Behandlung. Insbesondere die Abnahme der Spaltfestigkeit kann hierbei kritisch sein.

Aufgrund der Veränderungen auf molekularer Ebene sind nicht alle Leime oder Beschichtungen für das thermisch modifizierte Holz verwendbar, die für das Ausgangsmaterial benutzt werden. Weiterhin erhält das Holz einen rauchigen Geruch, der aber mit der Zeit nachlässt.



Bild 30: Thermoholz der Rotbuche (*Fagus sylvatica*) im Vergleich (von rechts nach links): gedämpft (Rotkern), TMT-Buche 190 (thermobehandelt bis ca. 190 °C), TMT-Buche 200 (thermobehandelt bis ca. 200 °C) (Foto: Michel Weidner) [27]

## 6 Holzschädlinge [6, 22, 29]

Holz kann unter bestimmten Randbedingungen von pflanzlichen und tierischen Holzschädlingen befallen werden. Die größten Schäden werden durch Pilze verursacht. Ganz allgemein wird der Befall durch Holzfeuchten über 20 M.-% und Temperaturen oberhalb üblicher Raumtemperaturen gefördert. Manche Pilze und Insekten beschränken sich auf Nadel- oder Laubholz oder sogar nur auf bestimmte Holzarten, andere bevorzugen zwar bestimmte Hölzer, sind aber auch auf bzw. in anderen anzutreffen. In erster Linie wird das Splintholz befallen. Bestimmte Pilze können aber auch Kernholz abbauen. Insbesondere verschiedene Tropenhölzer besitzen Kerninhaltsstoffe, die gegen Pilzbefall weitgehend schützen. Die eindeutige Identifizierung pflanzlicher und tierischer Holzschädlinge sollte grundsätzlich Fachleuten vorbehalten bleiben.

### 6.1 Pilze

Pilze werden unterteilt in Holz verfärbende und Holz zerstörende Pilze (Tabelle 18):

Tabelle 18: Einteilung der Pilze hinsichtlich des Zerstörungspotenzials

Pilztyp		Angegriffene Holzsubstanz	
Holz verfärbend	Bläupilze Schimmelpilze	Inhaltsstoffe der Holzzellen	
Holz zerstörend	Braunfäule	Zellwände	Überwiegend Zellulose
	Weißfäule		Zellulose und Lignin

**Holz verfärbende Pilze** leben von Nährstoffen, die in den Holzzellen gespeichert sind, und greifen die Zellwände nicht an. Sie führen daher zu keinem merklichen Festigkeitsverlust und auch zu keiner "Fäulnis". Dagegen können sie das Aussehen des Holzes nachteilig beeinflussen oder Anstrichschäden hervorrufen und hierdurch beachtliche Wertminderungen verursachen. Die wichtigsten Holz verfärbenden Pilze sind die Bläuepilze und die Schimmelpilze. Beide Pilzgruppen benötigen Holzfeuchten oberhalb der Fasersättigung. Bläuepilze befallen insbesondere Nadelholz und zwar vornehmlich Kiefer, aber auch Laubholz wie z. B. Buche und verschiedene Tropenhölzer.

**Holz zerstörende Pilze** schädigen das Holz durch chemischen Abbau, d. h., sie bauen im Gegensatz zu den Holz verfärbenden Pilzen die Zellwände ab und verursachen auf diese Weise eine "Fäulnis". Infolge des biologischen Angriffs können die Festigkeiten bis auf „0“ verringert werden (Bild 31 und Bild 32).

Der häufigste, gefährlichste und am schwierigsten zu bekämpfende Holz zerstörende Pilz ist der Echte Hausschwamm (*Serpula lacrimans*), der zu den Braunfäulepilzen gehört und auch Laubholz nicht verschont (Bild 33). Zu finden ist er im bodennahen Bereich von Altbauten; in Neubauten tritt er dagegen nur äußerst selten auf, sehr häufig dagegen nach unsachgemäßen Umbauten und Instandsetzungen von Altbauten. Als einziger pflanzlicher Holzzerstörer ist er entsprechend den Bauordnungen der Länder meldepflichtig.

Holzschwamm kann sich meterweit über holzfreie Stoffe ausbreiten und sogar Mauerwerk durchwachsen. Er ist zwar, wie alle Pilze, auf einen äußeren Feuchtigkeitzutritt angewiesen, kann diese aber über eine Entfernung von einigen Metern heranschaffen. Zur Bekämpfung sind daher zuerst einmal sämtliche Feuchtigkeitsquellen auszuschalten.

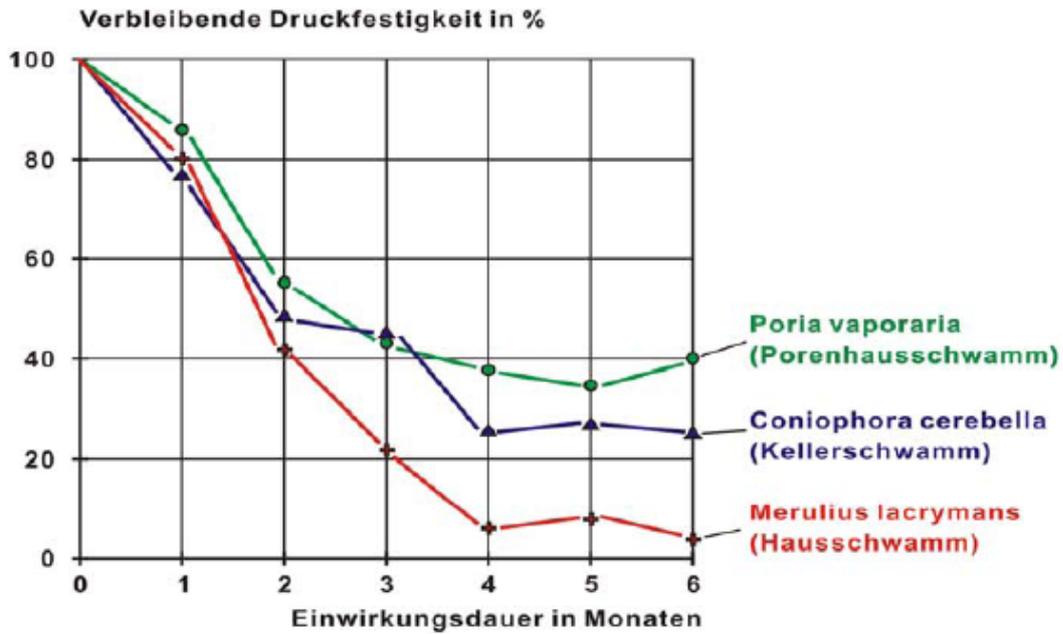


Bild 31: Abnahme der Druckfestigkeit von Kiefern-Splintholz durch Holz zerstörende Pilze [6, 22]

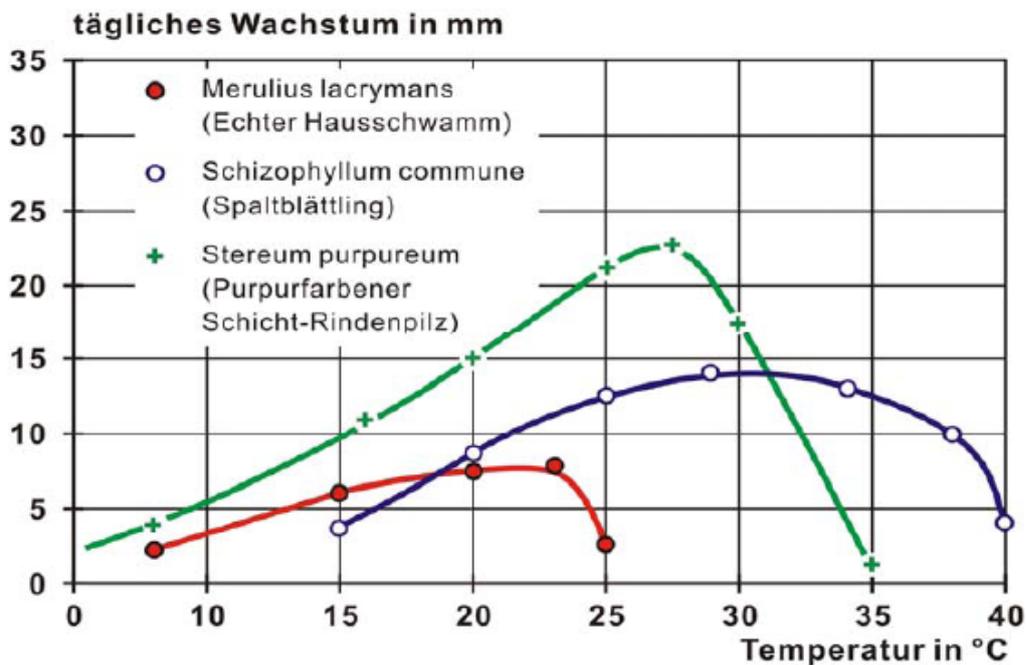


Bild 32: Pilzwachstum in Abhängigkeit von der Temperatur [6, 22]

Weitere gefährliche und häufig auftretende Gebäudepilze sind der Braune Kellerschwamm und der Weiße Porenschwamm. Diese beiden Pilze befallen ebenfalls vorwiegend Nadel-, seltener Laubholz und verursachen Braunfäule. Während der Weiße Porenschwamm eine Holzfeuchte von 40 M.-% braucht, benötigt der Braune Kellerschwamm eine Holzfeuchte von über 50 M.-%.

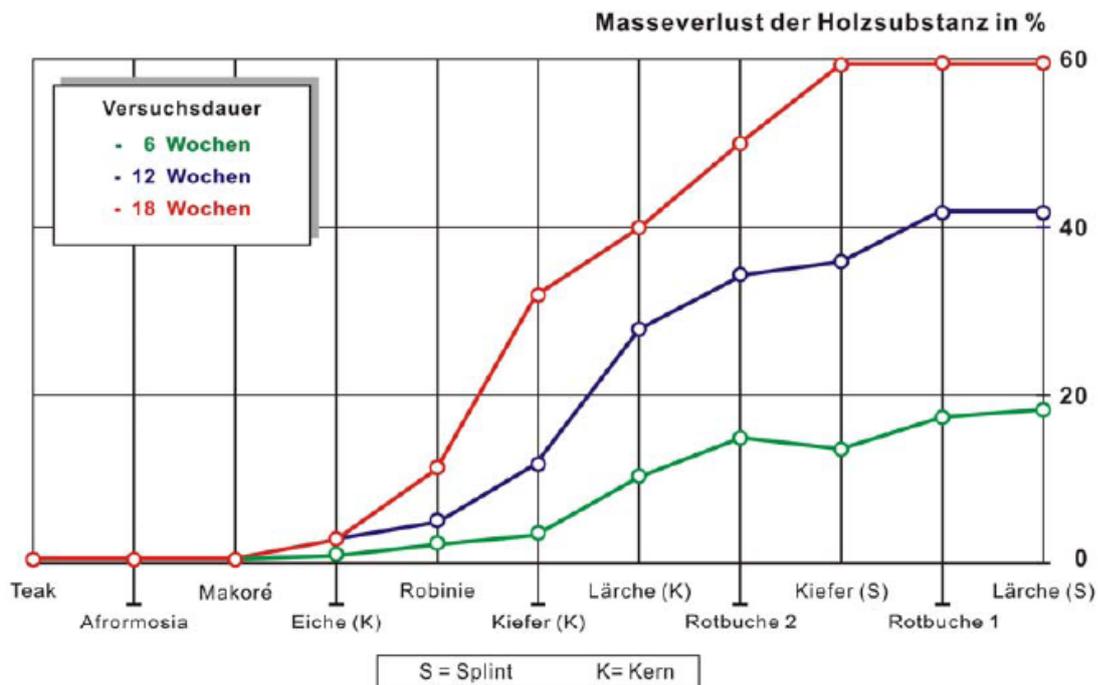


Bild 33: Abbau verschiedener Holzarten Merulius Lacrimans (Hausschwamm) [6, 22]

## 6.2 Insekten

Insekten durchlaufen 4 verschiedene Entwicklungsstadien: Ei - Larve - Puppe – Vollinsekt. Geschädigt wird das Holz ausschließlich durch die Larven, deren Stadium mehrere Jahre dauern kann.

Der in Mitteleuropa meist verbreitete und gefährlichste Käfer ist der Hausbockkäfer. Er befällt ausschließlich Nadelholz und zwar vor allem das eiweißreiche Splintholz und kommt am häufigsten in Dachstühlen vor, da er Temperaturen um 30 °C braucht. Weil er auch Holzfeuchten um 30 M.-% benötigt, ist er in feuchten Gebieten (Flusstäler, Küstenbereiche) häufiger anzutreffen. Der Befall ist lediglich an 5 bis 10 mm großen, ovalen Löchern im Holz zu erkennen, durch die die Käfer das Holz verlassen. Der weibliche Käfer ist 10 bis 25 mm groß, die Larve bis zu 30 mm. Unter der papierdünnen Holzoberfläche ist das Splintholz häufig weitgehend zerfressen. Die Befallswahrscheinlichkeit ist bei 10 bis 30 Jahre alten Gebäuden am größten.

Ein weiterer weit verbreiteter und sehr schädlicher Holzzerstörer ist der gewöhnliche Nagekäfer, volkstümlich auch Holzwurm genannt. Er bevorzugt Raumtemperatur und Holzfeuchten zwischen 20 und 25 M.-% und befällt vorwiegend die hellen Frühholzschichten aller einheimischen Hölzer.

Der Braune Splintholzkäfer ist in den letzten Jahrzehnten für die Holzverarbeiter der mit Abstand gefährlichste Holzschädling geworden, da er aus den Tropen kommend trockene (15 bis 16 M.-% Holzfeuchte) und warme (um 20 °C) Bedingungen bevorzugt. Er ist ein typischer Laubholzschädling.

In salzhaltigem Meerwasser verbautes Holz ist durch verschiedene Meerestiere gefährdet. Zu diesen gehören vor allem die Holzbohrmuschel und die Bohrrassel. Insbesondere Erstere kann Holz in wenigen Jahren fast völlig zerstören.

## 7 Holzschutz [22]

Die Wahl eines sinnvollen Holzschutzes setzt die Kenntnis der Beanspruchung voraus. Die allgemeine Gebrauchssituation richtet sich in erster Linie nach der lokalen Umgebung, in der Holz oder Holzprodukte eingebaut werden. Für die Beurteilung der Dauerhaftigkeit werden die mögliche Nutzungssituationen sowie dabei auftretende und das Holz angreifende Organismen in Gebrauchsklassen nach DIN EN 335 [24] eingeteilt (Tabelle 19). Diese können dann für die Bemessung nach DIN EN 1995 [30] Nutzungsklassen zugeordnet werden (Tabelle 20).

Tabelle 19: Gebrauchsklassen und auftretende Schadorganismen nach DIN EN 335 [24]

Gebrauchs- klasse	Allgemeine Gebrauchssituation <sup>a</sup>	Auftreten von Organismen <sup>b,c</sup>				
		Holz verfärbende Pilze	Holz zerstörende Pilze	Käfer	Termiten	Marine Organismen
1	Innenbereich, trocken	—	—	U	L	—
2	Innenbereich oder unter Dach, nicht der Witterung ausgesetzt. Möglichkeit der Kondensation	U	U	U	L	—
3	Außenbereich, ohne Erdkontakt, der Witterung ausgesetzt. Wenn unterteilt: 3.1 eingeschränkt feuchte Bedingungen 3.2 anhaltend feuchte Bedingungen	U	U	U	L	—
4	Außenbereich, in Kontakt mit Erde oder Süßwasser	U	U	U	L	—
5	Dauerhaft oder regelmäßig in Salzwasser eingetaucht	U <sup>d</sup>	U <sup>d</sup>	U <sup>d</sup>	L <sup>d</sup>	U

U = ist überall in Europa und in den Gebieten der Europäischen Union verbreitet  
L = tritt lokal in Europa und in den Gebieten der Europäischen Union auf

zeigt eine vereinfachte Entscheidungsabfolge für die Zuordnung von Holzbauteilen zu einer Gefährdungsklasse.

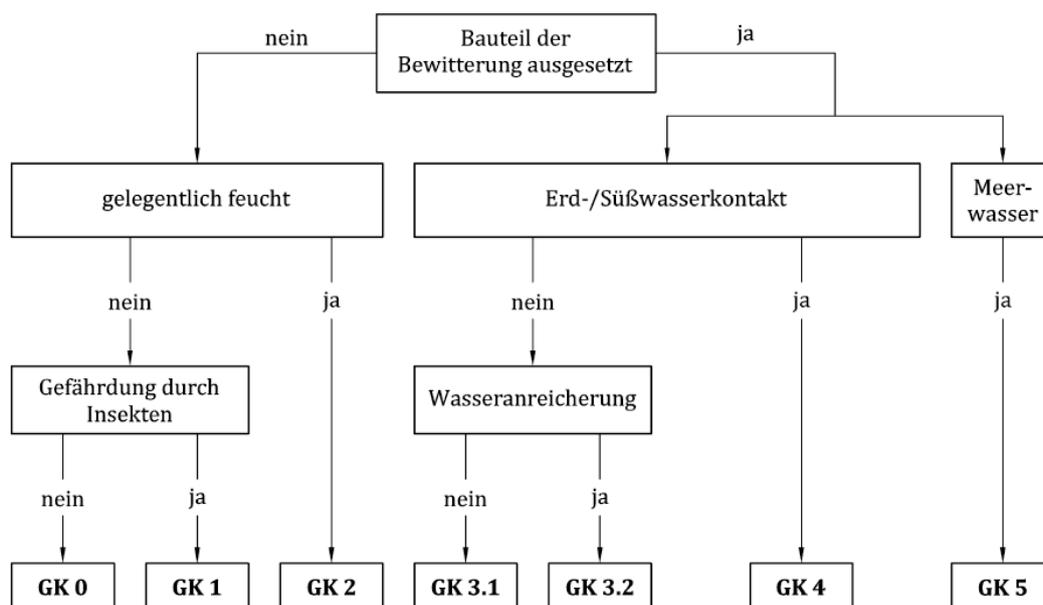


Bild 34: Vereinfachte Entscheidungsabfolge für die Zuordnung von Holzbauteilen zu einer Gefährdungsklasse [31]

Eine Zuordnung der Nutzungsklassen nach DIN EN 1995-1-1[30] zu möglichen entsprechenden Gebrauchsklassen nach DIN EN 335 [24] zeigt Tabelle 20.

Tabelle 20: Nutzungsklassen und deren mögliche entsprechende Gebrauchsklassen nach DIN EN 335 [24]

Nutzungsklasse nach EN 1995-1-1	Möglichst entsprechende Gebrauchsklasse nach EN 335:2013
Nutzungsklasse 1	Gebrauchsklasse 1
Nutzungsklasse 2	Gebrauchsklasse 1 Gebrauchsklasse 2, sofern das Bauteil in einer Situation ist, in der es einer gelegentlichen Befeuchtung, z. B. durch Kondensation, ausgesetzt sein kann.
Nutzungsklasse 3	Gebrauchsklasse 2 Gebrauchsklasse 3 oder höher, sofern im Außenbereich verwendet.

Die für tragende Bauteile erforderlichen vorbeugenden und bekämpfenden Holzschutzmaßnahmen sind in DIN 68800-1 [31] aufgeführt. Vorbeugender Holzschutz kann durch bauliche Maßnahmen (DIN 68800-2 [32]) oder Behandlung mit chemischen Holzschutzmitteln (DIN 68800-3 [33]) gewährleistet werden. Bekämpfungsmaßnahmen gegen Holz zerstörende Pilze und Insekten und Sanierungsmaßnahmen werden in DIN 68800-4 [34] geregelt.

Maßnahmen zur Erhöhung der maximalen Nutzungsdauer von Holzbauwerken

- Einsatz natürlich resistenter Holzarten
- Bauliche Maßnahmen
- Chemischen Holzschutzmittel
- Oberflächenschutzsysteme

### 7.1 Baulicher Holzschutz

Bauliche Maßnahmen wie Fernhalten von Niederschlag bzw. dessen schnelle Ableitung und Abschirmen gegenüber Feuchtigkeit aus dem Boden oder aus angrenzenden Bauteilen (Bild 34) können mit Ausführungsdetails z. B. [35] entnommen werden. Ausführliche Angaben finden sich in [32].

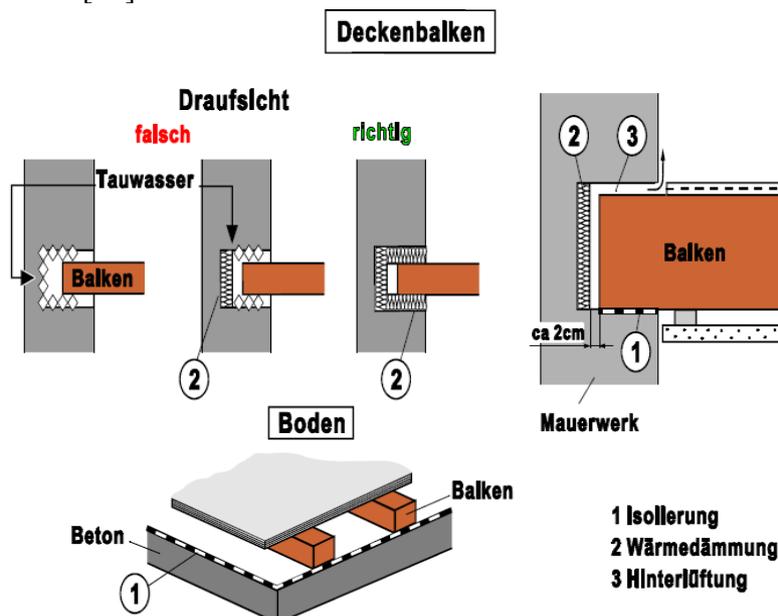


Bild 35: bauliche Maßnahmen zum Schutz von Holz [35]

Die Dauerhaftigkeitsklassen beziehen sich bei Holzarten immer nur auf das Kernholz. Splintholz wird immer als nicht dauerhaft angesehen. Die Dauerhaftigkeit einer Holzart oder eines Holzproduktes gegenüber den verschiedenen Holz zerstörenden Organismen wird auf Basis von Prüfergebnissen unter anderem anhand einer fünfstufigen Skala für Basidiomyceten-Fäulnispilze und Moderfäule-Mikropilze nach Tabelle 21 bzw. anhand einer zwei- bis dreistufigen Skala beim Befall durch Holz zerstörende Käfer, Termiten oder marine Organismen nach Tabelle 22 klassifiziert.

Tabelle 21: Dauerhaftigkeitsklassen (DC) verschiedener Holzarten gegen gegenüber Befall durch Holz zerstörende Pilze [36]

Dauerhaftigkeitsklasse	Beschreibung
DC 1	Sehr dauerhaft
DC 2	Dauerhaft
DC 3	Mäßig dauerhaft
DC 4	Weniger dauerhaft
DC 5	Nicht dauerhaft

Tabelle 22: Dauerhaftigkeitsklassen verschiedener Holzarten gegen gegenüber Befall durch Holz zerstörende Käfer, Termiten oder marine Organismen [36]

Dauerhaftigkeitsklasse	Beschreibung
DC D	Dauerhaft
DC M	Mäßig dauerhaft
DC S	Nicht dauerhaft

Die Einstufungen erfolgen anhand von Laborprüfungen. Dabei wird bei Holz zerstörenden Pilzen der auftretende Masseverlust oder die Abnahme des Elastizitätsmoduls als Kriterium herangezogen [36].

## 7.2 Chemischer Holzschutz nach DIN 68800-3 [33]

Holz wird in Abhängigkeit von der Exposition bzw. der damit verbundenen Holzfeuchte in die Gebrauchsklassen (Gk) 0 bis 5 eingeteilt. Tabelle 23 enthält Einsatzbeispiele für die Zuordnung.

Tabelle 23: Beispiele für Gebrauchsklassen [31]

GK	Holzfeuchte/Exposition <sup>a b</sup>	Allgemeine Gebrauchsbedingungen	Zwei Beispiele
1	2	3	4
0	trocken (ständig ≤ 20 %) mittlere relative Luftfeuchte bis 85 % <sup>c</sup>	Holz oder Holzprodukt unter Dach, nicht der Bewitterung und keiner Befeuchtung ausgesetzt, die Gefahr von Bauschäden durch Insekten kann entsprechend 5.2.1 ausgeschlossen werden	— sichtbar bleibende Hölzer in Wohnräumen — allseitig insektendicht abgedeckte Holzbauteile nach DIN 68800-2
1	trocken (ständig ≤ 20 %) mittlere relative Luftfeuchte bis 85 % <sup>c</sup>	Holz oder Holzprodukt unter Dach, nicht der Bewitterung und keiner Befeuchtung ausgesetzt	— nicht insektendicht bekleidete Balken, soweit 5.2.1 nicht zutrifft — Sparren/Pfetten in unbeheizten Dachstühlen, soweit 5.2.1 nicht zutrifft
2	Gelegentlich feucht (> 20 %) mittlere relative Luftfeuchte über 85 % <sup>c</sup> oder zeitweise Befeuchtung durch Kondensation	Holz oder Holzprodukt unter Dach, nicht der Bewitterung ausgesetzt, eine hohe Umgebungsfeuchte kann zu gelegentlicher, aber nicht dauernder Befeuchtung führen	— unzureichend wärmedämmte Balkenköpfe in Altbauten — Brückenträger überdachter Brücken über Wasser
3	3.1 Gelegentlich feucht (> 20 %) Anreicherung von Wasser im Holz, auch räumlich begrenzt, nicht zu erwarten	Holz oder Holzprodukt nicht unter Dach, mit Bewitterung, aber ohne ständigen Erd- oder Wasserkontakt, Anreicherung von Wasser im Holz, auch räumlich begrenzt, nicht zu erwarten	— Bewitterte Stützen mit ausreichendem Bodenabstand — Zaunlatten
	3.2 Häufig feucht (> 20 %) Anreicherung von Wasser im Holz, auch räumlich begrenzt, zu erwarten	Holz oder Holzprodukt nicht unter Dach, mit Bewitterung, aber ohne ständigen Erd- oder Wasserkontakt, Anreicherung von Wasser im Holz, auch räumlich begrenzt, zu erwarten <sup>d</sup>	— bewitterte horizontale Handläufe — bewitterte Balkonbalken
4	Vorwiegend bis ständig feucht (> 20 %)	Holz oder Holzprodukt in Kontakt mit Erde oder Süßwasser und so bei mäßiger bis starker <sup>e</sup> Beanspruchung vorwiegend bis ständig einer Befeuchtung ausgesetzt	— Palisaden — Hölzer für Uferbefestigungen
5	Ständig feucht (> 20 %)	Holz oder Holzprodukt, ständig Meerwasser ausgesetzt	— Dalben — Kai- und Steganlagen
<p><sup>a</sup> Die Begriffe „gelegentlich“, „häufig“, „vorwiegend“ und „ständig“ zeigen eine zunehmende Beanspruchung an, ohne dass hierfür wegen der sehr unterschiedlichen Einflussgrößen genaue Zahlenangaben möglich sind.</p> <p><sup>b</sup> Der Wert von 20 % enthält eine Sicherheitsmarge (siehe 4.2.2, Anmerkung 1).</p> <p><sup>c</sup> Maßgebend für die Zuordnung von Holzbauteilen zu einer Gebrauchsklasse ist die jeweilige Holzfeuchte.</p> <p><sup>d</sup> Bauteile, bei denen über mehrere Monate Ablagerungen von Schmutz, Erde, Laub u. ä. zu erwarten sind sowie Bauteile mit besonderer Beanspruchung, z. B., durch Spritzwasser, sind in GK 4 einzustufen.</p> <p><sup>e</sup> „Mäßige“ bzw. „starke“ Beanspruchung bezieht sich auf das Gefährdungspotential für einen Pilzbefall (Feuchteverhältnisse, Bodenbeschaffenheit) sowie die Intensität einer Auswaschbeanspruchung.</p>			

Angepasst an die jeweilige Gebrauchsklasse und in Abhängigkeit von den zu erwartenden Schadorganismen muss jedes für die Standsicherheit des Bauwerks wirksame Holz in GK 1 bis 5 vorbeugend geschützt werden (Tabelle 24). Die Abkürzungen in Tabelle 24 beziehen sich auf die Prüfprädikate für Holzschutzmittel:

- Iv: gegen Insekten vorbeugend wirksam
- P: gegen Pilze vorbeugend wirksam (Fäulnisschutz)
- W: auch für Holz, das der ständigen Witterung ausgesetzt ist, jedoch nicht im ständigen Erdkontakt und nicht im ständigen Kontakt mit Wasser
- E: auch für Holz, das extremer Beanspruchung ausgesetzt ist (im ständigen Erdkontakt und/oder im ständigen Kontakt mit Wasser sowie bei Schmutzablagerungen in Rissen und Fugen)
- B: gegen Verblauung an verarbeiteten Holz wirksam

Darüber hinaus gibt es Kennzeichnungen für Holzschutzmittel, die bei einem Befall zur Bekämpfung der Schadorganismen eingesetzt werden können:

- Ib: gegen Insekten bekämpfend wirksam
- M: zur Verhinderung des Durchwachsens von Hausschwamm durch Mauerwerk (Schwammsperrmittel)

Tabelle 24: Schutzmaßnahmen [33]

Gebrauchsklasse (GK)	Anforderungen an das Holzschutzmittel mit Zulassung nach Biozid-Produkte-Verordnung	Anforderungen an das Holzschutzmittel mit bauaufsichtlichem Verwendbarkeitsnachweis (Kurzzzeichen)
0	Keine Holzschutzmittel erforderlich	
1	Hausbockkäfer und Gewöhnlicher Nagekäfer <sup>d</sup>	Insektenvorbeugend (Iv)
2 <sup>a,b</sup>	Hausbockkäfer und Gewöhnlicher Nagekäfer <sup>d</sup> Braunfäulepilze	Insektenvorbeugend (Iv) Pilzwidrig (P)
3.1 <sup>b</sup> 3.2 <sup>b</sup>	Hausbockkäfer und Gewöhnlicher Nagekäfer <sup>d</sup> Braunfäulepilze und Weißfäulepilze	Insektenvorbeugend (Iv) Pilzwidrig (P) Witterungsbeständig (W)
4	Hausbockkäfer und Gewöhnlicher Nagekäfer <sup>d</sup> Braunfäulepilze, Weißfäulepilze und Moderfäulepilze <sup>c</sup>	Insektenvorbeugend (Iv) Pilzwidrig (P) Witterungsbeständig (W) Moderfäulewidrig (E)
5	Hausbockkäfer und Gewöhnlicher Nagekäfer <sup>d</sup> Braunfäulepilze, Weißfäulepilze und Moderfäulepilze <sup>c</sup> Bohrmuscheln und Bohresseln	Wie für GK 4; zusätzlich Wirksamkeit gegen Holzschädlinge im Meerwasser
<p><sup>a</sup> Bei Holzbauteilen, für die keine Gefährdung durch Insektenbefall vorliegt, kann auf eine insektenvorbeugende Wirkung verzichtet werden.</p> <p><sup>b</sup> Bei Gefährdung durch Bläuepilze an verbautem Holz in den Gebrauchsklassen 2 und 3 kann eine bläuewidrige Wirksamkeit zweckmäßig sein; hierfür ist eine besondere Vereinbarung erforderlich.</p> <p><sup>c</sup> Positive Ergebnisse aus Freilandprüfungen nach DIN EN 252 erforderlich.</p> <p><sup>d</sup> Eine Wirksamkeit gegen alle Holz zerstörende Käfer deckt die Anforderungen an die Wirksamkeit gegen Hausbockkäfer und den Gewöhnlichen Nagekäfer ab.</p>		

Trocken eingebautes und trocken bleibendes Holz, z. B. für Geschossdecken (GK 1) ist gegen Insekten vorbeugend Iv zu schützen. Innenbauteile bei einer mittleren relativen Luftfeuchte über 70 %, in Nassbereichen Wasser abweisend abgedeckt und Außenbauteile ohne unmittelbare Wetterbeanspruchung (GK 2) sind Insekten vorbeugend und pilzwidrig Iv, P zu schützen. Innenbauteile in Nassräumen und Außenbauteile mit Wetterbeanspruchung ohne ständigen Erd- oder Wasserkontakt (GK 3) sind Insekten vorbeugend, pilzwidrig und witterungsbeständig Iv, P, W zu schützen. Holzteile mit ständigem Erd- und/oder Süßwasserkontakt (GK 4) sind zusätzlich moderfäulewidrig, also Iv, P, W, E, zu schützen. Bei der GK 3 sind Kesseldruckverfahren, Vakuumtränkung und mehrstündige Trogränkung die geeigneten Einbringverfahren. Im Bereich der GK 4 ist ausschließlich Kesseldruckverfahren anzuwenden. Schwer tränkbares Holz, z. B. Fichte, muss dabei im

Bereich der Erde-Luft-Zone mechanisch so perforiert werden, dass eine Eindringtiefe von 30 mm nicht unterschritten wird.

Einen Überblick über die wichtigsten Holzschutzverfahren gibt Tabelle 25.

Tabelle 25: Holzschutzverfahren

	Verfahren	Aufwand	Ergebnis	Bestimmung der Einbringmenge	Einsatzbereich
handwerkliche Verfahren	Streichen Spritzen Tauchen	sehr gering bis gering	meist Randschutz <sup>x)</sup> z. T. Tiefschutz <sup>xx)</sup>	bedingt möglich	Vorbeugung Bekämpfung
				möglich	
	Spritztunnel	mäßig			Vorbeugung
	Trogtränkung Einstelltränkung Heiß-Kalt-Trogtränkung	mäßig	z. T. Randschutz meist Tiefschutz	bei trockenem Holz möglich bei nassem Holz bedingt möglich	
	Diffusionstränkung		Tief- bis Vollschutz		
	Sonderverfahren für Gefahrenstellen	gering bis mäßig	stellenweiser Tief- bis Vollschutz	bedingt möglich	Vorbeugung Bekämpfung
	Begasung Heißluft	gering bis groß	Abtötung	-	Bekämpfung <sup>2</sup>
größtechn. Verfahren	Vakuumtränkung	groß	meist Tiefschutz	möglich	Vorbeugung
	Kesseldrucktränkung	sehr groß	Tief- bis Vollschutz	erfolgt stets	
	Saftverdrängung	mäßig und groß	Tief- bis Vollschutz	bedingt möglich	

<sup>1</sup> Bestimmungsmöglichkeit im praktischen Betrieb. Eine nachträgliche chemisch analytische Bestimmung in speziell eingerichteten Laboratorien bleibt stets möglich.

<sup>2</sup> keine vorbeugende Wirkung

<sup>x)</sup> Eindringtiefe unter 10 mm,

<sup>xx)</sup> Eindringtiefe über 10 mm

Es gibt heute im Handel eine Vielzahl von Holzschutzmitteln, die in der Regel Gemische verschiedener Wirkstoffe sind. Holzschutzmittel sind prüfzeichenpflichtig.

Die Holzschutzmittel sollen

- wirksam sein gegen Insekten u. Pilze (Gift),
- ungiftig sein für den Nutzer,
- gut eindringen,
- Holzleime nicht angreifen,
- nicht korrosiv wirken auf Stahl,
- nicht ausgewaschen werden können,
- Entflammbarkeit herabsetzen.

Für vorbeugend wirksame Holzschutzmittel für tragende Bauteile müssen Wirksamkeit und gesundheitliche Unbedenklichkeit nachgewiesen werden. Hierbei sind neben den Anwendungsbereichen und ggf. Anwendungsbeschränkungen auch das erforderliche Einbringverfahren (z. B. Kesseldrucktränkung) und die Einbringmenge zu benennen. Holzschutzmittel können in drei Gruppen eingeordnet werden: Wasserlösliche Mittel (z.B. Salze), ölige Mittel (z.B. Teeröl) und sonstige Mittel (z. B. Pasten). Bekämpfende Holzschutzmittel können z. B. dem RAL-Holzschutzmittel-Verzeichnis entnommen werden. Manchmal kommt es zu Unverträglichkeiten von Holzschutzmitteln mit anderen Baustoffen, z. B. Verfärbung bei Putz, Korrosion von Metall und Glas sowie Auflösen von Kunststoffen. Insekten können auch durch Heißluft oder Gas erfolgreich bekämpft werden, wobei beachtet werden muss, dass diese Maßnahmen nicht vorbeugend wirken. Obwohl in DIN 68800-4 [34] detailliert beschrieben ist, wie bei Bekämpfungsmaßnahmen gegen Pilz- und Insektenbefall vorzugehen ist, sollte eine Bekämpfung bzw. vorbeugende Maßnahme immer von einer Fachfirma ausgeführt werden.

## 8 Literatur

- [1] ID Wald GmbH. *Forstwirtschaft-in-Deutschland.de*. 2021 [cited 2021 2021-01-04]; Available from: <https://www.forstwirtschaft-in-deutschland.de/forstwirtschaft/bwi3/>.
- [2] Wissenschaftlicher Beirat Waldpolitik beim BMEL, Eckpunkte der Waldstrategie 2050 - Stellungnahme des Wissenschaftlichen Beirates Waldpolitik. 2020, Berlin, Germany: Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. 71 p.
- [3] BMEL Referat 515 - Nachhaltige Waldbewirtschaftung - Holzmarkt. *Ausgewählte Ergebnisse der dritten Bundeswaldinventur*. 2021.
- [4] Schmitz, F.; Rock, J.; Dunger, K.; Marks, A.; Schmidt, U. and Seintsch, B., Wald und Rohholzpotenzial der nächsten 40 Jahre - Ausgewählte Ergebnisse der Waldentwicklungs- und Holzaufkommensmodellierung 2013 bis 2052. 2016, Berlin, Germany: Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL). 64 p.
- [5] Deutscher Holzwirtschaftsrat e. V. (DHWR), Roadmap Holzwirtschaft 2025. 2016, Berlin, Germany: Deutscher Holzwirtschaftsrat e. V. (DHWR). 60 p.
- [6] Wesche, K., *Baustoffe für tragende Bauteile - Band 4: Holz und Kunststoffe (Organische Stoffe): Herstellung, Eigenschaften, Verwendung, Dauerhaftigkeit*. 2. ed. Vol. 4. 1988, Wiesbaden: Bauverlag. XXII, 356 p.
- [7] Benedix, R., *Bauchemie für das Bachelor-Studium: Modern – Kompetent – Kompakt*. 3. ed. 2017, Wiesbaden: Springer Vieweg. X, 300 p.
- [8] Backe, H.; Hiese, W. and Möhring, R., *Baustoffkunde für Ausbildung und Praxis*. 13 ed. 2017: Bundesanzeiger Verlag. 589 p.
- [9] Lohmann, U., *Holz-Handbuch*. 7 ed. 2012: DRW-Verlag. 456 p.
- [10] Sander, C. *treeland.de*. 2003 [cited 2021 2021-01-04]; Available from: <https://www.treeland.de>.
- [11] Payer, M. *Materialien zur Forstwissenschaft - 1. Waldpflanzen als Einzelwesen*. 1997; Available from: <http://www.payer.de/cifor/cif01.htm>.
- [12] Braun, H.J., *Bau und Leben der Bäume*. 4 ed. 1998, Freiburg: Rombach Druck- und Verlagshaus. 303 p.
- [13] Schweingruber, F.H.; Baas, P., *Anatomie europäischer Hölzer - Anatomy of European Woods* (2ed. 2011, Birmensdorf, Schweiz: Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft. 806 p.
- [14] Müller, A.; Wiegand, T., *Herstellung und Eigenschaften von geklebten Vollholzprodukten*, in *holzbau handbuch*. 2019, Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V.: Wuppertal, Germany. p. 60.
- [15] DIN 68364. *Kennwerte von Holzarten - Rohdichte, Elastizitätsmodul und Festigkeiten (Properties of wood species - Density, modulus of elasticity and strength)*. 2003, p. 8.
- [16] Eberswalde, F. *Forstnutzung*. 2005; Available from: <https://www.fh-eberswalde.de/forst/forstnutzung/Vorlesung2.4.1.htm>.
- [17] DIN 4074-1. *Sortierung von Holz nach der Tragfähigkeit – Teil 1: Nadelschnittholz (Strength grading of wood – Part 1: Coniferous sawn timber)*. 2012, p. 23.
- [18] DIN EN 1309-3. *Rund- und Schnittholz – Messmethoden – Teil 3: Merkmale und biologische Schädigungen (Round and sawn timber – Methods of measurements – Part 3: Features and biological degradations)*. 2018, p. 32.
- [19] DIN 4074-5. *Sortierung von Holz nach der Tragfähigkeit – Teil 5: Laubschnittholz (Strength grading of wood – Part 5: Sawn hard wood)*. 2008, p. 19.
- [20] DIN EN 1912. *Bauholz für tragende Zwecke – Festigkeitsklassen – Zuordnung von visuellen Sortierklassen und Holzarten (Structural timber – Strength classes – Assignment of visual grades and species)*. 2013, p. 20.
- [21] DIN EN 338. *Bauholz für tragende Zwecke – Festigkeitsklassen (Structural timber – Strength classes)*. 2016, p. 13.

- [22] Schießl, P., *Holz, Holzwerkstoffe und Holzschutz. Skriptum zur Grundvorlesung in Baustoffkunde*, Lehrstuhl für Baustoffkunde und Werkstoffprüfung, Editor. 2002: München. p. 42.
- [23] DIN EN 14080. *Holzbauwerke – Brettschichtholz und Balkenschichtholz – Anforderungen (Timber structures – Glued laminated timber and glued solid timber – Requirements)*. 2013, p. 110.
- [24] DIN EN 335. *Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten – Gebrauchsklassen: Definitionen, Anwendung bei Vollholz und Holzprodukten (Durability of wood and wood-based products – Use classes: definitions, application to solid wood and wood-based products)*. 2013, p. 14.
- [25] DIN EN 300. *Platten aus langen, flachen, ausgerichteten Spänen (OSB) – Definitionen, Klassifizierung und Anforderungen (Oriented Strand Boards (OSB) – Definitions, classification and specifications)*. 2006, p. 22.
- [26] DIN 4102-4. *Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Teil 4: Zusammenstellung und Anwendung klassifizierter Baustoffe, Bauteile und Sonderbauteile (Fire behaviour of building materials and building components – Part 4: Synopsis and application of classified building materials, components and special components)*. 2016, p. 198.
- [27] Wikipedia. *Thermisch modifiziertes Holz*. 2021 13. August 2019 [cited 2021 2021-01-05]; Available from: [https://de.wikipedia.org/wiki/Thermisch\\_modifiziertes\\_Holz](https://de.wikipedia.org/wiki/Thermisch_modifiziertes_Holz).
- [28] DIN CEN/TS 15679. *Thermisch modifiziertes Holz — Definitionen und Eigenschaften (Thermal Modified Timber — Definitions and characteristics)*. 2008, p. 19.
- [29] Wikipedia. *Holzschädling*. 2021 08. August 2020 [cited 2021 2021-01-05]; Available from: [https://de.wikipedia.org/wiki/Thermisch\\_modifiziertes\\_Holz](https://de.wikipedia.org/wiki/Thermisch_modifiziertes_Holz).
- [30] DIN EN 1995-1-1. *Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau (Eurocode 5: Design of timber structures – Part 1-1: General – Common rules and rules for buildings)*. 2010, p. 135.
- [31] DIN 68800-1. *Holzschutz – Teil 1: Allgemeines (Wood preservation – Part 1: General)*. 2019, p. 34.
- [32] DIN 68800-2. *Holzschutz – Teil 2: Vorbeugende bauliche Maßnahmen im Hochbau (Wood preservation – Part 2: Preventive constructional measures in buildings)*. 2012, p. 50.
- [33] DIN 68800-3. *Holzschutz – Teil 3: Vorbeugender Schutz von Holz mit Holzschutzmitteln (Wood preservation – Part 3: Preventive protection of wood with wood preservatives)*. 2020, p. 36.
- [34] DIN 68800-4. *Holzschutz – Teil 4: Bekämpfungsmaßnahmen gegen Holz zerstörende Pilze und Insekten und Sanierungsmaßnahmen (Wood preservation – Part 4: Curative treatment of wood destroying fungi and insects and refurbishment)*. 2020, p. 32.
- [35] Herzog, T.; Natterer, J.; Schweitzer, R.; Volz, M. and Winter, W., *Holzbau Atlas*. 2 ed. 2003: Birkhäuser Verlag GmbH. 375 p.
- [36] DIN EN 350. *Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten – Prüfung und Klassifizierung der Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten gegen biologischen Angriff (Durability of wood and wood-based products – Testing and classification of the durability to biological agents of wood and wood-based materials)*. 2016, p. 75.