

Holzphysik

(Skript zur Vorlesung)

Educational Material

Author(s):

Niemz, Peter

Publication date:

2006

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-005247440>

Rights / license:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#)



Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Ecole polytechnique fédérale de Zurich
Politecnico federale di Zurigo

IfB
Institut für Baustoffe,
Holzphysik



HOLZPHYSIK

(Skript zur Vorlesung)

- Teil 1: Einführung
- Teil 2: Anatomie und Chemie des Holzes und der Holzwerkstoffe
- Teil 3: Physik des Holzes und der Holzwerkstoffe
- Teil 4: Einführung in die Grundlagen der Holzbe- und -verarbeitung

Prof. Dr. Ing. habil. Peter Niemz
Institut für Baustoffe

Unter Mitarbeit eines Autorenkollektivs des IfB (Holzphysik)

September 2006

Inhaltsverzeichnis: Überblick

Kapitel I Einführung

Kapitel II Anatomie und Chemie des Holzes und der Holzwerkstoffe

1. Chemischer Aufbau des Holzes
2. Anatomischer Aufbau des Holzes
3. Holzwerkstoffe
4. Ökologische Bedeutung des Holzes

Kapitel III Physik des Holzes und der Holzwerkstoffe

1. Geschichte der Physik des Holzes
 2. Übersicht zu den Eigenschaften des Holzes und wesentlichen Einflussfaktoren
 3. Verhalten gegenüber der Feuchte
 4. Dichte von Holz und Holzwerkstoffen
 5. Thermische Eigenschaften des Holzes
 6. Elektrische Eigenschaften von Holz und Holzwerkstoffen
 7. Akustische Eigenschaften von Holz und Holzwerkstoffen
 8. Optische Eigenschaften von Holz und Holzwerkstoffen
 9. Korrosionsverhalten und Alterung von Holz und Holzwerkstoffen
 10. Elastomechanische und rheologische Eigenschaften
- Anhang I: Wichtige Normen der Holzphysik
Anhang II: Benennungen und Kurzzeichen auf dem Holzgebiet

Kapitel IV Einführung in die Grundlagen der Holzbe- und -verarbeitung

1. Holz Trocknung
2. Holzschutz
3. Holzverklebung

Lernziele

Holz ist ein wichtiger Baustoff. Aufbauend auf einer Erläuterung des strukturellen Aufbaus von Holz und Holzwerkstoffen, werden wesentliche materialwissenschaftliche Grundlagen für den Einsatz von Holz und Holzwerkstoffen im Bauwesen vermittelt. Den Schwerpunkt bilden dabei die physikalisch-mechanischen Eigenschaften des Holzes und der Holzwerkstoffe. Ebenso werden Fragen des Holzschutzes, der Verklebung und Vergütung behandelt.

KAPITEL I : Einführung

(S. Baum)

Die Konkurrenz der Baumaterialien ist gross. Seit ein paar Jahren verzeichnet der Holzverbrauch im Bauwesen wieder deutliche Zuwachsraten, gleichwohl er prozentual gesehen immer noch einen vergleichsweise geringen Anteil an der Gesamtmenge aufweist. Eine Reihe von Gründen sprechen für den vermehrten Einsatz von Holz: So entsteht kein Alternativprodukt so umweltschonend wie das Holz. Ein Blick in verschiedene Statistiken zeigt die ungeheuren Möglichkeiten dieses nachwachsenden Rohstoffes. Weltweit existieren etwa 3,5 Mrd. ha Wald, die grössten Anteile davon finden sich in Osteuropa und Südamerika (Abbildung 1). Nord- und Westeuropa besitzen gemeinsam nur etwa drei Prozent der weltweiten Waldgebiete. Aber auch einige Staaten in Mitteleuropa wie die Schweiz oder Deutschland sind auf ihre Fläche bezogen typische „Waldländer“, besitzen beide doch auf gut einem Drittel ihrer Landesfläche Wald, ein Anteil der in den vergangenen Jahrzehnten immer weiter gestiegen ist.

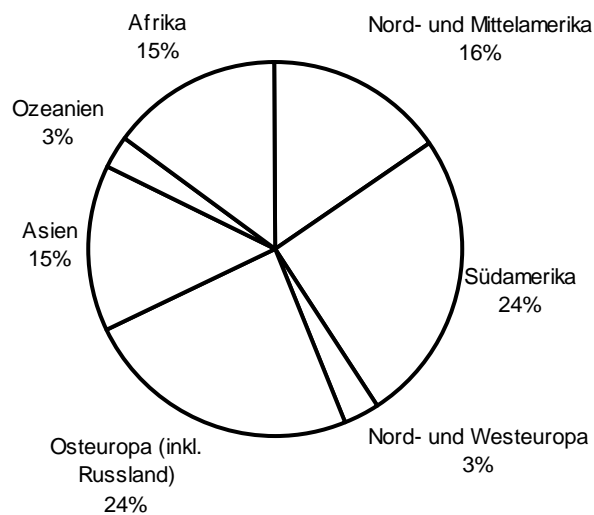


Abbildung 1:

Waldflächenverteilung weltweit (Quelle: state of the world's forests, FAO 1999)

Nutzbare Wälder gibt es in ganz Europa (ohne Russland) etwa 150 Mio Hektar. Das entspricht einem nutzbaren Gesamtvorrat von 21,4 Milliarden m^3 . Jedes Jahr wachsen in diesem Gebiet neu 661 Mio. m^3 Holz zu (in Rinde), was zu einer Rundholzproduktion von etwa 327 Mio. Festmetern führt. Ein Grossteil dieser Produktion erfolgt in Schweden, Finnland, Frankreich und Deutschland. In der Schweiz, die über eine Fläche an nutzbaren Wäldern von 1,06 Mio. ha. verfügt, sind es immerhin noch über 5 Mio. m^3 , eine Zahl die seit vielen Jahrzehnten stetig ansteigt (Zahlen: Forest Resources of Europe, UN ECE/FAO 2000, Main Report). Das bedeutet, dass in der Schweiz (wie auch in Deutschland) jährlich mehr Holz nachwächst als genutzt wird. Für die Schweiz und viele andere Länder in Europa gilt in der Forstwirtschaft schon lange der Grundsatz der Nachhaltigkeit (nicht mehr ernten als produziert wird), was eine Nutzung der Ressource Holz auch noch weit in der Zukunft garantiert.

Wofür das geerntete Holz genutzt wird, hat sich im vergangenen Jahrhundert aber stark geändert (Tabelle 1). Waren 1920 noch über die Hälfte des Holzschlags für die Brennholzproduktion genutzt worden, so überwiegt heute die Stammholzproduktion (z.B. Balken, Bretter), und der Anteil des Industrieholzes (z.B. für Zellstoff- und Faserplattenproduktion) nimmt immer mehr zu.

Tabelle 1:

Entwicklung der Nutzung der Schweizer Wälder. Angaben in 1000 m³.

(Quelle: Schweizerischer Forstkalender 2003. Anhang. Verlag Huber Frauenfeld)

Jahr	Stammholz	Industrieholz	Brennholz	Gesamtmenge
1920	1340	0	1990	3330
1930	1360	0	1490	2850
1940	1600	0	2200	3800
1950	1455	290	1600	3345
1960	1815	480	1320	3615
1970	2418	784	717	3919
1980	2877	689	809	4384
1990	4488	895	879	6262
2000	6801	811	1626	9238

Trotz dieser Entwicklung ist der Brennholzanteil in der Schweiz im Vergleich mit anderen Industrienationen immer noch sehr hoch (1992: Schweiz 19%, Deutschland 12%, Finnland 8%, Kanada 4%; Quelle: FAO Yearbook of Forest Products 1992). Ökologisch gesehen ist das Heizen mit Holz als sinnvoll anzusehen, da Holz ausschliesslich aus gespeicherter „sauberer“ Sonnenenergie besteht, die zur Wärmeengewinnung wieder freigesetzt wird und dessen verbrauchte Biomasse im Unterschied zu fossilen Energieträgern wieder nachwächst. Inzwischen existieren Holzfeuerungsanlagen mit hohem Wirkungsgrad, so dass sich das Heizen mit Holz auch finanziell lohnen kann. Besonders die automatische Heizung mit Holz hat sehr stark zugelegt (Tabelle 2).

Tabelle 2:

Entwicklung der Holzenergienutzung in der Schweiz in TJ.

(Quelle: Schweizerische Statistik der Erneuerbaren Energien 2001; Bundesamt für Energie)

	1990	1995	2001
Einzelraumheizung mit Holz	2727	3127	3088
Gebäudeheizung mit Holz	3388	2273	2766
Automatische Feuerungen mit Holz	2831	4517	6125
Feuerungen mit Holzanteilen	652	1259	1132
Holzkohlenutzung	0	0	0

In einem Kubikmeter Holz sind durchschnittlich 255 kg Kohlenstoff gespeichert, was einem CO₂-Äquivalent von 0,935 Tonnen entspricht. Die Verwendung von Holz oder Holzprodukten im Bauwesen trägt also erheblich zur langfristigen C-Speicherung bei und hilft, die Ziele der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen in Kyoto, 1997, nämlich die Emission an Treibhausgasen, zu denen CO₂ massgeblich beiträgt, weltweit um 5,2% zu reduzieren und so den negativen Auswirkungen durch die Klimaveränderung entgegenzuwirken. Die Verwendung von Holz hilft aber auch schon bei der Produktion Energie zu sparen und damit den CO₂-Ausstoss gering zu halten. Vergleicht man, den mittleren Energieverbrauch, um die gleiche Menge Werkstoff zu produzieren, fallen Produkte aus Aluminium mit einem um 70-fach höheren Wert weit vom Holz ab (Abbildung 2). Es gilt jedoch zu berücksichtigen, dass durch die abweichenden Materialeigenschaften meist deutlich weniger Material an Aluminium oder Stahl benötigt wird, um die gleiche statische Leistung zu erbringen.

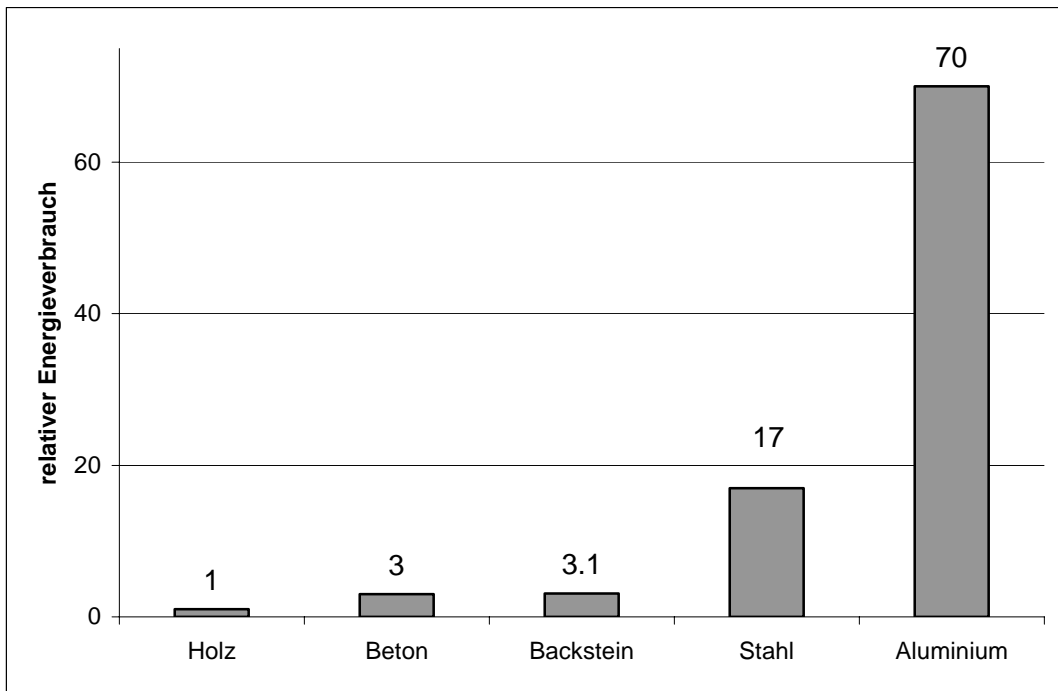


Abbildung 2:

Mittlerer relativer Energieverbrauch (Holz = 1) ausgewählter Rohstoffe zur Herstellung pro Tonne Fertigprodukt. (Quelle: Corrim Report 1976; Koch 1991)

Bei einigen Materialeigenschaften wie dem E-Modul kann Holz also nicht die Werte der Konkurrenz-Baustoffe erreichen. Andere Eigenschaften wie Wärmedämmung oder Reisslänge dagegen bringen Holz auf die vorderen Plätze und zeigen seine Vielseitigkeit (Abbildung 3 und Abbildung 4). So ergibt sich für Holz eine Reisslänge von 17 km, ein Wert, der von den Konkurrenzmaterialien nur von Spannbeton übertroffen wird. Ähnlich gut steht Holz bei der Wärmedämmung da: Nur Schaumstoff, das sich aber nicht als Konstruktionsmaterial eignet, erreicht bessere Werte.

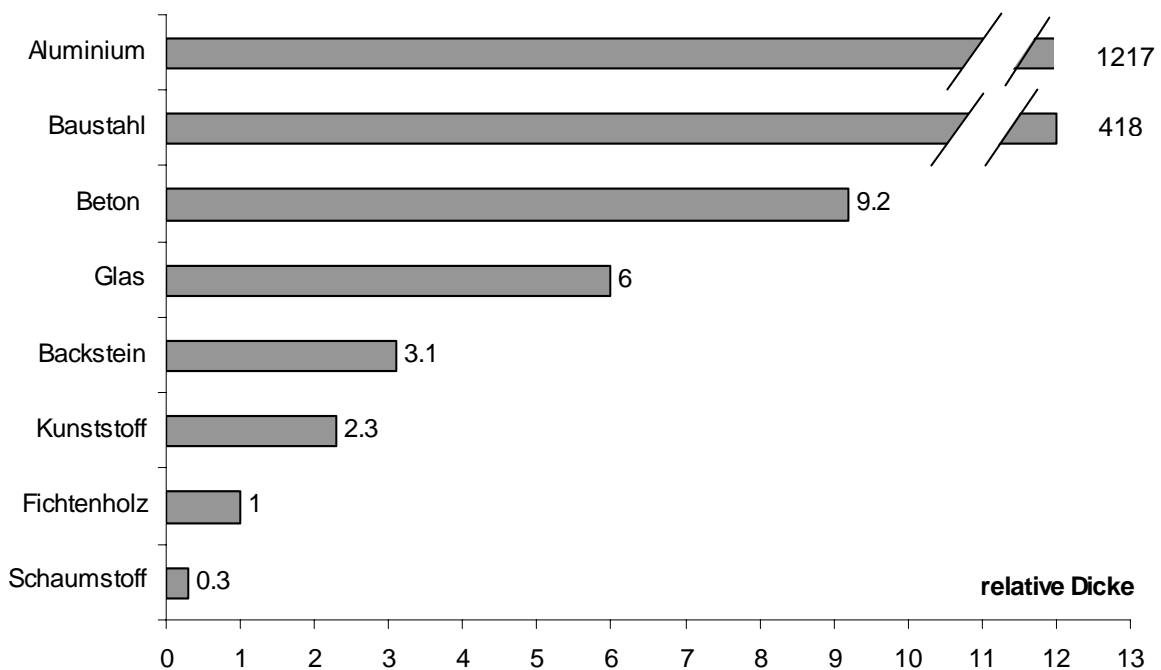


Abbildung 3:

Relative Schichtdicke ausgewählter Baustoffe mit gleicher Wärmedämmung. (Quelle: Dubbel 1974)

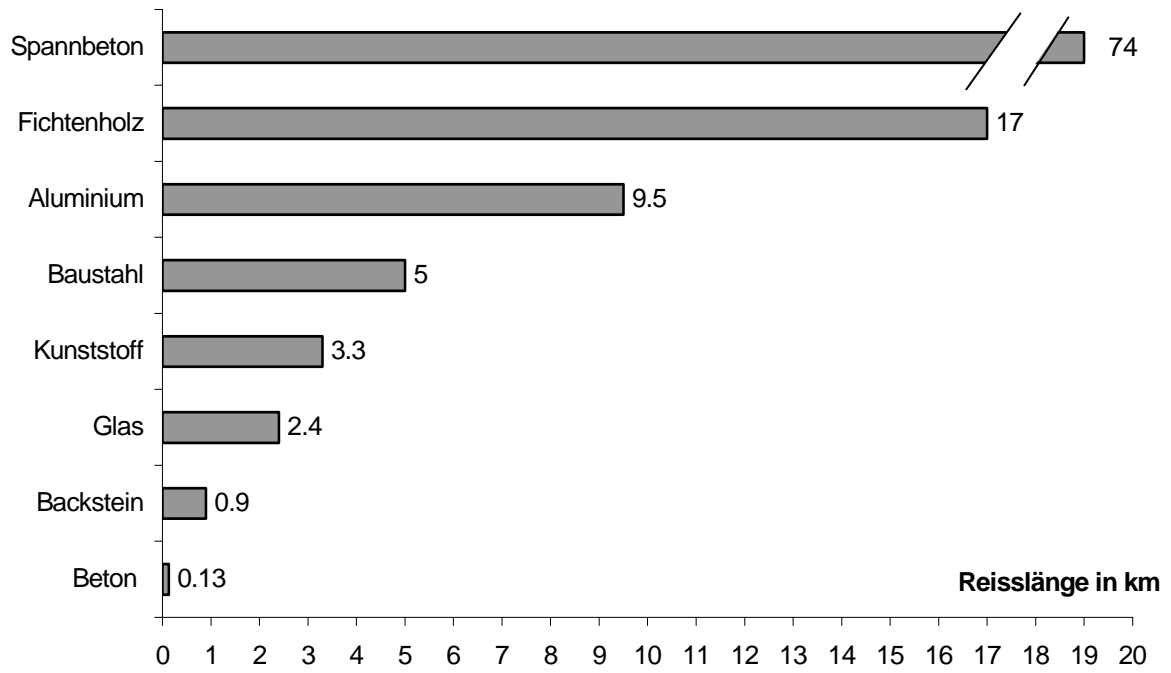


Abbildung 4:
Reisslänge ausgewählter Baustoffe (Quelle: Dubbel 1974)

KAPITEL II : Anatomie und Chemie des Holzes und der Holzwerkstoffe

(Die jeweiligen Autoren der Unterkapitel sind in Klammern genannt)

1. CHEMISCHER AUFBAU DES HOLZES (M. BARISKA, E. PÖHLER, H. SEUBERT).....	3
1.1 Chemische Hauptgruppen.....	3
1.2 Zellulose	5
1.3 Hemizellulosen	7
1.4 Lignin	9
1.5 Inhaltsstoffe	11
1.5.1 Extraktstoffe	11
1.5.2 Fette	11
1.5.3 Naturharze	12
1.5.4 Gerbstoffe und Wachse	12
1.5.5 Akzessorische Bestandteile	12
1.6 Literaturverzeichnis	13
2. ANATOMISCHER AUFBAU DES HOLZES (S. BAUM).....	14
2.1 Makroskopischer Holzaufbau	14
2.1.1 Schnittebenen des Holzes	14
2.1.2 Splintholz und Kernholz	16
2.1.3 Jahrringe und Zuwachszonen.....	16
2.1.4 Porigkeit	17
2.1.5 Reaktionsholz	17
2.2 Mikroskopischer Aufbau von Nadel- und Laubholz.....	18
2.2.1 Nadelholz	18
2.2.2 Laubholz	19
2.2.3 Einlagerungen.....	20
2.3 Zellwandfeinbau	21
2.3.1 Zellwandschichten	21
2.3.2 Variationen des Zellwandaufbaus	22
3. HOLZWERKSTOFFE (P. NIEMZ)	23
3.1 Übersicht zu den Holzwerkstoffen.....	23
3.1.1 Vollholz.....	23
3.1.2 Holzwerkstoffe	24
3.2 Struktureller Aufbau von Holzwerkstoffen.....	25
3.2.1 Allgemeine Gesetzmässigkeiten der Werkstoffbildung.....	25
3.2.2 Klebstoffe	28
3.2.3 Einteilung der Klebstoffe	29

3.3 Ausgewählte Holzwerkstoffe	32
3.3.1 Werkstoffe auf Vollholzbasis	32
3.3.2 Werkstoffe auf Furnierbasis	33
3.3.3 Werkstoffe auf Spanbasis	35
3.3.4 Werkstoffe auf Faserbasis	37
3.3.5 Verbundwerkstoffe	38
3.3.6 Engineered Wood Products	40
3.4 Literatur zum Kapitel Holzwerkstoffe	42
4. ÖKOLOGISCHE BEDEUTUNG DES HOLZES (W. SONDEREGGER)	43
4.1 Holz als CO₂-Speicher	43
4.2 Ökobilanzierung	45
4.2.1 Entstehung	45
4.2.2 Definitionen	45
4.2.3 Inhalt	45
4.3 Literatur zu Kapitel Ökologische Bedeutung des Holzes	50

1. Chemischer Aufbau des Holzes (M. Bariska, E. Pöhler, H. Seubert)

(Dieses Unterkapitel ist ein gekürzter Auszug aus dem Skript „Holzchemie“ der Professur Holzwissenschaften)

1.1 Chemische Hauptgruppen

Holz besteht überwiegend aus organischen Verbindungen. Diese setzen sich aus folgenden Elementen zusammen:

- 50% Kohlenstoff
- 43% Sauerstoff
- 6% Wasserstoff
- < 1% Stickstoff
- < 1% Mineralstoffen

Die Zusammensetzung schwankt baumartenweise und innerhalb eines Stammes nur geringfügig. Die wichtigsten chemischen Bestandteile des Holzes sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1

Übersicht der chemischen Bestandteile des Holzes

	Funktion	Komponenten
HAUPTBESTANDTEILE	Zellulose und Hemizellulosen: Gerüstsubstanz der Zellwand 46% - 87%	Zellulose: langkettiges Makromolekül 40 - 55% Hemizellulosen: kurzkettiges, verzweigtes Makromolekül 15 - 35%
	Lignin: "Füllsubstanz" im Zellulosegerüst, die die Verholzung der Zellwände verursacht Nadelholz: 28 - 41% Laubholz: 18 - 25%	dreidimensionales Makromolekül
	Pektin: Kittsubstanz in der Mittellamelle, die die Zellen im Gewebeverband zusammenhält	dreidimensionales Makromolekül
		Fette, Öle, Harze, Wachse
AKZESSORISCHE BESTANDTEILE	Extraktstoffe (anorganische und organische Inhaltstoffe): beeinflussen und bedingen oft die chemischen, biologischen und physikalischen Eigenschaften, z.B. Lichtbeständigkeit, Brennbarkeit, Schädlingsresistenz u.a.	Eiweiße, Stärke, Zucker, Holzgummi
		Alkaloide, Gerbstoffe, Farbstoffe, Bitterstoffe, Riechstoffe, Kampfer
		anorganische und organische Säuren, Salze
		Mineralstoffe

Es muss bei den chemischen Komponenten unterschieden werden zwischen den makromolekularen Zellwandkomponenten Zellulose, Hemizellulosen und Lignin, die in grossen Mengen in jedem Holz vorkommen und den anteilmässig geringeren niedermolekularen Bestandteilen, den Extraktstoffen und Mineralstoffen, die für spezielle Hölzer in Art und Menge spezifisch sind. Die Anteile und chemische Zusammensetzung von Lignin und Hemizellulosen sind für Nadelholz und Laubholz verschieden (Abbildung 1), wohingegen die Zellulose einen einheitlichen Baustoff in allen Bäumen darstellt. In Hölzern der temperierten Zone machen hoch-polymerisierte Bestandteile ca. 97-99% der Zellwand aus. Bei tropischem Holz nimmt dieser Wert ab auf durchschnittlich 90%.

Als weitere polymere Substanzen finden sich Stärke und Pektine in geringen Mengen im Holz.

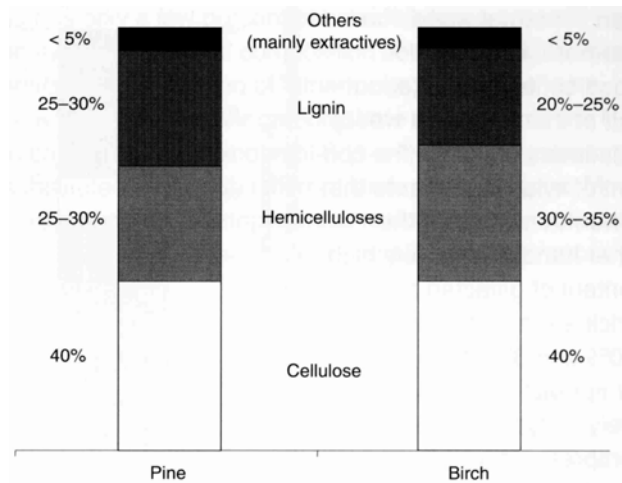


Abbildung 1
Durchschnittliche chemische Zusammensetzung von Fichte und Birke (gemässigte Klimate)

Die einzelnen chemischen Komponenten sind nicht gleichmässig über die Zellwand verteilt, sondern die Zusammensetzung ist sehr heterogen (Abbildung 2).

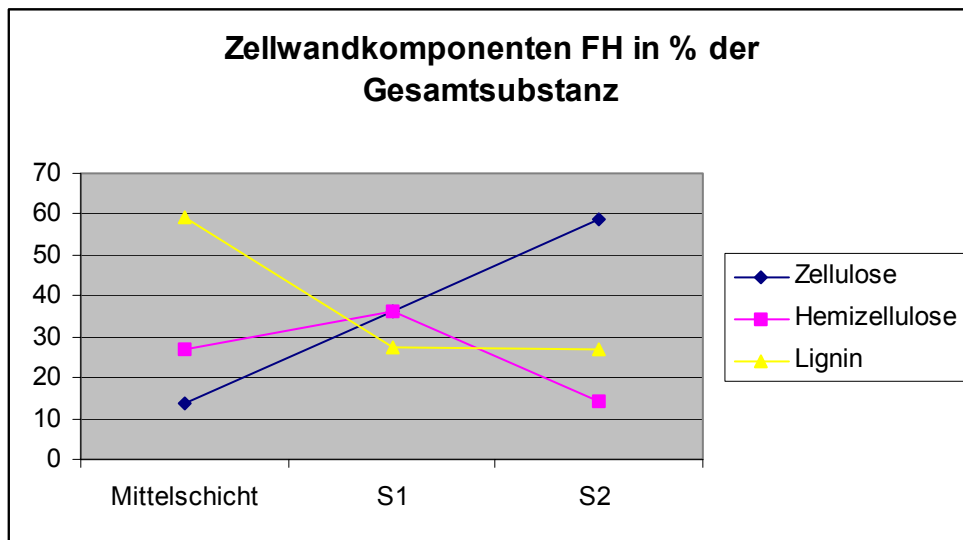


Abbildung 2
Konzentrationsprofil verschiedener Komponenten einer Tracheidenzellwand von Fichte (Fengel & Wegener, 1989, verändert) – Horizontalachse nicht massstabsgetreu

1.2 Zellulose

Definition

Zellulose ist der charakteristische Bestandteil pflanzlicher Zellwände und bestimmt weitgehend deren Bau. Sie ist das meistverbreitete Makromolekül auf der Erde. Die Zellulose baut sich ausschliesslich aus 1,4-verknüpften β -Glucose-Einheiten auf. Chemisch handelt es sich um ein hochpolymeres Polysaccharid mit unverzweigter, *kettenförmiger Molekülstruktur*.

Erklärung

Aufgaben der Zellulose für die Zellwand

Die biomechanische Funktion der Zellulose liegt darin, der Zelle hohe Formstabilität, insbesondere Biegefestigkeit, zu verleihen. In Faserrichtung besitzt Holz folgerichtig seine höchste Zugfestigkeit. Bei Kraffteinwirkung quer zur Faser wird nur 5-10% der Längszugfestigkeit erreicht.

Weil die Biege- und Zugfestigkeit eine so wichtige und so schwierig zu erreichende Eigenschaft ist, kommt auch Zellulose in allen höheren Pflanzen vor und bildet die Hauptmasse aller auf der Erde vorkommenden organischen Verbindungen.

Chemische Struktur

Zellulose ist ein Polysaccharid, welches, genau wie die Stärke, aus Glucosebausteinen besteht. Zellulose besteht aus β -Glucose-Molekülen, während in der Stärke α -Glucose-Moleküle miteinander verknüpft sind. Der kleine Unterschied zwischen α - und β -Glucose, die andersartige Stellung der OH-Gruppe am C1-Atom, bedingt, dass das Stärkemolekül schraubenartig gewunden ist, das Zellulosemolekül hingegen fadenförmig, lang gestreckt ist (Abbildung 3).

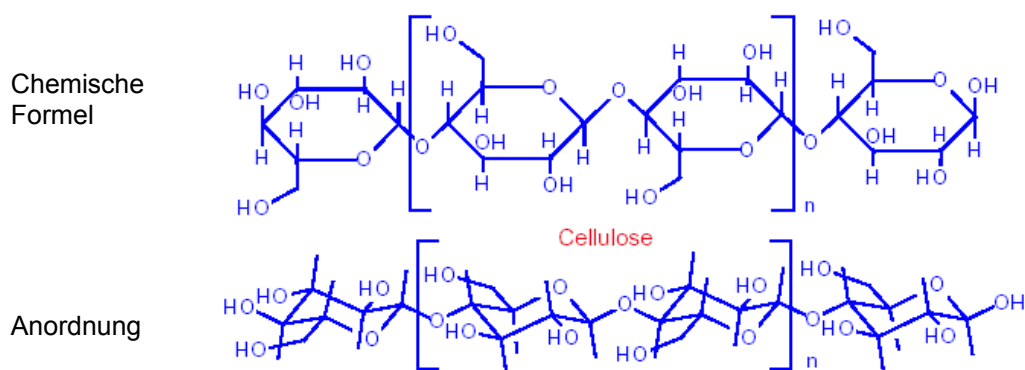


Abbildung 3

Aufbau der Zellulose-Ketten (Gruber, 2000)

Eine solche Zellulosekette ist eigentlich ein schwach gewelltes Band, das durch Wasserstoffbrücken zwischen den benachbarten Ringen der Kette stabilisiert wird. Die noch freien Hydroxylgruppen ragen rechts und links aus diesem Band heraus und sind in der Lage, weitere Wasserstoffbrücken zu Nachbarketten auszubilden. In der festen Zellulosesubstanz liegen diese Ketten mehr oder weniger parallel aneinander gelagert. Zum Teil bilden sich dabei sehr gut geordnete (kristalline) Bereiche aus. Die kristallinen Bereiche wechseln sich ständig mit weniger geordneten (parakristallinen, bzw. amorphen Bereichen) ab (Abbildung 4/ Tabelle 2).

Tabelle 2

Übersicht über Anordnung und chemisches Verhalten von kristallinen und amorphen Bereichen

Kristalline Bereiche	Parakristalline und amorphe Bereiche
hochgeordnete parallele Anordnung Wasser und Chemikalien dringen kaum ein	weniger geordnete Regionen einfaches Eindringen von Wasser und Chemikalien

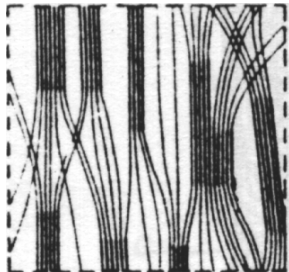


Abbildung 4

Kristalline (geordnete) und amorphe Bereiche wechseln sich ab (Braun 1982)

Zellulose kommt in verschiedenen Kristallmodifikationen vor. Bei allen Modifikationen wird die Gitterzelle jeweils durch vier gleich- oder gegenseitig parallele Ketten gebildet. Eine weitere Kette verläuft im Zentrum der Zelle. (s. Abb. 7)

Übermolekularer Bau

Die langen, dünnen Zelluloseketten sind zu Mikrofibrillen (Elementarfibrillen) von ungefähr 10-25 nm Dicke vereinigt (1nm = 1 nanometer = 1/1 000 000 mm) (Abbildung 5). In diesen Mikrofibrillen liegen die fadenförmigen Zellulosemoleküle so vor, dass streng geordnete kristalline Bereiche, die Micellen, mit weniger geordneten Bereichen abwechseln (vergl. Abb. 6). Auf der Micellen-Bildung beruhen die kristallinen Eigenschaften der Zellwand. Je 50-100 Mikrofibrillen bilden die Makrofibrillen von ungefähr 0,5 µm Durchmesser und 4 µm Länge. So angeordnet verleiht die Zellulose der Makrofibrille eine Zugfestigkeit, wie sie ein gleich dicker Stahldraht haben würde.

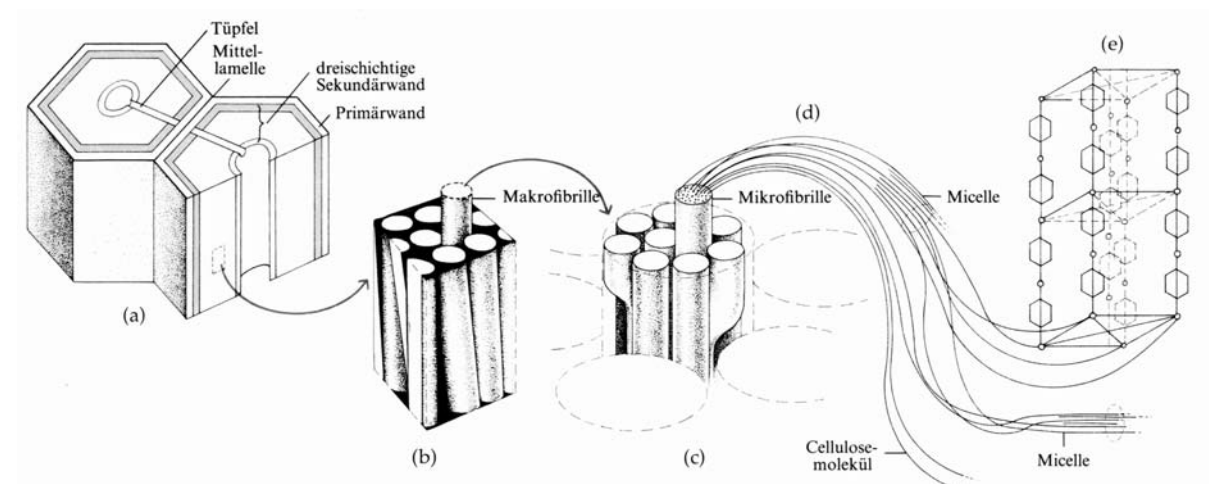


Abbildung 5

Aufbau der Zellwand: a) Teil der Zellwand mit Mittellamelle, Primärwand und dreischichtiger Sekundärwand. Die Zellulose ist zu einem System von Fibrillen unterschiedlicher Größe angeordnet. b) Die größten Fibrillen, die Makrofibrillen, sind bereits im Lichtmikroskop sichtbar. c) Mit Hilfe des Elektronenmikroskopes kann man erkennen, dass die Makrofibrillen ihrerseits aus Mikrofibrillen von ungefähr 10 nm Durchmesser bestehen. d) Teile der Mikrofibrillen, die Micellen, sind wohlgeordnete Bereiche, in denen die Zellulosemoleküle streng parallel liegen. e) Teile einer Micelle, die den Aufbau aus parallel verlaufenden, gitterförmig angeordneten Zellulosemolekülen zeigt.

Physikalische Eigenschaften

Infolge der relativen Unzugänglichkeit der kristallinen Bereiche ist Zellulose trotz der grossen Zahl hydrophiler OH-Gruppen nicht wasserlöslich. Verschiedene Verbindungen, wie höher konzentrierte starke Laugen und Säuren vermögen jedoch die Wasserstoffbrücken der Kristallite zu sprengen und in das Innere einzudringen und sie so für chemische Reaktionen zugänglich zu machen.

1.3 Hemizellulosen

Definition

Die Zellmembranen enthalten ausser Zellulose noch andere Kohlenhydrate: Hemizellulosen. Diese werden auch als Holz-/Polyosen bezeichnet. Als Bestandteil pflanzlicher Zellwände und als Reservestoff in Früchten, Samen, Knollen weit verbreitete Gruppe von Polysacchariden. Chemisch handelt es sich um verzweigte Polysaccharide, die im wesentlichen aus fünf verschiedenen Zuckerbausteinen aufgebaut sind (im Gegensatz zur Zellulose!). Die Ketten sind wesentlich kürzer als bei Zellulose, verzweigt und weisen einen hohen Gehalt an funktionellen Gruppen auf.

Erklärung

Die Aufgaben der Hemizellulosen in der Zellwand sind verschieden
Stützende Stoffe im Zellwandgerüst (unterstützende Funktion für Zellulose und Lignin)

Reservestoffe

Als Quellstoffe steuern sie die Durchlässigkeit der Membran

Als Klebstoff sorgen sie für die Verkittung der Zellmembran (Bestandteil der Matrix)

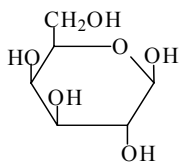
Chemische und übermolekulare Struktur

In Hölzern kommen im wesentlichen 5 Arten von Hemizellulose vor. Als Bausteine treten verschiedene Zucker auf, in erster Linie Xylose und Mannose, daneben Arabinose, Galactose und Glucose sowie eine Uronsäure (Abbildung 6).

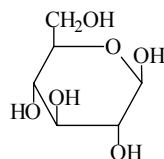
Die Zuckerbausteine können in Hexosen und Pentosen unterschieden werden, die jeweils nur in der räumlichen Anordnung der -OH und -CH₂OH Gruppen, nicht aber in ihrer chemischen Zusammensetzung abweichen.

Die Hauptkette einer Hemizellulose kann aus nur einer Zuckereinheit bestehen (homopolymer), z.B. Xylanen, oder aber aus zwei oder mehr Einheiten (Heteropolymer). Einige der Einheiten sind immer oder manchmal Seitengruppe einer Kette, z.B. Galactose.

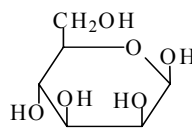
Hexosen



Galactose

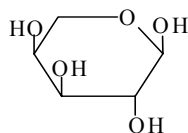


Glucose

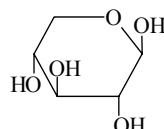


Mannose

Pentosen



Arabinose



Xylose

Abbildung 6

Bausteine von Hemizellulosen

Die Grundstruktur von Hemizellulosen bilden Kettenmoleküle, die im Unterschied zur Zellulose meist kurze Seitenketten aus verschiedenen Zuckern oder Zuckersäureresten aufweisen oder auch leicht verzweigt sein können. Ihr hoher Gehalt an hydrophilen Gruppen (-OH, -CO, -CHO und -COOH) erklärt die starke Quellbarkeit der aus Hemizellulosen gebildeten Matrix. Infolge ihrer verzweigten Struktur sind die Hemizellulosen überwiegend amorph (ungeordnet). Durch ihre Uneinheitlichkeit und ihre Molekülstruktur kristallisieren Hemizellulosen praktisch nicht. Sie bilden weniger Wasserstoffbrücken aus und sind besser löslich und weniger starr als die Zellulose. Im Verbund mit Zellulose bilden sie den leichter deformierbaren Partner, so dass der Verbundstoff flexibel und elastisch bleiben kann. Auch mit Lignin gehen sie eine echte chemische Bindung ein, die sogenannte Lignin-Kohlenhydrat-Bindung (s. Kap. Lignin).

Die Hemizellulosen sind in allen Wandschichten anzutreffen, jedoch in unterschiedlicher Konzentration. Nadel- und Laubholz unterscheiden sich nicht nur im Gehalt von Hemizellulosen (Abbildung 1), sondern auch im Anteil von individuellen Hemizellulose-Bestandteilen. Nadelholz besitzt mehr Mannose und mehr Galactoseeinheiten als Laubholz. Laubholz hingegen beinhaltet mehr Xylose (in Form von Xylan) und mehr Acetylgruppen. Die Laubhölzer sind im wesentlichen aus Pentosanen (5 Kohlenstoffatome) aufgebaut, die Nadelhölzer aus Hexosanen (6 Kohlenstoffatome) mit Ausnahme von Lärchenholz.

Physikalische und chemische Eigenschaften

Aufgrund ihrer amorphen Struktur nehmen die Hemizellulosen leicht Wasser auf und geben es umgekehrt etwas verlangsamt wieder ab. Durch diese hydrophilen Eigenschaften verlangsamt sie das Austrocknen der Gewebe und ermöglichen den Abbau der Gewebe, nachdem diese abgestorben sind. Hydrolytische Enzyme können zuerst die Hemizellulosen abbauen und dann die dichteren Bestandteile zugänglich machen.

Chemisch verhalten sich die Hemizellulosen ähnlich wie die Zellulose, jedoch verlaufen die Umsetzungen infolge der besseren Zugänglichkeit (da nicht kristallin) mit grösserer Geschwindigkeit.

Praktische Bedeutung

Hemizellulosen werden i.d.R. aus landwirtschaftlichen Produkten (wie z.B. Maiskolben, Haferspelzen) gewonnen. Neue Zellstoffherstellungsverfahren ermöglichen die Isolierung von Hemizellulosen auch aus Holz. Teilweise können sie ähnlich wie die Zellulose nutzbringend abgeleitet und verwendet werden, wie die folgende Auflistung zeigt:

- Bindemittel für Aktivkohle und Brikett
- Hilfsmittel bei der Papierherstellung (erhöht die Festigkeit, verbessert die Bedruckbarkeit)
- Lebensmittelindustrie (Verdickung, Gelierung)
- Textilverarbeitung (verbessert die Bedruckbarkeit)
- Medizin (Xylansulfate sind immunostimulierend und antiviral)

Die Hemizellulosen haben unterschiedliche Bedeutung bei der Holzverwertung im Bereich der Platten- und Zellstoffproduktion. Beim Dämpfen oder Kochen des Holzes als Vorbehandlung zur Herstellung von Faserplatten, Braunschliiff und zur Furnierherstellung werden die Hemizellulosen mit den Kondensaten und Abwässern der stofflichen Nutzung entzogen. Bei Papierzellstoffen ist aber ein hoher Anteil an Hemizellulosen erwünscht, wegen

- Höherer Ausbeute
- Besserer Faser-Faserverbindung
- Höherer Papierfestigkeit

Bei der Herstellung von Textilzellstoff sind Hemizellulosen wegen des erhöhten Chemikalienverbrauchs nicht erwünscht.

1.4 Lignin

Das Lignin ist nach der Zellulose das häufigste pflanzliche Polymer. Es verleiht der Zellwand Druckfestigkeit und ist meist in Wänden von verholzten Pflanzenzellen mit Stütz- und Festigungsfunktion vorhanden. Lignin ist ein dreidimensionales Makromolekül, das aus Phenylpropan-Einheiten zu einer polymeren Verbindung aufgebaut ist.

Erklärung

Lignin tritt nicht als selbständiger Baustein auf, sondern als Begleiter der Zellulose, der die Zwischenräume der Fibrillen füllt. Lignin ist ein wenig strukturierter (amorpher) Füllstoff, der das pflanzliche Gewebe erst zum Holz macht (ähnlich Beton im Stahlbeton). Der Lignin- bzw. Zellulosegehalt hängt von den Wuchsgebieten ab. So wird die Ligninbildung z.B. durch Wärme gefördert (s. Abb. 9).

Aufgabe des Lignins für die Zellwand

- Aufnahme von Druckbelastung
- Schutz gegen das Eindringen von Wasser
- Bildung eines festen starren Verbundes zwischen den Zellen

Vorkommen

Niedere Pflanzen enthalten im allgemeinen kein Lignin (Ausnahme: Torfmoose). Erst bei Farnen und den entwicklungsgeschichtlich jüngeren Gymno- und Angiospermen ist Lignin regelmässig anzutreffen. In Abbildung 7 ist der Ligningehalt in % verschiedener Pflanzen aufgeführt:

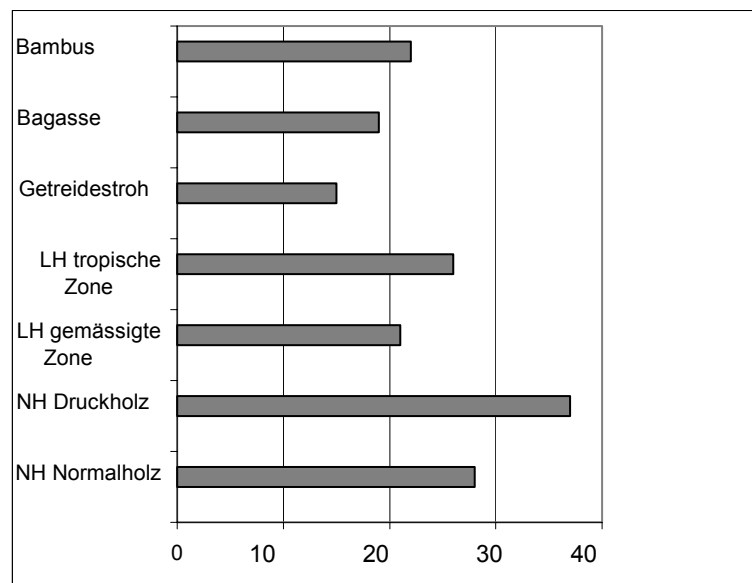


Abbildung 7

Ligningehalt verschiedener Pflanzen in %

Der Ligninanteil in der Zellwand und der Ligningehalt von verschiedenen Teilen des Baumes sind nicht einheitlich. Die höchsten Ligninwerte sind charakteristisch für den niedrigsten, höchsten und innersten Teil des Stammes, für Nadelholzäste, Rinde und Druckholz.

In der Zellwand ist Lignin ebenfalls sehr ungleichmässig verteilt: Bis zu 75% der Gesamtmenge des Lignins bei Nadelhölzern und über 90% bei Laubhölzern sind in der Mittellamelle, Primärwand und den Zwickeln aneinandergrenzender Zellen konzentriert (vergl. Abbildung 2)

Chemische Struktur

Lignin ist keine einheitliche Substanz und man müsste eigentlich von Ligninen sprechen. In jedem Lignin sind aber ähnliche Repetitionseinheiten enthalten, die eine dicht vernetzte, amorphe Masse aufbauen.

Lignin hat wesentlich weniger polare Gruppen als die Polysaccharide und ist daher hydrophob und nicht wasserlöslich. Es enthält aber viele aromatische Verbindungen, die relativ leicht chemisch modifiziert werden können. Der Aufbau des Lignins ist aufgrund der Komplexität noch nicht genau geklärt.

Die Makromoleküle des Lignins werden von der Pflanze generell aus 3 Grundbausteinen (Phenylpropaneinheiten) aufgebaut: p-Cumarylalkohol, Coniferylalkohol und Sinapinalkohol (Abbildung 8). In bezug auf das Mengenverhältnis der drei Grundbausteine bestehen signifikante Unterschiede zwischen Nadelhölzern und Laubhölzern (Tabelle 3).

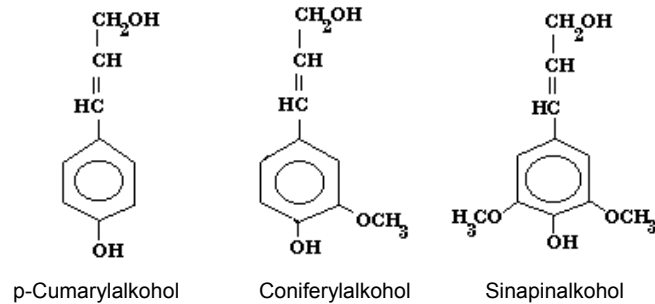


Abbildung 8
Grundbausteine des Lignins

Tabelle 3
Anteile der drei Lignin-Bausteine in verschiedenen Ligninen (Holzlexikon, 1988)

<i>Art des Lignins</i>	<i>p-Cumar- einheiten %</i>	<i>Guajacyl- einheiten %</i>	<i>Syringyl- einheiten %</i>
Nadelholzlignin	14	80	6
Laubholzlignin	4	53	43
Lignin von Gräsern	30	50	20

Guajacyl= vom Typ des Coniferylalkohols

Syringyl=vom Typ des Sinapinalkohols

Bei Nadelhölzern überwiegen Guaiacyleinheiten, während Laubholz zu fast der Hälfte aus Syringyleinheiten besteht (Tabelle 3), deshalb spricht man bei Laubhölzern von Guaiacyl-Syringyl-Ligninen (GS-Lignine). Guaiacyleinheiten bestehen überwiegend aus Coniferylalkoholbausteinen, während GS-Lignine aus unterschiedlichen Anteilen Coniferylalkoholen und Sinapinalkoholen zusammengesetzt sind.

In nicht genau bekanntem Umfang kommt es zwischen dem Lignin und den Kohlenhydraten, insbesondere mit den Hemizellulosen, zu echten chemischen Verknüpfungen, welche man Lignin-Kohlenhydrat-Bindungen nennt. Die Natur und Häufigkeit der Bindungen sind noch nicht vollständig geklärt.

1.5 Inhaltsstoffe

Holzinhaltstoffe oder akzessorische Bestandteile sind diejenigen Stoffe im Holz, die nicht zu den Strukturelementen der Zellwände gehören, d.h. alle Stoffe ausser Zellulose, Hemizellulose, Pektin und Lignin. Die Stoffe gehören verschiedensten chemischen Klassen an und sind für verschiedene Baumarten charakteristisch.

Obwohl die akzessorischen Bestandteile nur wenige Prozente der Holzmasse ausmachen, haben sie einen grossen Einfluss auf die Eigenschaften und die Weiterverarbeitungsmöglichkeiten des Holzes.

Der Gehalt an Holzinhaltstoffen ist bei den einzelnen Holzarten sehr unterschiedlich, kann aber auch innerhalb einer Art und zwischen verschiedenen Teilen des Baumes stark variieren. Hölzer der gemässigten Zone weisen 1-10%, tropische Hölzer mit 2-30% in vielen Fällen erheblich höhere Werte auf. Von wenigen Ausnahmen abgesehen, z.B. Rotbuche, enthält das Kernholz mehr Holzinhaltstoffe als der Splint.

Die akzessorischen, niedermolekularen Bestandteile gehören zu ganz verschiedenen chemischen Klassen und es ist deshalb schwierig ein klares aber zugleich umfassendes Klassifikationssystem aufzustellen. Eine einfache Klassifikation wäre, wenn man sie in organische und anorganische Stoffe unterteilen würde. Die organischen Stoffe sind meistens als Extraktstoffe zusammengefasst. Die anorganischen Bestandteile werden am gebräuchlichsten „Asche“ bezeichnet. Hierzu gehören insbesondere Kalium-, Calcium- und Magnesiumverbindungen aber auch Spurenelemente (z.B. Kationen des Eisens, Mangans, Bors etc.). Der Gehalt an Anorganika beträgt bei Hölzern der gemässigten Zone 0,2...1,0%, bei den tropischen liegt er bei z.T. über 5%.

Akzessorische Bestandteile, die an der Verkernung des Holzes beteiligt sind, werden auch als Kernstoffe bezeichnet.

1.5.1 Extraktstoffe

Zu den Extraktstoffen gehören alle niedermolekularen, hydrophoben Verbindungen des Holzes. Im wesentlichen sind dies Fette, Wachse, Harze und Gerbstoffe. Daneben gibt es noch eine Reihe anderer in geringeren Mengen vorkommender Substanzklassen. Tabelle 4 gibt einen Überblick über die Gruppen von Extraktstoffen.

Tabelle 4

Extraktstoffe (Gruber, 2000)

<i>Gruppe</i>	<i>Aufbau</i>
Terpene	zyklische Diisoprenoide
Terpenoide und Harze	Diterpene
Fette	Glyceride
Wachse	langkettige Ester
Lignane	Ligninabbauprodukte
Flavonoide	Flavane, Flavone
Tannine (Lbh)	Polyphenole
Stilbene (Ndh)	Diphenylethen

1.5.2 Fette

Fette sind Ester langkettiger Fettsäuren mit Glycerin. Die Kettenlänge dieser Verbindungen liegt vorwiegend zwischen 16 und 18 C-Atomen, es können aber auch kürzere oder längere Ketten vorkommen.

Die Funktion von Fetten (und Wachsen, s. unten) ist der Schutz der Gewebe gegen das Eindringen von Wasser von aussen. Zudem gehören Fette, zusammen mit Stärke, auch der wichtigen Gruppe von Speicherstoffen an. Sie werden in den Parenchymzellen des Holzes eingelagert und ermöglichen bei Laubhölzern - schon vor dem Blattaustrieb - die Holzbildung. Der Gesamtanteil am Volumen beträgt nur etwa 2%. Ein besonders hoher Stärkegehalt ist bei Bergahorn und Ulme zu verzeichnen.

1.5.3 Naturharze

Tabelle 5

Bestandteile von Naturharzen (Gruber, 2000)

<i>Harzbestandteil</i>	<i>enthaltene Substanzgruppe</i>
Harzsäuren (Resinolsäuren)	(Neo) Abietin-, (Laevo) Pimar-, Palustrinsäuren
Harzalkohole (Resinole)	Diterpen-Alkohole
Phenole	Mehrwertige Ph., Gallusester
Ester (Resine)	Ester aus Harzsäuren mit -Harzalkoholen
Ungesättigte Verbindungen (Resene)	Mono-, Sesqui- und Diterpene
Terpentin	Pinen, 3-Caren, Campher
Etherische Öle	Alkohole, Aldehyde, Ketone,...

Chemisch gesehen sind die natürlichen Harze Gemenge aus sehr unterschiedlichen Substanzen (vergl. Tabelle 5) wie Harzsäure (Resinolsäuren), Harzalkoholen (Resinole), Estern von Harzsäuren und -alkoholen, Phenolen mit Gerbstoffcharakter (Resinotannole) und ungesättigten, z.T. sauerstoffhaltigen Verbindungen (Resene).

Harze dienen vorwiegend dem Wundverschluss von Pflanzengewebe. Sie können an der Luft härten (vernetzen), sind biocid und hydrophob. Sie kommen vor allem in Koniferen vor und befinden sich dort in interzellulären Hohlräumen, z.B. Harzkanäle.

Terpentin ist der wichtigste flüssige Extraktstoff, der zusammen mit dem Harz vorkommt. So enthält Harz einen bestimmten Anteil an Terpentin und umgekehrt Terpentin einen bestimmten Anteil Harz. Das flüssige Terpentinöl ist giftig. Es besteht vorwiegend aus Monoterpenen. Da die Terpentinbestandteile leicht flüchtig sind, verliert Holz beim längeren Lagern den Grossteil seines Terpentingehaltes.

Ökonomisch sind Harze – fast ausschliesslich von Kiefer - von Bedeutung als Lösungsmittel, Harzleime (Papierverleimung), Geruchstoffe, Harz für Kolophonium und Terpentinöl.

1.5.4 Gerbstoffe und Wachse

Die Rinde der Bäume dient vor allem dem mechanischen, thermischen und chemischen Schutz des lebenden Gewebes. Sie enthält daher auch Verbindungen, die die schädigende Wirkung der Atmosphäre mildern. So entgiften Antioxidantien den eindringenden Sauerstoff und das Ozon, hydrophobe Wachse schützen gegen das Eindringen von Wasser, Terpene und Phenole haben mikrozide Wirkung und schützen daher gegen den Angriff von Bakterien und Pilzen.

Aus den Rinden der meisten Bäume können durch Extraktion mit organischen Lösungsmitteln Flavone, Flavonoide und Gerbstoffe (Tannine, mehrwertige Phenole) gewonnen werden, die als Konservierungsmittel und technische Antioxidantien verwendet werden können.

Wachse bestehen aus langkettigen Fettalkoholen und einer ebenfalls langkettigen Fettsäure.

Bei Fichte sind die Gerbstoffe fast nur in der Rinde zu finden. Gerbstoffe kommen jedoch nicht nur in der Rinde vor, sondern liegen z.B. bei Edelkastanie und Eiche im Splint- und Kernholz in Parenchymzellen der Markstrahlen. Durch ihre Oxidationsprodukte wird die Farbe vieler Kernhölzer bestimmt.

Gerbstoffe verwandeln tierische Haut in Leder.

1.5.5 Akzessorische Bestandteile

Holzinhaltstoffe können die Eigenschaften und den Gebrauchswert von Hölzern in vielfacher Hinsicht beeinflussen.

Sie bestimmen weitgehend Geruch und Farbe des Holzes und sind deshalb auch oft die Ursache von auftretenden Verfärbungen.

Sie erhöhen die natürliche Resistenz einiger Hölzer gegen Insekten und Pilze und verändern den pH-Wert des Holzes; dies kann besonders im sauren Bereich Anlass zur Korrosion von Metallen geben.

Einige der akzessorischen Bestandteile verhindern die Filmbildung und Trocknung von Lacken (Phenole, Wachse oder Harze) oder das Abbinden von Zement (Zucker, Stärke oder Gerbstoffe). Andere führen zu Verleimungsfehlern (Fette).

Mineralische Bestandteile bewirken häufig ein vorzeitiges Abstumpfen von Werkzeugschneiden oder Scharfen an den Schneiden (schwerlösliche Verbindungen wie Calciumcarbonat oder Calciumoxalat). Bei der Verarbeitung vor allem einiger tropischer Hölzer können Gesundheitsschädigungen auftreten, die auf Anwesenheit von bestimmten Extraktstoffen (Phenole, Chinone oder Terpene) zurückzuführen sind.

Weiterführende Literatur

Kürschner, K. (1966): Chemie des Holzes. Zweite verbesserte Auflage. Technischer Verlag Herbert Cram, Berlin: 277 S.

Rätsch, C. (1988): Lexikon der Zauberpflanzen aus ethnologischer Sicht. ACEVA, Graz: 206 S.

1.6 Literaturverzeichnis

Anonymus, 1999: TBH - thermisch behandeltes Holz. Wald und Holz 2/99.

Autorenkollektiv, 1988: Holz-Lexikon. DRW-Verlag Stuttgart

Bariska, M., 1979: Brandverhalten von Massivholz und Holzwerkstoffen. Holz-Zentralblatt, Sonderausgabe Messeheft Ligna 1979: S. 294-299, 305-306.

Becker, G., Thoro, C., Dengg, J., Döhrer, K., Nussbaumer, T., Seeger, K., Manderbach, M., Kurmann, U., Schäfer, H., Kohler, S., 1993: Energiegewinnung aus Holz. AFZ. Allgemeine Forst Zeitschrift fuer Waldwirtschaft und Umweltvorsorge, v. 48(15): 753-758.

Braun, H.J., 1982: Lehrbuch der Forstbotanik. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart: 256 S.

Brelid, P.L., 1998: Acetylation of Solid Wood (Wood Properties and Process Development). Doctoral thesis, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden.

Bridgwater, A.V., Meier, D., Radlein, D., 1999: An overview of fast pyrolysis of biomass. Organic Geochemistry, 30: 1479-1493.

Bundesamt für Energiewirtschaft, 1997: Energie aus Holz. Programm Biomasse. Schlussbericht.

Ebringerova, A., 1992: Hemizellulosen als biopolymere Rohstoffe. Papier (Germany), v. 46(12): 726-733.

Faix, O. und Bröker, F.W., 1994: Holz als nachwachsender Rohstoff der chemischen Industrie. Vortrag. Mitteilungen der Bundesforschungsanstalt fuer Forst- und Holzwirtschaft, no. 176, 8, Hamburg, Germany, Wiedebusch: 245-258.

Fengel, D., Wegener, G., 1989: Wood - Chemistry, ultrastructure, reactions. Gruyter, Berlin: 613 S.

Gammel, R., 1989: Forstbenutzung. Parey-Verlag, Berlin, Hamburg: 193 S.

Gruber, E., 2000: Makromolekulare Chemie, Ökologie und Ökonomie der Nachwachsender Rohstoffe. Online-Skript der TU-Darmstadt. URL: http://www.cellulose-papier.chemie.tu-darmstadt.de/vorlesungen_veranstaltungen/vorlesungstexte_slides/vorlesungstexte.html

Marutzky, R. und Seeger, K., 1999: Energie aus Holz und anderer Biomasse. DRW-Verlag Weinbrenner GmbH & Co., Leinfelden-Echterdingen: 352 S.

Militz, H., 2001: Holzmodifizierung – alternative Schutz- und Behandlungsverfahren. AFZ- Der Wald (2): 59-62.

Nussbaumer, T., 1990: Energetische Nutzung von Holz, Holzreststoffen und Altholz. Bundesamt für Energiewirtschaft, Zurich (Switzerland). Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Hamburg, Zurich, Switzerland: 7-30.

Rapp, A. O. (ed.) 2001: Review on Heat treatments of Wood. Proceedings of Special Seminar held in Antibes, France, 9. February 2001: 68 S.

Roffael, E., Schäfer, M., 1998: Die Bedeutung der Extraktstoffe des Holzes in biologischer, chemischer und technologischer Hinsicht. Holz-Zentralblatt, v. 124(114): 1615-1616.

Rowell, R., 1984: The Chemistry of Solid Wood. American Chemical Society, Washington, D.C.: 614 S.

Rutschmann, C. und Keel, A., 1995: "Im Wald wächst Wärme" - Holzenergienutzung in der Schweiz. Schweizerische Zeitschrift fuer Forstwesen (Switzerland, v. 146(1): 51-62.

Sell, J. und Zimmermann, T., 1993: Das Gefüge der Zellwandschicht S2. Forschungs- und Arbeitsberichte, Bericht 115/28. EMPA.

Sjöström, E., 1981: Wood chemistry. Fundamentals and Applications. Academic Press, New York: 223

2. Anatomischer Aufbau des Holzes (S. Baum)

2.1 Makroskopischer Holzaufbau

2.1.1 Schnittebenen des Holzes

Holz ist ein Naturprodukt und entsprechend den Anforderungen des Baumes bezüglich seiner Stabilität, seines Wachstums und seiner Versorgung aufgebaut. Das bedeutet, dass es sich bei Holz nicht um ein homogenes und isotropes Material handelt. Ganz im Gegenteil: Der axiale Aufbau des Stammes wie auch der Äste und Wurzeln spiegelt sich im Holzaufbau wider. Ein Grossteil der Strukturen folgt diesem axialen Verlauf (Faser-Grundgewebe, Wasserleitungsbahnen) und nur ein geringer Prozentsatz der Zellstrukturen (Holzstrahlen) weist eine radiale Ausrichtung aus.

Im Unterschied zu vielen anderen mehrjährigen Pflanzen wachsen Bäume jedes Jahr um eine gewisse Distanz in die Breite (Dickenwachstum). Ein Zellkranz aus lebenden Zellen, das Kambium, befindet sich direkt unter der Baumrinde und ist für dieses Dickenwachstum verantwortlich. Nach innen bilden diese Kambialzellen Holzzellen (Xylem). Die jeweiligen Holzabschnitte, die innerhalb eines Jahres entstehen, nennt man Jahrringe. Der Holzkörper ist für die Stabilität des Baumes, für die Speicherung von Nähr- und Reservestoffen sowie für den Transport von Wasser aus den Wurzeln verantwortlich. Die vielfältigen Aufgaben des Holzkörpers finden sich in der Anatomie des Holzes wieder. Nach aussen bildet das Kambium Bastzellen (Phloem). Dieser äussere Zellkranz dient dem Transport von Zuckern und Nährstoffen, die in der Krone des Baumes produziert werden und ist nur sehr schmal.

Bei der Betrachtung des Holzes unterscheiden wir drei Schnittebenen, die jeweils unterschiedliche charakteristische Aspekte des dreidimensionalen Holzkörpers aufzeigen (siehe Abbildung 9). Nur eine Kombination aller drei Ebenen ermöglicht uns ein vollständiges Bild der jeweiligen Holzstruktur. Auch für die Beurteilung und Bestimmung von Holzigenschaften ist die Einteilung in diese verschiedenen Schnittrichtungen von Bedeutung. Wegen seines anisotropen Aufbaus ändern sich die Eigenschaften des Holzes je nach Belastungsrichtung.

Querschnitt: der Querschnitt eines Baumstammes hat im Normalfall eine annähernd kreisrunde Form. Die ältesten Teile des Baumes befinden sich im Inneren. Zentral liegt die Markröhre. Die einzelnen Jahrringe des Baumes sind mit blossem Auge als konzentrische Ringe zu erkennen. Der Querschnitt weist eine netzförmige Textur auf, da das dominierende axiale Gewebe durchtrennt ist. Die Holzstrahlen verlaufen von Innen nach Aussen über die Jahrringgrenzen hinweg.

Radialschnitt: Diese Schnittebene entsteht, wenn man ein Stammsegment von der Mitte her wie eine Torte aufteilt, im einfachsten Falle also in der Mitte von Markröhre bis Rinde durchtrennt. Der Radialschnitt zeigt die Kreuzung der axialen und radialen Gewebe. Die Holzstrahlen verlaufen in horizontaler Richtung.

Tangentialschnitt: Er entsteht, wenn wir den Längsschnitt im äusseren Bereich des Stammsegments setzen. Die einzelnen Jahrringe sind nicht mehr so leicht zu erkennen, da sie nun unregelmässig „fladerig“ in Erscheinung treten. Typisch für diese Schnittebene ist, dass die radial verlaufenden Holzstrahlen nun im Querschnitt zu sehen sind. Je nach Breite der Holzstrahlen kann man längs verlaufende Streifen oder Spindeln erkennen.

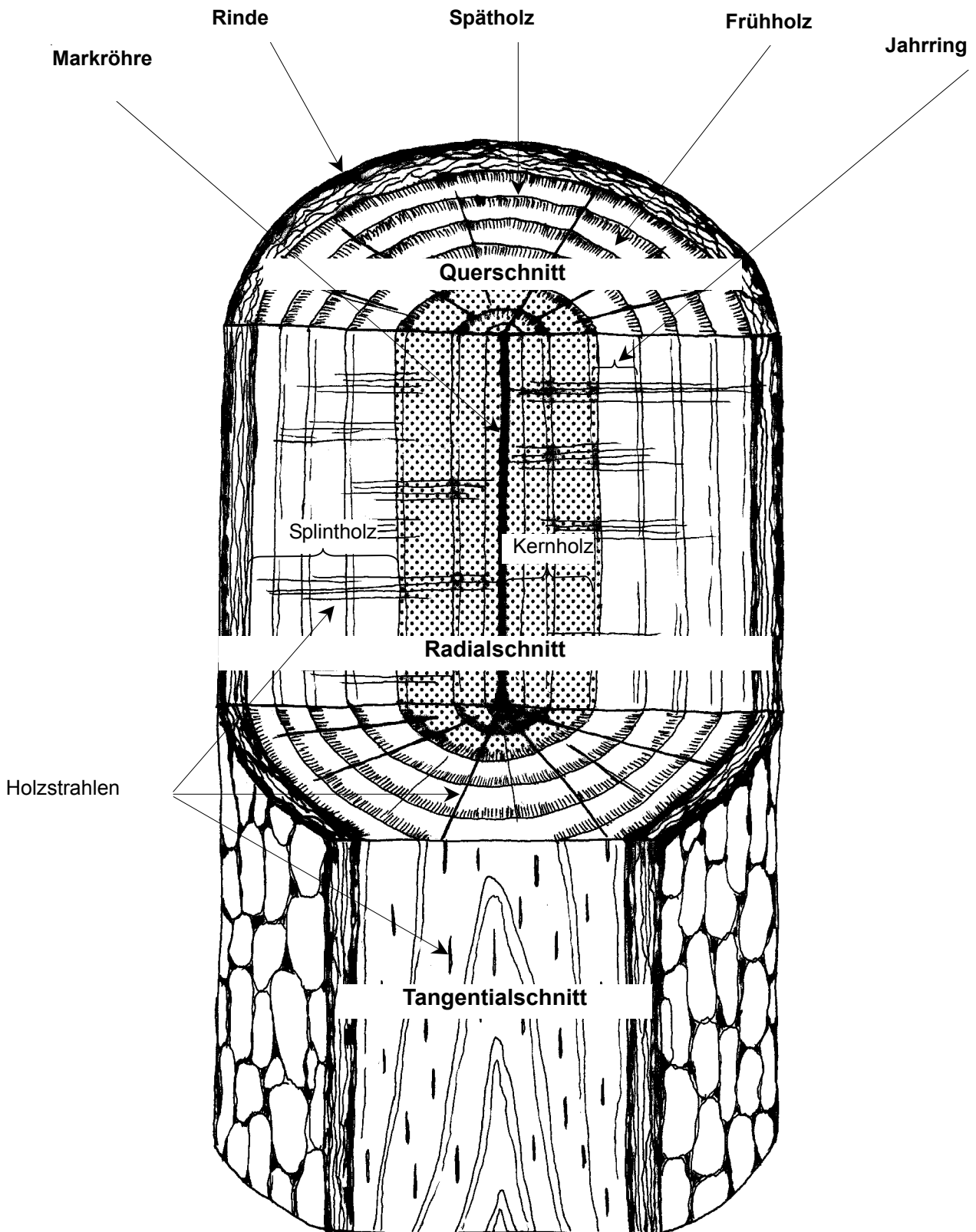


Abbildung 9

Die drei Schnittebenen des Holzes und die wichtigsten Strukturelemente am Beispiel eines Nadelholzstammes

2.1.2 Splintholz und Kernholz

Im Holz der Bäume wird das Wasser von den Wurzeln bis hinauf in die Krone transportiert, um dort für die Energieproduktion zur Verfügung zu stehen (Photosynthese). Ältere Bäume benutzen aber nicht den gesamten Holzkörper für die Leitung von Wasser, sondern nur die jüngeren Jahrringe. Wie viele Jahrringe das sind, hängt stark vom Typus der Leitungsbahnen und damit von der Baumart ab. Die Zahl der beteiligten Jahrringe reicht entsprechend von nur 1-5 (ringporige Baumarten wie Ulme, Eiche, Robinie) bis hin zu 30-100. Den Holzteil, der für die Wasserleitung zuständig ist, nennt man Splintholz.

Der innere Holzteil, der nicht an der Wasserleitung beteiligt ist, wird allgemein als Kernholz bezeichnet. Im engeren Sinne wird dieser Begriff jedoch nur für solche Holzarten verwendet, deren innerer Holzkörper farblich vom Splintholz abweicht, im Regelfall also dunkler erscheint. Es gibt aber auch Baumarten mit heller Verkernung, wie Fichte, Birke, Tanne, Weide, wo sich Splint und Kern farblich gleichen. Ausserdem gibt es Baumarten, die man als fakultative Kernholzbildner bezeichnet. Diese Baumarten, zu denen Esche, Buche und Pappeln gehören, weisen im Normalfall einen hellen Kern auf, unter bestimmten Umständen kann sich jedoch ein Farbkern ausbilden. Der Umriss eines solchen fakultativen Farbkerns ist dann meist nicht wie der der obligaten Kernholzbildner mit einer Jahrringgrenze identisch, sondern weist einen unregelmässigen Umriss auf.

Typische Baumarten mit obligater Kernholzbildung sind Föhre, Douglasie, Eiche und Ulme. Die Bäume wandeln in komplexen biochemischen Prozessen (Hydrolyse von Stärke, oxidative Polymerisation etc.) Splint in Kernholz um. Es kommt zu Verfärbungen, Einlagerungen und bei einigen Laubbäumen zu Verthyllungen (siehe Kapitel 2.2.3) der entsprechenden Holzbereiche. Durch diese Prozesse wird das Holz gegen den Abbau von Mikroorganismen besser geschützt und erreicht eine deutlich höhere Dauerhaftigkeit.

2.1.3 Jahrringe und Zuwachszonen

In Gebieten mit ausgeprägten Jahreszeiten sind die jährlichen Zuwächse an Holz in Form von Jahrringen sehr gut erkennbar. Die Bäume zeigen ein periodisches Wachstum, das eng an Temperatur und Wasserversorgung gekoppelt ist, und setzen ihr Dickenwachstum im Winter ganz aus. Das Holz, das zu Beginn der Vegetationsperiode im Frühjahr gebildet wird, ist sehr locker und porenreich. Der Baum legt zu Beginn des Jahres seine Prioritäten auf die Wasserleitung. In Nadelhölzern bedeutet das weitlumige Tracheiden, also Zellen mit dünnen Wänden und grossem Porenvolumen. Im Laubholz wird dies durch eine hohe Zahl oder besonders grosse Durchmesser der Gefässe, also der Zellen die für die Wasserleitung zuständig sind, erreicht. Diese zu Jahresbeginn gebildeten Holzabschnitte bezeichnet man als Frühholz.

Zum Ende der jährlichen Dickenwachstumsphase der Bäume, im Spätsommer oder Herbst, ändern sich die Prioritäten. Die Wasserleitung tritt in den Hintergrund und die Festigkeitseigenschaften der Holzzellen wird wichtiger. Deshalb bilden viele Bäume in den letzten Zellreihen des Jahrrings Zellen aus, die besonders dicke und ligninreiche Wände besitzen, aber kaum noch Wasser transportieren können. Für Laubbäume bedeutet das, dass die Anzahl der Gefässe zurückgeht und die Durchmesser stark abnehmen können. Das Spätholz ist dadurch deutlich dichter als das Frühholz. Die beiden Abschnitte kann man besonders bei Nadelhölzern auch farblich gut unterscheiden.

Das hellere Frühholz macht in einem Durchschnittsjahr mindestens 4/5 der Jahrringbreite aus. Das rötliche bis dunkelbraune Spätholz ist meist nur ein schmaler Ring. Der Anteil des Spätholzes steigt aber, wenn Stressbedingungen (z.B. Trockenheit) ein gutes Dickenwachstum verhindern. In Extremfällen kann ein Jahrring so schmal sein, dass man ihn mit blossen Auge nicht mehr erkennt und besteht dann nur noch aus einigen wenigen Spätholzzellen. Die Breite der Jahrringe, der Anteil des Spätholzes und die Regelmässigkeit des Dickenzuwachses können die Holzeigenschaften massgeblich beeinflussen.

In Gebieten ohne ausgeprägte Jahreszeiten kommt es meist nicht zur Ausbildung von Jahrringen. Die Bäume finden das ganze Jahr über gute Wachstumsbedingungen vor und können theoretisch zwölf Monate im Jahr Dickenwachstum betreiben. Trotzdem kann man auch in den Hölzern dieser tropischen Gebiete Zuwachszonen erkennen. Sie spiegeln Wachstumsphasen wider, die aber nicht mit Jahren korreliert sind und deshalb nichts über das Alter der Bäume aussagen.

2.1.4 Porigkeit

Auch ohne Mikroskop sind im Holzquerschnitt zum Teil Poren erkennbar (Abbildung 10). Dies trifft nicht für die Nadelhölzer zu, da der Durchmesser der Tracheiden zu klein ist und diese selbst mit Lupe nur selten zu sehen sind. Die „Löcher“ die man im Holz der Nadelbäume makroskopisch erkennen kann, sind Harzkanäle. Harzkanäle sind ein Instrument zum Schutz des Holzes z.B. für die Abwehr von Borkenkäfern. Das in den Kanälen enthaltene Harz verklebt die Insekten. Die Föhren verfügen über viele Harzkanäle, besonders im Spätholz, Tanne und Eibe dagegen weisen im gesunden Holz keine Harzkanäle auf.

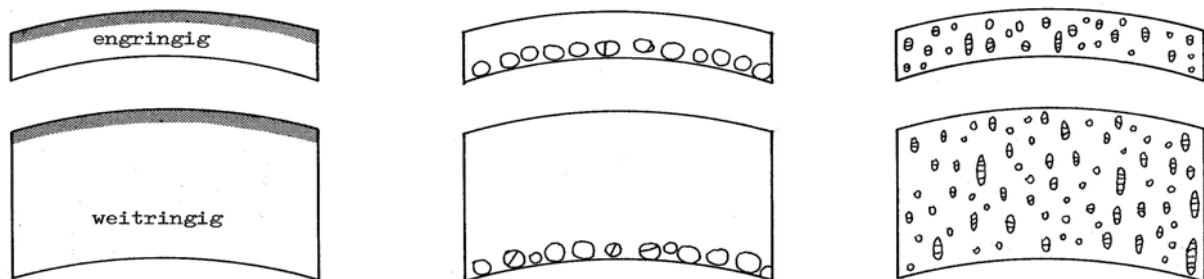


Abbildung 10

Muster in der Jahrringbildung von Nadelhölzern (links), ringporigen (mitte) und zerstreutporigen Laubbölzern. Die obere Zeichnung stellt jeweils einen sehr engen, die untere einen breiten Jahrring dar.

Die Laubbölzer verfügen über spezielle Zellen, die für die Wasserleitung verantwortlich sind. Diese axial verlaufenden Zellen werden Gefässe genannt und besitzen einen deutlich grösseren Durchmesser als die Fasern des Grundgewebes, so dass sie teilweise schon mit blossem Auge, auf jeden Fall aber mit der Lupe erkennbar sind. Man unterteilt die Laubbölzer je nach Grösse und Anordnung der Gefässe in die zwei Hauptgruppen: Zerstreutporer und Ringporer. Die Zerstreutporer besitzen Gefässe, die über den gesamten Jahrring annähernd gleichmässig verteilt sind und in ihrem Durchmesser weitgehend konstant bleiben. Die Ringporer dagegen weisen im Frühholz in radialer Richtung 1-3 sehr grosse Gefässe auf, die einen Durchmesser von über einem halben Millimeter besitzen können, bilden jedoch im weiteren Verlauf des Jahrrings nur noch einige kleine bis mittelgrosse Spätholzgefässe aus. Strukturell ergibt sich deshalb im Querschnitt ein deutlich sichtbarer Ring aus Frühholzporen, der für diese Holzgruppe namensgebend war. Ähnlich wie der Spätholzanteil der Nadelbäume bleibt die Breite der Frühholzgefässe auch bei sich ändernden Jahrringbreiten weitgehend konstant (vergleiche Abbildung 10).

In unseren Breiten überwiegt der Typus Zerstreutporer. Lediglich die Baumarten Eiche, Ulme, Robinie, Esche und ESKastanie haben ein ringporiges Holz. In den Tropen existieren ebenfalls überwiegend zerstreutporige Baumarten, deren Gefässe aber makropor sind und so über die ganzen Querschnittsfläche im Grössenbereich der Frühholzgefässe unserer Ringporer liegen. Die grossen Durchmesser solcher Gefässe haben den Vorteil sehr viel mehr Wasser in deutlich kürzerer Zeit zu leiten, bergen aber auch das Risiko eines Zusammenbruchs der Leitungsbahnen (Embolien) auf Grund von Wassermangel oder Lufteinbruch.

2.1.5 Reaktionsholz

An Stämmen von Nadel- und Laubbäumen, die geneigt bzw. starken Windbelastungen ausgesetzt sind, findet man genauso wie an Ästen einen besonders ausgeformten Holztyp, das Reaktionsholz. Dieses hat die Aufgabe, die ursprüngliche Wachstumsrichtung von Ast und Stamm beizubehalten bzw. wiederherzustellen. Die Ausbildung von Reaktionsholz führt oft zu einer einseitigen Förderung des Wachstums: der Stamm- bzw. Astquerschnitt ist nicht mehr rund, sondern exzentrisch geformt.

In Nadelbäumen wird das Reaktionsholz auch Druckholz genannt, da es an der der Belastung abgewandten Seite (Lee-Seite) den Stamm oder Ast in die entsprechende Richtung „drücken“ soll. In den Laubbäumen dagegen wird das Reaktionsholz an der Luv-Seite der Belastung, also z.B. auf der Astoberseite, gebildet und entsprechend Zugholz genannt. Die Zellen des Reaktionsholzes weichen

von den „normalen“ Fasern in Aufbau und Zusammensetzung etwas ab (vgl. Kapitel 2.3.2.) und verändern dadurch auch entscheidend die Holzeigenschaften. Die Folge sind entsprechende Schwierigkeiten und Einschränkungen bei Bearbeitung und Verwendung von Stammholz mit Reaktionsholzanteilen.

2.2 Mikroskopischer Aufbau von Nadel- und Laubholz

2.2.1 Nadelholz

Das Nadelholz besteht aus nur zwei Zelltypen. Den Hauptanteil nehmen dabei die Tracheiden (90 - 95%), den Rest Parenchymzellen ein. Im Gegensatz zum Laubholz besitzt das Nadelholz also nur wenige Zelltypen, die dafür in der Lage sind, mehrere Funktionen auf einmal zu übernehmen. Die Tracheiden sind „Alleskönner“ und sowohl zur Wasserleitung fähig als auch für die mechanische Stabilität von Nadelholz verantwortlich. Die Tracheiden sterben schon bald nach ihrer Entstehung ab und sind in Funktion stets tot. Die Längstracheiden (Abbildung 11) sind axial verlaufende langgestreckte Zellen, die im Inneren ein Lumen besitzen, also „hohl“ sind. Das im Lumen transportierte Wasser kann über Verbindungen zwischen den Tracheiden, sogenannte Tüpfel, weitergeleitet werden.

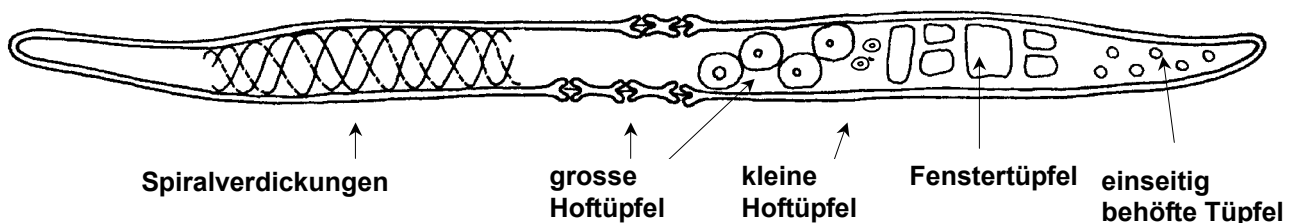


Abbildung 11

Schematische Darstellung einer Frühholztracheide mit verschiedenen Tüpfelarten und Spiralverdickungen

Die Verbindung zwischen zwei Tracheiden nennt man Hoftüpfel (Abbildung 12). Sie besitzen einen auf Druckunterschiede reagierenden Schliessmechanismus. Ein Deckplättchen (Torus) ist im Tüpfelinneren (Porus) an aus Zellulose bestehenden Margofäden aufgehängt. Kommt es zu einem Lufteinbruch in das Wasserleitsystem wird der Torus durch den entstehenden Unterdruck auf den Porus gedrückt und verschliesst so die Zellverbindung ohne Energieaufwand.

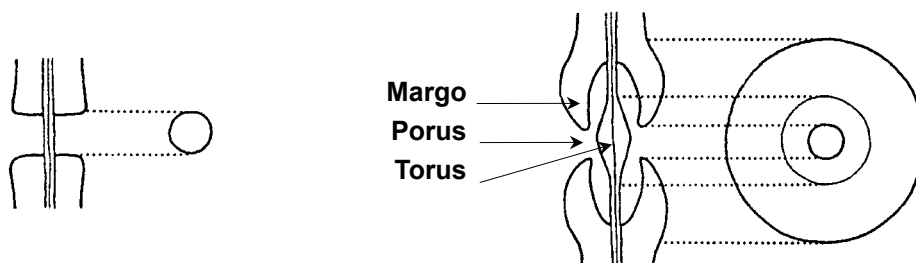


Abbildung 12

Schematische Darstellung der Tüpfelarten zwischen zwei Zellen. Links: einfacher Tüpfel. Rechts: Hoftüpfel.

Die Spätholztracheiden sind etwas englumiger und dickwandiger als die Frühholztracheiden. Neben den Längstracheiden existieren in einigen Baumarten auch Quertracheiden. Sie befinden sich an den

oberen oder unteren Enden der Holzstrahlen. Die Holzstrahlen sind Zellverbände, die in radialer Richtung den Holzkörper durchziehen.

Der zweite wichtige Zelltyp des Nadelholzes ist die Parenchymzelle. Diese Zellen sind im Splintholz stets lebend und haben als Hauptaufgaben die Aufnahme, Speicherung und Abgabe von Reservestoffen. Die Länge der Parenchymzellen ist deutlich geringer als die der Tracheiden. Die Holzstrahlen bestehen zum überwiegenden Teil aus Parenchymzellen. Die Parenchymzellen sind untereinander mit einfachen Tüpfeln verbunden (Abbildung 12). Zwischen den Parenchymzellen und den Tracheiden existieren ebenfalls Tüpfelverbindungen, die eine besondere Form haben können (Bsp. Fenstertüpfel bei Föhrenarten; Abbildung 11). Auch in den Harzkanälen befinden sich Parenchymzellen. Sie werden Epithelzellen genannt und sind in der Lage, Harz auszuscheiden.

2.2.2 Laubholz

Im Gegensatz zum Nadelholz gibt es beim Laubholz viele verschiedene Zelltypen und damit eine Arbeitsteilung. Das wiederum axial verlaufende Grundgewebe besteht aus Fasern. Je nach Entwicklungstyp handelt es sich um Librifasern, Fasertracheiden oder vasizentrische Tracheiden, wobei in einer Holzart auch mehrere Fasertypen vorkommen können. Der am weitesten differenzierte Fasertyp ist die Librifaser. Sie ist ausschliesslich für die Festigkeit zuständig. Die Fasertracheide dagegen ist wie bereits der Name verrät, funktionell der Nadelholz-Tracheide noch sehr ähnlich und übernimmt neben Festigkeits- auch Wasserleitungsaufgaben.

Der Hauptteil der Wasserleitung erfolgt jedoch wie bereits erwähnt über die Gefässe. Ein Gefäss kann im Falle einer ringporigen Baumart bis zu mehreren Metern lang sein und besteht aus einer Vielzahl von Gefässgliedern die nur wenige Zehntel Millimeter lang sind (Abbildung 13). Die Gefässglieder sind entweder unten wie oben völlig offen (einfache Gefässdurchbrechung) oder sind mit einer leiterförmigen Gefässdurchbrechung verbunden, so dass das Wasser auf einfache Art und Weise transportiert werden kann. Zusätzlich gibt es einen horizontalen Wassertransport über intervaskuläre Tüpfel. Die Gefässglieder besitzen eine recht dünne, vergleichsweise stark lignifizierte Zellwand und sind wie die Fasern bei Beginn ihrer Funktionserfüllung bereits tot.

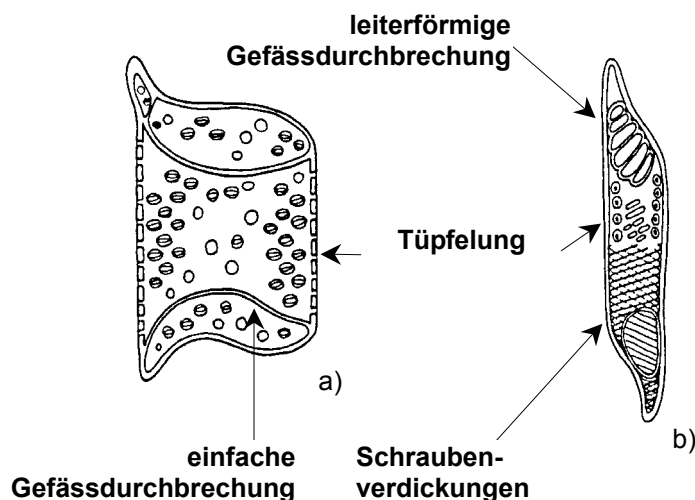


Abbildung 13
Gefässglied aus dem Frühholz (a) und dem Spätholz (b)

Im Gegensatz zu den einreihigen Holzstrahlen der Nadelhölzer, finden sich im Laubholz zum Teil recht breite Holzstrahlen, die im Tangentialschnitt durch ein Holzstück einen spindelförmigen Umriss annehmen. Sie bestehen ausschliesslich aus lebenden Parenchymzellen. Im Laubholz findet man aber auch axial ausgerichtetes Parenchym. Diese Zellen liegen entweder vereinzelt, in Bändern oder um Gefässe herum verteilt vor. Für Tropenhölzer ist ein „augenförmiges“ Umfliessen der

Leitungsbahnen sehr typisch. Das Axialparenchym hat neben der Speicherfunktion auch die Aufgabe der Stoffausscheidung (z.B. Kristalle).

2.2.3 Einlagerungen

Neben den Kristallen gibt es (vor allem im Laubholz) oftmals auch andere nachträgliche Einlagerungen in den Holzkörper. Die lebenden Zellen (Parenchymzellen) verursachen eine Verstopfung der Leitungsbahnen indem sie gummiartige Substanzen in die Lumina der Zellen einlagern. Über Tüpfel gelangen diese Materialien auch in bereits tote Zellen, also Gefässe und/oder Fasern. Die Substanzen haben oftmals eine fungitoxische Wirkung. Auf diese Weise wird das Holz unempfindlicher gegen die Besiedlung und gegen einen Abbau durch Mikroorganismen. Eine Besonderheit stellen die Thyllen einiger Laubbäume dar: Parenchymzellen stülpen in die benachbarten Gefässe über die Tüpfelöffnungen suberinhaltige Taschen hinein (Abbildung 14), die in ihrer Form und Entstehung an Kaugummiblasen erinnern. Auf diese Weise können selbst grosse Zelllumina mit wenig Material- und Energieaufwand wirkungsvoll verschlossen werden. Die beschriebenen Einlagerungen entstehen als Abwehrmassnahme gegen Lufteinbruch oder Mikroorganismen, finden sich aber auch im Kernholz vieler Laubbäume wie z.B. Eiche, Ulme oder Robinie.

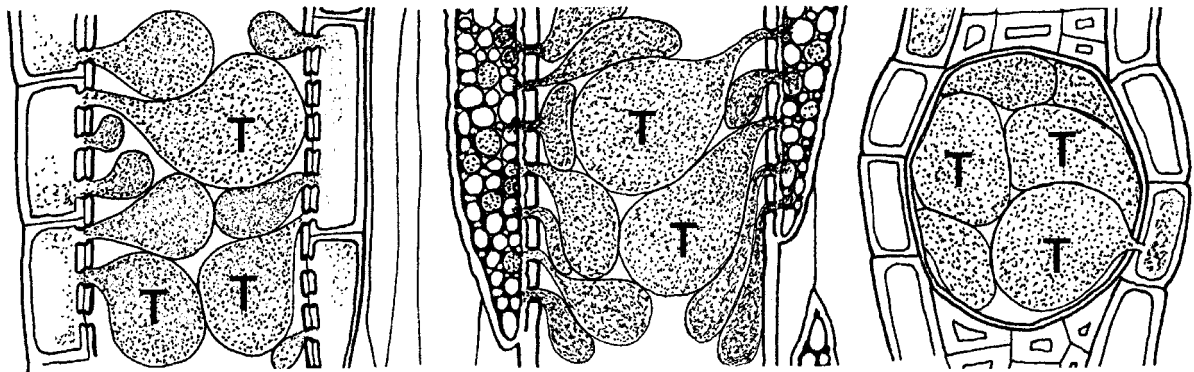


Abbildung 14

Schematische Darstellung verthyllter Laubholzgefässe mit Thyllen (T) aus Axialparenchym (links; Radialschnitt) und Holzstrahl-Parenchym (mitte, Tangentialschnitt und rechts, Querschnitt).

2.3 Zellwandfeinbau

2.3.1 Zellwandschichten

So unterschiedlich Funktion, Form und Aussehen der Holzzellen auch sind, der Aufbau der verholzten Zellwand folgt in allen Fällen einem sehr ähnlichen Grundmuster. Die Zellwand besteht aus den vier Wandschichten Mittellamelle, Primärwand, Sekundärwand und Tertiärwand, die sich konzentrisch um das Lumen anordnen (Abbildung 15). Die einzelnen Zellwandschichten unterscheiden sich in ihrer chemischen Zusammensetzung (Vergleiche Kapitel 2.1) und in der Orientierung der Zellulose-Mikrofibrillen.

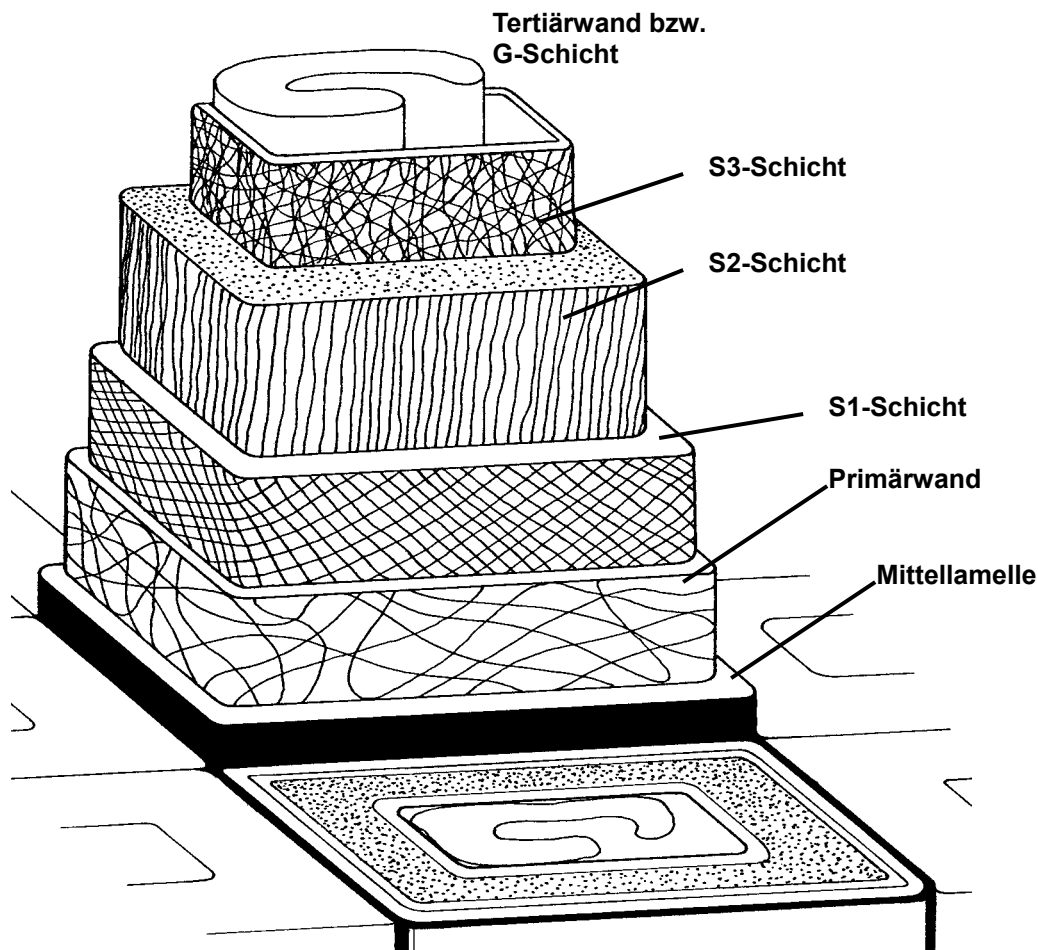


Abbildung 15

Aufbau der verholzten Zellwand. Schematische Zeichnung eines Querschnitts.

Die Mittellamelle verbindet zwei benachbarte Zellen, d.h. zwei aneinandergrenzende Zellen besitzen eine gemeinsame Mittellamelle. Sie besteht zu grossen Teilen aus Lignin (90%), Pektin und Hemizellulosen. Aus dem hohen Lignifizierungsgrad ergibt sich eine hohe Steifigkeit und Druckfestigkeit. Die Dicke der Mittellamelle beträgt gewöhnlich nur wenige Zehntel μm ($1\text{mm} = 1000 \mu\text{m}$).

An die Mittellamelle wird noch während der Zellteilung die Primärwand angelagert. Zusammen mit der Mittellamelle wird die Primärwand als Mittelschicht bezeichnet, da sie mikroskopisch schlecht zu unterscheiden sind. In der Primärwand befindet sich neben Lignin auch eine Gerüstsubstanz aus submikroskopischen Zellulose-Mikrofibrillen. Diese liegen wahllos verstreut in der Lignin-Matrix, was als Streuungstextur bezeichnet wird. Die Räume zwischen den Zellulosefibrillen sind bedingt durch die Streuungstextur sehr weit, wodurch der Anteil der Zellulose in der Primärwand an der Gesamtsubstanz gering (ca. 2.5 %) bleibt. Die Dicke der Primärwand beträgt ungefähr $0.1 \mu\text{m}$. Mit ihrer Streuungstextur

verleiht die Primärwand der ausgewachsenen Zelle eine hohe Formstabilität gegen Verformungen durch den Wasserdruck.

An die Mittelschicht schliesst die Sekundärwand, die mächtigste Zellwandschicht, an. Hier ist die Zellulose mit einem relativen Anteil bis zu 94% der dominierende Zellwandbestandteil. Die Sekundärwand zeigt einen ausgeprägten Schichtenbau: S1, S2 und S3 - eine äussere, zentrale, und innere Schicht. Die einzelnen Schichten unterscheiden sich sowohl in ihrer Dicke, dem Zellulosegehalt als auch in der Orientierung der Zellulosefibrillen voneinander.

Die äussere Sekundärwand (S1-Schicht) liegt direkt auf der Primärwand. Ihre Zellulosefibrillen weisen eine schwache Paralleltexur auf, wobei sie sich annähernd quer zur Längsachse der Zelle orientieren. Die Dicke liegt bei ca. 0.2 μm .

Die zentrale Sekundärwand (S2-Schicht) ist die stärkste Wandschicht und bildet den Hauptteil der Zellwand. Sie ist zwischen 1 und 5 μm dick und macht im Mittel 80% der Gesamtzellwand aus. Die Fibrillen sind sehr eng gepackt und verlaufen parallel zueinander in einer flachen Spirale (parallele Schraubentexur) nahezu in Richtung der Zellachse. Man geht davon aus, dass einzelne Lamellen, die aus Zellulose, Lignin und Hemizellulose aufgebaut sind, aufeinander folgen und in ihrer Gesamtheit die S2-Schicht bilden. Die Zellwand ist also in Form konzentrisch angeordneter Lamellen aufgebaut.

Die innere Sekundärwand (S3-Schicht) kommt nur bei Parenchymzellen vor, ist verhältnismässig dünn (ca. 0.1 μm), besteht nur aus einer Lamelle und ähnelt in der Zusammensetzung und der Fibrillentexur der Primärwand.

Zum Lumen hin abgegrenzt wird die Zellwand durch die Tertiärwand. Die Fibrillen liegen in leicht spiraliger Form vor, ausserdem wird die Tertiärwand durch eine hohe Konzentration an Lignin charakterisiert, wodurch sie widerstandsfähiger gegen enzymatische und chemische Einwirkungen ist. In einigen Fällen ist sie mit ligninreichen "Warzen" ausgestattet, z.B. bei den Gefässen von Buche oder bei den Tracheiden von Fichte und Kiefer.

2.3.2 Variationen des Zellwandaufbaus

Die Mächtigkeit der Zellwandschichten insgesamt und relativ zueinander variiert sehr stark. Auch die Zellwandbestandteile unterscheiden sich je nach Funktion der Zellen und nach Baumarten zum Teil deutlich von einander. Gefässe besitzen beispielsweise meist recht dünne Zellwände und sind in der Regel stark lignifiziert. Das hydrophobe Lignin ermöglicht einen guten Wassertransport. Der hohe Zelluloseanteil und die erheblich mächtigeren S2-Schichten der Fasern sorgen dagegen für verbesserte Festigkeitseigenschaften.

Nicht alle Zellen weisen tatsächlich alle der vorgestellten Wandschichten auf. Wie erwähnt findet sich etwa die S3-Schicht nur in Parenchymzellen. Weitere Ausnahmen bilden die Fasern des Reaktionsholzes (vgl. Kapitel 2.1.5). Die entsprechenden Fasern des Zugholzes besitzen eine zusätzlich aufgelagerte gelatinöse Schicht, die fast ausschliesslich aus Zellulose besteht. Die Zugholzfasern haben einen deutlich geringeren Ligningehalt und oftmals fehlt die S2- und S3-Schicht völlig. Die Tracheiden des Druckholzes sind runder, dickwandiger, ligninreicher und kürzer als die Tracheiden im normalen Holz. Typisch sind für das Druckholz auch das Auftreten von Interzellularen, d.h. luftgefüllten Zwischenräumen zwischen den Zellen.

Eine wichtige Rolle beim Zellwandaufbau spielt der Mikrofibrillenwinkel der Zellulose in der Sekundärwand, insbesondere in der mächtigen S2-Schicht. Je kleiner der Winkel ist, d.h. je paralleler die Zellulosefibrillen zur Zellachse ausgerichtet sind, desto geringer ist die Quellung und Schwindung des Holzes in Längsrichtung. Im Normalfall beträgt dieser Winkel in der S2 10-20°, in juvenilem Holz (Holz nahe dem Mark) oder in Druckholz ändert sich dieser aber beträchtlich.

Sämtliche Zeichnungen aus dem Unterkapitel „Anatomischer Aufbau des Holzes“ sind dem Vorlesungsskript „Holzkunde I“ (2001; Professur für Holzwissenschaften) entnommen.

3. Holzwerkstoffe (P. Niemz)

3.1 Übersicht zu den Holzwerkstoffen

Holzwerkstoffe entstehen durch Zerlegen des Holzes und anschliessendes Zusammenfügen der entstandenen Teile in geeigneter Weise, häufig (aber nicht ausschliesslich) mit Hilfe von Klebstoffen.

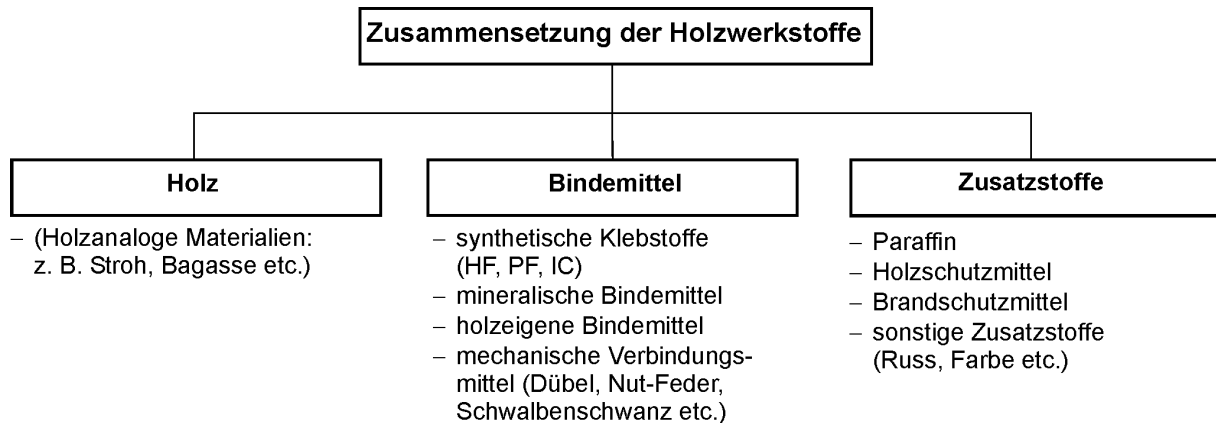


Abbildung 16

Zusammensetzung von Holzwerkstoffen

Tabelle 6

Holz- und Klebstoff-Anteile verschiedener Holzwerkstoffe (Richtwerte in Anlehnung an Gfeller (1999))

Material	Holzanteil in %	Leimanteil in %
Brettschichtholz	95-97	3-5
Massivholzplatte	95-97	3-5
Spanplatte	86-93	7-14
Faserplatte	86-100	0-16
		(bei HDF bis 16%, bei leichten MDF je nach Klebstoffart z.T. deutlich höher)
Furnierwerkstoffe	20-95	5-(80)
		(hohe Anteile bei kunstharzimprägniertem Holz)

Die Anforderungen an die Holzqualität sind bei den verschiedenen Holzwerkstoffen sehr differenziert. Allgemein steigen die Anforderungen an die Holzqualität mit sinkendem Aufschlussgrad des Holzes. Sie sind bei Brettschichtholz und Lagenhölzern deutlich höher als bei Spanplatten.

3.1.1 Vollholz

Vollholz kann in unvergütetes und vergütetes Vollholz eingeteilt werden. Zu Vollholz werden Schnittholz (einschliesslich getrocknetes), Furnier und Rundholz gezählt. Im Bauwesen wird für getrocknetes und meist vorsortiertes Holz häufig der Begriff *Konstruktionsvollholz* gebraucht. Zunehmende Bedeutung erlangt auch vergütetes Holz. Die Vergütung kann z.B. erfolgen durch:

- Druck (Erhöhung der Dichte und damit auch der Festigkeit, teilweise mit thermischer oder hydrothermischer Vorbehandlung kombiniert)
- Tränkung mit Kunstharzen zur Erhöhung der Härte und des Abriebwiderstandes oder mit Schutzmitteln gegen Feuer und Holzschädlinge
- Thermische oder hydrothermische Vergütung, Vergütung in heissem Öl, Methylierung oder Acetylierung, thermische Vergütung und gleichzeitige Zugabe von Harzen aus Holz zwecks Verbesserung des Quell- und Schwindverhaltens und der Dauerhaftigkeit (und somit Reduzierung des Einsatzes von Holzschutzmitteln)

3.1.2 Holzwerkstoffe

Das Holz kann durch Auftrennung in Strukturelemente von sehr unterschiedlicher Grösse zerlegt werden:

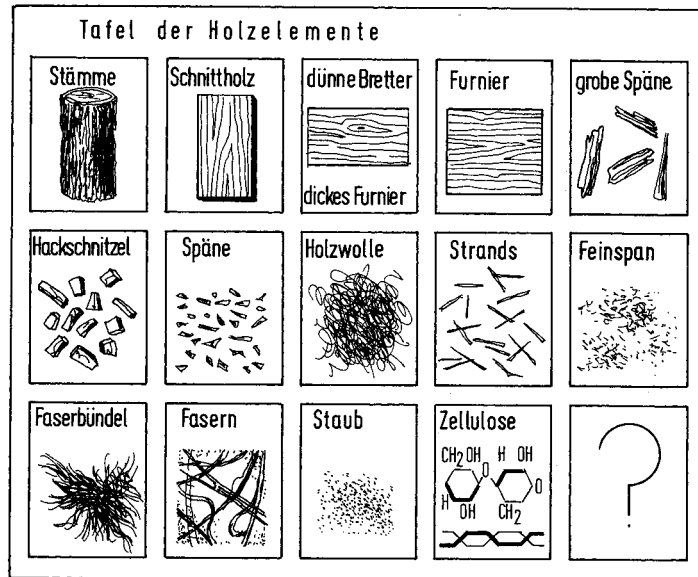


Abbildung 17
Strukturelemente von Holzwerkstoffen nach Marra (1972, zitiert in Paulitsch (1989))

Mit der Grösse dieser Strukturelemente ändern sich auch wesentlich die Eigenschaften des daraus gefertigten Werkstoffes (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). So verringert sich mit zunehmendem Aufschluss des Holzes die Festigkeit.

Tabelle 7
Einfluss der Strukturauflösung auf die Eigenschaften von Holzwerkstoffen (vom Schnittholz zur Faserplatte)

	Vollholz	Holzwerkstoff
Festigkeit	Wide triangle pointing right	Narrow triangle pointing right
Aufschlussgrad	Narrow triangle pointing left	Wide triangle pointing left
Homogenität	Wide triangle pointing right	Narrow triangle pointing right
Isotropie	Wide triangle pointing right	Narrow triangle pointing right
Energieeinsatz	Narrow triangle pointing left	Wide triangle pointing left
Umweltbeeinträchtigung	Narrow triangle pointing left	Wide triangle pointing left
Wärmedämmung	Wide triangle pointing right	Narrow triangle pointing right
Oberflächengüte	Wide triangle pointing right	Narrow triangle pointing right

Die Homogenität, die Wärmedämmung, die Isotropie und die Oberflächenqualität steigen dabei gleichzeitig ebenso wie der notwendige Energieaufwand und die Umweltbeeinträchtigung. Die Eigenschaften von Holzwerkstoffen lassen sich über die Struktur in einem weiten Bereich variieren. Holzwerkstoffe können in die folgenden Gruppen eingeteilt werden:

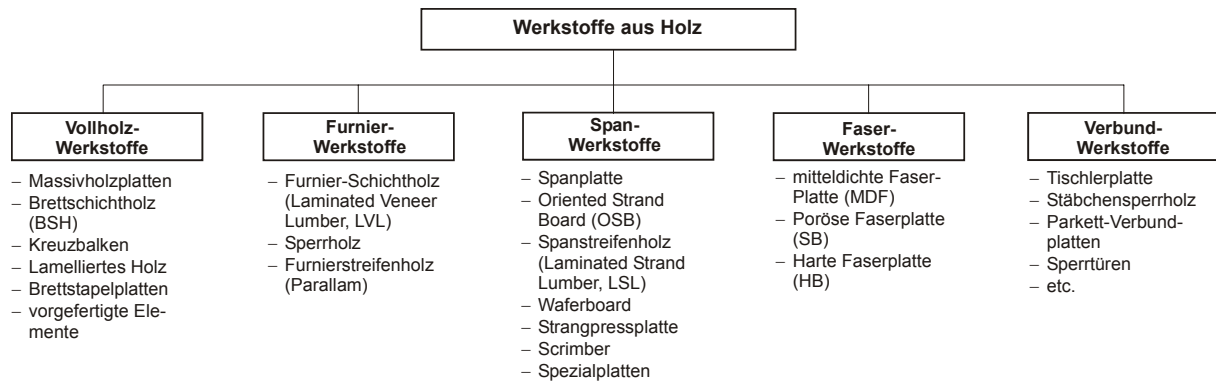


Abbildung 18
Einteilung von Holzwerkstoffen

Unter Engineered Wood Products versteht man eine Gruppe von verschiedenen Holzwerkstoffen, die insbesondere für tragende Zwecke im Bauwesen eingesetzt werden. Sie zeichnen sich durch im Vergleich zu Vollholz grössere lieferbare Längen und höhere Formstabilität (da trocken geliefert keine Rissbildung oder Verformung durch Trocknungsspannungen) aus. Prinzipiell handelt es sich dabei um Spezialprodukte herkömmlicher Holzwerkstoffe. Zu dieser Gruppe gehören:

- Laminated Veneer Lumber (LVL), als Spezialvariante von Furnierschichtholz
- Parallam (PSL), Furnierstreifenholz
- Laminated Strand Lumber (LSL), als Spezialvariante der OSB
- Scrimber (Quetschholz)

3.2 Struktureller Aufbau von Holzwerkstoffen

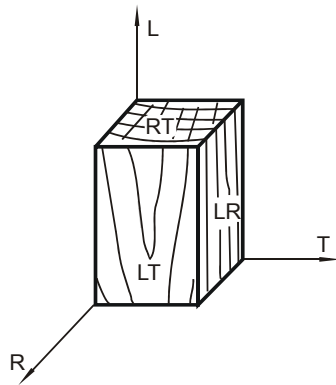
3.2.1 Allgemeine Gesetzmässigkeiten der Werkstoffbildung

Bei allen Holzwerkstoffen erfolgt zunächst eine Auflösung der Struktur des nativen Holzes in Strukturelemente und eine auf den jeweiligen Einsatzfall orientierte Neuordnung. Nachfolgend werden einige wichtige Grundlagen zur Strukturbildung, die für alle Werkstoffe gelten, zusammengestellt.

Vollholz, als der am häufigsten eingesetzte Rohstoff für Holzwerkstoffe, hat ausgeprägt orthotrope Eigenschaften.

Elastizitäts-Moduln (E):	E_T	:	E_R	:	E_L
bei Nadelholz:	1	:	1,7	:	20
bei Laubholz:	1	:	1,7	:	13

Schub-Moduln (G):	G_{LR} (Schub der Radialfläche)	:	G_{LT} (Schub der Tangentialfläche)
bei Nadelholz:	1	:	1,7 : 20
bei Laubholz:	1	:	1,7 : 13



L-	Longitudinal
R-	Radial
T-	Tangential
LT-	Tangentialfläche, Fladerschnitt
RT-	Querschnitt, Hirnfläche
LR-	Radialfläche, Riffschnitt

Abbildung 19

Hauptachsen des Holzes und ihre Zuordnung

Querkontraktion

Die Querkontraktion in tangentialer Richtung beträgt das 1,5fache der Querkontraktion in Radialrichtung.

Festigkeiten

Die Festigkeit in Faserrichtung ist deutlich höher als senkrecht zur Faserrichtung. Sie ist radial höher als tangential. So geben Pozgaj et al. (Pozgaj, Chonovec, Kurjatko et al. 1997) z.B. für die Zugfestigkeit von Fichte ein Verhältnis tangential : radial : längs von 1 : 1,3 : 43 an.

Die Zugfestigkeit ist bei kleinen, fehlerfreien Proben etwa doppelt so hoch wie die Druckfestigkeit.

Bei Holz in Bauholzabmessungen wird die Festigkeit insbesondere durch Äste und den Faserverlauf deutlich beeinflusst (reduziert). Die Festigkeit sinkt mit zunehmendem Astanteil. Die Festigkeitseigenschaften von Bauholz sind daher geringer als die von kleinen, fehlerfreien Proben. Werden diese Defekte aufgeteilt und über die Probendicke gleichmäßig versetzt verteilt, erhöht sich die Festigkeit, da die Querschnittsschwächung durch die Defekte reduziert wird. Beispiele dafür sind Furnierschichtholz und Brettschichtholz.

Bei der Herstellung von Holzwerkstoffen erfolgt eine Auflösung der Struktur des nativen Holzes und eine Neuorientierung der Strukturelemente mit dem Ziel, einen Holzwerkstoff nach Mass zu erzeugen. Dabei können sowohl die mechanischen Eigenschaften, als auch die Homogenität und die Isotropie in weiten Grenzen variiert werden.

Die Eigenschaften aller Holzwerkstoffe werden u.a. durch folgende Parameter bestimmt:

- Eigenschaften der Strukturelemente (Festigkeit, E-, G- Moduln)
- Lage und Orientierung der Strukturelemente zur Belastungsrichtung
- Abmessungen der Strukturelemente (Festigkeit senkrecht zur << Festigkeit in Faserrichtung)
- Überlappungslängen der Strukturelemente (Abbildung 20), dies gilt sowohl für aus Lamellen verklebte Werkstoffe auf Vollholzbasis als auch für Partikelwerkstoffe
- Güte der Verbindung der Strukturelemente (z.B. Klebstoffart, Faserwinkel, Klebfugenfestigkeit (Abbildung 21, Abbildung 22), Geometrie der Keilzinken, insbesondere deren Flankenwinkel); bei Keilzinkenverbindungen wird deren Festigkeit primär durch den Flankenneigungswinkel (nicht durch die Länge der Zinken) bestimmt (Abbildung 8)
- Ausbildung eines Dichte-/Festigkeitsprofils über den Querschnitt (Sandwich- Prinzip von Verbundwerkstoffen oder auch Spanplatten und MDF (Abbildung 24)
- Anordnung der festeren Lagen in den Randzonen bei Brettschichtholz)
- Rohdichte des Holzwerkstoffes (insbesondere bei Partikelwerkstoffen erfolgt meist eine deutliche Erhöhung der Rohdichte im Vergleich zur Dichte des eingesetzten Rohmaterials)

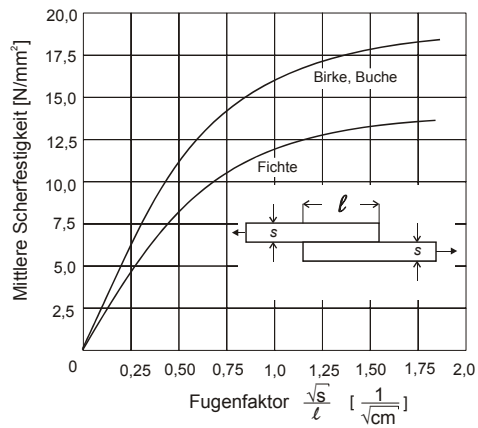


Abbildung 20
Einfluss der Überlappungslänge auf die Zugfestigkeit einer Holzverbindung (Kollmann 1955).

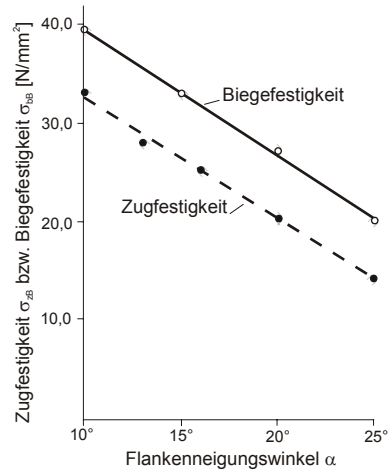


Abbildung 23
Zug- und Biegefestigkeit von Keilzinkenverbindungen (Kiefer) in Abhängigkeit vom Flankenneigungswinkel

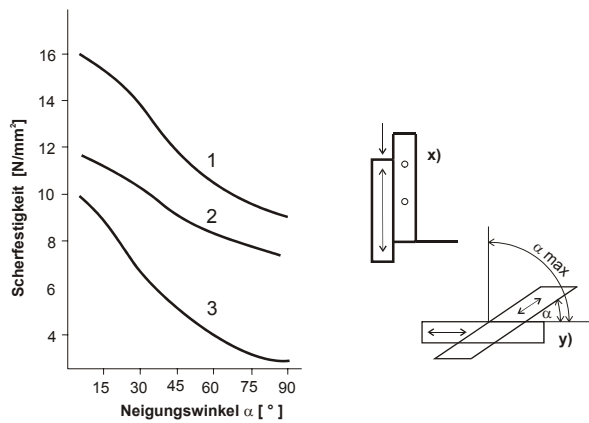


Abbildung 21
Scherfestigkeit von Holzverbindungen in Abhängigkeit vom Neigungswinkel der Fasern (Zeppenfeld 1991) 1 – Rotbuche; 2 – Eiche 3 – Kiefer

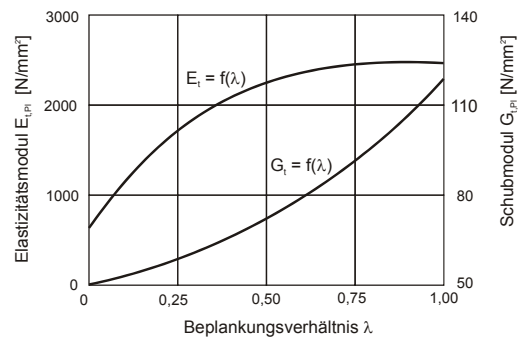


Abbildung 24
Einfluss des Beplankungsgrades auf den Biege-E-Modul und den Schubmodul einer dreischichtigen Spanplatte, Kennwerte um Kriechverformung abgemindert (Niemz 1982)
E_Deckschicht: 2500 N/mm² G_Deckschicht: 120 N/mm²
E_Mittellage: 700 N/mm² G_Mittellage: 40 N/mm²

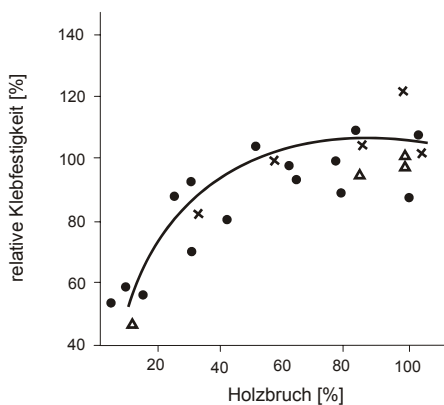


Abbildung 22
Beziehungen zwischen dem Anteil an Holzbruch und der relativen Fugenfestigkeit (Zeppenfeld 1991)

Hohe Bedeutung hat der Schichtenaufbau in Bezug auf den E-Modul und die Festigkeit. So kann der Biege-E-Modul eines dreischichtigen Elementes z.B. wie folgt aus den Eigenschaften der Schichten berechnet werden:

$$E_{Pl} = E_{De} \left[1 - \left(1 - \frac{E_{Mi}}{E_{De}} \right) \cdot (1 - \lambda)^3 \right] \quad \text{Gl.}$$

$$\lambda = \frac{2 \cdot a_{De}}{a_{Pl}}$$

Beplankungsgrad

E_{Pl} E-Modul der Platte
 E_{De} E-Modul der Deckschicht
 E_{Mi} E-Modul der Mittelschicht

a_{Pl} Dicke der Platte
 a_{De} Dicke der Deckschicht

3.2.2 Klebstoffe

Zur Herstellung von Holzwerkstoffen wird in den meisten Fällen ein Klebstoff benötigt. Ausnahme: im Nassverfahren hergestellte Faserplatten.

Unter Klebstoffen werden Materialien verstanden, die Werkstoffe ohne mechanisch wirkende Verbindungsmittel (Nägel, Bolzen etc) fest verbinden können (Autorenkollektiv 1975). Es handelt sich also um nichtmetallische Werkstoffe, die andere Werkstoffe durch Oberflächenhaftung (Adhäsion) und ihre innere Festigkeit (Kohäsion) verbinden können, ohne dass sich das Gefüge der zu verbindenden Körper wesentlich ändert. Je nach Holzwerkstoff und Einsatzzweck werden unterschiedliche Leimtypen verwendet. Hier soll eine grundsätzliche Übersicht über verschiedene Klebstofftypen und deren Einsatzmöglichkeiten gegeben werden.

Klebstoffe setzen sich im allgemeinen zusammen aus (Autorenkollektiv 1975):

nichtflüchtigen Bestandteilen

- Bindemittel
- Pigmente
- Füllstoffe
- Streckmittel
- Hilfsstoffe (Härter, Beschleuniger, Verzögerer)

flüchtigen Bestandteilen:

- Lösungsmittel
- Dispersionsmittel
- Verdünnungsmittel

3.2.3 Einteilung der Klebstoffe

Eine gängige Einteilung der Klebstoffe richtet sich nach der Art und Weise des Abbindens resp. Aushärtens.

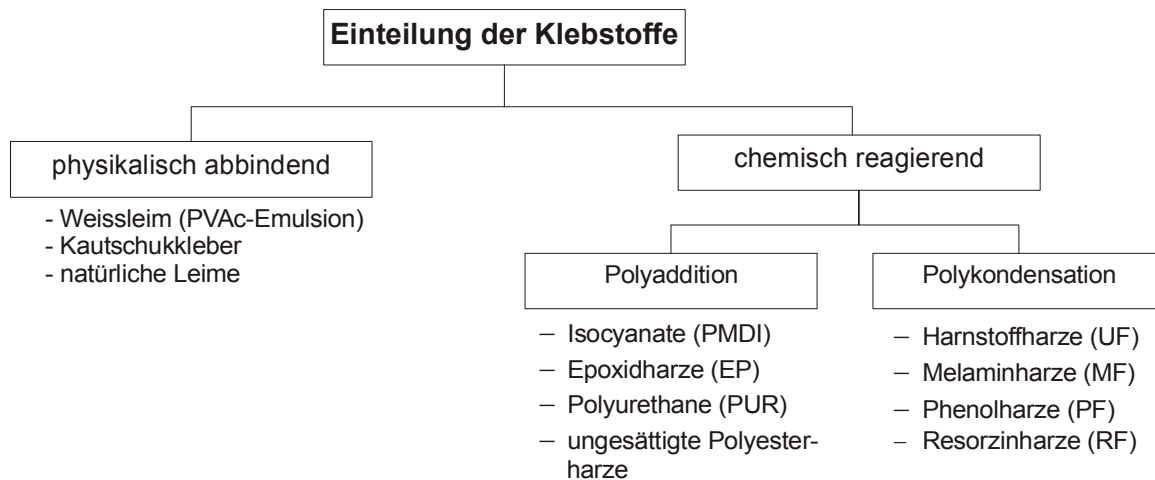


Abbildung 25

Einteilung der Klebstoffe

3.2.3.1 Physikalisch abbindende Klebstoffe

Die physikalisch abbindenden Klebstoffe zeichnen sich dadurch aus, dass bei der Aushärtung das Lösungsmittel aus der Leimfuge entfernt wird damit der Klebstoff seine Wirkung entfalten kann.

Beispiele:

- Weissleim (PVAc-Emulsion)
- Kautschukkleber
- Heissklebstoffe
- natürliche Leime

Weissleim wird häufig in der Schreinerei, der Möbelindustrie sowie im diy-Bereich verwendet. Weissleime sind die neben den UF-Harzen am häufigsten verwendeten Klebstoffe für Holz. Sie werden meist anwendungsfertig geliefert, können gut gelagert und verarbeitet werden und sind mit Wasser verdünnbar. Damit der Leim seine Wirkung entfalten kann, muss das Wasser aus der Dispersion entweichen (Verdunsten oder in den Werkstoff eindringen). Eine gute Klebfuge kann nur unter Pressdruck entstehen. Der Weisspunkt (Mindestfilmbildungstemperatur) liegt bei 4 – 18°C. Weissleime sind nicht Hitzebeständig und neigen zum Kriechen (Dunky 2002).

3.2.3.2 Chemisch reagierende Klebstoffe

Polyaddition

Bei der Polyaddition werden Makromoleküle durch Anlagerung reaktiver Moleküle an reaktive Doppelbindungen gebildet. Der Vorgang der Polyaddition wird durch Katalysatoren oder Wärme eingeleitet.

Polyurethane

Polyurethan-Bindemittel entstehen durch die Reaktion von verschiedenen Isocyanattypen mit Polyolverbindungen. Je nach den an den Polymerketten vorhandenen Endgruppen ergeben sich reaktive oder physikalisch abbindende Klebstoffe. Polyurethane können im Nassbereich eingesetzt werden.

Isocyanate

Isocyanat-Bindemittel auf Basis von PMDI (Polymethylen-diisocyanat) werden in der Holzwerkstoffindustrie vorwiegend für die Herstellung von Holzwerkstoffen für den Einsatz im Feuchtbereich, aber auch für "formaldehydfrei" verleimte Platten eingesetzt. PMDI zeichnet sich durch sein gutes Benetzungsverhalten einer Holzoberfläche im Vergleich zu den verschiedenen wässrigen Kondensationsharzen aus. Dadurch können besonders stabile Leimfugen hergestellt werden. Allerdings haftet PMDI nicht nur an Holz besonders gut, sondern auch an Pressblechen und Werkzeugen, was aufwändigere Vorkehrungen notwendig macht. Monomeres MDI ist toxisch und hat einen niedrigen Dampfdruck, was ebenfalls besondere Massnahmen bei der Verarbeitung erfordert. Die wesentliche Härtingsreaktion verläuft über Wasser zur Amidbildung unter gleichzeitiger Abspaltung von Kohlendioxid; das Amid seinerseits reagiert wieder mit einer weiteren Isocyanatgruppe zur Polyharnstoffstruktur weiter.

Polykondensation

Bei der Polykondensation werden Makromoleküle aus kleinen Molekülen unter Abspaltung von Wasser oder anderen Spaltprodukten gebildet. Es entstehen Duroplaste aus vernetzten Molekülen.

Beispiele:

- Harnstoffharze (UF)
- Melaminharze (MF)
- Phenolharze (PF)
- Resorzinharze (RF)

Bedeutung für die Holzwerkstoffe:

UF und MF resp. Kombinationen derselben (MUF) kommen bei der Produktion von Span- und Faserplatten sowie Sperrholz am häufigsten zum Einsatz. Die billigen UF-Harze werden durch Kombination mit (wesentlich teurerem) Melamin besser feuchtebeständig. Auch Kombinationen mit Phenolharzen werden verwendet (MUPF).

Harnstoffharze

Harnstoffharze stellen die wichtigste Gruppe von Leimen für die Holzwerkstoffindustrie dar. Nachfolgend werden einige Vor- und Nachteile aufgezählt:

<ul style="list-style-type: none">• einfache Handhabung und Verarbeitung• für verschiedenste Holzarten geeignet• duroplastisches Verhalten der ausgehärteten Leimfuge• farblose Leimfuge• Unbrennbar• weit verbreitete und gesicherte Verfügbarkeit• niedriger Preis im Vgl. zu anderen Bindemitteln• schnelle und vollständige Aushärtung	<ul style="list-style-type: none">• Empfindlichkeit gegen Einwirkung von Feuchtigkeit und Wasser, insb. bei höheren Temperaturen (Hydrolyse)• Abspaltung von Formaldehyd während der Verarbeitung• Nachträgliche Formaldehydabgabe: heute weitgehend gelöst durch Herabsetzung des Molverhältnisses F/U.
---	--

Die Aushärtung des Harzes (Kondensation) wird entweder durch die Reaktion des freien Formaldehyds im UF-Harz mit so genannten Härtern (u.a. Ammoniumsalzen) oder durch direkte Zugabe von Säuren gestartet und durch den pH-Wert gesteuert: je niedriger der pH-Wert der Leimflotte, desto kürzer ist die erforderliche Aushärtezeit.

Melaminharze

Durch die Verwendung von Melaminharzen können bei Holzwerkstoffen bessere Eigenschaften in Bezug auf Feuchtebeständigkeit und Quellverhalten erreicht werden. Da die Melamin im Vergleich zu Harnstoff wesentlich teurer ist, wird es vorwiegend in Kombination mit demselben eingesetzt.

Phenolharze

Phenolharze werden für feuchtebeständige Verleimungen eingesetzt. Für die Herstellung von Span- und Faserplatten sowie OSB und Sperrholz verwendet man überwiegend heisshärtende PF-Leime. Sie zeichnen sich weiter durch geringe Formaldehydabgabe und niedrige Dickenquellung aus. Sie sind an der dunklen Leimfuge zu erkennen.

Resorzinharze

Resorcinformaldehyd- (RF) und Phenolresorcinformaldehydharze (PRF) werden als kalthärtende Bindemittel vor allem im konstruktiven Holzleimbau, für Keilzinkenverbindungen und andere Verleimungen für den Einsatz im Aussenbereich eingesetzt. Der Einbau von Resorcin bewirkt eine deutliche Erhöhung der Reaktivität. Dadurch werden auch kalthärtende Harze herstellbar. Die ausgehärteten Leimfugen zeichnen sich durch eine hohe Festigkeit und durch eine sehr gute Wasser- und Wetterbeständigkeit aus. Da Resorcin teuer und nur beschränkt verfügbar ist, wird es in Kombination mit Phenolharzen eingesetzt. Reine RF-Harze werden nur in speziellen Fällen verwendet, z.B. bei der Keilzinkenherstellung.

Je nach Feuchtebeanspruchung werden unterschiedliche Klebstoffe eingesetzt. Während Harnstoffharze überwiegend für Produkte im Innenbereich bei niedriger relativer Luftfeuchte Verwendung finden (Verleimungsart V20), werden Phenolharze und Isocyanate (Verleimungsart V100) und auch Melaminharze für erhöhte Feuchtebelastung (z.B. Fussbodenbereich, Dachplatten) eingesetzt.

Folgende Holzfeuchten gelten für die einzelnen Verleimungsklassen nach DIN 68800:

- Verleimungsklasse V20: Holzfeuchte < 15% (Faserplatten 12%)
- Verleimungsklasse V100: Holzfeuchte < 18%
- Verleimungsklasse V100G: Holzfeuchte bis 21% (mit Pilschutzmitteln)

Formaldehyd

In den Anfängen der Produktion von Holzwerkstoffen wurde Formaldehyd in grossen Mengen eingesetzt. Die Holzwerkstoffe im Endprodukt gaben daher über längere Zeit Formaldehyd an die Umgebung ab. Da Formaldehyd für die Gesundheit schädlich ist, wurden Grenzwerte für Wohn- und Arbeitsräume festgelegt. Eine der wichtigen Aufgaben der Holzwerkstoff-Industrie war die kontinuierliche Herabsetzung der Emissionen aus Holzwerkstoffen. Obwohl dies heute in der Regel unproblematisch ist, haftet den Holzwerkstoffen, insbesondere den Spanplatten, das Negativ-Image weiter an.

Formaldehyd ist für die Aushärtung erforderlich. Das (Mol-) Verhältnis F/U beeinflusst die dreidimensionale Vernetzung des Harzes bei der Aushärtung und beiträgt etwa 1,8...2,5:1. Bei zu kleinem Verhältnis kann keine gute Leimfuge ausgebildet werden.

3.3 Ausgewählte Holzwerkstoffe

3.3.1 Werkstoffe auf Vollholzbasis

Werkstoffe auf Vollholzbasis gewinnen seit dem Ende der achtziger Jahre zunehmend an Bedeutung. Gefördert wird diese Entwicklung durch die wachsende Bedeutung des Holzes als ökologischer Baustoff. Abbildung 26 zeigt eine Einteilung der Werkstoffe auf Vollholzbasis. Zu dieser Gruppe gehören:

- **Massivholzplatten** (ein- oder mehrschichtig, oft auch als Leimholzplatten bezeichnet; für das Bauwesen werden Platten im Format bis zu 3 m x 12 m x 0,5 m (Dicke) gefertigt, über 12 cm Dicke werden die Platten meist als Hohlraumkonstruktion ausgeführt)
- Elemente in **Brettstapelkonstruktion** (genagelt, gedübelt, geklebt, Schwalbenschwanz, Abbildung 26)
- **stabförmige verklebte Elemente** (lamelliertes Holz, Brettschichtholz, Profile; zunehmend im Bauwesen eingesetzt)
- **Verbundelemente** wie Kastenträger
- Letztere gewinnen im Holzbau als Leichtbauprinzip an Bedeutung. Dabei werden die Hohlräume teilweise mit Sand (Erhöhung der Schalldämmung) oder mit Dämmstoffen (z.B. Faserdämmplatten; Erzielung einer erhöhten Wärmedämmung) ausgefüllt.

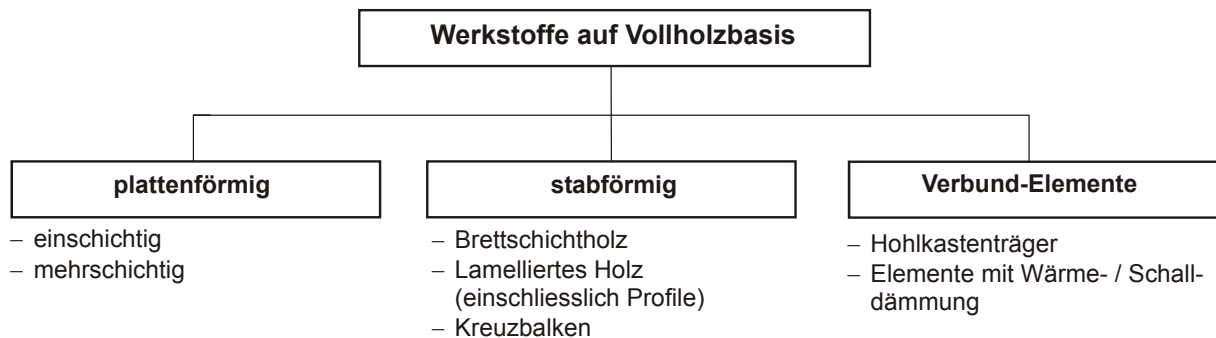


Abbildung 26
Einteilung von Werkstoffen auf Vollholzbasis

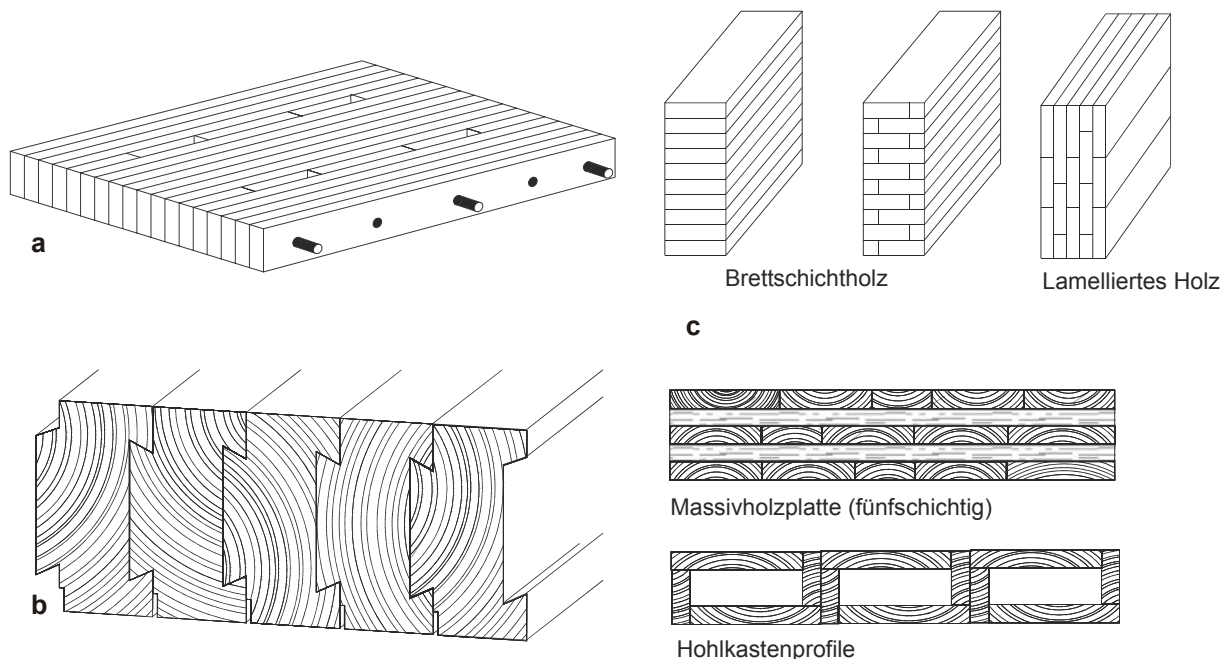


Abbildung 27
Struktureller Aufbau ausgewählter Werkstoffe auf Vollholzbasis. **a** Brettstapelbauweise gedübelt, **b** Brettstapelbauweise, Schwalbenschwanzverbindung, **c** Massivholzplatten, Brettschichtholz, Hohlkastenprofile aus Holz

Wichtigste Einflussgrößen auf die Eigenschaften von Holzwerkstoffen auf Vollholzbasis sind:

- die **Güte des eingesetzten Holzes** (bei Brettschichtholz mit Festigkeitssortierung der Lamellen ist eine Anordnung der Bretter mit der höheren Festigkeit in den Aussenlagen möglich)
- die **Art der Längsverbinding** der Elemente (stumpfer Stoss, Keilzinkung)
- der **Schichtenaufbau** (z.B. Verhältnis der Dicke der Decklage zur Dicke der Mittellagen bei Massivholzplatten, vgl. Gl. 2.1, die Orientierung der Lagen bei Massivholzplatten)
- die **Schnittrichtung** der Lagen (bei Massivholzplatten kann durch Riffschnitt = stehende Jahrringe, die Formbeständigkeit der Platten deutlich erhöht werden, da das Quell-/Schwindmass radial deutlich geringer ist als tangential)
- **technologische Parameter** wie Pressdruck und Klebstoffanteil

3.3.2 Werkstoffe auf Furnierbasis

Werkstoffe auf Furnierbasis gehören zu den ältesten Holzwerkstoffen. In den letzten Jahren gewannen der Einsatz von Furnierschichtholz (Laminated Veneer Lumber, LVL) im Bauwesen und Furnierstreifenholz (Parallam) an Bedeutung.

Nach EN 313-1 wird Sperrholz unterteilt nach:

- dem Plattenaufbau (Furniersperrholz, Mittellagen- Sperrholz (Stab- und Stäbchensperrholz), Verbundsperrholz))
- der Form (eben, geformt)
- den Haupteigenschaften (Verwendung im Trockenbereich / im Feuchtbereich / im Aussenbereich)
- den mechanischen Eigenschaften
- dem Aussehen der Oberfläche
- dem Oberflächenzustand (z. B. nicht geschliffen, geschliffen)
- den Anforderungen des Verbrauchers

Abbildung 28 zeigt eine Einteilung der Werkstoffe auf Furnierbasis, Abbildung 29 typische Strukturmodelle.

Die Eigenschaften können durch Furnierdicke (Aufbaufaktor), Dichte und Leimgehalt wesentlich beeinflusst werden (Abbildung 30). Sperrholz wird für Spezialzwecke auch in grossen Dicken gefertigt. Neben dem konventionellen Sperrholz werden hochverdichtete und kunstharzimprägnierte Sperrhölzer für den Formenbau hergestellt und Spezialprodukte wie Ski- und Snowboard-Kerne sowie Formteile aus Sperrholz für die Möbelindustrie und den Fahrzeugbau gefertigt.

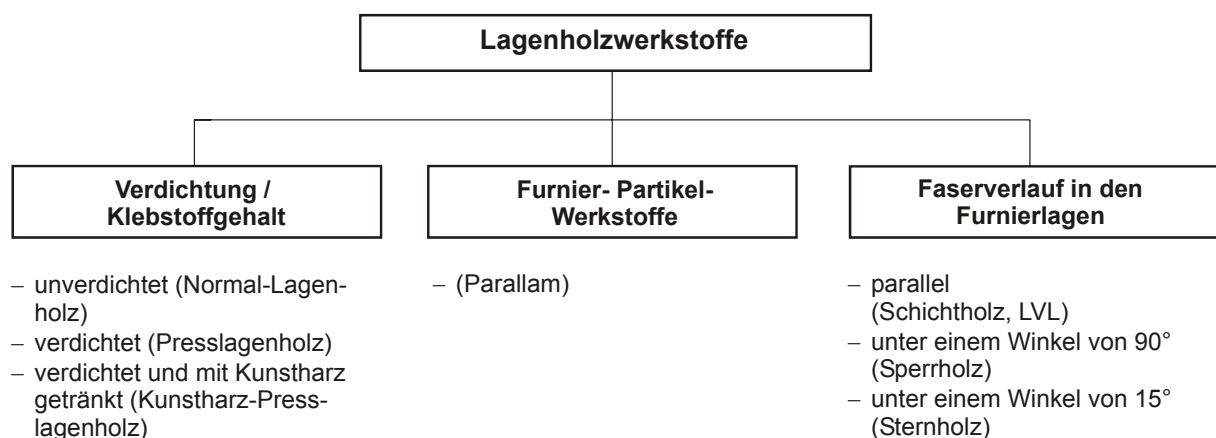


Abbildung 28

Einteilung von Werkstoffen auf Furnierbasis (Niemz 1993)

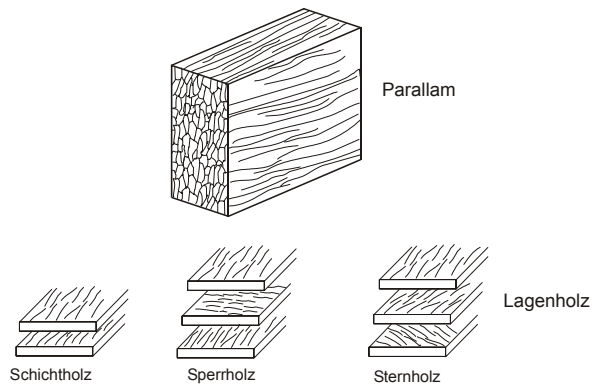


Abbildung 29
Strukturmodelle von Furnierwerkstoffen.

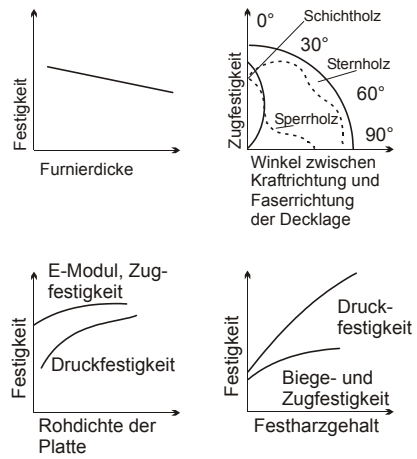


Abbildung 30
Wesentliche Einflussfaktoren auf die Eigenschaften von Lagenholz (Niemz 1993)

3.3.3 Werkstoffe auf Spanbasis

Werkstoffe auf Spanbasis sind heute der weltweit dominierende Holzwerkstoff. Abbildung 31 zeigt eine Übersicht, Abbildung 32 ein Strukturmodell dieser Werkstoffe, Abbildung 33 beschreibt wesentliche Einflussfaktoren auf die Eigenschaften. Die Klassifizierung erfolgt nach EN 309.

Klassifizierungsmerkmale sind:

- das **Herstellungsverfahren** (flachgepresst, kalandergespresst, stranggepresst)
- die **Oberflächenbeschaffenheit** (roh, geschliffen, flüssigbeschichtet, pressbeschichtet)
- die **Form** (flach, profilierte Oberfläche, profilierter Rand)
- die **Grösse der Teilchen** (Spanplatte, grossflächige Späne (Wafer), lange schlanke Späne (OSB), andere Späne)
- der **Plattenaufbau** (einschichtig, mehrschichtig, etc.)
- der **Verwendungszweck** (allgemeine Zwecke, tragende oder aussteifende Zwecke, spezielle Zwecke)

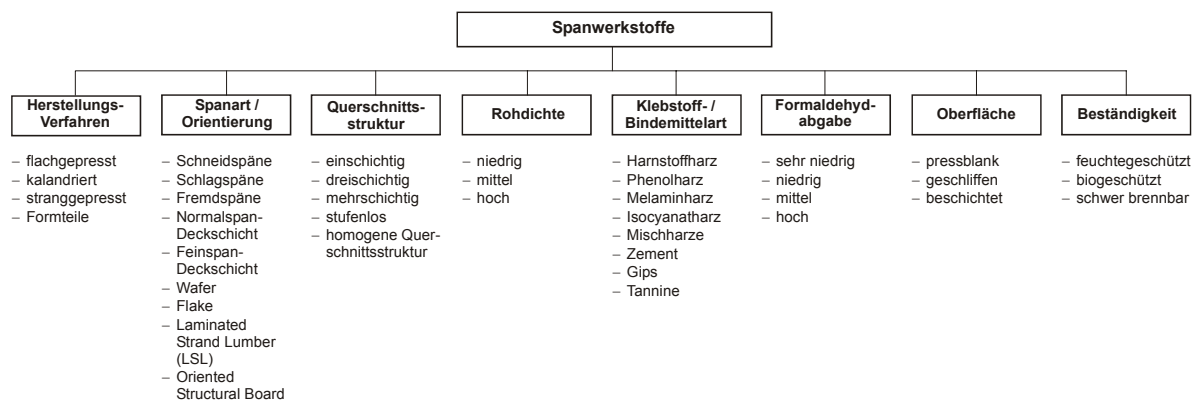
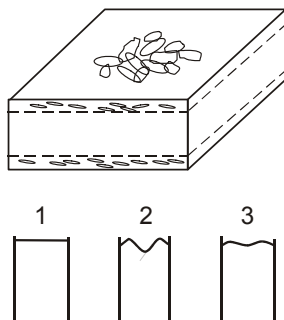


Abbildung 31
Einteilung von Werkstoffen auf Spanbasis (Niemz 1993)



Typische Rohdichteprofile

- 1 Homogene Spanplatte
- 2 Spanplatte mit deutlicher Differenzierung zwischen Deck- und Mittelschicht
- 3 Spanplatte mit geringer Differenzierung zwischen Deck- und Mittelschicht

Abbildung 32
Strukturmodell von Spanplatten (Niemz 1993)

Neben konventionellen Spanplatten (EN 312) und OSB (EN 300) werden heute eine Vielzahl von Spezialplatten kundenspezifisch in kleinen Mengen gefertigt.

Auf diesem Gebiet hat es ebenso grosse Fortschritte gegeben, wie im Bereich der Engineered Wood Products.

Als Beispiele seien genannt:

- Platten mit reduziertem elektrischen Widerstand (Zugabe von Russ) zur Verminderung dielektrischer Aufladungen (z. B. für Fussböden in Computerarbeitsräumen)
- Platten mit homogener Mittelschicht für Profilierungen
- Platten mit besonders heller Deckschicht (entrindetes Holz) für Möbelfronten
- Extrem leichte, nach dem Flachpressverfahren hergestellte Spanplatten mit Rohdichten von 300 - 400 kg/m³
- Höher verdichtete Platten aus Laubholz für Bodenplatten
- Extrem dicke, nach dem Flachpressverfahren gefertigte Platten für den Hausbau (z.B. Homogen 80 der ehemaligen Firma Homoplax/Schweiz, 80 mm dick)

Vielfach werden Komplettsysteme für das Bauwesen von den Herstellern angeboten.

Klassische Spanplatten werden heute in einer sehr grossen Variabilität in einem breiten Rohdichteprofil gefertigt. Dünne, nach dem Kalanderverfahren hergestellte Spanplatten und stranggepresste Spanplatten haben für Spezialzwecke einen festen Markt.

Zahlreiche Hersteller haben eine bauaufsichtliche Zulassung und für den Hersteller spezifische Kennwerte zur statischen Berechnung.

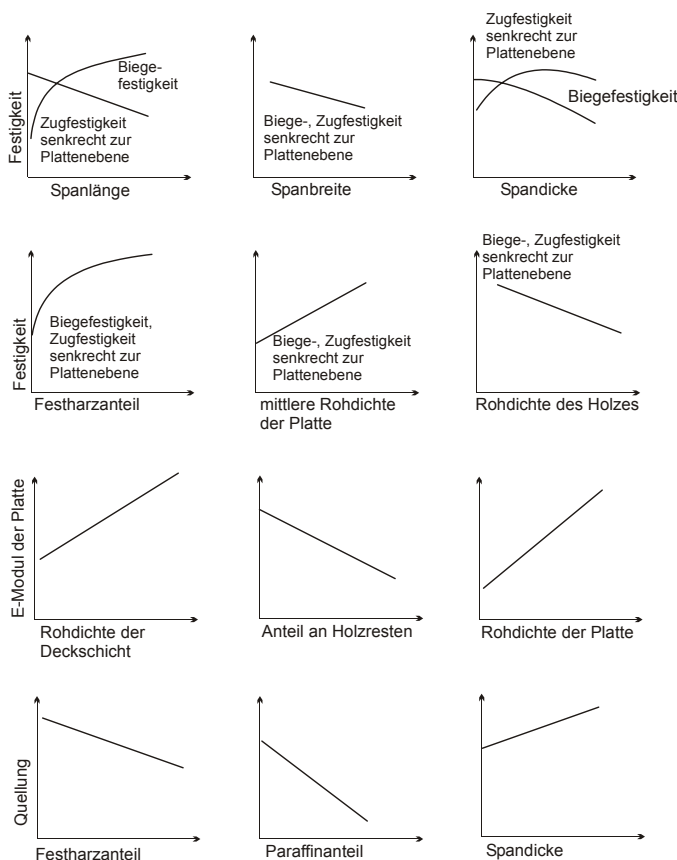


Abbildung 33

Wesentliche Einflussfaktoren auf die Eigenschaften von Spanplatten (Niemz 1993)

3.3.4 Werkstoffe auf Faserbasis

Nach EN 216 werden Faserplatten wie folgt unterteilt:

- Poröse Faserplatten (SB)
- Poröse Faserplatten mit zusätzlichen Eigenschaften (SB.I)
- Mittelharte Faserplatten geringer Dichte (MB.L)
- Mittelharte Faserplatten hoher Dichte (MB.H)
- Mittelharte Faserplatten hoher Dichte mit zusätzlichen Eigenschaften (MB.I)
- Harte Faserplatten (HB)
- Harte Faserplatten mit zusätzlichen Eigenschaften (HB.I)
- Mitteldichte Faserplatten (MDF)
- Mitteldichte Faserplatten mit zusätzlichen Eigenschaften (MDF.I)

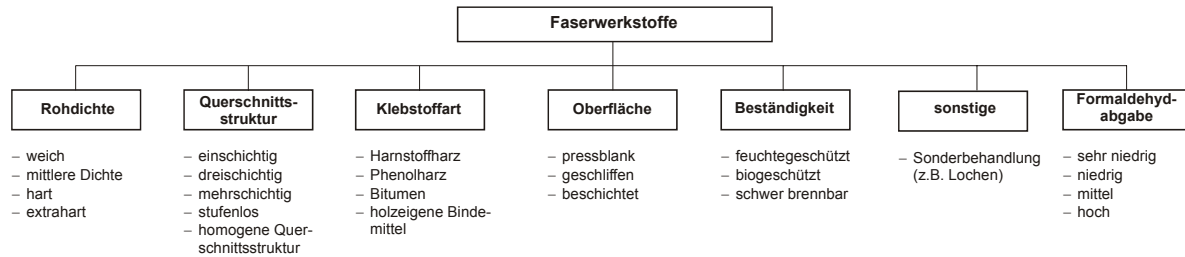
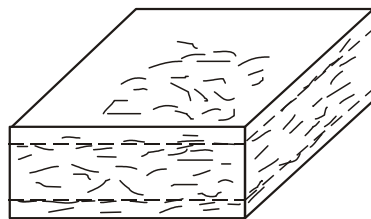


Abbildung 34

Einteilung von Werkstoffen auf Faserstoffbasis (Niemz 1993)



1. Faserplatte mittlerer Dichte mit homogenem Aufbau
2. Faserplatte mittlerer Dichte mit ausgeprägter Dichtedifferenzierung
3. harte Faserplatte (Nassverfahren), links: glatte Seite, rechts: Siebseite

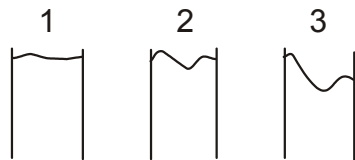


Abbildung 35

Strukturmodell von Faserplatten, typische Rohdichtepprofile

Auch auf diesem Gebiet wurden wesentliche Fortschritte im Bereich von Spezialprodukten erreicht. Zu nennen sind hier insbesondere MDF (Medium Density Fiberboard). Es gelang, die Rohdichte für spezielle Einsatzbereiche (Dachplatten, Wandplatten) auf bis zu 350 kg/m³ zu reduzieren. Der Vorteil liegt, neben der geringen Dichte, in einem niedrigen Diffusionswiderstand.

An Dämmplatten auf der Basis der MDF-Technologie mit noch wesentlich niedrigerer Dichte (bis zu 150 kg/m³) wird gearbeitet. Auf Basis der MDF-Technologie gefertigte Dämmplatten haben im Vergleich zu den nach dem Nassverfahren gefertigten eine höhere Druckfestigkeit und eine verbesserte Oberflächenqualität. Aus Radiata Pine (Pinus Radiata) werden seit langem in Südamerika industriell MDF in den 3 Dichtegruppen

- Superleicht (480 kg/m³)
- Leicht (600 kg/m³)
- Standard (725 kg/m³)
- gefertigt (Niemz 1996).

Im Bereich des Nassverfahrens haben spezielle Typen von Platten niedriger Dichte als Dämmplatten grossen Zuspruch. Ebenso werden Hartfaserplatten als Spezialprodukte (z.T. mehrere verleimte

Hartfaserplatten) im Bereich Bodenplatte für hochbelastete Zwecke oder auch als Schuhabsätze verwendet. Je nach Anwendungsbereich werden dabei die mechanischen Eigenschaften und auch der Diffusionswiderstand variiert.

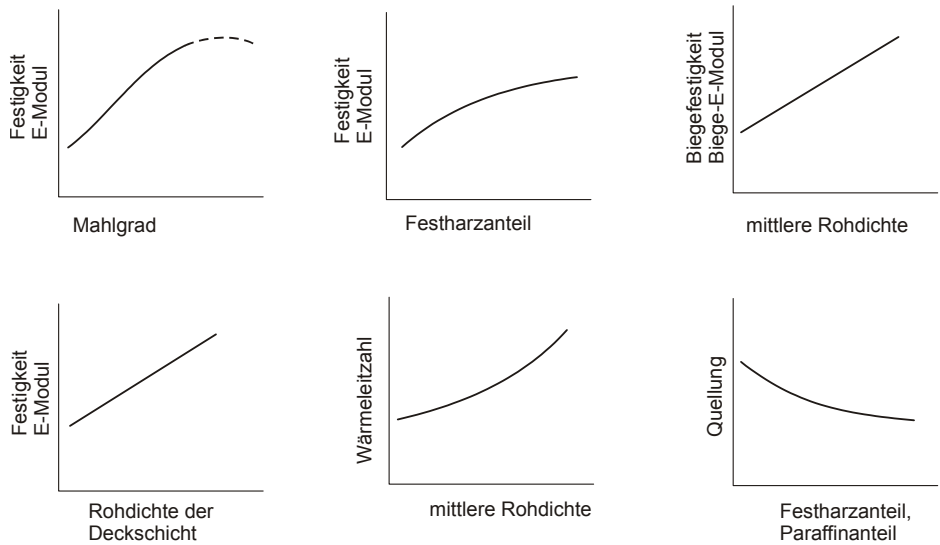


Abbildung 36
Wesentliche Einflussfaktoren auf die Eigenschaften von Faserplatten (Niemz 1993)

3.3.5 Verbundwerkstoffe

Eine zunehmende Bedeutung gewinnen auch Spezialprodukte wie

- Träger aus Holz und Holzwerkstoffen
- Verbundplatten mit Decklagen aus Holz oder Holzwerkstoffen und Kernen aus Holzwerkstoffen, Schaumstoffen oder Waben
- OSB mit MDF (HDF)- Decklagen
- mehrschichtig aufgebaute Parkettböden
- lamellierte Fensterkanteln (zum Teil mit Innenlagen aus Schaumstoffen) und
- vorgespannte Bauteile aus Massivholz oder auch Holzwerkstoffen.

Dabei handelt es sich um ein mehrschichtiges Material, mit meist hochfesten Decklagen und einer Mittellage aus einem leichteren Kern.

Abbildung 37 zeigt eine Einteilung von Verbundwerkstoffen, Abbildung 38 Strukturmodelle, Abbildung 39 wesentliche Einflussfaktoren auf die Eigenschaften der Verbundwerkstoffe.

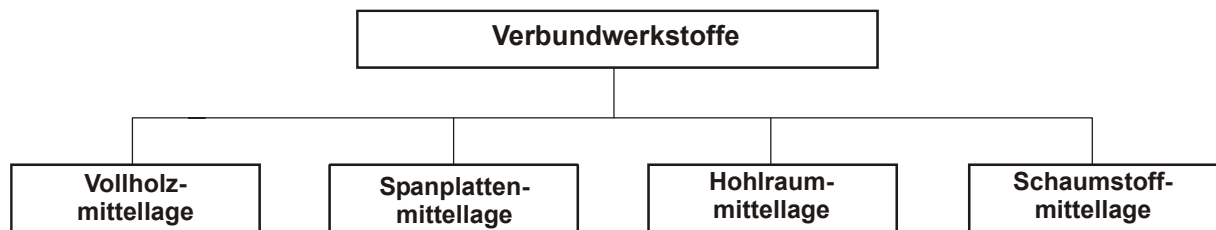


Abbildung 37
Einteilung von Verbundwerkstoffen

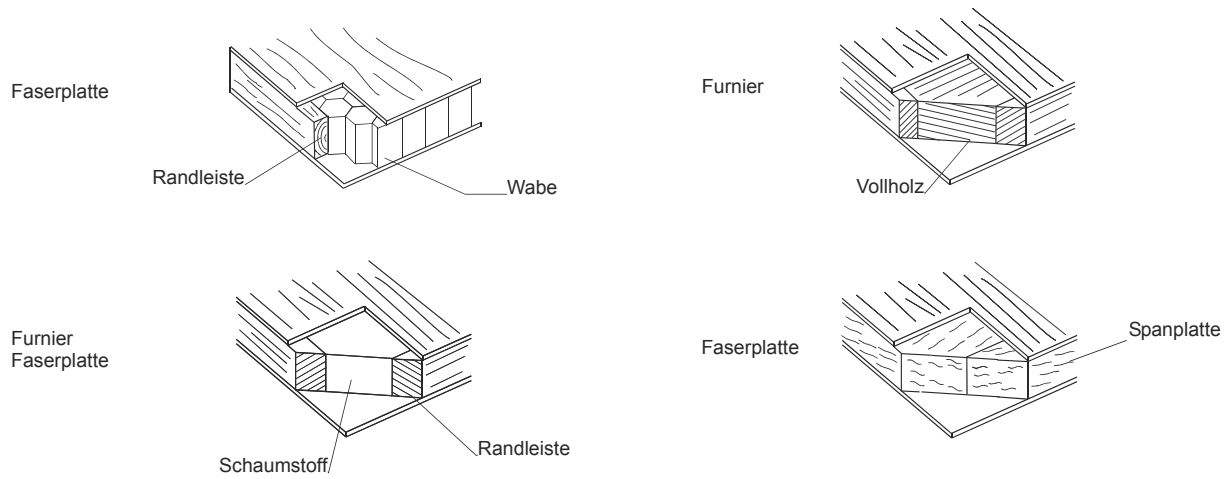


Abbildung 38
 Strukturmodelle von Verbundwerkstoffen (verschiedene Kombinationen von Deck- und Mittellagen).

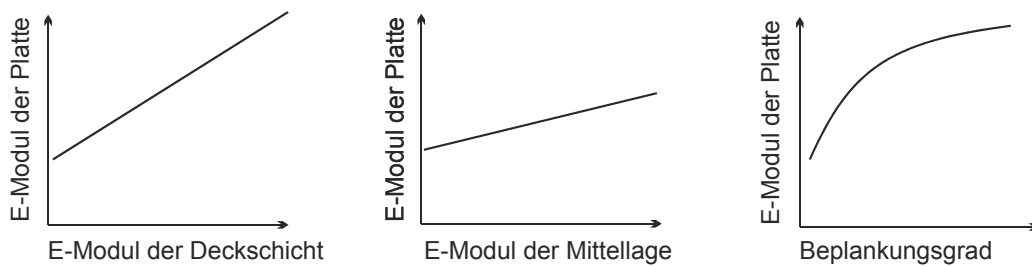


Abbildung 39
 Wesentliche Einflussfaktoren auf die Eigenschaften von Verbundwerkstoffen

3.3.6 Engineered Wood Products

Unter Engineered Wood Products wird eine Gruppe von Holzwerkstoffen verstanden, die primär dem Ersatz von Vollholz im Bauwesen dient. Sie werden als stabförmige (überwiegend Scrimber, Parallam) oder auch flächige Elemente (LSL, LVL) angeboten, welche auch zu stabförmigen Elementen aufgetrennt werden können. Als Vorteile im Vergleich zu Vollholz werden genannt:

- sehr grosse und variable Abmessungen (insbesondere Längen), da endlos gefertigt
- keine Verformungen durch Trocknungsspannungen
- eine z. T. höhere Festigkeit als Vollholz, da keine Defekte (wie Äste) die Festigkeit vermindern.

Die unter der Bezeichnung Engineered Wood Products gefertigten Produkte werden überwiegend mit Phenolharz oder Isocyanat feuchtebeständig verklebt.

Tabelle 8 zeigt ausgewählte strukturelle Parameter von Engineered Wood Products.

Strukturell handelt es sich dabei um Weiterentwicklungen von bekannten Werkstoffen auf der Basis von Spänen (LSL) oder Furnier (LVL, PSL). Für diese Werkstoffe gelten weitgehend die wissenschaftlichen Grundlagen von Spanplatten und Lagenholz. Die mechanischen Eigenschaften von Engineered Wood Products liegen im Bereich von Vollholz oder darüber. Bei diesen Produkten ist ein deutlicher Einfluss der Belastungsrichtung vorhanden (z.B. Biegung in und senkrecht zur Plattenebene).

Furnierschichtholz (Laminated Veneer Lumber, LVL)

Furnierschichtholz wird aus weitgehend faserparallel verklebten Furnierlagen (meist aus Nadelholz hergestelltes Schäl furnier, Furnierdicke bis ca. 3 mm) gefertigt. Teilweise werden einige Lagen senkrecht orientiert, um die Festigkeit senkrecht zur Faserrichtung der Decklagen zu erhöhen.

Kertoschichtholz ist in diese Gruppe einzuordnen, welches in den Sorten S (alle Lagen faserparallel) und Q (einige Lagen senkrecht angeordnet, um die Festigkeit senkrecht zur Faserrichtung zu erhöhen) hergestellt wird.

Teilweise erfolgt bei LVL eine Vorsortierung der Furnierlagen nach der Festigkeit.

Das Material wird sowohl als Plattenmaterial als auch für Balken (Brücken, Treppenbau) verwendet. Auch Hohlprofile auf LVL-Basis sind bekannt (Kawai, Sasaki und Yamauchi 2001). Dadurch wird eine wesentliche Verminderung des Materialeinsatzes erreicht.

Furnierstreifenholz (Parallel Strand Lumber; PSL; Parallam)

Dabei handelt es sich um einen Furnierwerkstoff, welcher aus Schäl furnier gefertigt wird. Das Furnier (ca. 3 mm dick) wird in ca. 13 mm breite und bis zu 2,5 m lange Streifen geschnitten, beleimt und zu Profilen verklebt.

Das Material wird für Balken, vielfach auch für Verstärkungen z. B. zur Aufnahme von Druckkräften eingesetzt.

Spanstreifenholz (Laminated Strand Lumber; LSL)

Darunter wird ein Spezialprodukt von OSB (**Oriented Strand Board**) mit extrem langen (ca. 300 mm) Spänen verstanden. Als Rohstoff wird meist Aspe verwendet. Der Einsatz erfolgt überwiegend im Holzbau für statisch belastete Elemente (Ersatz für zu konstruktiven Zwecken eingesetztes Schnittholz).

Scrimber

Dabei handelt es sich um einen Werkstoff, bei dem durch ein nichtzerspanendes Zerlegen von Holz (Zerquetschen von Rundholz) erzeugte Partikeln unter Anwendung von Druck und Wärme verleimt werden. Die Partikeln sind relativ lang und schwer manipulierbar.

Verbundsysteme

Hierunter werden z. B. die im Bauwesen eingesetzten Träger mit Stegen aus Spanplatten und Zug- oder Druckgurten aus Furnierschichtholz oder auch Vollholz (zum Teil auch aus OSB) verstanden.

Auch Verbundplatten mit Kernen aus Holz und Holzwerkstoffen sowie hochfeste Decklagen können in diese Gruppe eingeordnet werden.

Tabelle 8

Typische Strukturmerkmale von Engineered Wood Products (Niemz 1999)

Produkt	Strukturelemente	Überwiegende Anwendung
OSB = Spanwerkstoff	lange Späne $l = 75 \dots 100 \text{ mm}$ $b = 5 \dots 30 \text{ mm}$ $d = 0,3 \dots 0,65 \text{ mm}$	Platten differenzierter Dicke und Qualität
LSL = Spanwerkstoff	extra lange Späne $l = 300 \text{ mm}$ $b = 25 \text{ mm}$ $d = 0,8-1 \text{ mm}$	Platten (bis 140 mm Dicke), Profile, Balken
Structure Frame = Spanwerkstoff	Wafer $l = 20 \dots 30 \text{ mm}$ $b = 20 \dots 30 \text{ mm}$ $d = 1 \text{ mm}$	Platten
Scrimber = Spanwerkstoff	durch Quetschen gefertigte Partikel	Balken
LVL = Lagenholz	Furnierlagen $d = 2,5 \dots 4 \text{ mm}$	Platten, Balken
PSL = Lagenholz	Furnierstreifen $b = 13 \text{ mm}$ $l = 0,6-2,5 \text{ m}$	Balken
COM-PLY = Verbundwerkstoff	Spanplatte Beplankt mit Schichtholzlagen	Balken

3.4 Literatur zum Kapitel Holzwerkstoffe

- Autorenkollektiv. (1975). Werkstoffe aus Holz. Leipzig, Fachbuchverlag.
- Dunky, M. Niemz, P. (2002). Holzwerkstoffe und Leime: Technologie und Einflussfaktoren. Springer, Berlin, Heidelberg, New York.
- Niemz, P. (1982). "Effect of board structure on the properties of particleboards. 1. Particle dimensions, density, synthetic resin content, and wax content." Holztechnologie 23(4): 206-213.
- Niemz, P. (1993). Physik des Holzes und der Holzwerkstoffe. DRW-Verlag Weinbrenner GmbH & Co., Leinfelden- Echterdingen.
- Kawi, S., Sasaki, H., Yamauchi, H. (2001) Bio-mimetic Approach for the development of New Composite products. Proceedings, First International Conference of the European Society of Wood Mechanics. Lausanne 19.-21.4.
- Pozgaj, A., D. Chonovec, et al. (1997). "Struktura a vlasnosti dreva." 2.Auflage Proroda, Bratislava.
- Zeppenfeld, G. (1991). Klebstoffe in der Holz- und Möbelindustrie. Fachbuchverlag, Leipzig.

4. Ökologische Bedeutung des Holzes (W. Sonderegger)

4.1 Holz als CO₂-Speicher

Durch die durch die Treibhausgase bedingte Klimaerwärmung erhält das Holz seit einigen Jahren Bedeutung als CO₂-Speicher. CO₂ ist das bedeutendste anthropogen verursachte Treibhausgas (siehe Tabelle 9). An der Klimakonferenz in Kyoto 1997 wurde von den Unterzeichner-Staaten eine Beschränkung bzw. Reduktion der Treibhausgas-Emissionen in den Jahren 2008-2012 um gesamthaft 5% gegenüber dem Niveau von 1990 beschlossen. Die Schweiz verpflichtete sich dabei wie auch die EU-Staaten zu einer Reduktion von mindestens 8%, um andere Unterzeichner-Staaten wie z.B. die Russische Föderation, Australien oder Neuseeland zu entlasten. Im darauf erlassenen Bundesgesetz über die Reduktion der CO₂-Emissionen (CO₂-Gesetz) vom 8. Oktober 1999 wird eine Reduktion der CO₂-Emissionen um 10% für den oben erwähnten Zeitraum gefordert, wobei die energetische Nutzung fossiler Brennstoffe um 15% und die fossilen Treibstoffe (ohne Flugtreibstoffe für internationale Flüge) um 8% zu vermindern sind.

Tabelle 9

Treibhausgase: Anteile am anthropogenen¹ Treibhauseffekt 1995 (nach Hasch 2002)

Treibhausgas ²	Chemische Formel	Anteil am Treibhauseffekt
Kohlendioxid	CO ₂	55 %
Methan	CH ₄	17 %
Distickstoffoxid ³	N ₂ O	5 %
Bodennahes Ozon	O ₃	14 %
FCKWs und Halogene		9 %

Bei der Bildung von Biomasse (z.B. Holz) wird der Atmosphäre durch die Photosynthese CO₂ entzogen und der Kohlenstoff in die Biomasse eingebaut.

Holz besteht durchschnittlich aus:

- 50 % Kohlenstoff (C)
- 43 % Sauerstoff (O)
- 6 % Wasserstoff (H)
- 1 % weitere Elemente

So enthält ein m³ Holz mit einem Trockengewicht von 500 kg ungefähr 250 kg Kohlenstoff und speichert somit 900 kg CO₂-Äquivalente.

Wälder als Kohlenstoffspeicher, Kohlenstoffsinken und Kohlenstoffquellen (gemäss Gebirgswaldpflegegruppe ergänzt):

Kohlenstoffsenke: Der Wald nimmt in der Wachstumsphase CO₂ auf und bindet es. In dieser Phase stellt der Wald eine Kohlenstoffsenke dar. Durch die Messung des Zuwachses kann die jährliche, zusätzliche CO₂-Bindung berechnet werden.

Kohlenstoffspeicher: Urwälder, aber auch nachhaltig genutzte Wirtschaftswälder, befinden sich bezüglich des Kohlenstoff-Austausches im Gleichgewicht und stellen somit Kohlenstoffspeicher dar. Die Speicherwirkung hängt von der Höhe des Vorrates und der Humusschicht (CO₂-Bindung im Boden) ab und ist je nach Waldgesellschaft und Bewirtschaftungsform unterschiedlich.

¹ Wasserdampf ist das wichtigste Treibhausgas. Der Anteil in der Atmosphäre wird jedoch durch den Menschen nicht verändert.

² Im Kyoto-Protokoll wird Ozon nicht zu den Treibhausgasen dazu gerechnet, dafür die FCKWs und Halogene präzisiert und unterteilt in: Teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (H-FKW/HFC) und perfluorierte Kohlenwasserstoffe (FKW/PFC). Zusätzlich wird Schwefelhexafluorid (SF₆) als Treibhausgas aufgeführt.

³ Distickstoffoxid = Lachgas. Neben der direkten Wirkung als Treibgas zusätzliche Wirkung als Ozonerstörer (wichtigster Ozonerstörer neben FCKW). N₂O-Moleküle haben eine sehr hohe Verweildauer von 130 bis 150 Jahren in der Atmosphäre. In grossen Höhen entstehen durch die photozyklische Zersetzung von N₂O reaktive Stickoxide, die zum Abbau des Ozons beitragen.

Kohlenstoffquelle: Wird mehr Holz geerntet als nachwächst bzw. Wald umgewandelt, so wird Kohlenstoff freigesetzt. Der Wald wird somit zu einer Kohlenstoffquelle.

Meistens werden die CO₂-Emissionen aus regenerativen Energieträgern als CO₂-neutral bewertet. Nach Zimmer (2002) sollten die regenerativen Energieträger wie Holz, Holzwerkstoffe und Holzprodukte jedoch als Kohlenstoffspeicher betrachtet werden (C-plus-Effekt). Dies führt zu einer besseren ökologischen Bewertung der Holzprodukte (Abbildung 40).

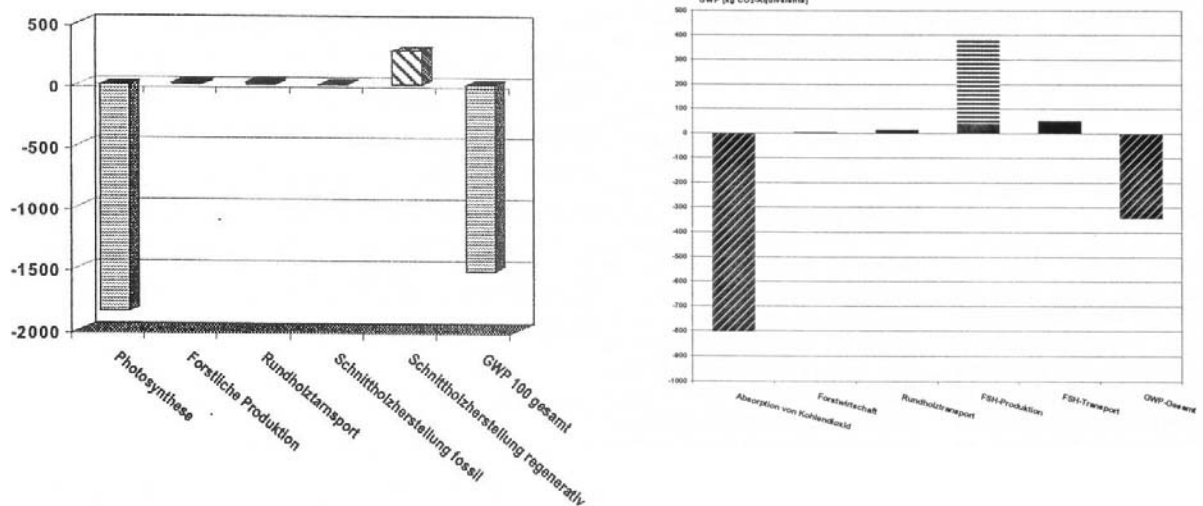


Abbildung 40

CO₂-Bilanzen: Für 1 m³ technisch getrocknetes Fichtenschnittholz (links); Für Kerto-Furnierschichtholz pro m³ Rundholzäquivalent (rechts). Aus Zimmer 2002.

Erläuterungen zu Abbildung 40:

Auf Grund der benötigten Energie wird der Anteil am Treibhauseffekt, den die Produktion des Schnittholzes bzw. Furnierschichtholzes von der Holzernte bis zum fertigen Produkt verursacht, berechnet. Dieser wird von der Energie, die im Holz gespeichert ist, abgezogen. Als Resultat erhält man den Betrag, den das Holzprodukt zur Klimaerwärmung beiträgt. Dieser ist in beiden Fällen negativ, d. h. die Menge des im Holz gespeicherten CO₂ ist höher als der CO₂-Ausstoss während der Produktherstellung. Die Energie wird dabei als GWP 100: Global Warming Potential (= Treibhauseffekt) in kg CO₂-Äquivalenten angegeben. Bei der Berechnung kann zusätzlich unterschieden werden zwischen fossilen Energieträgern wie Öl, Gas oder Kohle und regenerativen Energieträgern wie Holz, das in Form von Spänen, Sägemehl und Rinde während der Herstellung des Holzproduktes anfällt und gleich zu Heizzwecken weiter verwendet wird.

deutsche und der englische Text einander gegenübergestellt. Deshalb werden die wichtigsten englischen Ausdrücke nachfolgend jeweils in Klammern beigefügt.

Die Ökobilanz teilt sich auf in vier Hauptschritte: Zieldefinition, Sachbilanz, Wirkungsabschätzung und Interpretation.

I	Zieldefinition (goal and scope definition): Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens (funktionelle Einheit, Systemgrenzen, Datenqualität, Vergleiche zwischen Systemen, kritische Prüfung)
II	Sachbilanz (inventory analysis) ⁹ : Datensammlung, Allokationsverfahren, kritische Prüfung
III	Wirkungsabschätzung (life cycle impact assessment): Wirkungskategorien (Klassifizierung, Charakterisierung, Gewichtung)
IV	Auswertung (interpretation):

I. Zieldefinition

Die Zieldefinition als Ausgangspunkt einer ökologischen Bilanzierung umfasst die Definition von Zweckbestimmung, funktioneller Einheit sowie die Festlegung der Systemgrenzen und Randbedingungen (Hungerbühler 1997).

Zielsetzung

Die Zielsetzung beinhaltet die Gründe für die Durchführung der Ökobilanz sowie, an welche Zielgruppen sie sich wendet.

Dabei werden je nach Ausrichtung der Studie (Untersuchung eines Einzelproduktes oder überregionale oder globale ökologische Aspekte von Produkten) unterschiedliche Anforderungen an die Daten gestellt. (Frühwald et al. 2002, Hungerbühler 1997) Innerhalb eines Betriebes werden die Ökobilanzen im Bereich der Produktpolitik als Instrumente der Information, Planung und Kontrolle eingesetzt. Sie dienen vor allem

- Zum ökologischen Vergleich von Produkten (eigene Produkte und Konkurrenzprodukte)
- Zur ökologischen Verbesserung (Optimierung) einzelner Produkte oder Produktlinien
- Zur ökologischen Lebenszyklus-Gestaltung von neuen Produkten und Prozessen
- Zur Auswahl der geeigneten produktpolitischen Massnahmen im Bereich Produktökologie
- *Untersuchungsrahmen*

Der Untersuchungsrahmen einer Ökobilanz entspricht der detaillierten Planung der Studie. Diese beinhaltet zusammenfassend die Festlegung des zu untersuchenden Produktsystems (Funktion, funktionelle Einheit, Grenzen), die Anforderungen an die Daten (Qualität, Einschränkungen), die Wirkungskategorien (siehe

III. Wirkungsabschätzung) und den Aufbau des Berichtes. Im folgenden werden einige Punkte näher erläutert:

Funktionelle Einheit (=Bezugsgrösse): Mass für den Nutzen eines Produktsystems. Wichtig für den Vergleich von Produkten.

Beispiel: Wenn verschiedene Elektrizitätsmasten-Typen (Stahlrohr, Beton, Rundholz) miteinander verglichen werden, ist z.B. eine 0.4-kV Regelleitung als funktionelle Einheit besser geeignet als ein Einzelmast, da die Abstände zwischen den Masten je nach Material unterschiedlich sind.

Systemgrenzen (Einteilung in Module): Um die inneren und äusseren Grenzen eines Produktsystems festzulegen, wird der Lebensweg eines Produktes in einzelne Lebensabschnitte (Module) unterteilt (s.

⁷ EN: Europäische Normung des *Europäischen Komitees für Normung* (CEN)

⁸ DIN: Deutsches Institut für Normung. DIN 14040 und 14041 wurden zwischen den Normen-organisationen Deutschlands, Österreichs und der Schweiz abgestimmt.

⁹ Wird in früheren Untersuchungen auch Ökoinventar (life-cycle inventory) genannt.

Abbildung 42), die weiter in Submodule aufgeteilt werden können.

Beispiele für Modul Produktherstellung (nach Frühwald und Hasch 2002):

- Schnittholzherstellung mit möglichen Submodulen: Rundholzlager, Einschnitt, Schnittholzsortierung, Trocknung, ev. Imprägnierung.
- Spanplattenherstellung mit möglichen Submodulen: Rohstoffbereitstellung, Spanaufbereitung, Trocknung, Beleimung, Presse, Schleifen, Lager, innerbetrieblicher Transport.

Der erste Lebensabschnitt von Holzprodukten beinhaltet die Holzproduktion von der Bestandesbegründung bis zur Holzernte und Bereitstellung an der Waldstrasse bzw. Lieferung ins Werk. Dieser Abschnitt wird bei der Bilanzierung von Holz- und Holzwerkstoffprodukten meistens pauschal behandelt. Die Erstellung von detaillierten Ökobilanzen zu diesem ersten Lebensabschnitt von Holzprodukten werden im 7. Semester (AK Forstliches Ingenieurwesen; Heinimann) behandelt (für weitergehende Literatur dazu vgl. auch Schweinle und Thoro 2001).

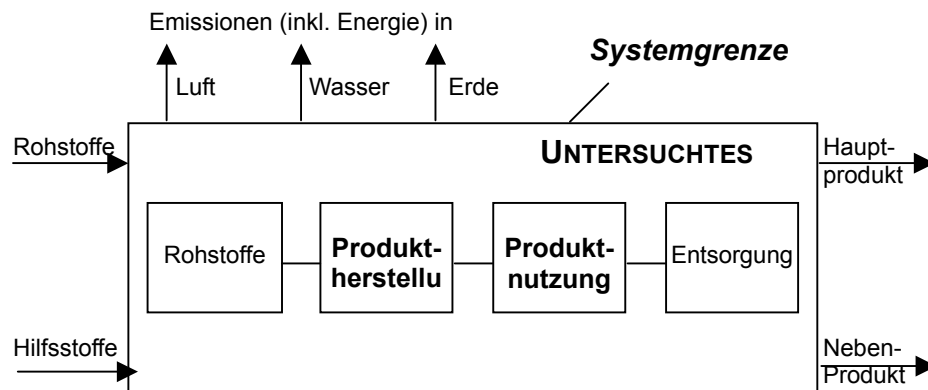


Abbildung 42

Modularer Aufbau einer Ökobilanz (aus Frühwald und Hasch 2002)

II. Sachbilanz

Die Sachbilanz ist die Darstellung aller umweltrelevanten Stoff- und Energieströme, d.h. der benötigten Ressourcen (Roh-, Werk-, Hilfs- und Betriebsstoffe sowie thermischer und elektrischer Energien) und der Emissionen in Luft, Wasser und Boden während des Lebenszyklus eines Produktes bzw. der einzelnen Module. Als Beispiel zeigt Tabelle 10 die Stoff- und Energieströme bei der Produktion einer Spanplatte.

Tabelle 10

Sachbilanz für die Produktion von Spanplatten für den Trockenbereich (aus Frühwald und Hasch 2002)

INPUT	kg/m3 Spanplatten	OUTPUT	kg/m3 Spanplatten
Rohstoffe		Produkt	
Industrieholz	95	Spanplatten	642.4
Schwarten und Kapfstücke	127	Feuchte	54.4
Hackschnitzel	90.3	Summe	696.9
Späne	236.9	Nebenprodukte	
Spanplattenrecycling	6.4	Schonplatten, Kanthölzer, Leisten	5.1
Gebrauchtholz (Altholz)	87.8	Schleifstaub (zur Verbrennung)	68.9
Sonstiges	17	Sonstiger ausschuss	8
Summe Holz (atro)	660.4	Summe	82.1
Summe Wasser (63% Holzfeuchte)	415.8		
Leim und Zusatzstoffe		Flüssige Emissionen	
UF-Harz (Standardspanplatte)	54.6	Öffentliches Abwasser	36
Formaldehydfänger (techn. Harnstoff)	0.62	Sonstiges Oberflächenwasser	156.3
Härter (Ammoniumnitrat)	0.42	Altölentsorgung (Sondermüll)	0.027
Hydrophobierungsmittel (Paraffin)	2.50	Sonstige Fette/Öle	0.049
Emulgatoren	0.028	Markierungsfarbe organischer Lösungsmittel	0.0003
Sonstige Stoffe	0.011	Sonstige Markierungsfarbe	0.004
Summe Festmasse	58.2	Summe flüssige Emissionen	192.5
Flüssige Emissionen		Feste Emissionen	
Wasser aus:		Hausmüllähnliche Gewerbeabfälle	1.457
Bindemittel	27.5	Stahlbänder (Holzplatz)	0.44
Paraffinemulsion	1.67	Metalle (Magnetabschneider)	0.008
Sonstigen Stoffen	0.47	Mischschrott (AzV)	0.51
Härter	1.71	Verpackungsmaterial:	
Sonstiges Prozesswasser:		Kunststoffe	0.23
Klimatisierungswasser (Luft)	25.2	Papier, Karton	0.034
Stadtwater	96.2	Holz-Paletten	0.11
Sonstiges Produktionswasser	78.9	Metall	0.16
aus Brunnen		Sonstige feste Emissionen:	
Sonstiges Produktionswasser	53.4	Verwertbare Kunststoffe	0.05
Sonstiges:		Verwertbare Papiere/Kartons	0.03
Markierungsfarbe org.	0.002	Summe feste Emissionen	3.0
Lösungsmittel			
Sonstige Markierungsfarbe	0.011		
Summe	285.06		
Betriebsstoffe		Luftgetragene Emissionen	
Öle, fette, etc. (Betriebsstoffe)	0.105	Wasserdampf	448
Metalle (Betriebsstoffe)	1.1	Holzstaub und sonstiges	0.078
Sonstiges (Betriebsstoffe)	1.74	Summe	448.1
Summe Betriebsstoffe	2.96		
SUMME INPUT	1423	SUMME OUTPUT	1423

III. Wirkungsabschätzung

In der Wirkungsabschätzung werden die in der Sachbilanz erhobenen Daten auf ihre Umweltauswirkungen hin charakterisiert und bewertet. Zur Bewertung werden die Daten in verschiedene Gruppen aufgeteilt und gewichtet.

Eingeteilt wird in Summenparameter und wirkungsorientierte Parameter:

a) Summenparameter (nach Hofer und Richter 1996)

Primärenergie-Verbrauch: Sämtlicher Energieverbrauch auf Primärenergieträger (fossil oder erneuerbar) zurückgerechnet (Angabe in Megajoule).

Kritisches Luftvolumen, kritisches Wasservolumen: Luft- bzw. Wasservolumen, das durch die Emissionen belastet wird. Die Berechnung erfolgt anhand der gesetzlich vorgeschriebenen Grenzwerte des jeweiligen Landes¹⁰, indem die Emissionsdaten jedes Stoffes durch die entsprechenden Grenzwerte dividiert werden.

Feste Abfälle: Zur Deponie gelangende Abfälle. Gemäss der Schweizerischen Abfallverordnung¹¹ werden diese in die Kategorien Inertstoffe sowie Reaktor- und Sonderabfälle aufgeteilt.

b) Wirkungsorientierte Parameter (nach Heijungs et al. 1992, zitiert in Hofer und Richter 1996)

Treibhauseffekt (Global Warming Potential (GWP)): Gase, welche zum Treibhauseffekt beitragen, werden mittels Wirkungsfaktoren auf Kohlendioxid umgerechnet (kg CO₂-Äquivalent).

Photochemische Ozonbildung: Gase, die zur Bildung von photochemischen Oxidantien beitragen, werden mittels Wirkungsfaktoren auf Ethylen (kg C₂H₄-Äquivalent) umgerechnet.

Versauerung von Boden und Gewässern: Alle für die Versäuerung relevanten Luftemissionen werden über Wirkungsfaktoren auf Schwefeldioxid (kg SO₂-Äquivalent) umgerechnet.

Überdüngung: Emissionen in Wasser, Boden oder Luft werden über Wirkungsfaktoren auf Phosphat umgerechnet (kg PO₄-Äquivalent).

Humantoxizität: Emissionen mit einer Auswirkung auf die menschliche Gesundheit (kg Körpergewicht).

Ökotoxizität: Emissionen mit einem Einfluss auf die Stabilität von Ökosystemen (Wasser- oder Bodenökosysteme in m³ H₂O bzw. kg Boden).

IV. Interpretation

In der Interpretation werden aus den Daten der Sachbilanz und der Wirkungsabschätzung Schlussfolgerungen und Empfehlungen an die Entscheidungsträger (Auftraggeber) formuliert (vgl. Zielsetzung).

Die Interpretation ist stark abhängig von der Qualität der erhobenen Daten. Daher ist eine Beurteilung der Daten von grosser Bedeutung. Nachfolgend sind einige Parameter zur Erfassung der Datenqualität aufgeführt:

- Genauigkeit (Varianz)
- Vollständigkeit
- Repräsentativität:
- Zeitbezogener Erfassungsbereich (Zeitspanne, Alter der Daten)
- Geographischer Erfassungsbereich (lokal, regional, national, kontinental, global)
- Technologischer Erfassungsbereich (Einzelanlage, Mittelwert)
- Konsistenz
- Nachvollziehbarkeit

¹⁰ Für die Schweiz gelten die Grenzwerte der Schweizerischen Luftreinhalte-Verordnung (LRV) vom 16. Dezember 1985 (Stand am 28. März 2000) und die Grenzwerte in den Anhängen 2 und 3 der Schweizerischen Gewässerschutzverordnung (GSchV) vom 28. Oktober 1998 (Stand am 18. Dezember 2001):

Anhang 2 der (GSchV): Anforderungen an die Wasserqualität

Anhang 3 der GSchV: Anforderungen an die Ableitung vom verschmutztem Abwasser (3.1. Einleitung von kommunalem Abwasser in Gewässer; 3.2. Einleitung von Industrieabwasser in Gewässer oder in die öffentliche Kanalisation; 3.3. Einleitung von anderem verschmutztem Abwasser in Gewässer oder in die öffentliche Kanalisation).

¹¹ Technische Verordnung über Abfälle (TVA) vom 10. Dezember 1990 (Stand am 28. März 2000)

4.3 Literatur zu Kapitel Ökologische Bedeutung des Holzes

- Anonymus (2002): Stellungnahme der Schweizerischen Gebirgswaldpflegegruppe (GWG) zur Ratifizierung des Kyoto-Protokolls und zur Rolle des Gebirgswaldes als mögliche biologische Kohlenstoff-Senke. Unveröffentlicht. 3 S.
- Bundesamt für Statistik (BFS) und Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) (2000): Wald und Holz in der Schweiz. Jahrbuch 2000. Bundesamt für Statistik, Neuchâtel, 169 S.
- Bridgwater, A.V., Meier, D., Radlein, D. (1999): An overview of fast pyrolysis of biomass. *Organic Geochemistry*, 30: 1479-1493.
- Frühwald, A., Pohlmann, C. M., Hasch, J. (2002): CO₂-Speicherung durch die Verwendung von Holz und Holzwerkstoffen im Holzbau. In: Tagungsband der 9. Quedlinburger Holzbautagung 14.-16. November 2002. 20 S.
- Hasch, J. (2002): Ökologische Betrachtungen von Holzspan- und Holzfaserplatten. Dissertation Universität Hamburg, 292 S.
- Heijungs, R., Guinée, J. B. et al. (1992): Environmental Life Cycle Assessment of Products. Guide and Background. Center of Environmental Science, Leiden, Netherland.
- Hofer, P. und Richter, K. (1996): Holz: Ein ökologischer Rohstoff. Lignatec 1/1996, Schweizerische Arbeitsgemeinschaft für das Holz (LIGNUM), Zürich, 27 S.
- Hungerbühler, K. (1997): Grundkonzepte zum umweltorientierten Produkt- und Prozessdesign. Skript zur Vorlesung Umweltchemie III, ETH Zürich.
- Künninger, T. und Richter, K. (2001): Ökobilanz von Konstruktionen im Garten- und Landschaftsbau. Forschungs- und Arbeitsbericht EMPA 115/43, Dübendorf, 171 S.
- Marutzky, R. und Seeger, K. (1999): Energie aus Holz und anderer Biomasse. DRW-Verlag, Leinfelden-Echterdingen, 352 S.
- Meier, D., Faix, O. (1999): Heizöl und Chemie-Rohstoff aus Holz, Flash-Pyrolyse eröffnet neue Möglichkeiten. Internetreport: www.verbraucherministerium.de/for-schungsreport/rep1-99/holz.htm
- Nussbaumer, T. (1994): Neue Erkenntnisse zur thermischen Nutzung von Holz. Tagungsband zum 3. Holzenergie-Symposium. Bundesamt für Energie-wirtschaft (ENET), Bern, 275 S.
- Nussbaumer, T. (1993): Stofffluss bei der Verbrennung und Vergasung von Altholz. Eidgenössische Drucksachen und Materialzentrale EDMZ, Bern, 73 S.
- Roland, K., Müller, W., Schmidt, B., Schmidt, H.F.W., Zemmrich, D. (1988): Wissenspeicher Holztechnik: Grundlagen. Fachbuchverlag, Leipzig, 720 S.
- Schweinle, J. und Thoroë, C., (2004): Vergleichende Ökobilanzierung der Rundholzproduktion in verschiedenen Forstbetrieben. Mitteilungen der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft Nr. 204. 140 S.
- Weingarten, Joe (1997): Holzvergasung. Arbeitskreis: Energetische Nutzung der Biomasse; Holz in Rheinland-Pfalz. Verlag Gebhardt & Hilden, Idar-Oberstein, 133 S.
- Zimmer, B. (2002): Ökobilanzierung – Bewertungssystem für Werkstoffe und Produkte der Zukunft. In: Holz: Rohstoff - Werkstoff - Energiequelle der Zukunft S. 69-80. Institut für Holzforschung und Verband Holzwirte Österreichs, Wien.

www.iso.ch

www.clubofrome.org

<http://www.energie-schweiz.ch/>

<http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.html>

www.admin.ch/ch/d/sr/c641_71.html

www.fowi.ethz.ch/piw

ISO-Normen

Club of Rome

Energieportal der Schweiz

Kyoto-Protokoll

CO₂-Gesetz der Schweiz

Informationen zu Life cycle analysis

Physik des Holzes

Von Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Niemz, ETH Zürich, Institut für Baustoffe,

Holzphysik

Mail: niemzp@ethz.ch

<http://www.ifb.ethz.ch>

- 1 Übersicht zu den wesentlichen Holzeigenschaften und wichtigen Einflussfaktoren
- 1.1 Einteilung der Holzeigenschaften
- 1.2 Wesentliche Einflussfaktoren auf die Eigenschaften
- 2 Verhalten gegenüber Feuchte
- 2.1 Sorptionsverhalten und kapillare Wasseraufnahme
- 2.2 Quellen und Schwinden
- 3 Dichte
- 4 Thermische Eigenschaften
- 5 Elektrische Eigenschaften
- 6 Optische Eigenschaften
- 7 Akustische Eigenschaften
- 8 Alterung und Beständigkeit
- 9 Elastomechanische und rheologische Eigenschaften
- 9.1 Übersicht zu wichtigen Einflussgrößen
- 9.2 Elastizitätsgesetz und Spannungs-Dehnungsdiagramm
- 9.2.1 Grundlagen
- 9.2.2 Einflussfaktoren
- 9.3 Rheologische Eigenschaften
- 9.4 Festigkeitseigenschaften
- 9.4.1 Zugfestigkeit
- 9.4.2 Druckfestigkeit
- 9.4.3 Biegefestigkeit
- 9.4.4 Scher- und Spaltfestigkeit
- 9.4.5 Härte
- 9.4.6 Sonstige Eigenschaften
- 9.4.7 Wichtige Einflussfaktoren auf die Festigkeitseigenschaften
10. Literaturverzeichnis

Anlagen

Vorwort

Das vorliegende Skript ist lediglich eine kurze Einführung in die physikalischen Eigenschaften des Holzes. Holzwerkstoffe und deren physikalische Eigenschaften werden im Skript Holztechnologie II des Verfassers behandelt.

Das Skript ist für Studenten mit Holz als Nebenfach gedacht. Als weitergehende Literatur wird empfohlen:

F. Kollmann: Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe. 2. Auflage, Springer Verlag 1951

Bodig, J.; Jayne, B.A.: Mechanics of wood and wood composites. Krieger, Florida, 1993,
Vorreiter, L.: Holztechnologisches Handbuch. Bd. 1; Verlag G. Fromme 1949

Niemz, P.: Physik des Holzes und der Holzwerkstoffe. DRW Verlag 1993

Dunky, M.; Niemz, P. Holzwerkstoffe und Leime. Springer Verlag 2002.

Wichtige Fachzeitschriften zum Fachgebiet sind:

Holz als Roh- und Werkstoff: Springer Verlag
Wood Science and Technology: Springer Verlag
Holzforschung: Verlag De Gryter

Wichtige Internetadressen:

<http://www.lignum.ch/>

<http://vifaholz.tib.uni-hannover.de>

<http://www.holzweb.net/index.php>

http://www.umwelt-schweiz.ch/buwal/de/fachgebiete/fg_wald/rubrik2/holzinfos

http://www.statistik.admin.ch/stat_ch

1 Übersicht zu den wesentlichen Holzeigenschaften und wichtigen Einflussfaktoren

1.1 Einteilung der Holzeigenschaften

Gemäß Abb. 1. werden die Eigenschaften eingeteilt in physikalisch-mechanische, biologische und chemische.

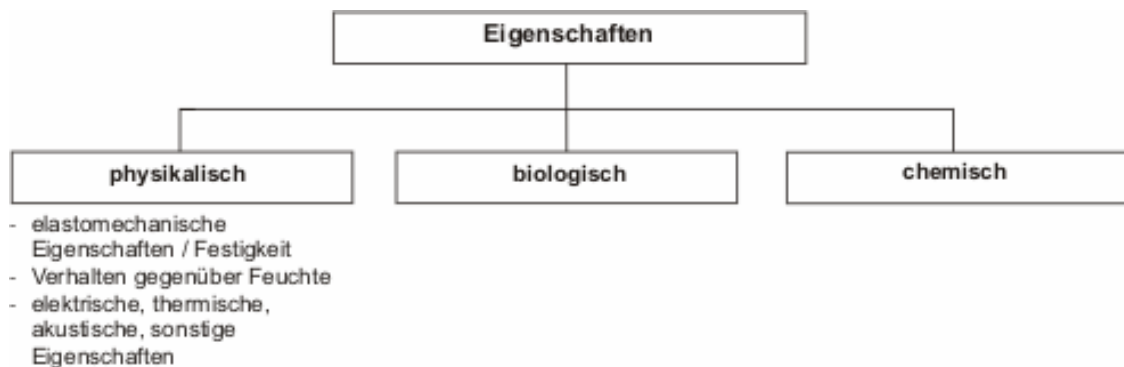


Abb. 1. Einteilung der Eigenschaften von Holz

Physikalisch- mechanische Eigenschaften

Zu dieser Gruppe zählen im erweiterten Sinne (Niemz 1993):

Physikalische Eigenschaften

- Verhalten gegenüber Feuchte (Holzfeuchte, Diffusion, Quellen und Schwinden)
- Dichte
- Thermische Eigenschaften (Wärmeleitfähigkeit, Brandverhalten)
- Elektrische Eigenschaften
- Akustische Eigenschaften

Elastomechanische Eigenschaften und Festigkeitseigenschaften (Elastizitätsgesetz)

- Elastomechanische Eigenschaften (E- Modul, Schubmodul, Poissonsche Konstanten)
- Festigkeitseigenschaften (z. B. Zug-, Druck-, Biege- und Scherfestigkeit)
- Rheologische Eigenschaften (Kriechen, Relaxation, Dauerstandfestigkeit).

Biologische Eigenschaften

Darunter wird die Beständigkeit gegenüber Mikroorganismen (Pilze, Insekten, Bakterien) verstanden.

Chemische Eigenschaften

Darunter werden z. B. der pH-Wert und die Art und der Anteil an Holzinhaltstoffen eingeordnet. Von Bedeutung sind diese Eigenschaften z.B. beim Verkleben oder bei der

Kombination verschiedener Holzarten (z. B. Verfärbung durch Eisen als Verbindungsmittel bei Eiche).

1.2 Wesentliche Einflussfaktoren auf die Eigenschaften

Alle Eigenschaften des Holzes werden beeinflusst durch:

- den strukturellen Aufbau (z.B. Rohdichte, Schnitttrichtung, Jahrringbreite, Faserlänge). Die Eigenschaften variieren stark sowohl innerhalb des Stammes als auch mit dem Standort. Auch das Alter des Holzes hat einen gewissen Einfluss. Juveniles Holz (im Zentrum des Stammes im Bereich der Markröhre liegendes Holz) hat andere Eigenschaften als adultes. Die ersten Jahrringe sind weitleumiger und haben eine geringere Dichte.
- die Umweltbedingungen (insbesondere Feuchte und Temperatur)
- die Vorgeschichte (z. B. mechanische oder klimatische Vorbeanspruchung, Schädigung durch Pilze oder Insekten).

Die Eigenschaften des Holzes streuen erheblich stärker als die von Holzwerkstoffen. Zur groben Orientierung dienen folgende Variationskoeffizienten für Vollholz (Holzlexikon 2003):

für die Rohdichte: $v=10\%$

für die Biegefestigkeit: $v= 16\%$

für den E-Modul: $v= 22\%$

für die Bruchschlagarbeit: $v= 30\%$

Die Schnitttrichtung beeinflusst alle Eigenschaften massgeblich. Holz kann stark vereinfacht als inhomogenes und orthotropes Materialsystem mit den 3 Hauptachsen längs, radial und tangential betrachtet werden.

Die Prüfmethode (Probengeometrie, Belastungsgeschwindigkeit, Art der Belastung d. h. Zug, Druck, Biegung, Schub) ist von entscheidendem Einfluss auf das Prüfergebnis.

Die an kleinen, fehlerfreien Proben bestimmten Eigenschaften sind meist nicht direkt auf Bauteile übertragbar. Dies betrifft sowohl mechanische Eigenschaften als auch das Quellen und Schwinden.

In den Anlagen sind wesentliche Normen zu Holz und eine Auswahl von Materialkennwerten zu Vollholz zusammengestellt.

Für tiefere Kenntnisse wird auf die im Anhang aufgeführten Fachbücher verwiesen.

2. Verhalten gegenüber Feuchte

Kenngrösse zur Beurteilung des Wasseranteils ist der Feuchtegehalt (DIN 52183). Dieser berechnet sich zu:

$$u = \frac{m_u - m_{dr}}{m_{dr}} \cdot 100 (\%) \quad (Gl. 1)$$

u	Feuchtegehalt
m_u	Masse des Holzes im feuchten Zustand
m_{dtr}	Masse des Holzes im darrtrockenen Zustand (ohne Wasser)

2.1 Sorptionsverhalten und kapillare Wasseraufnahme

Grenzzustände des Systems Holz-Wasser

Holz ist ein kapillarporöses System. Sowohl in die Makro- (Abb.2a) als auch die Mikroporen (Poren in Zellwandsystem, Abb.2b) des Holzes können sich Wassermoleküle einlagern. Die durch den anatomischen Aufbau bedingten Poren haben einen Durchmesser von 10^{-1} bis 10^{-5} cm; die durch den molekularen Aufbau bedingten Poren 10^{-5} bis 10^{-7} cm (Popper 1985).

Wir unterscheiden 3 Grenzzustände des Systems Holz-Wasser:

- Darrtrocken (kein Wasser vorhanden, Holzfeuchte 0%)
- Fasersättigung (das gesamte Mikrosystem der Zellwand (intermicellare und interfibrillare Hohlräume) ist maximal mit Wasser gefüllt, liegt etwa bei 28%, ein gewisser Einfluss der Holzart ist vorhanden)
- Wassersättigung (Mikro- und Makrosystem maximal mit Wasser gefüllt; liegt je nach Dichte des Holzes zwischen 770% (Balsa) und 31% (Pockholz), Trendelenburg und Mayer-Wegelin (1955)).

Der über Sorption bis zur Fasersättigung aufgenommene Wasseranteil im Holz wird als gebundenes Wasser bezeichnet, das oberhalb des Fasersättigungsbereiches eingelagerte Wasser wird als freies Wasser bezeichnet.

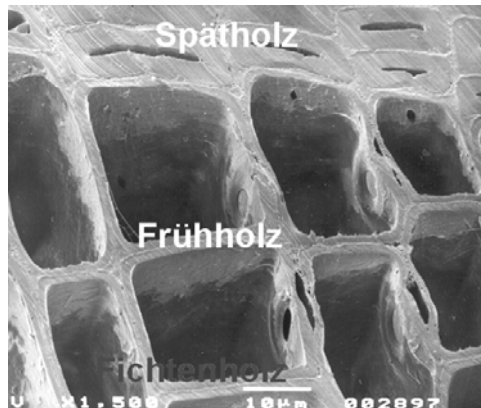
Sorptionsverhalten

Holz hat eine grosse spezifische innere Oberfläche. Sie liegt z.B. bei Fichte, berechnet nach der Hailwood- Horrobin-Theorie bei etwa $220\text{m}^2/\text{g}$. Holz ist hygroskopisch und nimmt Wasser aus der Luft durch Sorption auf bzw. gibt dieses durch Desorption an die Luft ab. Dies gilt bis zu einer relativen Luftfeuchte von 100%. Bei dieser Luftfeuchte ist der sogenannte Fasersättigungsbereich erreicht. Einer bestimmten Temperatur und rel. Luftfeuchte ist also eine holzartenspezifische Holzfeuchte zugeordnet. Wird die rel. Luftfeuchte reduziert, kommt es zur Desorption. Zwischen Adsorption und Desorption ist ein Hysterese-Effekt vorhanden (Abb. 3b). Bei Desorption ist die Holzfeuchte um 1-2% höher als bei der Adsorption (siehe z.B. (Niemz (1993))).

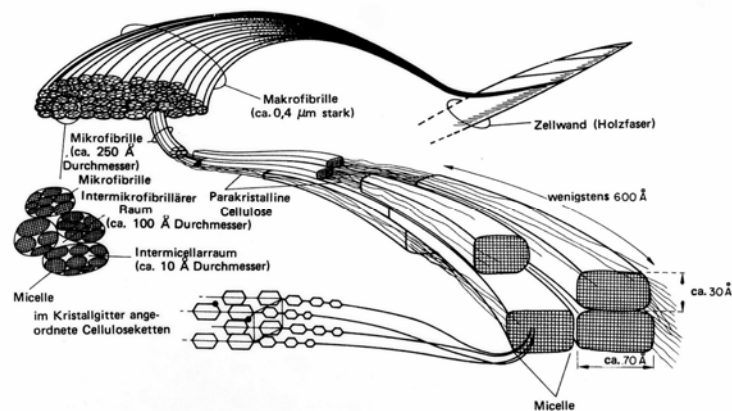
Die Feuchteaufnahme und -bindung wird dabei getrennt in

- Chemisorption (Bildung einer monomolekularen Wasserschicht)
- Physisorption (Bildung einer polymolekularen Wasserschicht)
- Kapillarkondensation (Kondensation des Wassers in Kapillaren, Sättigungsdruck in Kapillaren ist niedriger als über ebener Oberfläche (z. B. Kapillarradius $r=1,06 \cdot 10^{-4}$ cm = rel. Dampfdruck 99,9%; $r = 0,86 \cdot 10^{-7}$ cm = 30% rel. Dampfdruck, Burmester (1970)).

Abbild. 3a zeigt die 3 Phasen des Sorptionsvorganges am Beispiel von Radiata pine und den Einfluss einer thermischen Vorbehandlung in einem belüfteten Trockenschrank.



a)



b)

Abb. 2. Porensystem des Holzes

- a) Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme von Fichte (Querschnitt)
- b) Submikroskopischer Aufbau (Zeichnung U. Schmidt)

Oberhalb des Fasersättigungsbereiches nimmt Holz flüssiges Wasser durch Kapillarkräfte auf.

Der Feuchtetransport im Holz erfolgt nach den Gesetzen der Kapillarphysik (von weiten in Richtung enger Kapillaren), unterhalb der Fasersättigung durch Diffusion.

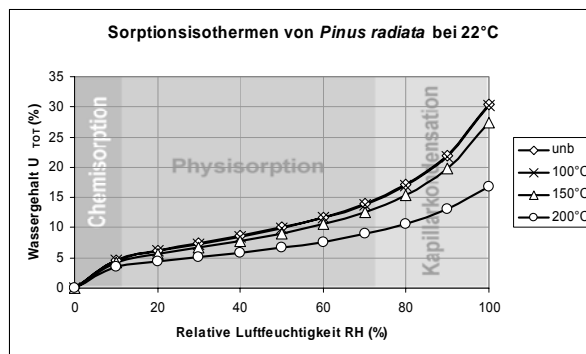
Durch Tüpfelverschluss (z.B. bei Fichte) oder Verthyllung der Laubhölzer (z.B. bei Akazie) wird die kapillare Feuchteaufnahme stark reduziert, was sich auch beim Tränken in einer geringen Tränkmittelaufnahme äußert. Das Sorptionsverhalten kann z.B. durch die **H**ailwood-**H**orrobin-Sorptionstheorie (HH-Sorptionstheorie) oder die **B**runauer-**E**mmet-**T**eller-Sorptionsmethode (BET-Methode) beschrieben werden (siehe Popper, Niemz, Eberle 2001).

Durch thermische oder hydrothermische Vorbehandlung (z.B. auch Hochtemperaturtrocknung) kann die Gleichgewichtsfeuchte des Holzes reduziert werden (siehe z.B. Burmester 1975). Abb. 3.a) zeigt dies. Eine wesentliche Reduzierung der Holzfeuchte tritt etwa ab 200°C auf. Nach Burmester (1975) führt eine Wärme-Druckbehandlung zu

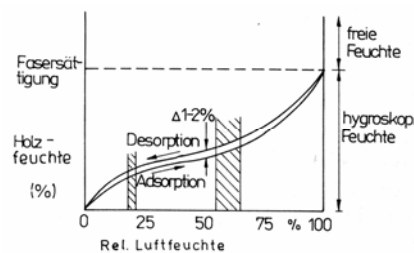
einer Verminderung des Hemicellulosegehaltes und dadurch zu einer verringerten Holzfeuchte und einer verbesserten Formbeständigkeit. Durch die thermische Behandlung bei Temperaturen zwischen 180 - 240°C wird die Gleichgewichtsfeuchte und das Schwindverhalten von Holz um bis zu 50 % reduziert. Auch durch Acetylierung und Phtalierung kann eine wesentliche Reduzierung der Gleichgewichtsfeuchte und eine Dimensionsstabilisierung erreicht werden. Bei der Acetylierung wird die sorptiv aktive Oberfläche reduziert (Popper und Bariska 1972, 1973, 1975). Eine weitere Möglichkeit ist z. B. das Ausfüllen der Zellwandhohlräume (z.B. mit Polyäthylenglykol).

Bei allen drei genannten Verfahren wird die Beständigkeit gegen holzerstörende Pilze teilweise verbessert. Thermomechanisch verdichtetes Holz hat eine etwas geringere Gleichgewichtsfeuchte als normales Vollholz. Erfolgt eine hydrothermische Behandlung und eine Verdichtung gleichzeitig, wird die Gleichgewichtsfeuchte gegenüber normalem Holz deutlich reduziert (Navi und Girardet 2000).

Durch das hygroskopische Verhalten des Holzes wird das Wohnraumklima wesentlich beeinflusst. Wohnräume mit einem höheren Holzanteil haben bei wechselndem Außenklima geringere Schwankungen der relativen Luftfeuchte als solche mit nichthygroskopischen Materialien. Holz leistet so einen messbaren Beitrag zur Verbesserung der Wohnbehaglichkeit (Okano (1978)).



a)



b)

Abb. 3: Sorptionsverhalten von Holz

a) Phasen der Sorption für Radiata pine bei verschiedener thermischer Behandlung im belüfteten Trockenschrank und Phasen der Sorption

b) Hysterese-Effekt in der Trocknungsphase

Diffusion

Unterhalb der Fasersättigung erfolgt der Feuchtetransport überwiegend durch Diffusion. Als Kenngröße wird die Diffusionswiderstandszahl μ verwendet.

Die Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl μ eines Stoffes (DIN EN ISO 12572, auch als Diffusionswiderstandsfaktor benannt) ist der Quotient aus dem Wasserdampf-Diffusionsleitkoeffizienten der Luft δ_D und dem des betreffenden Stoffes und gibt an, wieviel mal grösser der Diffusionsdurchlasswiderstand des Stoffes ist als der einer gleich dicken, ruhenden Luftschicht gleicher Temperatur.

Die Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl von Holz ist von der Holzfeuchte und der Dichte abhängig. Sie steigt mit abnehmender Feuchte und zunehmender Rohdichte. Für diffusionsoffene Konstruktionen werden daher Werkstoffe mit geringer Rohdichte verwendet.

Wasseraufnahme durch Kapillarkräfte

Holz kann bei Wasserlagerung oder Schlagregen auch Wasser durch Kapillarkräfte aufnehmen. Der Flüssigkeitstransport erfolgt dabei von weiten zu engen Kapillaren.

Die Geschwindigkeit der Wasseraufnahme wird dabei entscheidend beeinflusst durch:

- die Dichte des Materials (mit zunehmender Dichte sinkt die Aufnahmegeschwindigkeit)
- die anatomische Richtung des Holzes (in Faserrichtung ist die Feuchteaufnahme deutlich höher als senkrecht dazu)
- die Holzart
- eine vorhandene Oberflächenbeschichtung
- die Abmessungen der Bauteile.

Kenngrösse für die Wasseraufnahme durch kapillare Zugspannungen (flüssiges Wasser wie Schlagregen) ist der Wasseraufnahmekoeffizient. Dieser wird nach prEN ISO 15148 bestimmt und in $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \sqrt{\text{s}})$ angegeben.

Er beträgt nach eigenen Messungen:

Bei Fichte:

Längs:	0,017
Radial:	0,003
Tangential:	0,004

Bei Buche:

Längs:	0,044
Radial:	0,005
Tangential:	0,004

Bei Lärche:

Längs:	0,0047
Radial:	0,0020
Tangential:	0,0021

Bei Spanplatten (Dichte $670 \text{ kg}/\text{m}^3$):

In der Plattenebene:	0,025
Senkrecht zur Plattenebene:	0,0014

Die Wasseraufnahme in Faserrichtung ist pro Zeiteinheit deutlich höher als radial und tangential. Diese Differenzierung gilt auch für die Feuchteaufnahme aus der Luft. Daher wird bei grossen Querschnitten, wie sie z. B. im Bauwesen (Brettschichtholz) vorkommen, nur nach einer sehr langen Lagerdauer die Gleichgewichtsfeuchte über dem gesamten Querschnitt erreicht. Dies gilt auch für die Feuchteaufnahme bei Wasserlagerung. So ist es bei Fichte im trockenen Zustand sehr schwierig, eine vollständige Wiederbefeuchtung zu erreichen. Auch die Tränkbarkeit von Holz korreliert mit der Wasseraufnahme. Unter realen Bedingungen schwankt die Feuchte meist nur in den Randzonen stärker. Infolgedessen kommt es auch bevorzugt zur Spannungsbildung und Rissbildung in diesen Zonen, wobei die Schnitttrichtung die Rissbildung wesentlich beeinflusst. Wird eine Probe während der Wasseraufnahme am Quellen behindert, kommt es zu einer reduzierten Feuchteaufnahme.

2.2 Quellen und Schwinden

Bei der Feuchteänderung innerhalb des hygroskopischen Bereiches (bis zur Fasersättigung) kommt es zu Dimensionsänderungen. Oberhalb der Fasersättigung kann beim sogenannten Zellkollaps teilweise eine Volumenänderung durch kapillare Zugspannungen auftreten.

Bei Feuchteaufnahme kommt es zum Quellen, bei Feuchteabgabe zum Schwinden. Das Quell- und Schwindverhalten in den 3 Hauptschnitttrichtungen unterscheidet sich wesentlich. In Faserrichtung ist das Quellen und Schwinden gering. Holz quillt in Radialrichtung (Richtung Holzstrahlen) 10 - 20mal und tangential 15 - 30mal stärker als in Faserrichtung (Abb. 4). Mit zunehmender Rohdichte steigt die Quellung an. Zudem bestehen große Unterschiede im Quellverhalten zwischen den Holzarten. Durch Wärmebehandlung (Temperatur etwa ab 150°C bis 200°C) kann das Quell- und Schwindverhalten wesentlich reduziert werden. Häufig wird anstelle der maximalen Quell- bzw. Schwindmasse (Dimensionsänderung vom maximal gequollenen Zustand bezogen auf den Darrzustand) die differentielle Quellung in % Quellung pro % Feuchteänderung angegeben (%/%).

Tabelle1: Quellung und Schwindung von Holz nach DIN 52184

Holzart	maximales Quellmaß (%)			differentielles Quellmaß (%/%)	
	längs	radial	tangential	radial	tangential
Fichte	0,2-0,4	3,7	8,5	0,19	0,36
Kiefer	0,2-0,4	4,2	8,3	0,19	0,36
Lärche	0,1-0,3	3,4	8,5	0,14	0,30
Buche	0,2-0,6	6,2	13,4	0,20	0,41
Eiche	0,3-0,6	4,6	10,9	0,18	0,34
Teak	0,2-0,3	2,7	4,8	0,16	0,26

Tabelle 2: Holzfeuchte

Einsatzfall	Holzfeuchte in %
Schnittholz für Wohnraummöbel	8-10
Schnittholz für Bauzwecke	12-18
Inneneinbauten	8-12
Heizkörperverkleidungen	6-8

Wird Holz am Quellen bzw. Schwinden behindert (z.B. auch bei senkrecht zueinander verklebten Schichten in Massivholzplatten), entstehen innere Spannungen, die zu plastischen Verformungen und bei Überschreiten der Festigkeit schließlich zu Rissen führen können. Neben den inneren Spannungen im Material entstehen bei fester Einspannung der Proben auch erhebliche Quelldrücke. So wurde das Quellen des Holzes bereits in der Antike zum Sprengen von Steinen verwendet. Ein großer Anteil des durch die Einlagerung des Wassers in das Mikrosystem des Holzes auftretenden Quelldruckes wird durch innere Reibung und plastische Verformungen im Holz selbst abgebaut. Der an der Gesamtprobe messbare Quelldruck ist daher deutlich niedriger als der theoretisch berechenbare. Der Quelldruck ist in feuchter Luft höher als bei Wasserlagerung. Mit zunehmender Dichte des Holzes steigt der Quelldruck, er ist in Faserrichtung höher als senkrecht dazu. Im Labor wurden Quelldrücke bis etwa 30N/mm^2 gemessen (Perkitny (1960); Krauss (1988)).

Die Quellungsanisotropie des Holzes führt dazu, dass sich das trocknende Holz bei schräg verlaufenden Jahrringen stark verzieht. Auch lokale Inhomogenitäten (Dichteschwankungen, abweichende Jahrringlagen) führen bei langzeitiger Wechselklimalagerung zu unruhigen Oberflächen. Durch Oberflächenbeschichtung kann die Feuchteaufnahme des Holzes deutlich verzögert werden.

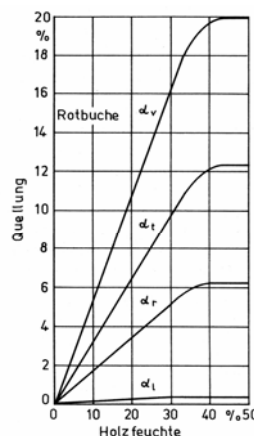


Abb.4: Quellverhalten von Rotbuche in Abhängigkeit von der Holzfeuchte und den Schnittrichtungen

Messverfahren zur Bestimmung des Feuchtegehaltes

Als Basismethode dient die Darrmethode. Dabei wird die Probe im feuchten und im darrtrockenen Zustand gewogen. Zur Bestimmung der Darrmasse erfolgt eine Trocknung bei 103°C bis zur Massekonstanz. Anschliessend wird die Probe in einem Exsikkator abgekühlt, und die Masse im darrtrockenen Zustand ermittelt. Der Feuchtegehalt wird nach Gl. 1 berechnet.

Weitere Methoden sind (vgl. Niemz 1993)

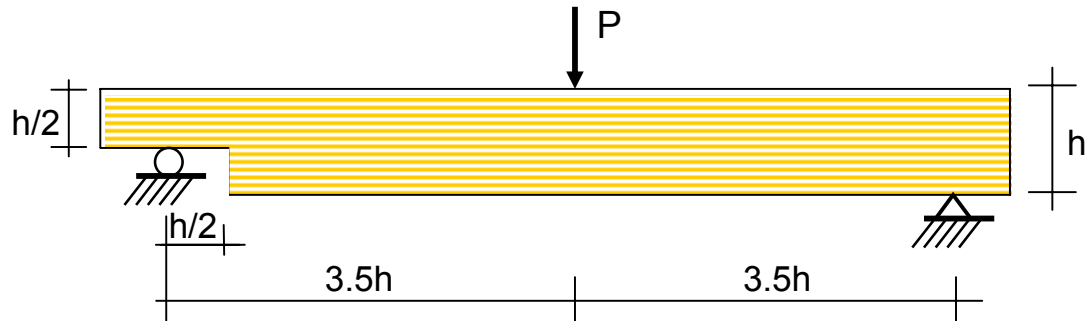
- die elektrische Widerstandsmessung (on- und offline)
- Mikrowellenverfahren
- die dielektrische Feuchtemessung
- optische Verfahren auf Basis der NIR- Spektroskopie
- die Neutronenradiographie; mit dieser Methode können lokale Feuchteverteilungen auch quantitativ nachgewiesen werden (Lehmann, Vontobel, Niemz et al. 2000)

Bedeutung der Holzfeuchte

Die Holzfeuchte beeinflusst alle Eigenschaften des Holzes wesentlich. Mit zunehmender Holzfeuchte sinkt die Festigkeit, steigt die Wärmeleitfähigkeit und erhöht sich die Anfälligkeit gegenüber holzerstörenden Pilzen.

Die Bauteilgrösse hat einen deutlichen Einfluss auf die Gleichgewichtsfeuchte und das Quell- und Schwindverhalten. Bei grossen Querschnittsabmessungen (z.B. bei Brett-schichtholz), wird bei Klimawechsel die dem Klima entsprechende Gleichgewichtsfeuchte meist nur in den Randzonen erreicht. Durch die dabei auftretende Quellungsbehinderung zwischen feuchten und trockenen Schichten ist die Quellung der Bauteile deutlich geringer als bei kleineren Proben bei Erreichen der Gleichgewichtsfeuchte über dem vollen Probenquerschnitt. Im Ergebnis eines sich über dem Holzquerschnitt einstellenden Feuchteprofils entstehen innere Spannungen, Verformungen und bei Überschreiten der Festigkeit häufig Risse. Durch die Überlagerung von äusseren mechanischen Beanspruchungen und inneren Spannungen kann das Verhalten von Bauteilen wesentlich beeinflusst werden. Dies hat z.B. Einfluss auf das Kriechen oder auch auf die Festigkeit von unter Dauerlast beanspruchten Holzkonstruktionen. So kann es z.B. durch Überlagerung von mechanischer Zugbelastung und Schwinden in den Randzonen eines Balkens dazu kommen, dass Holz in der Trocknungsphase unter Dauerlast versagt, in der Befeuchtungsphase dagegen nicht, da sich mechanische Belastung und Schwindspannungen addieren, in der Befeuchtungsphase dagegen subtrahieren (Abb. 5).

a)
Versuchsaufbau



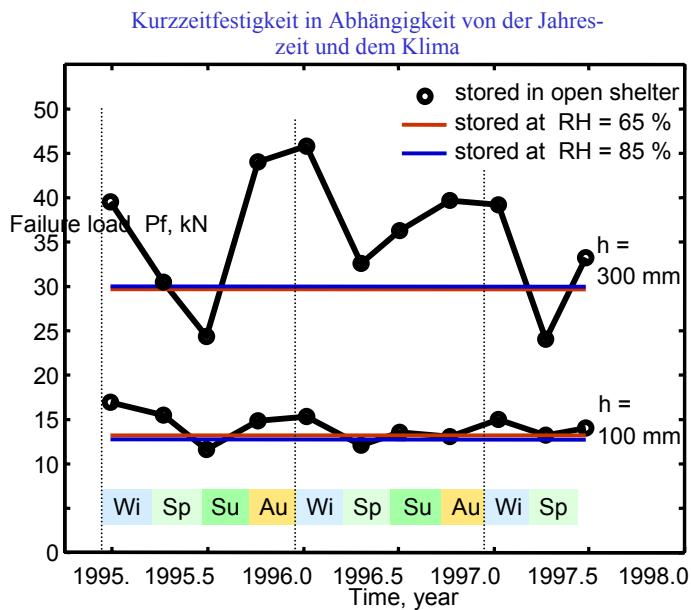
Geometrie:

Höhe: = 100 mm oder 300 mm

Breite: = 90 mm

Material:

Brettschichtholz aus Fichte, C35, Dichte 475 kg/m^3 , Holzfeuchte 12%



b)

Abb. 5: Bruchlast eines Balkens bei variabler Feuchte im Konstantklima und jahreszeitliche (luftfeuchtebedingte) Schwankungen (nach Gustafsson, Hoffmeyer und Valentin (1998))

- a) geprüfter Balken
- b) Verlauf der Festigkeit

3. Dichte

Die Rohdichte ist eine der wichtigsten Eigenschaften des Holzes. Sie beeinflusst nahezu alle Eigenschaften massgeblich (z.B. Festigkeit, Quell- und Schwindmaße, Wärmeleitfähigkeit). So steigen mit zunehmender Dichte Festigkeit, Quellung und die Wärmeleitfähigkeit. Die Dichte variiert zwischen den einzelnen Holzarten in einem weiten Bereich von 100kg/m^3 (Balsa) bis 1200kg/m^3 (Pockholz). Die Rohdichte berechnet sich zu:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \text{in kg/m}^3 \quad (\text{Gl. 2})$$

ρ	Rohdichte
m	Masse
V	Volumen

Infolge des hygroskopischen Verhaltens des Holzes ist die Dichte feuchteabhängig. Abb. 6 zeigt den Einfluss der Feuchte auf die Rohdichte (DIN 52182).

Es wird daher meist unterscheiden in:

- Darrdichte (Masse darrtrocken/Volumen darrtrocken)
- Normal-Rohdichte (Dichte im Normalklima bei $20^\circ\text{C}/65\%$ rel. Luftfeuchte), für die meisten europäischen Hölzer ist dabei die Holzfeuchte 12%
- Raumdichtezahl (Masse darrtrocken/Volumen im maximal gequollenen Zustand)
- Reindichte (Masse des darrtrockenen Holzes zu Volumen der reinen Zellwand, ohne Hohlräume). Die Reindichte beträgt für alle Holzarten einheitlich ca. 1500kg/m^3 .

Je höher die Rohdichte ist, umso höher ist der Zellwandanteil, der Porenanteil sinkt ab. So besteht Buche zu 44% aus Zellwandsubstanz, 56% aus Porenraum (Noack und Schwab (1986)).

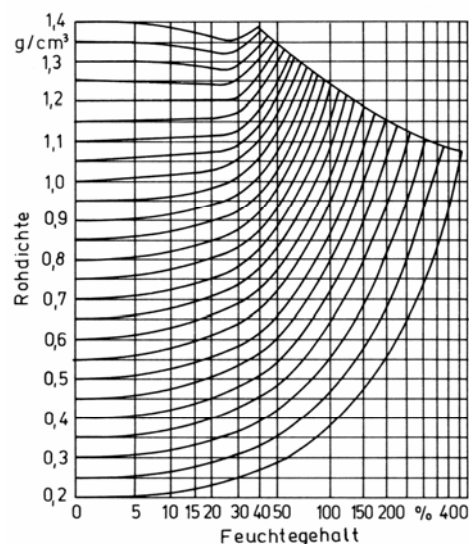


Abb.6: Einfluss der Holzfeuchte auf die Rohdichte (DIN 52182)

4. Thermische Eigenschaften

Wärmeleitfähigkeit/Wärmekapazität

Die Wärmeleitfähigkeit λ (W/mK) ist die Wärmemenge, die durch einen Würfel mit 1 m Kantenlänge bei einer Temperaturdifferenz von 1 K in einer Stunde hindurchfließt. Die Wärmeleitfähigkeit steigt mit zunehmender Holzfeuchte (1% $\Delta u = 1,25\% \Delta \lambda$) und zunehmender Rohdichte. Sie beträgt bei Fichte, Kiefer und Tanne 0,13 W/(mK), bei Buche und Eiche 0,20 W/(mK). In Faserrichtung ist sie doppelt so hoch wie senkrecht dazu. Die spezifische Wärmekapazität (in kJ/(kgK)) eines Stoffes ist die Wärmemenge, die erforderlich ist, um 1 kg dieses Stoffes um 1K zu erwärmen. Sie beträgt bei Holz im darrtrockenen Zustand etwa 1300 J/(kgK). Sie ist nahezu unabhängig von der Holzart, steigt aber mit zunehmender Holzfeuchte an (bei $u = 100\%$ auf 2800 J/(kgK)). Diese Kenngröße ist bei Holz und Holzwerkstoffen vergleichsweise hoch. Dies in Verbindung mit der geringen Wärmeleitfähigkeit bringt bei der Verwendung von Holzwerkstoffen zur Wärmedämmung (z.B. Faserdämmplatten) deutliche Vorteile im Vergleich zu Schaumstoffen oder Mineralwolle. Die effektiven Temperaturschwankungen sind also bei Dämmmaterialien auf Holzbasis geringer als z.B. bei mineralischen Dämmstoffen. Zudem tritt eine Phasenverschiebung der Temperaturmaxima auf.

Wärmeausdehnung

Die Wärmeausdehnung ist im Vergleich zur Ausdehnung durch Feuchteänderungen gering, kann aber z. B. bei Parkett (z.B. Fussbodenheizung) durchaus eine gewisse Bedeutung haben, da es sich in diesem Falle um recht große Flächen handelt. Sie beträgt bei Vollholz in Abhängigkeit von der Holzart und der Faserrichtung in Faserrichtung $3,15 - 4 \cdot 10^{-6}$ m/(mK), senkrecht zur Faserrichtung $16 - 40 \cdot 10^{-6}$ m/mK. Sie ist tangential etwas höher als radial.

Brandverhalten

Holz und Holzwerkstoffe sind brennbar (Baustoffklassen B). Der Zündpunkt (Temperatur bei der sich Holzgase bei Sauerstoffzufuhr selbst entzünden) liegt bei 330 bis 350°C, der Brennpunkt bei 260 bis 290°C. Holzstäube, wie sie bei der Holzverarbeitung auftreten, sind je nach Zusammensetzung des Staub- Luftgemisches hoch explosiv (Niemz 1993). Der Heizwert des Holzes liegt bei 15-17 MJ/kg, der von Braunkohlenbriketts bei 19-21 MJ/kg, er steigt mit der Rohdichte.

Einfluss der Temperatur auf die mechanischen Eigenschaften

Bei Erhöhung der Temperatur von Holz sinkt die Festigkeit (Niemz 1993). Nach Glos und Henrici (in Niemz 1993) reduzieren sich die Eigenschaften bei 100°C im Vergleich zu 20°C (vor der Klammer Bauholzabmessungen, in Klammer Daten für kleine Proben) auf folgende Werte:

- Biegefestigkeit 72 % (45%)
- Zugfestigkeit 92 % (89%)
- Druckfestigkeit 56 % (49 %)

Die geringe Wärmeleitung und Wärmeausdehnung des Holzes sowie die Ausbildung einer Holzkohleschicht am Rand erhöhen bei grossen Querschnittsabmessungen den Feuerwiderstand. Bei entsprechend grossen Querschnitten der tragenden Elemente verhalten sich daher Holzkonstruktionen günstiger als solche aus nichtbrennbaren Baustoffen wie Stahl. Dieser verliert bei den beim Brand auftretenden Temperaturen die Festigkeit und dehnt sich zudem aus. Es kommt zum Versagen (starkes Verformen und Einstürzen) der Konstruktion. Die Temperatur im Inneren grosser Holzquerschnitte (z.B. Brettschichtholz) erreicht dagegen maximal 100°C, die Festigkeitsreduzierung ist gering, die Tragfähigkeit bleibt erhalten.

5. Elektrische Eigenschaften

Darrtrockenes Holz ist ein guter Isolator. Der elektrische Widerstand steigt mit sinkender Holzfeuchte stark an (Abb. 7). So beträgt der spezifische Widerstand von Kiefer bei 0% Holzfeuchte $2,3 \cdot 10^{15} \Omega \cdot \text{cm}$, bei 7% Holzfeuchte $5,0 \cdot 10^{11} \Omega \cdot \text{cm}$ und bei 20% $3,0 \cdot 10^8 \Omega \cdot \text{cm}$. Mit zunehmender Temperatur sinkt der Widerstand.

Die relative Dielektrizitätskonstante von Fichte beträgt bei 0% Holzfeuchte 1,7, bei 30% 3,5 und bei 80% 7,0.

Elektrische und dielektrische Eigenschaften des Holzes werden industriell genutzt für:

- Die Bestimmung der Holzfeuchte (elektrischer Widerstand, Dielektrizitätskonstanten)
- Die Verklebung von Holz (dabei wird die lokal in der Klebfuge erhöhte Feuchte genutzt. Beim Anlegen von Hochfrequenzenergie kommt es zur ständigen Umpolarisierung der Wassermoleküle und die dadurch entstehende Reibung führt zur lokalen Erwärmung)

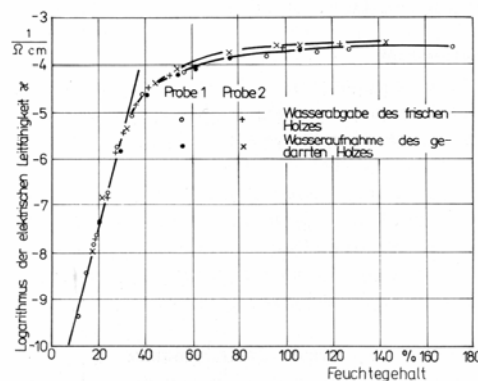


Abb. 7: Einfluss der Holzfeuchte und der Temperatur auf den elektrischen Widerstand von Redwood (nach Stamm, 1930, zitiert in Kollmann 1951)

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad \text{Gl. (4)}$$

E- E-Modul,
Für *Transversalwellen* gilt:

$$c_{Trans} = \sqrt{\frac{E}{\rho} * \frac{1}{2(1 + \mu)}} = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad \text{Gl. (5)}$$

Dabei bedeuten:

G- Schubmodul, ρ - Rohdichte, E- Elastizitätsmodul, μ - Poissonsche Konstante

Damit lassen sich E- und Schubmodul (G) über die Schallgeschwindigkeit bestimmen. Die nach dieser Methode bestimmten, sogenannten dynamischen E- und G-Moduli sind 10-20% höher als die im Normversuch mittels Universalprüfmaschine bestimmten. Schallwellen können zur zerstörungsfreien Prüfung in stehenden Bäumen und in verbaulichem Holz (z.B. Kontrolle von Dachstühlen) aber auch zur Festigkeitssortierung von Holz eingesetzt werden.

Einflussfaktoren auf die Schallausbreitung in Holz

Alle Parameter, welche Dichte und E-Modul bzw. Schubmodul beeinflussen, gehen also wesentlich in die Schallgeschwindigkeit ein. Dies sind insbesondere:

- die Rohdichte
- die Faserlänge
- die Schnitttrichtung ($E_{l\ddot{a}ngs} > E_{radial} > E_{tangential}$)

Einen wesentlichen Einfluss auf die Schallgeschwindigkeit haben auch der Faser-Lastwinkel (l\ddot{a}ngs/senkrecht zur Faser) sowie der Winkel zwischen radialer und tangentialer Richtung (radial ist die Schallgeschwindigkeit h\ddot{o}her als tangential). Senkrecht zur Faserrichtung ist die Schallgeschwindigkeit mit 1000-1600m/s deutlich niedriger als parallel (4800-6000m/s, siehe auch Tabelle 3)

Je nach Holzart kommt es zu einer erheblichen Variation der Schallgeschwindigkeit. Tabelle 1 zeigt die Schallgeschwindigkeit verschiedener Holzarten.

Mit zunehmender Holzfeuchte sinkt die Schallgeschwindigkeit, ebenso bei Erh\dd{o}hung der Temperatur. Relativ kleine Defekte wie \dd{A}ste, Stauchbr\dd{u}che oder lokaler F\dd{a}ulebefall lassen sich bei Holz infolge der niedrigen Frequenzen und der damit grossen Wellenl\dd{a}ngen (z.B. bei 50kHz und 6000m/s 12cm) kaum erfassen. Eine \dd{U}bersicht zur Schallausbreitung in Holz ist in Niemz (2003) vorhanden.

Tabelle 3: Schallgeschwindigkeit in Faserrichtung verschiedener Holzarten im Normal-klima (20°C/65% rel. Luftfeuchte)

Holzart	Rohdichte (kg/m ³)	Schallgeschwindigkeit (m/s)
Rotbuche	780	5100
Eiche	710	4800
Edelkastanie	490	5000
Fichte	470	5900
Tanne	530	5600
Kiefer	490	5300
Lärche	620	5200

8. Alterung und Beständigkeit

Auf Holz wirken im praktischen Gebrauch zahlreiche Faktoren ein, die die Dauerhaftigkeit beeinflussen:

Dies sind:

- Das Klima
- Mechanische Vorbeanspruchung
- Wirkung aggressiver Medien

Allgemein gilt, dass Holz im trockenen Zustand unbegrenzt haltbar ist (kein Pilz- und Insektenbefall vorausgesetzt). Die Dauerhaftigkeit unter erhöhter Feuchteeinwirkung ist stark von der Holzart (insbesondere den Holzinhaltstoffen) abhängig. Mit verstärktem Pilzbefall ist etwa oberhalb von 20% Holzfeuchte zu rechnen (stark abhängig von Pilzart). Tabelle 4 zeigt eine Übersicht.

Durch klimatische Einwirkung (UV-Strahlen der Sonne, Klimawechsel, Niederschläge) kommt es zu Farbveränderungen in der Oberfläche und durch die Kombination von Befeuchtung (Regen) und Trocknung (Sonnenstrahlen) zur Rissbildung. Lignin wird durch die UV-Strahlung abgebaut und ausgewaschen, die Oberfläche vergraut. Das weichere Frühholz wird schneller ausgewaschen als das dichtere Spätholz. Zusätzlich führen Schimmelpilze (Bläue- bzw. Vergrauungspilze) zu Farbveränderungen, die Oberfläche färbt sich grau bis schwarz (Sell, Fischer, Wigger (2001)). Risse treten bei Überschreiten der Querszugfestigkeit oder der Bruchdehnung auf. Die Risse sind in Tangentialrichtung stärker ausgeprägt und länger als in Radialrichtung. Für die Wiederverwendung von gebrauchtem Holz werden teilweise Abminderungen hinsichtlich der Tragfähigkeit vorgenommen (Niemz (1993)).

Gegenüber Chemikalien ist Holz relativ beständig, daher wird es z.B. gern als Dachbinder in Düngemittellagern verwendet. Beim Kontakt mit Metall kommt es je nach Holzart teilweise durch vorhandene Inhaltstoffe zu starken Verfärbungen (z.B. bei der Eiche Schwarzfärbung durch die Gerbsäure).

Tabelle 4: Dauerhaftigkeit verschiedener Holzarten

Holzart	Resistenzklasse gegen Pilze
Buche	5
Fichte	4
Tanne	4
Lärche	3-4
Kiefer	3-4
Douglasie	3-4
Eiche	2
Robinie	1-2

1- sehr dauerhaft (länger als 25 Jahre); 2- dauerhaft (15-25 Jahre); 3- mässig dauerhaft (10-15 Jahre); 4- wenig dauerhaft (5-10 Jahre), 5- nicht dauerhaft (weniger als 5 Jahre)

9 Elastomechanische und rheologische Eigenschaften

9.1 Übersicht zu wichtigen Einflussgrössen

Die elastomechanischen und rheologischen Eigenschaften von Holzwerkstoffen werden unterteilt in:

- Das elastische Verhalten charakterisierende Kenngrössen (E - Modul, Schubmodul, Poissonsche Konstanten)
- Festigkeitseigenschaften

Infolge des viskoelastischen Verhaltens von Holz sind alle Eigenschaften zudem zeitabhängig (elastische Konstanten und Festigkeitseigenschaften), es gilt also:

$$E, G = f(t); \sigma = f(t)$$

für E- Elastizitätsmodul, G- Schubmodul, σ - Festigkeitseigenschaften.

Stark vereinfacht kann Holz als orthotropes System mit den 3 Hauptachsen längs, radial und tangential betrachtet werden (Abb. 9). Dabei wird die Neigung zwischen den Jahrringen meist nicht berücksichtigt.

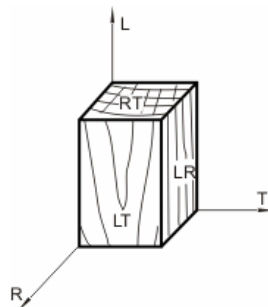


Abb. 9: Hauptachsen des Holzes und deren Zuordnung

L- Longitudinal (1), R- Radial (2), T- Tangential (3)

LT- Tangentialfläche, Fladerschnitt; RT-Querschnitt, Hirnfläche; LR- Radialfläche, Riftschnitt

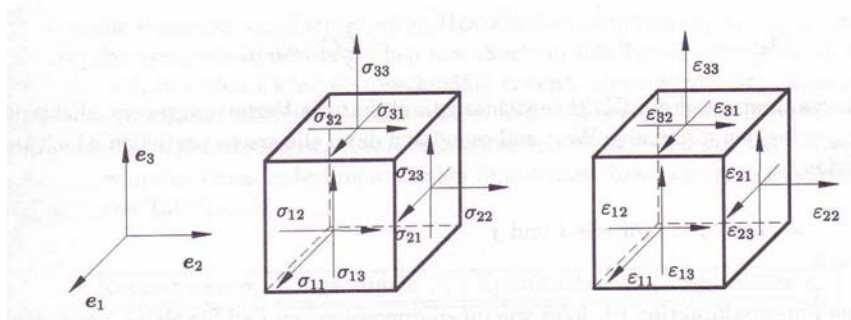
Nachfolgend werden die allgemeinen Grundlagen der Bestimmung der elastischen und der Festigkeitseigenschaften gegeben. In den Anlagen ist eine Übersicht zu den wesentlichen geltenden Normen enthalten.

9.2 Elastizitätsgesetz und Spannungs-Dehnungsdiagramm

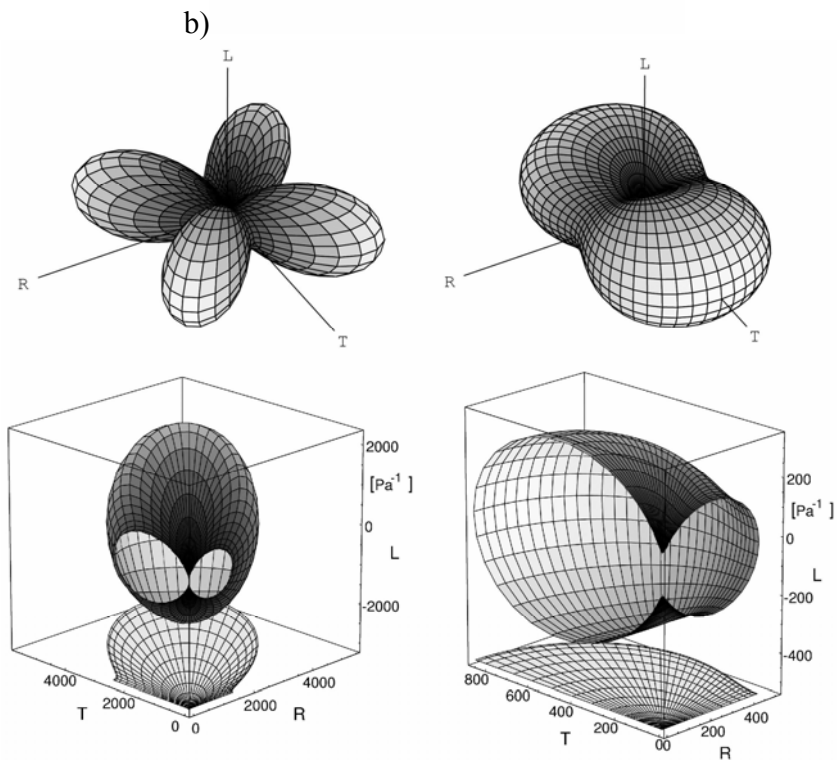
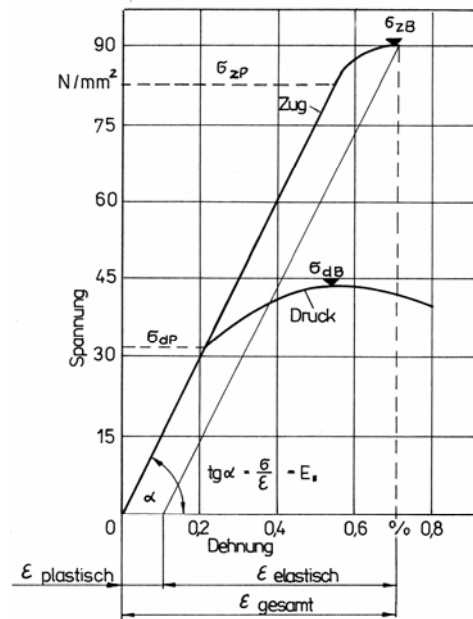
9.2.1 Grundlagen

Die Elastizität ist die Eigenschaft fester Körper, einer durch äussere Kräfte bewirkten Verformung entgegen zu wirken. Ausgangspunkt für die Verallgemeinerung des Hooke'schen Gesetzes auf den dreidimensionalen Spannungs- und Verzerrungszustand sind die in Abb. 10a dargestellten positiven Spannungen und Verzerrungen in einem Körper, dessen Kanten parallel zum Bezugssystem liegen. Gleiche Indizes führen zu Normalspannungen, ungleiche zu Schubspannungen. Der Spannungs- und der Verzerrungstensor werden als symmetrische Tensoren vorausgesetzt, d.h. es gilt $\sigma_{ij}=\sigma_{ji}$ und $\varepsilon_{ij}=\varepsilon_{ji}$. Von den 6 Schubspannungen sind also nur 3 voneinander unabhängig.

Nimmt der Körper nach der Entlastung seine Ursprungsform vollständig wieder an, so spricht man von einem ideal elastischen Körper. Zwischen Spannung und Dehnung besteht bei ideal elastischen Körpern ein linearer Zusammenhang (Hookesches Gesetz). Abb. 3.10b zeigt das Spannungs-Dehnungsdiagramm.



a)



c)

Abb. 10: Elastizitätsgesetz

a) Spannungen und Verzerrungen

b) Spannungs-Dehnungsdiagramm von Vollholz (einachsige Belastung)

c) Deformationskörper für Zugbelastung von Fichte (links) und Buche (rechts) nach Grimsel (1999)

Abb. 3.10c zeigt einen von Grimsel (1999) unter Nutzung der elastischen Konstanten berechneten dreidimensionalen Deformationskörper für Fichte und Buche bei Zugbelastung. Während sich Buche in tangentialer Richtung am stärksten verformt, tritt bei Fichte die grösste Deformation unter einem Winkel von 45° zu den Hauptachsen auf, was auf den geringen Schubmodul G_{RT} der Fichte zurückzuführen ist. Zwischen Laub- und Nadelholz bestehen bezüglich der Deformation grosse Unterschiede. Es kann eine Klassifizierung in Laub- und Nadelhölzer vorgenommen werden. Dies spiegelt sich auch in den in 9.2.2 aufgeführten Verhältniszahlen der elastischen Konstanten wieder.

Für die Dehnung gilt bei Normalspannungen gilt:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \quad (G. 6)$$

ε - Dehnung
 Δl - Längenänderung
 l - Anfangslänge

Innerhalb des elastischen Bereiches gilt (Hookesches Gesetz):

$$\sigma = \varepsilon \cdot E \quad (Gl. 7-1)$$

$$\tau = G \cdot \gamma \quad (Gl. 7-2)$$

σ - Spannung (N/mm^2)
 ε - Dehnung (%)
 γ - Gleitung $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ - Dehnungen (Körper ändert Abmessungen, d.h. Volumen aber nicht die Gestalt) $\gamma_{23}, \gamma_{13}, \gamma_{12}$ - Gleitungen (Körper ändert Gestalt, aber nicht Volumen);

E - Elastizitätsmodul (N/mm^2)
 G - Schubmodul (N/mm^2)
 τ - Schubspannungen in N/mm^2

Streng genommen gilt nach der Theorie der orthotropen Elastizität das verallgemeinerte Hookesche Gesetz. Abb. 9 zeigt die Koordinatenachsen.

Für einen orthotropen Körper wie Holz mit extremer Richtungsabhängigkeit der Eigenschaften entlang 3 Hauptachsen gilt unter Verwendung der Nachgiebigkeitsmatrix [S]:

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \gamma_{23} \\ \gamma_{13} \\ \gamma_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} & 0 & 0 & 0 \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} & 0 & 0 & 0 \\ S_{31} & S_{32} & S_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & S_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & S_{55} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & S_{66} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \tau_{23} \\ \tau_{13} \\ \tau_{12} \end{bmatrix} \quad (Gl. 8-1)$$

oder allgemein $\varepsilon = S \cdot \sigma$ (Gl. 8-2)

Prinzipiell ist auch die Darstellung als Elastizitätsmatrix [C] in analoger Form möglich.

$$\sigma = C \cdot \varepsilon \quad (Gl. 8-3)$$

Es gilt: $C=S^{-1}$ und $S=C^{-1}$

$\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ –Dehnungen (Körper ändert Abmessungen, d.h. Volumen aber nicht die Gestalt) $\gamma_{23} \gamma_{13} \gamma_{12}$ -Gleitungen (Körper ändert Gestalt, aber nicht Volumen);
 σ - Normalspannungen, τ -Schubspannungen

In der Matrix sind:

S_{ii} für $i = 1,2,3$ = Dehnungszahlen

S_{ii} für $i = 4,5,6$ = Gleitzahlen

S_{ik} für $i, k = 1,2,3$ = Querdehnungszahlen; $i \neq k$

Dabei gilt:

Für die E- Moduli:

$$E_1 = \frac{\sigma_1}{\varepsilon_1}, \quad E_2 = \frac{\sigma_2}{\varepsilon_2}, \quad E_3 = \frac{\sigma_3}{\varepsilon_3}$$

Für die G-Moduli:

$$G_{12} = \frac{\tau_{12}}{\gamma_{12}}, \quad G_{13} = \frac{\tau_{13}}{\gamma_{13}}, \quad G_{23} = \frac{\tau_{23}}{\gamma_{23}}$$

Für die Dehnungszahlen:

$$\begin{aligned} S_{11} &= \frac{1}{E_1}, & S_{22} &= \frac{1}{E_2}, & S_{33} &= \frac{1}{E_3} \\ S_{44} &= \frac{1}{G_{23}}, & S_{55} &= \frac{1}{G_{13}}, & S_{66} &= \frac{1}{G_{12}} \\ S_{12} &= \frac{-\mu_{21}}{E_2}, & S_{13} &= \frac{-\mu_{31}}{E_3}, & S_{23} &= \frac{-\mu_{32}}{E_3}, \end{aligned}$$

$$S_{21} = \frac{-\mu_{12}}{E_1}, \quad S_{31} = \frac{-\mu_{13}}{E_1}, \quad S_{32} = \frac{-\mu_{23}}{E_2}$$

μ - Poissonsche Konstante

G- Schubmodul

Es gibt also 3 E- Moduli, 3 Schubmoduli

und 6 Poissonsche Konstanten (davon sind 3 voneinander unabhängig).

Für die Poissonschen Konstanten von Vollholz gilt:

$$\frac{\mu_{RL}}{E_R} = \frac{\mu_{LR}}{E_L}, \quad \frac{\mu_{TL}}{E_T} = \frac{\mu_{LT}}{E_L}, \quad \frac{\mu_{TR}}{E_T} = \frac{\mu_{RT}}{E_R}$$

Bei praktischen Messungen kommen meist gewisse Abweichungen von der Symmetrie vor, so dass bei Berechnungen meist der Mittelwert verwendet wird, um die dafür notwendigen Symmetriebedingungen einzuhalten (siehe auch Bodig und Jayne (1993)).

Der 1. Index gibt die Richtung der Last, der zweite der Dehnung an. In der Fachliteratur wird hierbei häufig auch eine umgekehrte Bezeichnung verwendet. Die hier verwendete Bezeichnung lehnt sich an Bodig und Jayne sowie die in der Festkörpermechanik übliche an (z.B. Altenbach, H.; Altenbach, J.; Rickards, R.(1996)).

Die Verzerrungs-Spannungsbeziehungen können durch die Ingenieurkonstanten ersetzt werden. Im Verzerrungs-Spannungszustand lassen sich die Ingenieurkonstanten wie folgt zusammenfassen.

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \gamma_{23} \\ \gamma_{13} \\ \gamma_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{E_1} & -\frac{\mu_{21}}{E_2} & -\frac{\mu_{31}}{E_3} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\mu_{12}}{E_1} & \frac{1}{E_2} & -\frac{\mu_{32}}{E_3} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\mu_{13}}{E_1} & -\frac{\mu_{23}}{E_2} & \frac{1}{E_3} & 0 & 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{23}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{13}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{12}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \tau_{23} \\ \tau_{13} \\ \tau_{12} \end{bmatrix} \quad (Gl. 8-3)$$

ε - Normalspannungen

τ - Schubspannungen

Kenngrößen und deren Bestimmung

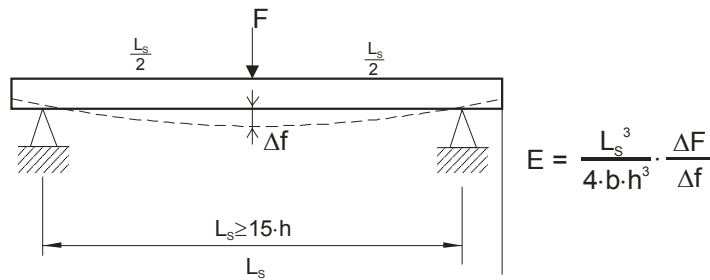
Die meist genutzten Kenngrößen sind der Elastizitäts- und der Schubmodul.

E-Modul

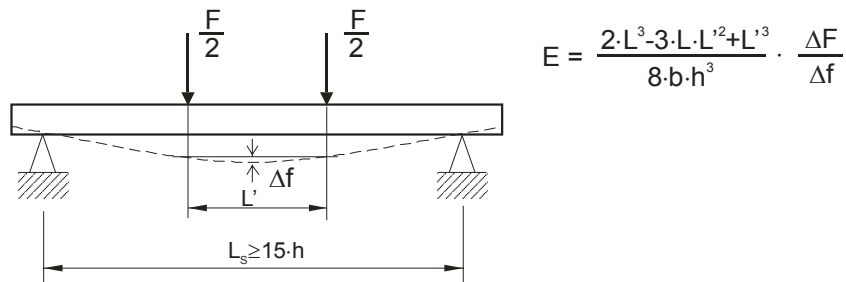
Der Elastizitätsmodul wird bei Normalspannungen (Zug, Druck) aus der Gleichung 8-1 (Abb. 9) nach dem Hookeschen Gesetz bestimmt. Die Kraft muss dabei unterhalb der Proportionalitätsgrenze liegen. Meist wird er durch Biegebelastung (Drei- oder Vier-

punkt) ermittelt (Abb. 11). Bei Dreipunktbelastung ist der bestimmte E-Modul vom Verhältnis Stützweite zu Dicke abhängig. Er steigt mit zunehmendem Verhältnis Stützweite zu Dicke auf etwa 15 - 20 an. Bei geringerem Verhältnis treten starke Schubverformungen auf. Der gemessene E-Modul ist dadurch geringer als der bei reiner Biegung bestimmte.

Dreipunktbelastung



Vierpunktbelastung



niemz_abb_3_23.cdr

Abb. 11: Bestimmung des E-Moduls bei Biegebelastung

Schubmodul

Wirkt ein Kräftepaar analog Abb. 12, treten Schubspannungen auf. Schubspannungen sind auch bei Biegung vorhanden, wenn Querkräfte auftreten (z.B. bei Dreipunktbelastung, Flächenlast).

Schubspannungen können insbesondere bei sandwichartig aufgebauten Werkstoffen (im Vergleich zur Deckschicht wesentlich schubweichere Mittellagen) zum Schubbruch führen. Auch bei Brettschichtholz kann es zum sogenannten Rollschub kommen (Abgleiten der Jahrringe an der Grenze Früh-Spätholz). Sehr typisch ist ein Versagen durch Rollschub bei Sperrholz und bei Brettschichtholz in den in RT-Richtung beanspruchten Mittellagen.

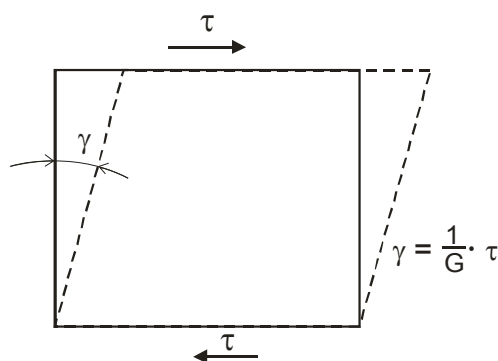


Abb. 12: Bestimmung des Schubmoduls

Poissonsche Konstante

Bei Druck- und Zugbelastung kommt es zu einer Formänderung der Probe in Belastungsrichtung und senkrecht dazu. Bei isotropen Materialien wird die Probe bei Druck kürzer und breiter, bei Zugbelastung länger und schmaler. Dabei gilt:

$$\frac{\Delta b}{b} = -\mu \cdot \frac{\Delta l}{l} \quad (\text{Gl. 9})$$
$$\mu = -\frac{\varepsilon_{\text{quer}}}{\varepsilon_{\text{längs}}}$$

also z.B.

$$\mu_{LT} = -\frac{\varepsilon_T}{\varepsilon_L}$$

μ - Poissonsche Konstante (-)

ε - Dehnung (%)

l - Länge der Probe, Δl - Längenänderung

b -Breite der Probe, Δb – Breitenänderung

Durch FEM Simulationsrechnungen stellte Grimsel (1999) fest, dass eine Holzprobe bei einachsiger Zugbelastung unter bestimmten Bedingungen gleichzeitig länger und dicker werden kann. Es können als bei bestimmter Jahrringlage durchaus auch positive Querdehnungen auftreten. Experimentelle Erfahrungen zeigen, dass bei der Bestimmung der Poissonschen Konstanten an Holz erhebliche Probleme auftreten. Zudem wird diese ebenso wie fast alle anderen Eigenschaften durch die Holzfeuchte beeinflusst. Arbeiten dazu führte Neuhaus (1981) durch.

Es gibt 6 Poissonsche Konstanten. Der 1. Index gibt bei der hier verwendeten Schreibweise die Richtung der Kraft (Längsdehnung), der zweite die Richtung der Querdehnung an.

9.2.2 Einflussfaktoren

Elastische und Festigkeitseigenschaften unterscheiden sich in den 3 Hauptschnittrichtungen deutlich. Noack und Schwab (in von Halász und Scheer (1986)) geben folgende Grössenverhältnisse an:

Elastizitäts-Moduln (E):	E_T	:	E_R	:	E_L
• bei Nadelholz:	1	:	1,7	:	20
• bei Laubholz:	1	:	1,7	:	13

Schub- Moduln (G):

G_{LR} (Schub der Radialfläche): G_{LT} (Schub der Tangentialfläche)

- bei Nadelholz: 1 : 1
- bei Laubholz: 1,3 : 1

G_{RT} (Schubmodul der Hirnfläche)

- bei Nadelholz: 10 % von G_{LT} (auf Grund durchgehender Frühholzzone)
- bei Laubholz: 40 % von G_{LT}

Querkontraktion:

Die Querkontraktion in tangentialer Richtung beträgt das 1,5-fache der Querkontraktion in Radialrichtung. Sie ist in Faserrichtung am geringsten.

Tabelle 3 und 4 der Anlage 2 zeigen ausgewählte Kennwerte der Poissonschen Konstanten.

9.3 Rheologische Eigenschaften

Holz ist viskoelastisch, d.h. alle seine Eigenschaften sind zeitabhängig. Es wird unterschieden zwischen:

- Kriechen
- Spannungsrelaxation und
- Dauerstandfestigkeit.

Kriechen

Wird eine Probe durch eine konstante Last beansprucht, so nimmt das Ausmass der Formänderung mit der Zeit zu. Dabei treten folgende Phasen auf:

- Primärkriechen
- Sekundärkriechen
- Tertiärkriechen.

In der Primärphase steigt die Kriechverformung zunächst stetig an. In der Sekundärphase kommt es zu einer Stabilisierung der Kriechverformung. Wird die Spannung erhöht, kommt es zum Tertiärkriechen und schliesslich zum Bruch. Dieser zeichnet sich bereits frühzeitig durch einen progressiven Anstieg der Kriechverformung ab (Abb. 13).

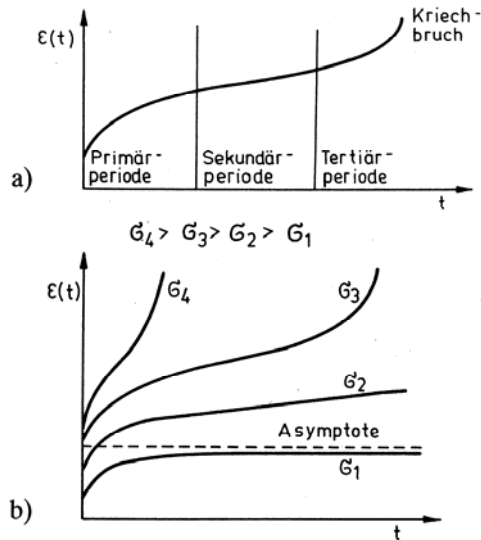


Abb. 13: Phasen der Kriechverformung

Als Kenngrösse für die Kriechverformung wird meist die dimensionslose Kriechzahl verwendet. Dabei gilt:

$$\varphi = \frac{f_t - f_0}{f_0} \quad (\text{Gl. 10})$$

φ - Kriechzahl

f_t - zeitabhängige Durchbiegung

f_0 -elastische Durchbiegung

Senkrecht zur Faserrichtung wird etwa die 8-fache Kriechzahl erreicht wie parallel zur Faserrichtung (Niemz (1993)). Folgende Rangordnung ergibt bezüglich der Grösse der Kriechverformung (von oben nach unten zunehmend):

- Vollholz
- Schichtholz, LVL, Parallam
- Sperrholz, Massivholzplatte
- OSB
- Spanplatte
- MDF, HDF, harte Faserplatte (Nassverfahren)

Das Verhältnis der Kriechverformung von Vollholz : Spanplatte : Faserplatte beträgt etwa 1 : 4 : 5.

Mit zunehmender Holzfeuchte steigt die Kriechverformung im Konstantklima deutlich an. Im Wechselklima (wechselnde relative Luftfeuchtigkeit) kommt es zur Überlagerung des Quellverhaltens (und daraus resultierender innerer Spannungen) und des durch die (äussere) Belastung bewirkten Kriechens. Dieser Effekt wird auch als mechanosorptives Kriechen bezeichnet. Dadurch kann die Kriechverformung z.B. bei Vollholz bei **Biegebe-**

lastung in der Trocknungsphase (Kriechen und Schwinden des Holzes) steigen und in der Durchfeuchtungsphase (Kriechen und Quellen) sinken.

Dieser Effekt bei Biegebelastung wird als Kriechphänomen bezeichnet. Bei Spanplatten und MDF tritt er nicht auf. Der Effekt wird deutlich durch die Dauer der Klimaeinwirkung, den Probenquerschnitt und die Höhe der Last beeinflusst (Hanhijärvi 1995).

Eine Erhöhung der Last bewirkt einen Anstieg der Kriechverformung. Eine zusammenfassende Darstellung enthalten Gressel (1971) und Niemz (1993).

Tabelle 3.7 zeigt orientierende Richtwerte für die Kriechverformung nach 140 Tagen Belastung. Die Kriechzahl von Vollholz liegt im Normalklima in Faserrichtung bei 0,1-0,3 senkrecht zur Faserrichtung bei 0,8 -1,6.

Durch Oberflächenbeschichtung und die damit einhergehende Reduzierung der Feuchtaufnahme kann das Kriechverhalten vermindert werden.

Spannungsrelaxation

Wird eine Probe konstant verformt, so sinkt die zur Aufrechterhaltung der Verformung erforderliche Spannung mit zunehmender Zeit ab. Man spricht dabei von Spannungsrelaxation. Spannungsrelaxation tritt z. B. bei vorgespannten Holzkonstruktionen wie Brücken auf, sie liegt etwa in der Größenordnung der Kriechverformung.

Abb. 14 zeigt die Spannungsrelaxation bei Druckbelastung im Wechselklima. In der Trocknungsphase sinkt die Spannung (hervorgerufen durch das Schwinden), in der Befeuchtungsphase steigt sie. Mit steigender Zyklenanzahl sinkt die Spannung deutlich ab. Zwischen Konstant- und Wechselklima bestehen deutliche Unterschiede. Die Spannung reduziert sich bei vorgespanntem Brettschichtholz nach 70 Tagen wie folgt (Popper, Gehri und Eberle 1999):

- im Normalklima bei 65% relativer Luftfeuchte um 10 %,
- im Klima bei 88 % r.L. um 48%
- bei Befeuchtung von 65% auf 88% r.L. um 25 %
- bei Trocknung von 88% auf 65% r.L. um 60%

Die Verbindungen müssen also kontrolliert nachgespannt werden; häufig werden die Vorspannelemente eingeklebt (Popper, Gehri und Eberle 1998). Dabei zeigte sich, dass z.B. beim Einleimen von Buchenholz mit $0,5 \text{ N/mm}^2$ Vorspannung in Brettschichtholz mindestens ein Bewehrungsfaktor von 0,4% (Volumen des eingeklebten Vorspannelementes zum Volumen des zu bewehrenden Holzes ohne Bohrung) erforderlich ist. Die durch die Armierung erreichbare Dimensionsstabilisierung betrug etwa 83%.

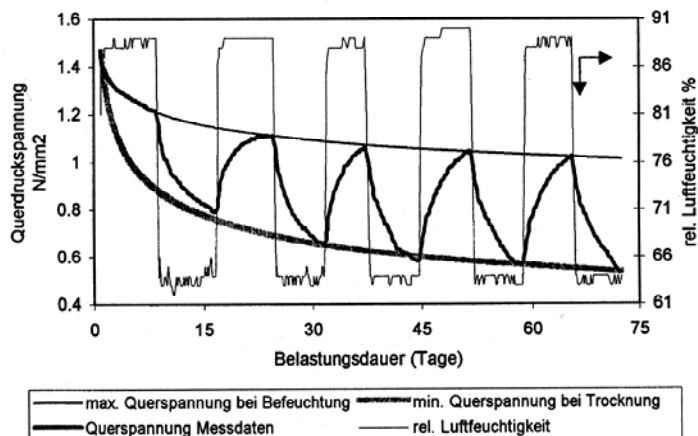


Abb. 14: Spannungs- und Feuchteverlauf in vorgespanntem Brettschichtholz (Spannungsrelaxation) nach Popper, Gehri und Eberle (1999)

Der Betrag der Spannungsrelaxation liegt etwa in Höhe der Kriechverformung.

Dauerstandfestigkeit

Die Dauerstandfestigkeit ist die Spannung, mit der ein Werkstoff bei unendlich langer statischer Belastung gerade noch belastet werden kann ohne zu brechen. Auch hier wirken die gleichen Einflussgrößen, die bereits für das Kriechen und die Relaxation beschrieben wurden. Die Dauerstandfestigkeit liegt im Normalklima bei ca. 60 % der Kurzzeitfestigkeit.

Rheologische Modelle

Zur Beschreibung des rheologischen Verhaltens werden oft rheologische Ersatzmodelle verwendet. Diese bestehen aus elastischen (Federn) und viskosen Elementen (zähes Fliesen in einem Dämpfer), die in verschiedenen Kombinationen zusammengeschaltet werden. Häufig wird das Burgers-Modell verwendet.

9.4 Festigkeitseigenschaften

Die Festigkeit ist die Grenzspannung, bei welcher ein Prüfkörper unter Belastung bricht. Es wird nach der Geschwindigkeit des Lasteintrages unterschieden zwischen

- statischer Festigkeit (langsamer Kraftanstieg bis zum Bruch) und
- dynamischer Festigkeit (schlagartige Krafteinwirkung oder wechselnde Belastung).

Nach der Krafteinleitung wird ferner unterteilt in

- Zugfestigkeit
- Druckfestigkeit
- Biegefestigkeit
- Scherfestigkeit
- Spaltfestigkeit
- Torsionsfestigkeit
- Haltevermögen von Verbindungsmitteln (Schrauben, Nägel, etc.).

Da Holz eine erhebliche Streuung der Eigenschaften aufweist, wird in der Praxis mit Sicherheitszugaben gearbeitet. Im Bauwesen wird meist die sogenannte 5 % Fraktile (oder charakteristischer Wert) verwendet (siehe z.B. Dunky und Niemz (2002)). Unter Voraussetzung einer Normalverteilung berechnen sich diese folgendermassen:

- unteres 5%-Quantil:

$$L^q_{5\%} = x - s \cdot t \quad (Gl.11-1)$$

- oberes 5%-Quantil:

$$U^q_{5\%} = x + s \cdot t \quad (Gl.11-2)$$

s Standardabweichung

t Wert der t- Verteilung (DIN EN 326-1), dabei muss die Anzahl der Messwerte, die Irrtumswahrscheinlichkeit (im allgemeinen 5%) und die Aussagewahrscheinlichkeit (im allgemeinen 95%) berücksichtigt werden.

x ...

Meist erfolgt eine einaxiale Belastung. Arbeiten zu biaxialer Belastung führte Eberhardsteiner (2002) durch. Das Verformungs- und auch das Bruchverhalten werden auf verschiedenen Strukturebenen (Brett, Normproben, Früh- und Spätholz, Zellwandschichten, Holzfasern) intensiv untersucht und zumindest das elastische Verhalten auch modelliert. (z.B. Persson (2000)).

Anlage 2 enthält ausgewählte mechanische Kennwerte von Holz.

9.4.1 Zugfestigkeit

Die Zugfestigkeit berechnet sich nach Gl. 12 zu:

$$\sigma_{zB} = \frac{F_{\max}}{A} \quad (Gl.12)$$

F_{\max} - Bruchkraft

A- Querschnittsfläche der Probe (Länge · Breite)

σ_{zB} - Zugfestigkeit in N/mm²

Die Zugfestigkeit wird an kleinen, fehlerfreien Proben nach DIN 52188, an Bauholz nach EN 408 bestimmt. Die Zugfestigkeit senkrecht zur Faserrichtung liegt bei lediglich 5-10% der Zugfestigkeit in Faserrichtung. Querzugbeanspruchung ist daher im Holzbau möglichst zu vermeiden. Gewisse Unterschiede bestehen auch zwischen radialer und tangentialer Richtung. In radialer Richtung macht sich teilweise eine verstärkende Wirkung der Holzstrahlen bemerkbar (siehe Burgert (2000)).

9.4.2 Druckfestigkeit

Die Druckfestigkeit (σ_{dB}) berechnet sich analog Gl. 12. Bei Druckbelastung ist zwischen der Belastung in Faserrichtung und senkrecht dazu zu unterscheiden. Bei Druck senkrecht zur Faserrichtung wird meist die Spannung bei einer bestimmten Verdichtung/Zusammendrückung (z. B. 5 %) geprüft, da sich Holz stark zusammendrücken lässt und kein eigentlicher Bruch entsteht. Die Druckfestigkeit in Faserrichtung von Vollholz liegt etwa bei der Hälfte der Zugfestigkeit (vgl. auch Abb. 10). Die Druckfestigkeit senkrecht zur Faserrichtung ist sehr gering. Im Holzbau muss daher bei Querdruckbelastung das senkrecht zur Faserrichtung beanspruchte Element häufig verstärkt werden, um ein Überschreiten der Bruchspannung senkrecht zur Faser zu verhindern.

9.4.3 Biegefestigkeit

Die Biegefestigkeit berechnet sich nach Gl. 13 zu:

$$\sigma_{bB} = \frac{M_b}{W_b} \quad (\text{Gl. 13-1})$$

für einen rechteckigen Querschnitt und eine Dreipunktbiegung gilt:

$$\sigma_{bB} = \frac{3 \cdot F_{\max} \cdot l_s}{2 \cdot b \cdot h^2} \quad (\text{Gl. 13-2})$$

M_b -Biegemoment

W_b -Widerstandsmoment

σ_{bB} - Biegefestigkeit in N/mm²

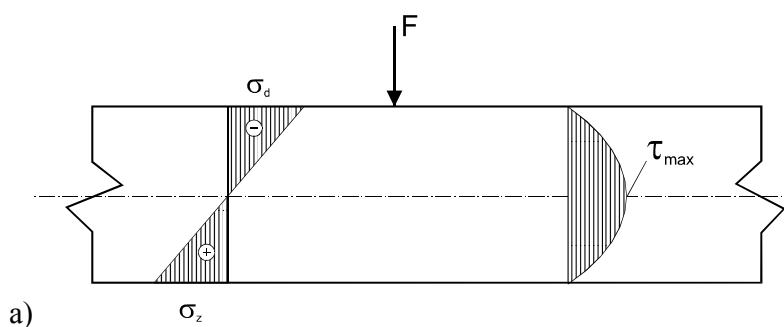
F_{\max} -Bruchkraft

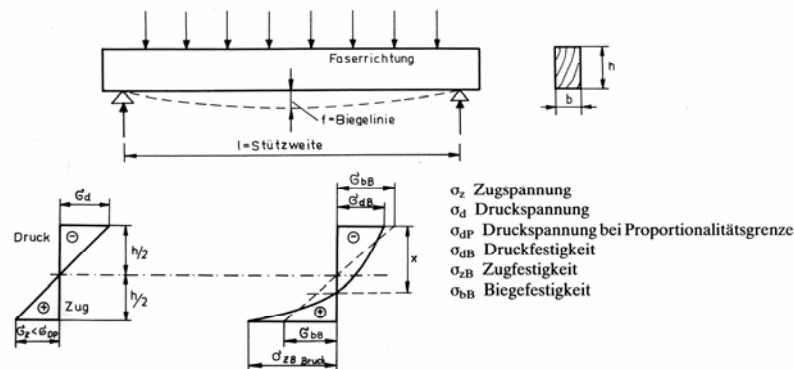
l_s - Stützweite

b- Probenbreite

h- Probenhöhe

Die gebräuchlichsten Belastungsfälle sind der Dreipunkt-Versuch (Träger auf 2 Stützen mit mittiger Einzellast) und der Vierpunkt-Versuch (Träger auf 2 Stützen und Krafteinleitung über 2 Kräfte). Bei Biegung treten Zug- und Druckspannungen in den Randzonen auf. Je nach Belastungsfall sind bei Einwirkung von Querkraften (z.B. bei Dreipunktbiegung) Schubspannungen vorhanden, die in der neutralen Faser das Maximum erreichen. (Abb. 15).





b)

Abb. 15: Spannungsverteilung bei Biegebelastung

- a) Normal- und Schubspannungen bei Dreipunktbiegung
- b) Verschiebung der Spannungsnulllinie bei Vollholz

Bei der Vierpunktbelastung ist der mittlere Bereich zwischen den beiden Kräften schubspannungsfrei. Schubspannungen treten dort nur in den Randbereichen zwischen den Auflagern und dem Kräfteintrag auf. Daher kann bei Vierpunktbelastung unter Zugrundelegung der Durchbiegung im schubspannungsfreien Bereich ein E-Modul bei reiner Biegung ermittelt werden.

Bei Dreipunktbelastung ist das Ergebnis dagegen durch die auftretenden Querkräfte immer vom Schubeinfluss überlagert. Der Biege-E-Modul ist also in diesem Falle vom Verhältnis Stützweite zu Dicke abhängig. Mit zunehmender Belastung verschiebt sich infolge der Unterschiede zwischen Zug- und Druckfestigkeit bei Vollholz die Spannungsnulllinie in Richtung Zugzone (Abb. 15b), bei Holzpartikelwerkstoffen ist dies nicht der Fall, da Zug- und Druckfestigkeit etwa in gleicher Größenordnung liegen (Niemz (1993)).

Teilweise wird auch die Brucharbeit beim statischen Kurzzeitversuch zur Charakterisierung des Bruchverhaltens verwendet. Dabei wird die Fläche bis zur maximalen Bruchkraft im Spannungs-Dehnungsdiagramm ermittelt (Angabe in kJ). In amerikanischer Literatur wird teilweise auch die Brucharbeit in kJ/m^3 (bezogen auf das Probenvolumen zwischen den Auflagern) angegeben.

$$W_u = \frac{W_{F_{\max}}}{V} \quad (\text{Gl. 14})$$

Die Brucharbeit sagt etwas zur Zähigkeit des Materials aus.

W_u - Arbeit bis zur Maximalkraft beim Bruch in kJ/m^3 (Flächenintegral)

$W_{F_{\max}}$ - Arbeit bis F_{\max} in kJ

V- Volumen der Probe im Bereich zwischen den Auflagern ($l \cdot b \cdot h$)

Eine hohe Brucharbeit ist für einen eher zähen Bruch charakteristisch (z.B. für Eibe typisch).

9.4.4 Scher- und Spaltfestigkeit

Scherfestigkeit

Die Scherfestigkeit ist der Widerstand, den ein Körper einer Verschiebung zweier aneinander liegender (angrenzender) Flächen entgegengesetzt. Bei Scherbelastung wirken zwei gegenläufig angreifende Kräftepaare. Die Scherfestigkeit berechnet sich nach Gl. 14 zu:

$$\sigma_{scher} = \frac{F_{max}}{a \cdot b} \quad (Gl. 15)$$

σ_{scher} - Scherfestigkeit in N/mm²

F_{max} - Bruchlast

a, b - Querschnittsabmessungen

Tabelle 2 in Anlage 2 zeigt die Scherebenen. Die Scherfestigkeit bei Belastung parallel zur Faserrichtung (Scherfläche LR oder LT) ist grösser als diejenige senkrecht zur Faserrichtung (Scherfläche LR oder LT). Bei Belastung senkrecht zur Faser kommt es zu einer starken Zusammendrückung des Holzes, da die Querdruckfestigkeit gering ist. Beim Scheren in der Hirnfläche (RT) kommt es zunächst zu einer starken Verdichtung des Holzes, erst danach zum Scheren, wobei beim Bruch eine starke Strukturauflösung stattfindet. Ein eigentlicher Scherbruch wird in dieser Scherebene kaum erreicht. Es wird dabei letztlich die Scherfestigkeit des verdichteten Holzes geprüft.

Spaltfestigkeit/Spaltbarkeit

Holz ist in Radialrichtung gut spaltbar, tangential deutlich schlechter, senkrecht zur Faserrichtung nicht. In der Spaltbarkeit bestehen erhebliche Unterschiede zwischen den Holzarten. Sehr gut spaltbar sind Fichte, Pappel, Douglasie, schwer spaltbar sind Eiche, Esche und Obsthölzer. Es ist ein deutlicher Einfluss der Dichte und des Faserverlaufs vorhanden. Mit zunehmender Dichte verschlechtert sich die Spaltbarkeit. Geradfasrige Hölzer lassen sich gut, solche mit Wechseldrehwuchs schlecht spalten.

9.4.4.5 Auszieh widerstand von Nägeln und Schrauben

Der Schrauben- bzw. Nagelauszieh widerstand ist die Kraft, die zum Herausziehen einer Schraube oder eines Nagels aus dem Holz unter definierten Bedingungen (Vorbohren, Einschraub- oder Einschlagtiefe) erforderlich ist. Wichtigste Einflussgrösse ist die Rohdichte.

9.4.5 Härte

Die Härte ist der Widerstand, den Holz dem Eindringen eines härteren Materials entgegengesetzt. Die Härte ist insbesondere bei Parkett von grosser Bedeutung.

Die am häufigsten benutzte Methode ist die Prüfung nach Brinell. Dabei wird eine Stahlkugel (z.B. 2,5 oder 10mm Durchmesser) mit einer materialabhängigen, konstanten Kraft belastet und der Durchmesser des Kugeleindruckes nach Entlastung bestimmt. Die Härte steigt mit zunehmender Dichte des Holzes linear an (Schwab 1990, siehe auch Tabelle 4). Das Messergebnis ist aber auch abhängig von der Höhe der Belastung bei der Prüfung.

Die Prüflast wird daher stets mit vermerkt. Moderne Messverfahren erlauben es, durch Messung der Kraft und der Eindringtiefe die Brinellhärte zu berechnen (Stübi und Niemz 2000).

Die Härte berechnet sich wie folgt:

- unter Verwendung des Durchmessers des Eindruckes

$$HB = \frac{2F}{\pi \cdot D \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)} \quad (Gl. 16)$$

- unter Verwendung der Eindringtiefe

$$HB = \frac{F}{D \cdot \pi \cdot h} \quad (Gl. 17)$$

HB- Härte nach Brinell (N/mm²)

F- Kraft (N)

D- Kugeldurchmesser (mm)

d- Kalottendurchmesser (mm)

h- Eindringtiefe (mm)

Tabelle.4: Brinellhärte verschiedener Holzarten nach Sell (1997)

Holzart	Rohdichte in g/cm ³ bei u = 12%	Brinellhärte auf Hirnfläche in N/mm ²	Brinellhärte auf Sei- tenfläche in N/mm ²
Balsa	0,10...0,23	4...7	2...3
Buchsbaum	0,90...1,03	112	58
Fichte	0,43...0,47	31	12...16
Kiefer	0,51...0,55	39...41	14...23
Lärche	0,54...0,62	47...52	19...25

9.4.6 Sonstige Eigenschaften

Schlagzähigkeit

Die Schlagzähigkeit des Holzes ist der Widerstand gegenüber einer z.B. mittels Pendel-schlagwerk (Labormaßstab) erzeugten schlagartigen Belastung. Gemessen wird die Bruchschlagarbeit in kJ/m². Insbesondere Pilzbefall wirkt sich stark negativ auf die Bruchschlagarbeit aus.

Wechselfestigkeit

Darunter wird bei einer dynamischen Belastung (z.B. wechselnde Zug- und Druckbelas-tung analog dem Wöhler-Diagramm) die Spannung verstanden, der das Holz bei definier-

ter Beanspruchungsdauer ausgesetzt werden kann, ohne zu brechen. Sie wird als prozentualer Anteil der Kurzzeitfestigkeit angegeben.

Reibungsbeiwerte

Unter dem Reibungsbeiwert μ versteht man das Verhältnis von Reibkraft F_R zu Normalkraft F_N . Wir unterscheiden zwischen Haft- und Gleitreibung. Die Gleitreibung ist geringer als die Haftreibung. Der Haftreibungsbeiwert von Fichte parallel zur Faser liegt bei 0,6 bis 0,8; der Gleitreibungsbeiwert bei 0,4 bis 0,5.

Bruchzähigkeit (K_{IC})/ Bruchenergie

Im Rahmen der Einführung neuer Berechnungsmethoden für die Dimensionierung von Holzkonstruktionen gewinnt die Bruchzähigkeit auch in der Holzforschung zunehmend an Bedeutung. Wir unterscheiden 3 verschiedene Moden (Mode I: Normalspannungen (symmetrisches Öffnen des Risses (Spalten), Mode II: Längsschubriss, Mode III: Querschubriss).

Gegenstand der Bruchmechanik ist die Entwicklung analytischer Modelle des Bruchvorganges sowie von Kenngrößen und Prüfmethoden zur bruchsicheren Gestaltung von Werkstoffen und Bauteilen. Unter der Bruchzähigkeit versteht man den kritischen Spannungsintensitätsfaktor K_{IC} , bei dem Gewaltbruch eintritt. Der Wert von K_{IC} gibt Aufschluss darüber, welchen Widerstand ein Material der Ausbreitung eines Risses entgegensetzt. Neben der Bruchzähigkeit wird häufig die Bruchenergie geprüft.

$$K = \frac{P}{B \cdot \sqrt{W}} \cdot Y$$
$$K = \sigma \cdot \sqrt{a} \cdot f\left(\frac{a}{W}\right) \quad (Gl. 18)$$

K- Spannungsintensität (MPa $\cdot \sqrt{m}$)

σ - Spannung (MPa)

a- Risslänge (mm)

P- Kraft (N)

B- Dicke (mm)

W- Probenweite (mm)

Y- Geometriefaktor ($Y = f(a/W)$)

Für Fichte liegt der Wert für K_{IC} in der RL Ebene bei 0,27-0,42, in der TL Ebene bei 0,25-0,42 MPa $\cdot \sqrt{m}$.

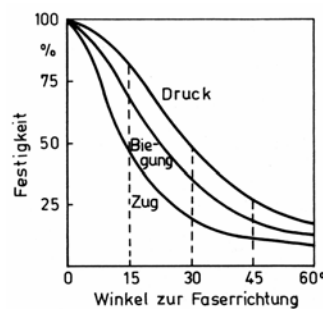
Häufig wird auch die in vielen Fällen aussagefähigere Bruchenergie verwendet.

9.4.7 Wichtige Einflussfaktoren auf die Festigkeitseigenschaften

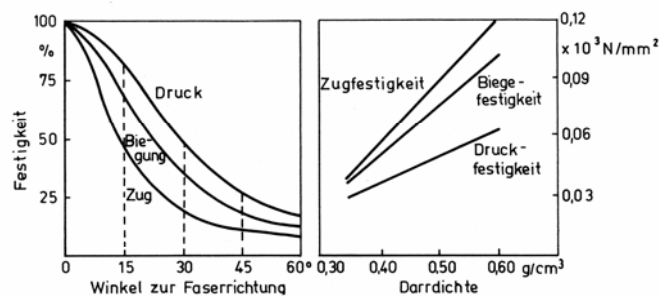
Die Festigkeit in Faserrichtung ist deutlich höher als senkrecht zur Faserrichtung. Sie ist radial höher als tangential. Mit zunehmendem Winkel zwischen Probenlängsachse und Faserrichtung (Faser-Last-Winkel) sinken die elastischen Konstanten und die Festigkeit deutlich ab. Der Einfluss des Faser-Last-Winkels kann nach dem Gesetz von Hankinson beschrieben werden (siehe Niemz (1993)). Abb. 16 zeigt wichtige Einflussfaktoren auf die Festigkeit von Holz.

Der Winkel zwischen radialer und tangentialer Richtung wird auch als Jahrringneigung bezeichnet und ist z.B. bei Schubbelastung in der RT-Ebene von Bedeutung. Abb. 16 zeigt exemplarisch den Einfluss der Jahrringneigung auf die Schallgeschwindigkeit. Diese Abhängigkeit gilt z.B. auch für den Schubmodul. Die Zugfestigkeit in Faserrichtung ist bei kleinen, fehlerfreien Proben etwa doppelt so hoch wie die Druckfestigkeit.

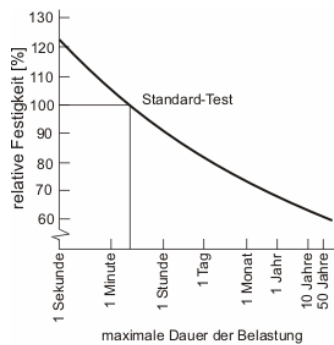
In Abhängigkeit von der Lasteinwirkung wird zwischen statischer und dynamischer Beanspruchung unterschieden. Der Zeiteinfluss ist auch bei allen klassischen mechanischen Prüfungen im Kurzzeitversuch vorhanden. Daher ist die maximale Zeitdauer bis zum Bruch genormt (z. B. nach EN 310 bei der Biegeprüfung $60 \text{ s} \pm 30 \text{ s}$).



a)



b)



c)

Abb. 16: Wichtige Einflussgrößen auf die Festigkeit des Holzes

- a) Faser-Last-Winkel
- b) Rohdichte
- c) Belastungsart (dynamisch, statisch)
- d) Einfluss des Winkels zwischen radialer und tangentialer Richtung (Jahrringneigung)

Zusätzlich werden alle mechanischen Eigenschaften durch folgende Parameter beeinflusst:

- Holzfeuchte (mit zunehmender Holzfeuchte, etwa oberhalb von 5-8 %, sinkt die Festigkeit bis zur Fasersättigung etwa linear ab. Nach Angaben des US Forest Products Laboratory (zitiert in von Halász und Scheer (1986)) bewirkt 1% Holzfeuchteänderung im Holzfeuchtebereich von 8-18% folgende Abnahme der Holzeigenschaften:
Druckfestigkeit: 6%
Zugfestigkeit: 3%
Biegefestigkeit: 4%
- Temperatur (die Festigkeit sinkt mit steigender Temperatur)
- mechanische oder klimatische Vorbeanspruchungen (z. B. bei Lagerung im Wechselklima)
- Bauteilgröße

Bei Holz in Bauholzabmessungen wird die Festigkeit insbesondere durch Äste und den Faserverlauf deutlich beeinflusst (siehe z.B. Görlacher (1990)). Die Festigkeit sinkt mit zunehmendem Astanteil. Die Festigkeitseigenschaften von Bauholz sind daher geringer als die von kleinen, fehlerfreien Proben. Rundholz hat etwa um 10% höhere Festigkeitseigenschaften als Schnittholz, da bei der Schnittholzerstellung die Fasern angeschnitten werden und so ein etwas schräger Faserverlauf vorliegt.

Madson und Buchanan (1986) geben für Holz folgende Beziehung für die Bauteilgröße an:

$$\frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^m \cong \left(\frac{l_1}{l_2}\right)^{ml} \cdot \left(\frac{b_1}{b_2}\right)^{mb} \cdot \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^{md} \quad (Gl. 19)$$

Für die 10 %- Fraktile gilt beispielsweise:

V- Volumen des Prüfkörpers

σ - vorhandene Spannungen

l- Länge, b- Breite, d-Dicke des Prüfkörpers

Für die Koeffizienten m gilt z.B.

$m_1 = 0,15$

$m_b = 0,10$

Nach Untersuchungen von Burger und Glos (1996) sinkt bei Bauholz die Festigkeit mit zunehmender Länge der Proben. Da breitere Proben weniger Äste haben, steigt die Festigkeit mit zunehmender Breite.

Nach Weibull (Theorie des schwächsten Kettengliedes) ergibt sich:

$$\frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{1/k} = \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^m \quad (Gl.20)$$

σ vorhandene Spannungen

V Volumen des Prüfkörpers

k Formparameter der Weibull-Verteilung

m Exponent

Die Eigenschaften von Bauteilen werden in Festigkeitsklassen nach EN 338 festgelegt. Dabei gibt es für Nadelholz die Klassen (Nr. der Klasse korreliert mit charakteristischem Wert für Biegefestigkeit in N/mm^2) C14, C16, C18, C22, C24, C27, C30, C35, C40 und für Laubholz D30, D35, D40, D60, D70.

10. Literaturverzeichnis

Die Literatur ist nachfolgend nach Fachbüchern sowie Zeitschriftenaufsätzen und Dissertationen geordnet, um einen leichten Einstieg in weiterführende Arbeiten zu finden.

Fachbücher

Autorenkollektiv (1990): Lexikon der Holztechnik. 4. Aufl. Leipzig, Fachbuchverlag

Autorenkollektiv (2003): Holzlexikon. 4. Auflage, DRW-Verlag, Leinfelden-Echterdingen

Bodig, J.; Jayne, B.A. (1993): Mechanics of wood and wood composites. Krieger, Florida, 712 S.

Bucur, V. (1995): Acoustics of Wood. CRC Press, Boca Raton, New York, Tokio, 284 S.

Bucur, V. (2004): Nondestructive Characterization and Imaging of Wood. Springer Verlag, Berlin, 354 S.

Dunky, M.; Niemz, P. (2002): Holzwerkstoffe und Leime. Springer Verlag, Berlin, 954 S.

Halász, R. v.; Scheer, C. (Hrsg.) (1986): Holzbau-Taschenbuch. 8. Auflage, Band 1, Architektur techn. Wissenschaften, Berlin

Kollmann, F. (1951): Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe (Bd. 1). 2. Aufl. Springer Verlag, Berlin 1050 S.

Kollmann, F.; Coté, W. (1968): Principles of Wood Science and Technology. (Bd.1), Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 592 S.

- Kollmann, F.; Kuenzi, E.; Stamm, A. (1975): Principles of Wood Science and Technology. (Bd.2), Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 703 S.
- Niemz, P. (1993): Physik des Holzes und der Holzwerkstoffe. DRW-Verlag, Leinfelden-Echterdingen, 243 S.
- Pozgaj, A.; Chonovec, D.; Kurjatko, S.; Babiak M. (1993): Struktura a vlosnost dreva. Priroda, Bratislava
- Sell, J. (1997): Eigenschaften und Kenngrößen von Holzarten. 4. Aufl. Zürich, Baufachverlag, 87 S.
- Trendelenburg R.; Mayer-Wegelin H. (1955): Das Holz als Rohstoff. 2. Aufl. Carl Hanser Verlag, München, 541 S.
- Willeitner, H.; Schwab, E. (1981): Holz - Aussenverwendung im Hochbau. Verlagsanstalt Alexander Koch, Stuttgart

Fachzeitschriften und Tagungsbände

- Altenbach, H.; Altenbach, J.; Rickards, R. (1996): Einführung in die Mechanik der Laminat- und Sandwichtragwerke. Stuttgart, Deutscher Verlag der Grundstoffindustrie.
- Burmester, A. (1970): Formbeständigkeit von Holz gegenüber Feuchtigkeit. Grundlagen und Vergütungsverfahren. BAM Bericht Nr. 4, Berlin, 179 S.
- Burger, N.; Glos, P. (1996): Einfluss der Holzabmessungen auf die Zugfestigkeit von Bauschnittholz. Holz als Roh- und Werkstoff, Berlin, Bd. 54, S. 333-340
- Eldag, H. (1997): Engineered Wood Products. Holz-Zentralblatt, Stuttgart, S. 1577, 1644, 1645
- Gehri, E.; Mischler, A. (1995): Holztragwerke, Entwurfs- und Konstruktionsregeln. Lignatec 2/1995, Lignum, Zürich
- Gustafsson, P.J.; Hoffmeyer, P.; Valentin, G. (1998): DOL behaviour of end-notched beams. Holz als Roh- und Werkstoff, Berlin, Bd. 56, S. 307-317
- Görlacher, R. (1990): Klassifizierung von Brettschichtholz-Lamellen durch Longitudinalschwingungen. Forschungsbericht, Universität Karlsruhe
- Keylwerth, R. (1969): Praktische Untersuchungen zum Holzfeuchtigkeits-Gleichgewicht. Holz als Roh- und Werkstoff, Berlin, Bd. 31, S. 285-290
- Graf, E.; Meili, M. (2001): Holzzerstörende Pilze und Insekten. Lignatec 14/2001, Lignum, Zürich
- Krauss, A. (1988): Untersuchungen über den Quelldruck des Holzes in Faserrichtung. Holzforschung und Holzverwertung, Wien, Bd. 40, S. 65-72
- Lehmann, E.; Vontobel, P.; Niemz, P. (2000): The method of neutron radiography and its use for wood properties analysis. Proceedings, International Conference on Wood and Fiber Composites, Stuttgart.
- Merz, K.; Fischer, J.; Brunner R.; Baumberger, M. (1997): Holzprodukte für den statischen Einsatz: Teil 1 - Plattenförmige Produkte. Lignatec 5/1997, Lignum, Zürich
- Merz, K.; Fischer, J.; Brunner R.; Baumberger, M. (1998): Holzprodukte für den statischen Einsatz: Teil 2 - Stabförmige Bauteile für Träger und Stützen. Lignatec 7/1998, Lignum, Zürich
- Merz, K.; Fischer, J.; Strahm, T.; Schuler, B. (1999): Holzprodukte für den statischen Einsatz: Teil 3 - Bausysteme für Wand, Decke und Dach. Lignatec 9/1999,

Lignum, Zürich

Navi, P. und Girardet, F. (2000): Effects of Thermo-Hydromechanical Treatment on Structure and Properties of Wood. Holzforschung Bd. 54; S.287-293

Niemz, P. (1989): Zur Anwendung der Schallemissionsanalyse in der Holzfor- schung. Holz-Zentralblatt, Stuttgart, Bd. 112, S. 1704

Niemz, P. (1997): Ermittlung von Eigenspannungen in Holz und Holzwerkstoffen. Holz-Zentralblatt, Stuttgart, Bd. 122, S. 84, 86

Niemz, P. (2001): Wasseraufnahme von Holz und Holzwerkstoffen. Holz- Zentralblatt, Stuttgart, Bd. 6, S. 100

Niemz, P. (2003): Schallausbreitung in Holz und Holzwerkstoffen. Holz- Zentralblatt, Stuttgart, Bd. 102, S. 1470-1471

Niemz, P.; Diener, M. (1999): Vergleichende Untersuchungen zur Ermittlung der Bruchzähigkeit an Holzwerkstoffen. Holz als Roh- und Werkstoff, Berlin, Bd. 57, S. 222-224

Ouis, D. (1999): Vibrational and acoustical experiments on logs of Spruce. Wood Sc. and technology 33: 151-184

Okano, T. (1978): Holz und Wohnbehaglichkeit.- Untersuchungen an Testhäusern. In Hachioji (Japan). Makuazzai Kogyo, Bd. 33, S. 418-423

Pellerin, R.; Ross, R. (2002): Nondestructive Evaluation of wood. Forest Prod. So- ciety, Madison WI

Perkitny, T. (1960): Die Druckschwankungen in verschiedenen, vorgepressten und dann starr eingeklemmten Holzkörpern. Holz als Roh- und Werkstoff, Berlin, Bd. 18, S. 200-210

Popper, R. (1985): Das Holz-Sorbat-System mit Rücksicht auf die submikroskopi- sche Betrachtungsweise. In: Kucera, L.J. (Hrsg.): Xylorama. Birkhäuser Verlag, Ba- sel, S. 155-163

Popper, R.; Bariska, M. (1972): Die Acylierung des Holzes. 1. Mitteilung. Holz als Roh- und Werkstoff, Berlin, Bd. 30, S. 289-294

Popper, R.; Bariska, M. (1973): Die Acylierung des Holzes. 2. Mitteilung. Holz als Roh- und Werkstoff, Berlin, Bd. 31, S. 65-70

Popper, R.; Bariska, M. (1975): Die Acylierung des Holzes. 3. Mitteilung. Holz als Roh- und Werkstoff, Berlin, Bd. 33, S. 415-419

Popper, R.; Gehri, E.; Eberle, G. (1998): Querbewehrung von Kantholzplatten mit Holzstäben. Zwangsbeanspruchung infolge Feuchtigkeit. Drevarsky Vyskum, Bra- tislava, Bd. 43:1; S. 27-36

Popper, R.; Gehri, E.; Eberle, G. (1999): Mechanosorptive Eigenschaften von be- wehrtem Brettschichtholz bei zyklischer Klimabeanspruchung. Infolge Feuchte. Drevarsky Vyskum, Bratislava, Bd. 44:1, S. 1-11

Popper, R.; Niemz, P.; Eberle, G. (2001): Festigkeits- und Feuchteverformungsände- rungen entlang der Sorptionsisotherme. Holzforschung und Holzverwertung, Wien, Bd. 1, S. 16-18

Radovicz, B.; Cheret, P.; Heim, F. (1997): Holzbauhandbuch. Reihe 4 Baustoffe. Teil 4 Holzwerkstoffe. Folge 1 Konstruktive Holzwerkstoffe. Informationsdienst Holz

Schob, M.; Niemz, P.; Kucera, L. (1997): Einfluß von Fehlergröße und Meßanord- nung auf die Schallgeschwindigkeit in Holz. Holz als Roh- und Werkstoff, Berlin,

Bd. 55, S. 235-236.

Sell, J.; Fischer, J.; Wigger, U. (2001): Oberflächenschutz von Holzfassaden. Lignatec 13/2001, Lignum, Zürich

Sell, J.; Graf, E.; Richter, S.; Fischer, J. (1995): Holzschutz im Bauwesen, EMPA/Lignum-Richtlinie, Lignatec, 1/1995 Lignum, Zürich

Sell, J. (1999): Coatings of wood based panels. Tagungsband, 2. Europäisches Holzwerkstoffsymposium, Hannover

Stanzl-Tschegg, S.E.; Tan, D.M.; Tschegg E.K. (1995): New splitting method for wood fracture characterization. Wood Science and Technology, Bd. 29, S. 30-50

Steller, S.; Lexa, J. (1987): Problematik der Lebensdauer von Holz und Holzkonstruktionen. Bauforschung und Baupraxis, Berlin, Bd. 105

Schwab, E. (1990): Die Härte von Laubhölzern für die Parkettherstellung. Holz als Roh- und Werkstoff, Berlin, Bd. 48, S. 47-51

Stübi, T.; Niemz, P. (2000): Neues Messgerät zur Bestimmung der Härte. Holz-Zentralblatt, Stuttgart. Bd. 125, S. 1524, 1526

Taylor, S.; Bender, D.; Kline, D.; Kline, K. (1992): Comparing length effect models for lumber tensile strength. For-Prod-J. Madison, Forest Products Research Society. Bd. 42 (2), S. 23-30

Valentin, G.H.; Boström, L.; Gustafsson, P.J.; Ranta-Maunus, A. (1991): Application of fracture mechanics to timber structures RILEM state of the art-report. Valtio Teknillinen Tutkimuskeskus Statens Tekniska Forskningscentral Technical Research Centre of Finland, Espoo

Dissertationen

Burgert, I. (2000): Die mechanische Bedeutung der Holzstrahlen im lebenden Baum. Diss. Universität Hamburg

Eberhardsteiner, J. (2002): Mechanisches Verhalten von Fichtenholz- Experimentelle Bestimmung der biaxialen Festigkeitseigenschaften. Springer Verlag, Berlin

Gressel, P. (1971): Untersuchungen über das Zeitstandsbiegeverhalten von Holzwerkstoffen in Abhängigkeit von Klima und Belastung. Diss. Universität Hamburg

Grimsel, M. (1999): Mechanisches Verhalten von Holz. Diss. TU Dresden

Hanhijärvi, A. (1995): Modelling of creep deformation mechanism in wood. Diss. Technical research Centre of Finland, Espoo

Neuhaus, H.F. (1981): Elastizitätszahlen von Fichtenholz. Diss. Ruhruniversität Bochum

Niemz, P. (1982): Untersuchungen zum Kriechverhalten von Spanplatten unter besonderer Berücksichtigung des Einflusses der Werkstoffstruktur. Diss. TU Dresden

Persson, K. (2000): Micromechanical Modelling of Wood and Fibre Properties. Diss. Universität Lund

Scheffler, M. (2000): Bruchmechanische Untersuchungen zur Trocknungsrissebildung an Laubholz. Diss. TU Dresden

Steiger, R. (1996): Mechanische Eigenschaften von Schweizer Fichten-Bauholz bei Biege-, Zug-, Druck- und kombinierter Belastung. Diss. ETH Zürich

Anlage: Materialkennwerte

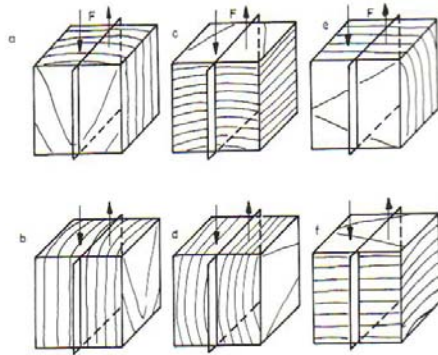
Tabelle 1: Eigenschaften (Mittelwerte) ausgewählter Holzarten nach Sell (1997)

Holzart	Rohdichte ρ_{15} (g/cm ³)	Darrdichte (g/cm ³)	Druckfestigkeit (N/mm ²)	Zugfestigkeit (N/mm ²)	Biegefestigkeit (N/mm ²)	E-Modul (N/mm ²) parallel	Scherfestigkeit parallel (N/mm ²)	Bruchschlagarbeit (Nm/cm ²)	Härte nach Brinell (N/mm ²)H _B parallel	Härte nach Brinell (N/mm ²)H _B senkrecht	differentielles Schwindmass		Wärmeleitfähigkeit (W/mK)
											% (radial)	% (tangential)	
Douglasie	0.545	0.5	55	93.5	85	12100	8.6	4.85	44	18.5	0.17	0.275	0.12
Eibe	0.675	0.63	57	108	85	15700		14.7	68	30	0.15	0.27	
Fichte	0.45	0.415	45	85	71	11000	6.25	4.5	31	14	0.17	0.315	0.11
Hemlock	0.485	0.45	45	68	75	10000	7.75	4.45	35	14	0.155	0.285	0.15
Kiefer	0.53	0.485	50	102	89.5	11900	9.2	5.5	40	18.5	0.17	0.305	0.14
Lärche	0.58	0.54	54	101	94	12550	9.85	6.3	49.5	22	0.16	0.32	0.12
Radiata-Kiefer	0.495	0.46	40	79	67.5	9950	7.15			13	0.14	0.245	
Redwood	0.41	0.385	35	76	60	7850	6	3	27	12	0.13	0.205	
Tanne	0.45	0.425	46	86	68	12250	6.2	4	31	14.5	0.14	0.315	0.12
Balsa	0.16	0.14	10	30	19	2900	1.05	0.3	5.5	2.5	0.085	0.185	0.055
Birke	0.68	0.645	51	135	132	14750	13	8.75	48	28.5	0.21	0.285	
Buche	0.76	0.68	58	117	108	14350	8.85	10	71	34.5	0.21	0.41	0.16
Edelkastanie	0.58	0.53	46	128.5	81.5	9500	8.55	5.65	35.5	19	0.14	0.265	
Eiche	0.705	0.65	58	99	97	12500	10.4	6.2	57.5	32.5	0.2	0.315	0.165
Erle	0.53	0.495	47	81	87.5	9500	4.7	5.1	34.5	12	0.16	0.27	
Esche	0.72	0.67	51	145	113.5	12900	12.7	7.75	64	38	0.19	0.325	0.15
Pappel	0.525	0.425	33	72.5	65	8850	6	4.35	29	12.5	0.155	0.28	0.125
Platane	0.64	0.59	52	98	108.5	10300	10.9	6.6	45	26.5	0.165	0.305	
Pockholz	1.255	1.165	103	129	129	12000		3.75	160	87.5	0.25	0.38	
Robinie	0.77	0.72	65	131.5	132	13350	14.25	14.1	71	48.5	0.23	0.35	

Tabelle 2: Scherfestigkeit in Abhängigkeit von der Belastungsrichtung für die Belastungsrichtungen a-d, e und f nicht geprüft

		Scherebene/Kraftrichtung			
		a	b	c	d
Fichte					
Rohdichte	x	0,43	0,44	0,44	0,44
[g/cm ³]	s	0,03	0,03	0,02	0,03
Scherfestigkeit	x	9,89	8,73	2,83	2,49
[N/mm ²]	s	1,10	0,50	0,64	0,65
Buche					
Rohdichte	x	0,68	0,69	0,69	0,71
[g/cm ³]	s	0,03	0,03	0,04	0,04
Scherfestigkeit	x	14,31	18,34	6,88	9,36
[N/mm ²]	s	0,89	1,29	1,10	2,37

n = 30 Proben je Richtung



- a) Scherebene Radialfläche, Belastung parallel zur Faser
- b) Scherebene Tangentialfläche, Belastung parallel zur Faser
- c) Scherebene Radialfläche, Belastung senkrecht zur Faser
- d) Scherebene Tangentialfläche, Belastung senkrecht zur Faser
- e) Scherebene Hirnfläche, Belastung senkrecht zur Faser, in tangentialer Richtung
- f) Scherebene Hirnfläche, Belastung senkrecht zur Faser, in radialer Richtung

Tabelle 3: Ausgewählte Kennwerte elastischer Eigenschaften für Fichte nach verschiedenen Autoren. 1. Index: Richtung der Kraft. 2. Index: Richtung der Dehnung

Autor	Feuchte	E_L	E_L/E_R	G_{LT}	G_{LR}/G_{LT}	μ_{RL}	μ_{LR}
		E_R	E_L/E_T	G_{LR}	G_{LR}/G_{RT}	μ_{TL}	μ_{LT}
		E_T	E_R/E_T	G_{RT}	G_{LT}/G_{RT}	μ_{TR}	μ_{RT}
	[%]	[N/mm ²]	[-]	[N/mm ²]	[-]	[-]	[-]
DIN 68364 (1979)	12	10000	12.5	650	0.9		0.33
		800	22.2	600			
		450	1.8			0.27	
Neuhaus (1981)	13	11905	15.1	723	0.8	0.055	0.436
		790	29.5	601	14.8	0.035	0.613
		404	2.0	41	17.8	0.323	0.629
Krabbe ¹	12.2	11364	10.3	686	1.1		
		1109	26.4	742	20.4		
		430	2.6	36	18.9		
Hörig ¹	9.8	16234	23.2	775	0.8	0.019	0.43
		699	40.6	629	17	0.013	0.53
		400	1.7	37	21	0.24	0.42
Wommelsdorff ¹	13.7	11287	11.5			0.049	0.447
		980	26.3			0.028	0.561
		429	2.3			0.26	0.586
Bodig & Jayne (1982)	12	10940	13.2	663	1.1		
		830	22.2	699	10.6		
		493	1.7	66	10		
Hearmon ²	12	13760	15.1	735	0.7	0.03	
		910	28.1	510	15.7		0.537
		490	1.9	33	22.6		0.56

¹zitiert in Neuhaus (1981)

²zitiert in Kollmann und Côté (1968)

Tabelle 4: Poissonsche Konstanten für Laub- und Nadelhölzer nach Bodig und Jayne (1993)

Poissonsche Konstante	Laubholz	Nadelholz
μ_{LR}	0,37	0,37
μ_{LT}	0,42	0,50
μ_{RT}	0,47	0,67
μ_{TR}	0,35	0,33
μ_{RL}	0,041	0,044
μ_{TL}	0,033	0,027

Tabelle 5: Rechenwerte für die charakteristischen Festigkeits-, Steifigkeits- und Rohdichtekennwerte für Nadelholz (Auszug aus DIN EN 338)

1	Festigkeitsklasse (Sortierklasse nach DIN 4074-1)	C 16 (S7)	C18	C24	C27	C30	C35	C 40
Festigkeitskennwerte in N/mm²								
2	Biegung $f_{m,k}$	16	18	24	27	30	35	40
3	Zug parallel $f_{t,0,k}$ ¹⁾	10	11	14	16	18	21	24
4	Druck parallel $f_{c,0,k}$	17	18	21	22	23	25	26
5	rechtwinklig $f_{c,90,k}$ ²⁾	2.2	2.2	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9
6	Schub und Torsion $f_{v,k}$ ³⁾	1.8	2	2.5	2.8	3	3.4	3.8
Steifigkeitskennwerte in N/mm²								
7	Elastizitätsmodul parallel $E_{0,mean}$ ⁴⁾	8000	9000	11000	11500	12000	13000	14000
8	rechtwinklig $E_{90,mean}$ ⁴⁾	270	300	370	380	400	430	470
9	Schubmodul G_{mean} ⁴⁾⁵⁾	500	560	690	720	750	810	880
Rohdichtekennwerte in kg/m³								
10	Rohdichte ρ_k	310	320	350 ⁶⁾	370	380	400	420

1) Abweichend von DIN EN 338 ist der Rechenwert für die charakteristische Zugfestigkeit rechtwinklig zur Faserrichtung des Holzes $f_{t,90,k}$ für alle Festigkeitsklassen mit 0,4 N/mm² anzunehmen.

2) Bei unbedenklichen Eindrückungen dürfen die Werte für $f_{c,90,k}$ um 25% erhöht werden.

3) Als Rechenwert für die charakteristische Rollschubfestigkeit des Holzes darf für alle Festigkeitsklassen $f_{R,k} = 0,4$ N/mm² angenommen werden.

4) Für die charakteristischen Steifigkeitskennwerte $E_{0,05}$, $E_{90,05}$ und G_{05} gelten die Rechenwerte: $E_{0,05} = 2/3 \cdot E_{0,mean}$ $E_{90,05} = 2/3 \cdot E_{90,mean}$ $G_{05} = 2/3 \cdot G_{mean}$

5) Der zur Rollschubbeanspruchung gehörende Schubmodul darf mit $G_{R,mean} = 0,15 \cdot G_{mean}$ angenommen werden.

6) Für Nadelholz der Sortierklasse S 10 nach DIN 4074-1 darf $\rho_k = 380$ kg/m³ angenommen werden.

Tabelle 6: Bruchzähigkeitskennwerte K_{IC} für Fichte (Messungen: Niemz)

1. Index Krafrichtung; 2. Index Richtung der Rissausbreitung

Belastungsart	Holzfeuchte [%]	Bruchzähigkeit K_{IC} [$Nmm^{-3/2}$]
RT	8	160
	12	214
	20	194
TR	8	128
	12	204
	20	149
LT	12	595
TL	12	230
RL	12	383
LR	12	986

KAPITEL IV: Einführung in die Grundlagen der Holzbe- und -verarbeitung

1. Holz Trocknung	3
1.1 Grundlagen	3
1.2 Qualitätskontrolle bei der Holz Trocknung.....	7
1.3 Methoden der Holz Trocknung	10
1.3.1 Allgemeine Grundlagen	10
1.3.2 Freiluft Trocknung.....	10
1.3.3 Verdunstungstrocknung.....	11
1.3.4 Verdampfungstrockner (Hochtemperaturtrocknung).....	12
1.3.5 Vakuumtrocknung.....	13
1.3.6 Sonstige Trocknungsverfahren.....	14
2. Holzschutz	15
2.1 Notwendigkeit von Schutzmaßnahmen für Holz	15
2.2 Gefährdung	17
2.2.1 Gefährdungsklassen/Gebrauchsklassen	17
2.2.2 Witterungseinflüsse	20
2.2.3 Pilze.....	22
2.2.4 Tierische Schädlinge	31
2.3 Holzschutzmassnahmen	41
2.3.1 Allgemein	41
2.3.2 Natürlicher Holzschutz	42
2.3.3 Organisatorischer Holzschutz	43
2.3.4 Konstruktiver Holzschutz.....	44
2.3.5 Chemischer Holzschutz.....	45
2.3.6 Biologischer Holzschutz	51
2.3.7 Physikalischer Holzschutz.....	52
2.3.8 Holzmodifikation.....	53
2.3.9 Brandschutz	59
2.4 Nachweis und Bekämpfung holzerstörender Pilze und Insekten.....	61
2.4.1 Evaluation, Schadensnachweis.....	61
2.4.2 Methoden zur Bekämpfung von Pilz- oder Insektenbefall	64
2.5 Literatur	66
3. Holzverklebung	67
3.1 Allgemeines	67
3.2 Einteilung der Klebstoffe	68
3.3 Klebevorgang.....	68
3.4 Klebethorien.....	71
3.4.1 Van der Waalsche Kräfte.....	71
3.4.2 Wasserstoff-Brückenbindungen.....	71
3.4.3 Chemische Bindungen	71
3.4.4 Vergleich der Bindungsarten	72
3.5 Einfluss des Holzes auf die Verklebungsgüte	72
3.6 Klebgrundoperationen.....	72

3.7 Beschreibung ausgewählter Klebstoffe	73
3.7.1 Klebstoffe auf Basis natürlicher Ausgangsmaterialien.....	73
3.7.2 Synthetische Klebstoffe	74
3.8 Wichtige Gebrauchseigenschaften von Klebstoffen.....	77
3.9 Literatur.....	78

1. Holztrocknung

1.1 Grundlagen

Holz ist ein hygroskopischer Werkstoff. Die Holzfeuchte entspricht also den herrschenden äusseren Bedingungen. Sie ist abhängig von der Temperatur und der relativen Luftfeuchte (Abbildung 1 und Abbildung 2). Die Feuchteänderung führt im hygroskopischen Bereich zum Schwinden, bzw. Quellen des Holzes. Die Eigenschaften sind feuchteabhängig. Zu nennen ist hier der Einfluss der Holzfeuchte auf den Pilzbefall, die Festigkeit und die Rissbildung / Verformung bei Feuchteänderung.

Ziel der Holztrocknung ist es, das Holz in kürzester Zeit qualitätsmässig einwandfrei und kostengünstig zu trocknen.

Die Holzfeuchte ist abhängig von der Lufttemperatur und der relativen Luftfeuchte.

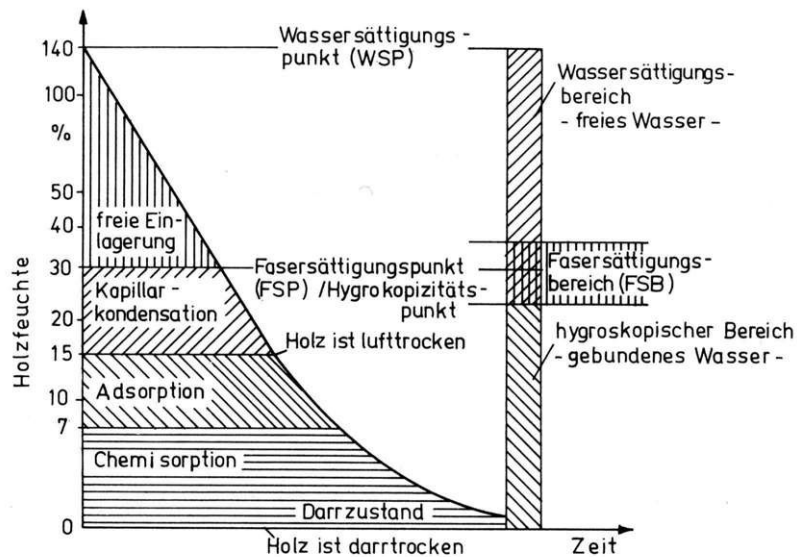


Abbildung 1: Sorptionsverhalten des Holzes

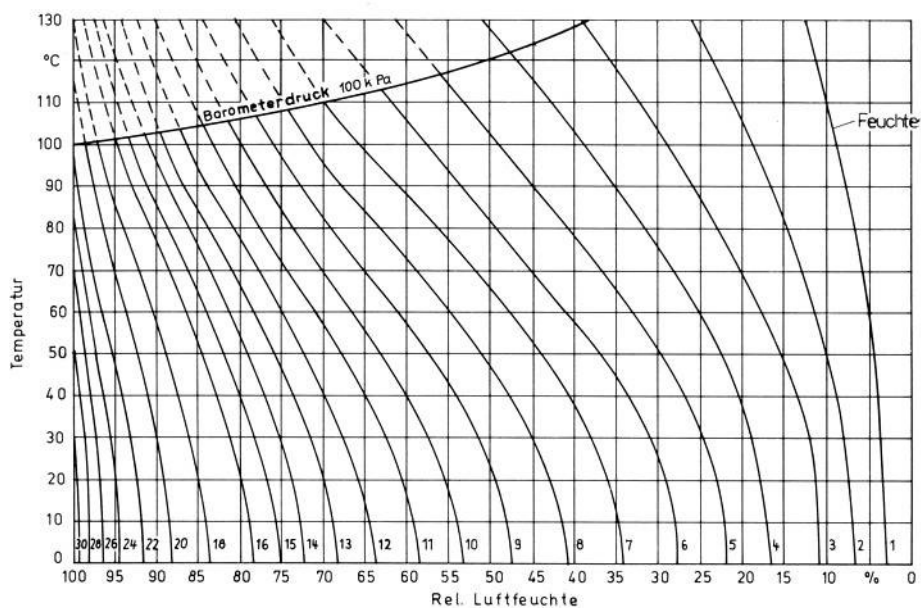


Abbildung 2: Gleichgewichtsfeuchte von Fichte als Funktion der Temperatur und der rel. Luftfeuchte

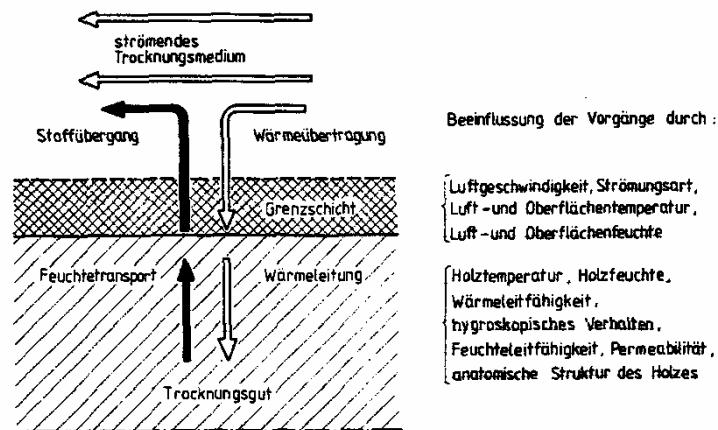


Abbildung 3: Schema der Vorgänge während der Holz Trocknung

Der Feuchtetransport im Holzinneren erfolgt durch Kapillarkräfte und Diffusion. Unterhalb des Fasersättigungsbereiches überwiegt die Diffusion. Durch Luftbewegung (Abtransport feuchter Luft) wird die Trocknungsgeschwindigkeit erhöht.

Zur Steuerung des Trocknungsprozesses muss der Einfluss der Luftfeuchtigkeit und der Temperatur auf die Holzfeuchte bekannt sein. Eine massgebliche Grösse für die Steuerung der Trocknung ist das Sättigungsdefizit der Luft, welches bei gleichbleibender absoluter Luftfeuchte (Wassergehalt in g/m^3) bei steigender Temperatur zunimmt (rel. Luftfeuchte sinkt).

Beträgt z.B. die absolute Feuchtemenge $7,52 \text{ g}/\text{cm}^3$, so ist die Luft bei 10°C zu 80% gesättigt, bei Aufwärmen der Luft auf 80°C nur noch zu 3,3% (siehe Abbildung 4). Strebte das Holz bei 10°C eine Gleichgewichtsfeuchte von ca. 16,5% an, so beträgt diese bei 80°C nur 1,7%. Bei der Holz Trocknung ist also eine möglichst hohe Temperatur anzustreben, um das Holz schnell zu trocknen.

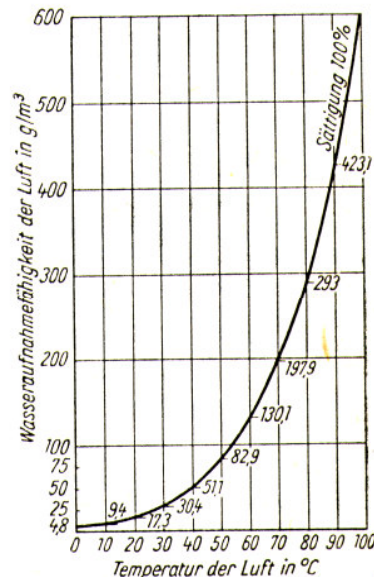


Abbildung 4: Abhängigkeit der Wasserdampfsättigungsmenge von der Lufttemperatur nach Janik

Eine Erhöhung der Trocknungstemperatur (Hochtemperaturtrocknung heute bis 120°C und darüber) führt aber zu Verfärbungen und Gefahr von Trocknungsfehlern (Rissbildung, Verformung, Zellkollaps). Solche Hölzer sind möglichst schonend bei Temperaturen um 60°C bis zum Erreichen der Fasersättigung zu trocknen. Der Entzug des gebundenen Wassers kann dann bei höheren Temperaturen erfolgen.

Voraussetzung für eine gute Trocknung ist eine gleichmässige Strömung des Trocknungsmediums im Stapel.

Mit der Strömungsgeschwindigkeit steigt neben der Wärmeübergangszahl aber auch der Energiebedarf.

Nach Vorreiter sinkt die tatsächliche Trocknungszeit Z hyperbolisch bis zu einer maximalen Grenzgeschwindigkeit v_{\max} des Trocknungsmediums, je höher die rel. Luftfeuchte ist.

Die spezifische Trocknungszeit kann nach Kollmann wie folgt berechnet werden:

$$Z = \frac{1}{\alpha} * (\ln u_a - \ln u_e) * \left(\frac{d}{25}\right)^x * \left(\frac{65}{t}\right)^y$$

wobei:

Z	spezifische Trocknungszeit (h)
u_a	Anfangsfeuchte (%)
u_e	Endfeuchte (%)
d	Holzdicke (mm)
α	0,003 bis 0,07
x	1,25 für nasse, 1,5 für vorgetrocknete Hölzer
y	1,5 nach Krischer /Kast 1978 (siehe Tabelle 2)

Die Gesamtdauer der Trocknung setzt sich zusammen aus:

$$T_{\text{tot}} = T_{\text{erw}} + T + T_{\text{ko}} + T_{\text{ab}}$$

T_{tot}	Gesamttrocknungszeit
T	spezifische Trocknungszeit
T_{erw}	Erwärmungszeit für Kammer und Holz
T_{ko}	Konditionierungszeit
T_{ab}	Abkühlzeit

Folgende Kenngrößen sind bei der Trocknung von Bedeutung:

Das Holzfeuchtegefälle =(Feuchtegradient):

Darunter versteht man das sich bei der Trocknung über der Dicke einstellende Feuchteprofil. Das Feuchteprofil entsteht dadurch, das Holz zunächst an der Oberfläche abtrocknet. Unterhalb der Fasersättigung erfolgt der Feuchtetransport primär durch Diffusion.

Das Trocknungsgefälle:

Dieses ist das Verhältnis aus momentaner effektiver Holzfeuchtigkeit zur Gleichgewichtsfeuchte beim jeweiligen Klima.

$$\text{Es gilt: } TG = \frac{u}{u_{gl}}$$

u	momentane Holzfeuchte
u_{gl}	Gleichgewichtsfeuchte

Wäre $u=15\%$ und $u_{gl}=15\%$ so wäre das Trocknungsgefälle 1, es würde also kein Trocknungspotential mehr da sein. Wäre die momentane Holzfeuchte 12%, die Gleichgewichtsfeuchte 5%, so beträgt $TG = 2,4$.

Je höher TG , um so schneller trocknet Holz, um so eher entstehen Schäden.

Tabelle 1 zeigt Richtwerte (Fa. Bollmann) für das Trocknungsgefälle für verschiedene Holzarten, Tabelle 2 die Kennwerte für Alpha sowie die Trocknungstemperatur und das Trocknungsgefälle für verschiedene Holzarten.

Schwer zu trocknende Holzarten werden langsam getrocknet, grosse Dicken ebenso, da bei diesen ein ausgeprägteres Feuchteprofil über der Holzdicke entsteht. Kleine Holzdicken werden schneller getrocknet.

Das Trocknungsgefälle ist abhängig von der Holzart, der Holzdicke und der jeweiligen Holzfeuchte.

Das Trocknungsprogramm legt fest, wie sich die Trocknungsbedingungen im Verlauf der Trocknung verändern, es erfolgt eine Variation von Temperatur und relativer Luftfeuchte.

Abbildung 5 zeigt den schematischen Ablauf der Holztrocknung.

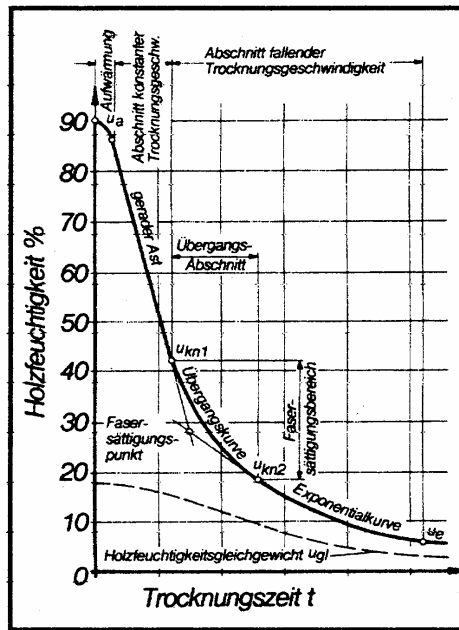


Abbildung 5: Schematischer Ablauf der Holz Trocknung

Tabelle 1: Richtwerte für das Trocknungsgefälle

Richtwerte zur Einstellung des geeigneten Trocknungsgefälles $\frac{u}{u_{gl}} = TG$									
KZ Kennziffer	5	10	15	20	25	30	35	40	45
	250		europ.-am. Nadelholz			800		$r_0 \text{ kg/m}^3$	
	Fichte								
langsam	2.6	2.4	2.2	2.0	Trocknungsgefälle $\frac{u}{u_{gl}}$ Potential				
normal	3.0	2.6	2.4	2.2					
schnell	4.0	3.5	3.0	2.8					
			400		europ.-am. Laubholz			900	
			Buche		Eiche		$r_0 \text{ kg/m}^3$		
langsam	$\frac{u}{u_{gl}} = TG$		2.6	2.4	2.2	2.2	1.8	1.8	
normal			2.8	2.8	2.4	2.4	2.2	2.0	
schnell			3.0	2.8	2.8	2.6	2.4	2.2	
	$r_0 \text{ kg/m}^3$		leichte, weisse		Exoten			schwere, rote	
	300		Sipo		Meranti			1200	
langsam	$\frac{u}{u_{gl}} = TG$		2.4	2.4	2.4	2.2	2.0	2.0	
normal			2.8	2.6	2.6	2.6	2.4	2.2	
schnell			3.5	3.2	3.2	3.0	2.8	2.6	

Beispiele:

Fichte: $r_0 = 430 \text{ kg/m}^3$ von 60% auf 15%, 50 mm
Normaltrocknung $\frac{u}{u_{gl}} = 2.4 - 2.8$

Buche: $r_0 = 600 \text{ kg/m}^3$ von 50% auf 8%, 40 mm
Normaltrocknung $\frac{u}{u_{gl}} = 2.4$

Sipo: $r_0 = 550 \text{ kg/m}^3$ von 60% auf 12%, 50 mm
Langsamtrocknung $\frac{u}{u_{gl}} = 2.2 - 2.4$

Tabelle 2: Werte für Alpha, das Trocknungsgefälle sowie die Trocknungstemperatur für verschiedene Holzarten

Holzart	teta (°C)						TG			alphaT
	u(>uFS)	u(30-60)	u(>60)	u(>30)	u(30-60)	u(>60)	u(>30)	u(30-60)	u(>60)	
Dicke (mm)	>30	30-60	>60	>30	30-60	>60	>30	30-60	>60	
Ahorn	60	55	55	70	65	65	3.8	3.6	3.4	0.0274
Aspe	60	60	55	75	70	65	4.4	4.4	4.4	0.038
Balsa	70	70	70	80	80	80	4.4	4.4	4.4	0.07
Birke	70	65	60	80	75	70	4.4	4.4	4.4	0.03
Birke	60	55	55	75	70	70	4.2	4.0	3.8	0.026
Birnbaum	60	55	50	70	65	60	4.0	3.8	3.6	0.026
Buche	60	55	55	75	70	70	4.2	4.0	3.8	0.021
Douglasie	70	70	65	80	80	80	4.4	4.2	4.0	0.04
Edelkastanie	50	50	45	70	65	65	3.8	3.6	3.4	0.0265
Eibe	50	50	45	70	65	65	4.4	4.2	4.0	0.0265
Eiche	45	45	40	75	70	65	4.0	3.8	3.6	0.009
Erie	60	55	50	80	75	70	4.4	4.4	4.4	0.04
Esche	60	55	50	80	75	70	4.4	4.2	4.0	0.032
Fichte	75	75	70	80	80	80	4.4	4.4	4.4	0.0689
Kiefer	75	70	65	80	80	80	4.4	4.4	4.4	0.0444
Kirschbaum	50	50	45	70	65	65	4.4	4.2	4.0	0.02
Lärche	70	65	60	80	75	70	4.4	4.4	4.4	0.03
Limba	60	55	55	80	75	70	4.4	4.4	4.4	0.0235
Linde	60	55	55	80	75	70	4.4	4.4	4.4	0.0348
Meranti (red)	60	55	50	80	75	70	3.6	3.4	3.2	0.0161
Nussbaum	50	50	45	80	75	70	3.0	2.8	2.6	0.0179
Okoume	60	55	50	80	75	70	4.4	4.4	4.4	0.0446
Pappel	70	65	60	80	75	70	4.4	4.4	4.4	0.0333
Platane	55	50	50	80	75	70	3.6	3.4	3.2	0.03
Robinie	55	50	50	80	75	70	3.2	3.0	2.8	0.0265
Roskastanie	50	50	45	70	65	65	4.4	4.2	4.0	0.0265
Tanne	75	70	70	80	80	80	4.4	4.4	4.4	0.0532
Teak	55	50	50	80	75	70	3.0	2.8	2.6	0.0196

1.2 Qualitätskontrolle bei der Holz Trocknung

Folgende Parameter werden kontrolliert:

- Die Holzfeuchte und das Feuchteprofil
- Trocknungsbedingte Spannungen
- Verformungen
- Rissbildung (Aussen- und Innenrisse)
- Zellkollaps (entsteht durch Kapillarspannungen oberhalb der Fasersättigung, es handelt sich dabei nicht um Schwinderscheinungen, Kollaps tritt bei ausgewählten Holzarten (Eucalyptus) auf oder bei extrem schneller Trocknung)
- Farbänderungen, treten insbesondere bei Laubhölzern auf

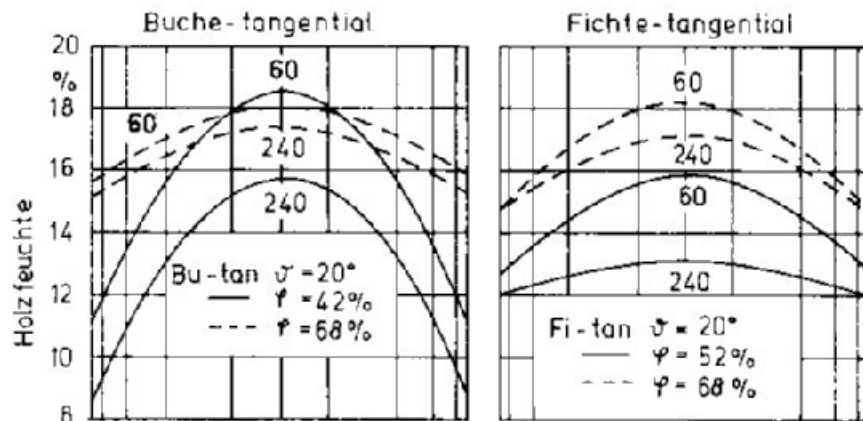


Abbildung 6: Feuchtegefälle über der Holzdicke bei der Trocknung in Abhängigkeit von der Zeit und der rel. Luftfeuchte

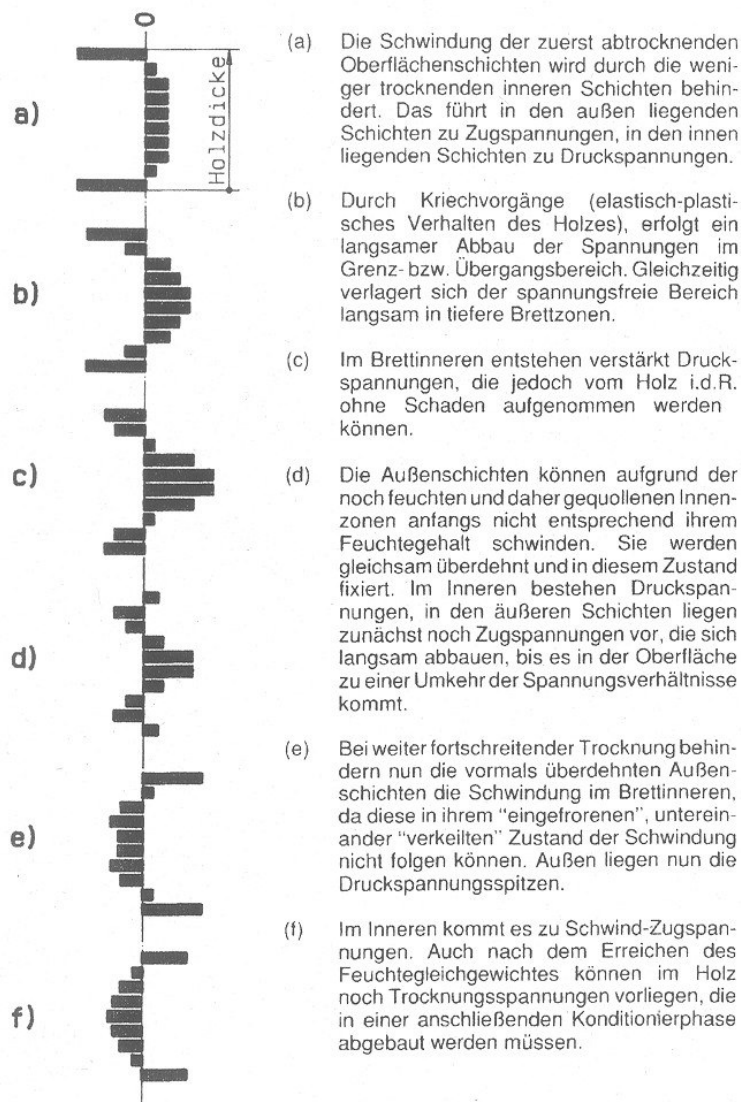


Abbildung 7: Ausbildung des Feuchteprofils und der Spannungen bei der Holz Trocknung

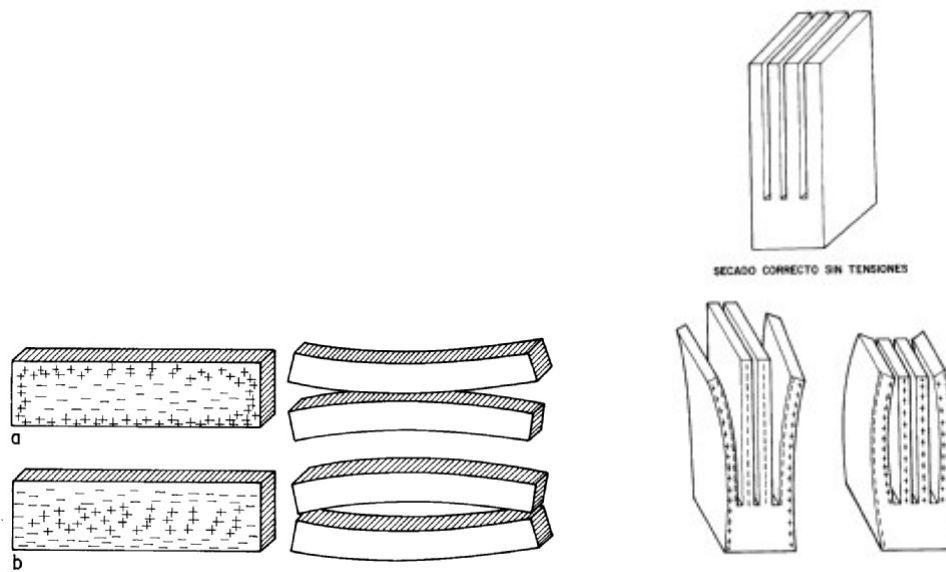


Abbildung 8 Methoden zum Nachweis von Trocknungsspannungen

Links: Trennschnitt → oben: aussen verschalt

unten: innen verschalt

Rechts: Gabelprobe → oben: spannungsfrei

unten rechts: innen verschalt (Zugspannungen innen)

unten links: aussen verschalt (Zugspannungen aussen)

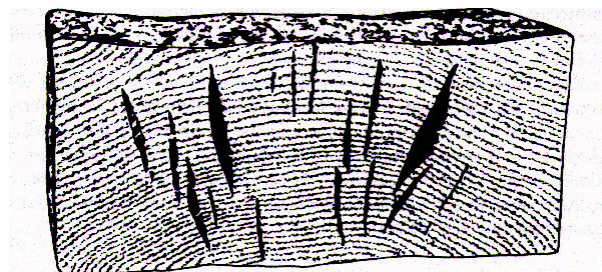


Abbildung 9: Zellkollaps

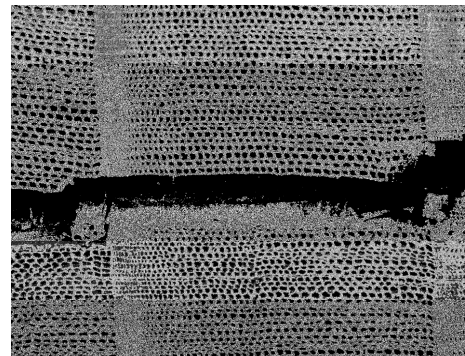


Abbildung 10: Trocknungsrisse in Fichte in tangentialer Richtung



Abbildung 11: Verformungen im Holz

1.3 Methoden der Holz Trocknung

1.3.1 Allgemeine Grundlagen

Stapelung

Eine wichtige Vorbedingung für die einwandfreie Trocknung ist das richtige Stapeln des Holzes (Abbildung 12). Zwischen den Brettern müssen sogenannte Stapellatten vorhanden sein. Diese müssen exakt übereinander angeordnet werden. Bretter bis 40 mm Dicke werden Brett an Brett gestapelt, um den Trockner gut auszunutzen. Bretter über 40 mm werden mit einem Abstand zueinander gestapelt, welcher 30-40% der Kantholzdicke beträgt. Beim Stapeln wird allgemein die rechte Seite (Kernseite) nach oben gelagert, um ein Verschüsseln der Bretter zu verhindern. Dünne Ware neigt zum Verwerfen. Daher sollte diese in Doppellagen paarweise gegeneinander gestapelt werden (Abbildung 12). Dadurch werden Verformungen durch Trocknungsspannungen reduziert. Zusätzlich wird der Stapel häufig mit Betonplatten beschwert, um Verformungen der Bretter zu reduzieren.

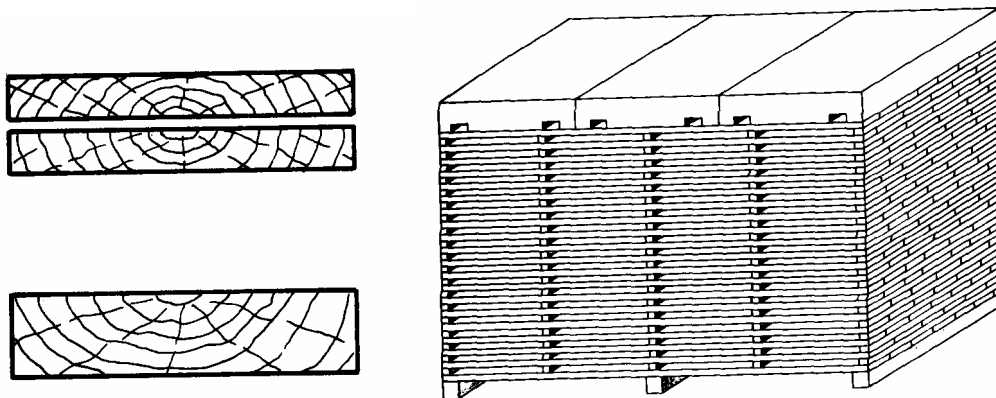


Abbildung 12 Links: Lagerung der Bretter (oben: dünne Ware paarweise; unten: übliche Anordnung, rechte Seite nach oben); Rechts: Holzstapel

Das Stapeln erfolgt manuell oder maschinell. Es sollten immer die gleichen Stapelleisten verwendet werden. Zu beachten ist, dass die Querschnitte bei der Benutzung schwinden.

1.3.2 Freilufttrocknung

Die Freilufttrocknung wird heute nur noch in kleinen Betrieben oder zur Vortrocknung angewandt. Zu beachten sind folgende Hinweise:

- Die minimal erreichbare Holzfeuchte liegt zwischen 18-22% im Winter und 10-14% im Sommer (ein Einfluss der Holzdicke ist vorhanden)
- Ein genügend hoher Unterbau ist erforderlich (frei von Spritzwasser und Mikroklima)
- Die Stapelfläche ist frei von Gras etc. zu halten. Die Bodenfreiheit sollte mindestens 40 - 60 cm betragen (Zementsockel, darüber Stapelunterlage)
- | | Stapellattendicken | Abstand der Latten |
|-----------------------|--------------------|--------------------|
| Holzdicke bis 20 mm: | 18 mm | 500 - 700 mm |
| Holzdicke 22 - 30 mm: | 25 mm | 750 - 1000 mm |
| Holzdicke 35 - 40 mm: | 30 mm | 1000 - 1250 mm |
| Holzdicke 45 - 60 mm: | 35 mm | 1250 - 1500 mm |
| Holzdicke 65 - 80 mm: | 40 mm | 1500 mm |
| Holzdicke 100 mm: | 45 mm | 1500 mm |
- Die Stapellatten sollten am Rand leicht überstehen (Schutz vor Sonne)
- Teilweise werden leicht geneigte Dächer verwendet, um das Holz oben vor Regen zu schützen
- Die Dauer beträgt je nach Holzart und Dicke zwischen 1 - 4 Jahren

Richtwerte: Dichte unter 500 kg/m^3 0,6 Jahre/cm; über 500 kg/m^3 1 Jahr pro cm Holzdicke

- auf freien Luftdurchzug achten

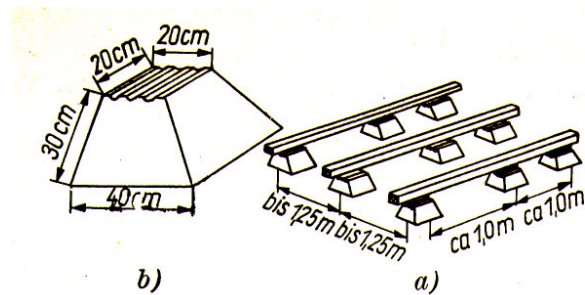


Abbildung 13 Stapelunterlage

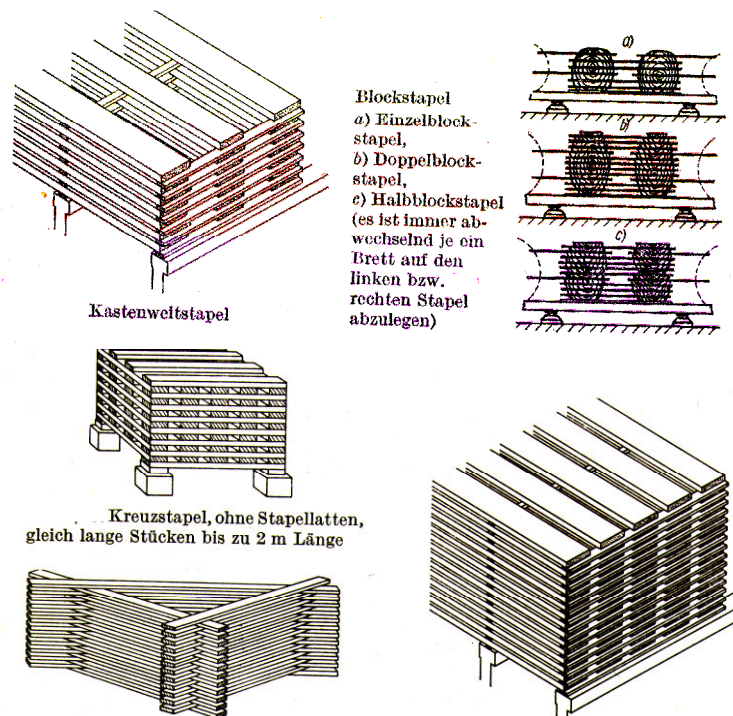


Abbildung 14 Möglichkeiten der Stapelbildung

1.3.3 Verdunstungstrocknung

Dabei erfolgt der Feuchtigkeitsentzug in einem Dampf-Luftgemisch mit variabler Zusammensetzung (Luftfeuchte, Temperatur) bei Temperaturen unter 100°C . Die Luftgeschwindigkeit beträgt mindestens 2m/s . Das Trocknungsmittel dient einmal als Wärmeträger, in dem es Wärme von den Heizflächen aufnimmt und an die Holzoberfläche abgibt zum anderen als Transportmittel für das vom Holz abgegebene Wasser. Als Folge dessen sinkt die Temperatur des Strömungsmediums und steigt die relative Luftfeuchte. In Abhängigkeit von der Strömungsgeschwindigkeit und der Holzfeuchte entstehen Temperaturunterschiede von $2\text{-}10\text{K}$ zwischen der zu- und Abströmseite des Trocknungsmittels. Die Temperaturdifferenz ist beim Trocknungsbeginn am grössten (Verdunstung des gebundenen Wassers), am Ende (Erreichen der Gleichgewichtsfeuchte) am geringsten. Bei Erreichen der Fasersättigung sinkt die Differenz deutlich ab.

Abbildung 15 zeigt einen solchen Trockner.

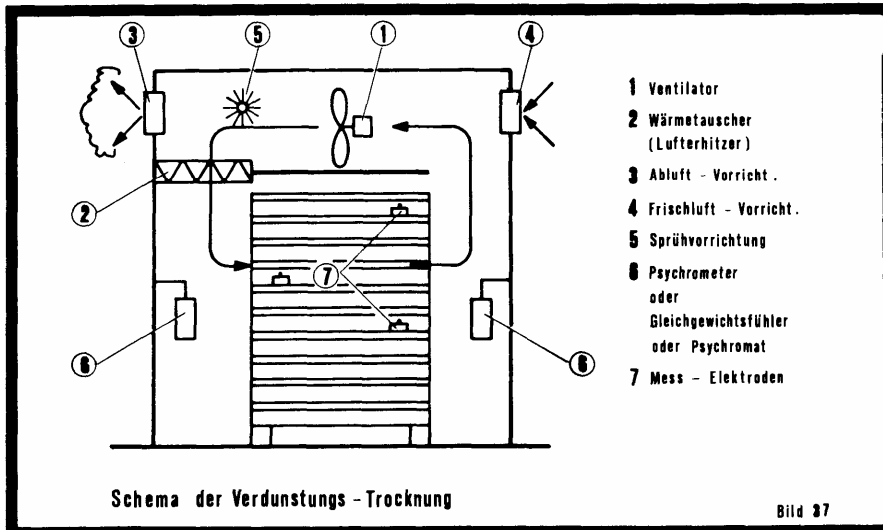


Abbildung 15 Verdunstungstrockner

1.3.4 Verdampfungstrockner (Hochtemperaturtrocknung)

Bei diesem Verfahren erfolgt die Trocknung bei Temperaturen über 100°C. Die Trocknung wird wesentlich beschleunigt da,

- hohe innere Dampfdrücke entstehen
- das Holz eine niedrigere Gleichgewichtsfeuchte anstrebt
- der E-Modul des Holzes deutlich sinkt (bei Temperaturen über 103°C sinkt die Proportionalitätsgrenze deutlich ab)

So werden beispielsweise bei Erhöhung der Trocknungstemperatur von 80 auf 118°C folgende Verhältnisse der Trocknungszeiten angeben:

Verdunstungstrocknung 80°C		Verdampfungstrocknung 118°C
4	:	1 (Nadelholz)
3..2	:	1 (Laubholz)

Heute wird in Südamerika und Australien *Pinus radiata* bei Temperaturen um 150°C getrocknet. Bei unsachgemäßer Trocknung kann es bei diesem Verfahren zu starker Rissbildung und auch zu Verfärbungen an der Oberfläche kommen. Dies kommt insbesondere bei Laubhölzern oberhalb der Fasersättigung vor.



Abbildung 16: Hochtemperaturtrockner (Vanicek)

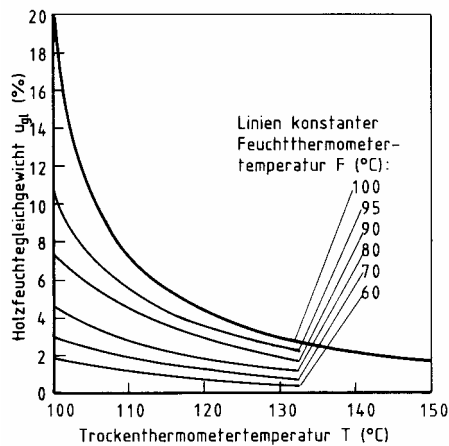


Abbildung 17 Einfluss der Temperatur auf die Gleichgewichtsfeuchte

1.3.5 Vakuumtrocknung

Das Prinzip beruht darauf, dass der Siedepunkt des Wassers bei Reduzierung des Luftdruckes sinkt. Man unterscheidet in

- diskontinuierliche Verfahren: dabei erfolgt die Erwärmung durch Konvektion bei atmosphärischem Druck in der Trockenkammer, bei Erreichen der gewünschten Temperatur wird das Vakuum angelegt (Sollwert ca. 100mbar). Dadurch erfolgt eine Abkühlung durch Verdampfung des Wassers. Nach einer gewissen Zeit muss erneut geflutet werden, um eine Erwärmung zu erreichen. Danach wird wieder Vakuum angelegt. Die Trocknungsdauer kann um 20% (dickes Brett) bis 50% (dünnes Brett) reduziert werden. Die Trocknung der Kammer erfolgt durch Kondensation an Kühlkörpern (nur noch wenig angewandt).
- kontinuierliche Verfahren: dabei wird a.) in der Vakuumphase Heissluft oder Heissdampf unter Einbehaltung eines Teilvakuums eingelassen, b) das Holz über Heizplatten erwärmt oder c) die Erwärmung erfolgt durch Mikrowellen

Eine Spezialvariante ist die Vakuumpresstrocknung. Dabei wird eine flexible Abdeckung über das Holz gelegt. Durch den atmosphärischen Aussendruck wirkt eine äussere Kraft bei Anlegen des Vakuums auf das Holz, Verformungen werden verhindert.

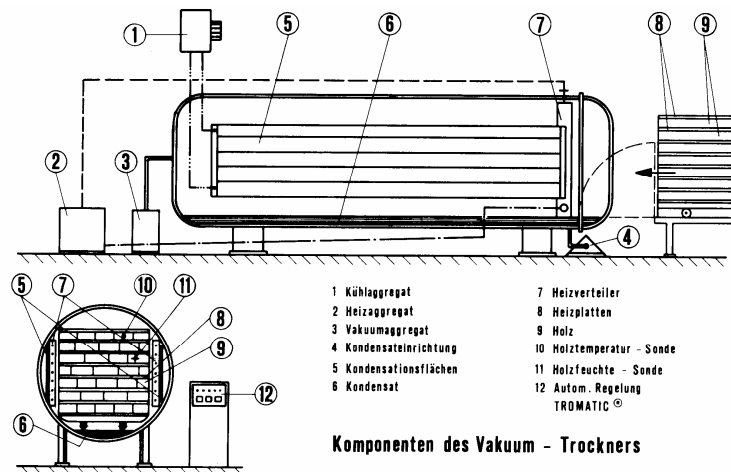


Abbildung 18 Vakuumtrockner (Bollmann)

Das aus dem Holz entfernte Wasser verringert das Vakuum im Behälter. Das Abführen des Kondensates kann manuell (Aufheben des Vakuums) oder automatisch bei Beibehaltung des Vakuums erfolgen.

1.3.6 Sonstige Trocknungsverfahren

Ferner sind folgende Verfahren im Einsatz:

- Die Hochfrequenz Trocknung:
Trocknung des Holzes in einem hochfrequenten Wechselfeld. Es kommt zum Umpolen der Wassermoleküle und dadurch zur Erwärmung. Die Hochfrequenz Trocknung ermöglicht eine kurze Trocknungszeit von 2 - 4 h bei Holzdicken bis 150 mm. Das Verfahren wird relativ wenig und für spezifische Produkte verwendet (kurze Sortimente, geschweifte Teile, geeignet für Holzarten mit niedrigem Diffusionswiderstand).
- Presstrocknung:
Dabei wird das Holz zwischen den Platten einer Mehretagenpresse getrocknet.
- Trocknung in heißen Ölen:
Das Holz wird dabei in einem Ölbad auf 105 - 130 °C erhitzt. Das verdampfte Wasser steigt als Gasblase im Ölbad nach oben. Dabei bildet sich an der Oberfläche eine mehrere cm dicke Schaumschicht. Das Verfahren wird gleichzeitig zum Imprägnieren verwendet (Öl-Hitzebehandlung).
Das Verfahren ist relativ schnell. Es ergibt sich beispielsweise für ein 50 mm dickes Brett folgendes Verhältnis der Trocknungszeiten:

Verdunstungstrocknung	75 h	6
Verdampfungstrocknung	17 h	1,42
Öl-Hitzebehandlung	12 h	1

2. Holzschutz

2.1 Notwendigkeit von Schutzmaßnahmen für Holz

Holz unterliegt als natürlicher Rohstoff dem biologischen Kreislauf und kann daher durch verschiedene Lebewesen abgebaut bzw. zersetzt werden. Im Wald ist das sinnvoll und erwünscht. Kultur- und Nutzgüter aus Holz hingegen sollen möglichst lang in ihrer Funktionalität erhalten werden. Aus diesem Grunde werden zahlreiche Massnahmen zum Schutz des Holzes ergriffen.



Abbildung 19 Tannenblättling an gefallenem Stamm

Dabei versucht der Mensch gezielt die „Nachteile“ von Holz zu beheben.

- Holz kann von Pilzen, Insekten und Mikroorganismen zerstört oder abgebaut werden
- Holz ist brennbar
- Holz ist hygroskopisch. Es kann Feuchte aufnehmen bzw. abgeben und quillt bzw. schwindet infolgedessen



Abbildung 20 Brennender Holzschuppen



Abbildung 21 Mazeration (chemisch erwirkter Schaden) an Deckenbalken
(Quelle: www.holzfragen.de)

Tabelle 3 Verteilung der Fehler und Mängel auf Haupt- und Untergruppen (aus Schweizer Holzbau 10/2000, S.23)

Holzbau	31%	Ausführung allgemein	49%
		Tragsicherheit (Statik)	28%
		Durchbiegung	15%
		Schwingen	8%
Material	21%	Holzfeuchte	50%
		Erscheinungssortierung	31%
		Festigkeitssortierung	19%
Leistung, Lieferung	19%	Ausschreibung, Devis	58%
		Preis	25%
		Ausmass	17%
Schutzmassnahmen	14%	Baulich konstruktiv	42%
		Oberflächenbehandlung	39%
		Chemischer Holzschutz	19%
Bauphysik	11%	Luftdichtigkeit	52%
		Dampfbremse, -sperre	42%
		K-Wert, Speicher	6%
Schallschutz	3%	Trittschall	50%
		Luftschall	50%
Restliche	1%	Arbeitssicherheit etc.	1%

Die Wahl des Materials, sowie die Schutzmassnahmen machen laut Tabelle 3 zusammen mehr als 1/3 der Fehler und Mängel im schweizerischen Bau aus. Insbesondere deshalb ist darauf ein besonderes Augenmerk zu richten. Der Holzschutz beginnt also bereits auf dem Reissbrett des Architekten.

Holz bedarf aber neben eines Schutzeffektes auch eines regelmässigen Unterhaltes. Durch periodische Unterhaltsarbeiten z.B. kann eine unbehandelte Fassadenverkleidung während vieler Jahre ihre Funktionalität gewährleisten, während dem es bei ungenügendem Unterhalt nicht nur zu einem starken Verlust der Funktionalität kommen kann, sondern auch die schlussendlichen Unterhaltskosten grösser sind



Abbildung 22 Abplatzen der Farbschicht an Fenster mangels Unterhalt

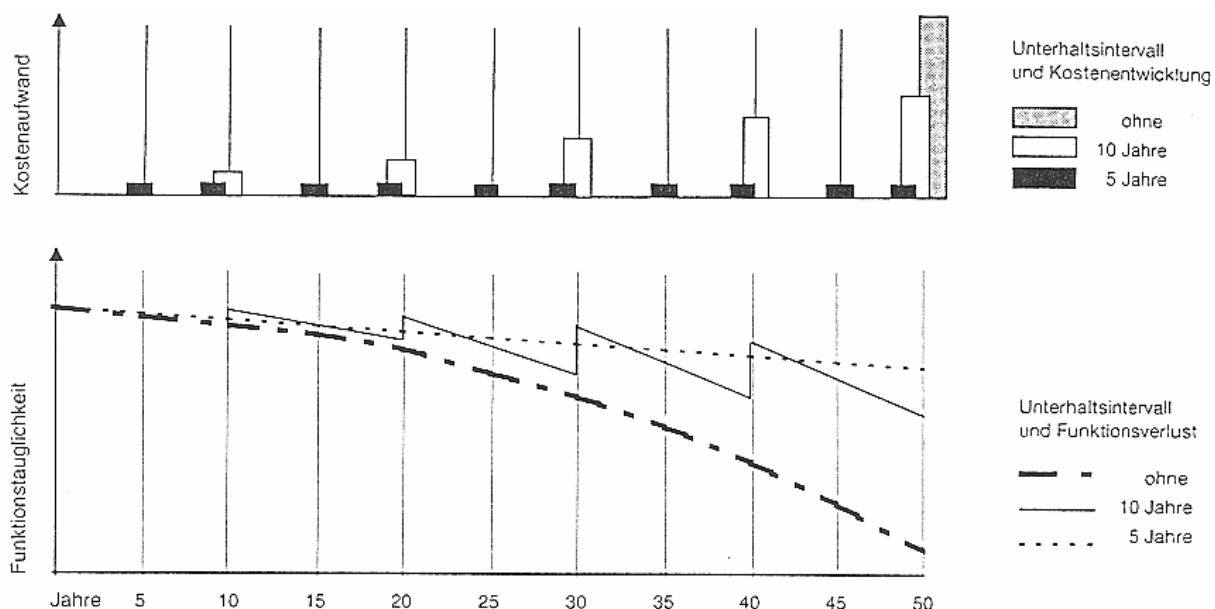


Abbildung 23 Entwicklung der Kosten und der Funktionalität einer unbehandelten Fassade

2.2 Gefährdung

2.2.1 Gefährdungsklassen¹/Gebrauchsklassen

Die Gefährdung von Holz ergibt sich in erster Linie aus seiner Abbaubarkeit durch Pilze (v.a. Basidiomyceten), welches die wirtschaftlich stärksten Schädlinge für Holzbauteile darstellen. Wichtigste Bedingung für Wachstum und Abbautätigkeit der holzerstörenden Pilze ist eine hohe Holzfeuchte. Demzufolge steigt das Risiko eines Pilzbefalles aber auch eines Pilzschadens mit zunehmender Holzfeuchte (Tabelle 4).

Tabelle 4 Holzfeuchteanforderungen für die Entwicklung holzbewohnender Organismen (aus Biogene Schäden, E. Graf, EMPA St. Gallen)

Organismen	Holzfeuchte in %	
	minimal	Optimal
Splintholzkäfer	8	16 - 20
Hausbock	12	18 - 25
Nagekäfer	13	20 - 30
Schimmelpilze	18	25 - 70
Holzerstörende Pilze:		
Braunfäulepilze	20	30 - 60
Hausschwamm	20	30 - 40
Weiss- und Moderfäulepilze	30	40 - 70

Die europäische Norm prEN 335 (2004) unterscheidet ausserhalb des marinen Bereiches – der für die Schweiz keine Bedeutung hat – 4 Gebrauchsklassen. Massgebend für die Einteilung sind die Holzfeuchtigkeit und die Dauer ihrer Einwirkung.

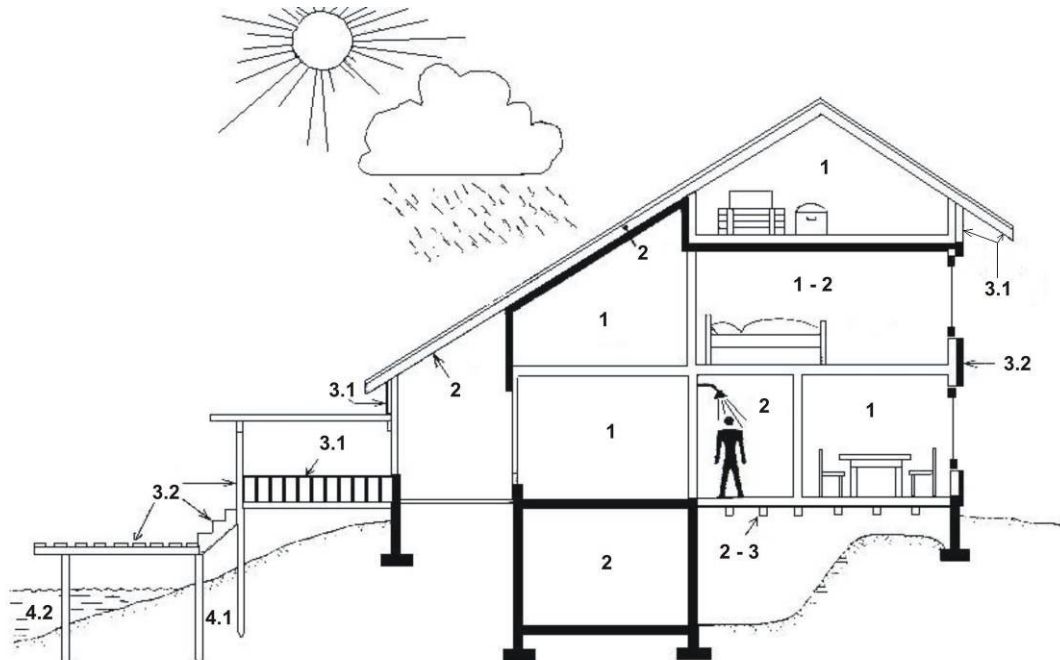


Abbildung 24 Beispiele für Anwendungsbereich und zugehörige Gebrauchsklassen.

¹ In der prEN 335-1 (2004) „Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten – Definition der Gebrauchsklassen“ wird der Begriff Gefährdungsklassen durch den Begriff Gebrauchsklassen ersetzt.

Die **Gebrauchsklassen** werden folgendermassen definiert:

Gebrauchsklasse 1:

In dieser Umgebung ist der Feuchtegehalt von Vollholz derart, dass die Gefahr eines Befalls durch Schimmelpilze auf der Holzoberfläche oder durch holzverfärbende oder holzerstörende Pilze unbedeutend ist (d.h. das Holz muss praktisch während der gesamten Gebrauchsdauer in allen Teilen einen Feuchtegehalt von höchstens 20% aufweisen). Es ist jedoch ein Befall durch holzerstörende Insekten, einschliesslich Termiten, möglich, obgleich die Häufigkeit und Bedeutung eines Insektenrisikos von der geographischen Gegend abhängig ist.

Gebrauchsklasse 2:

In dieser Umgebung überschreitet der feuchtegehalt von Vollholz gelegentlich 20% entweder insgesamt oder nur in Teilen des Elements und ermöglicht so einen Befall durch holzerstörende Pilze. Hölzer, die im Gebrauch zusätzlich eine dekorative Funktion besitzen, können durch Verfärbungen als Folge des Wachstums von Schimmelpilzen und holzverfärbenden Pilzen beeinträchtigt. Das Risiko eines Insektenbefalls ist ähnlich wie für Gebrauchsklasse 1.

Gebrauchsklasse 3:

In dieser Umgebung kann für Vollholz häufig ein Feuchtegehalt über 20% erwartet werden. Daher wird das Holz häufig einem Befall durch holzerstörende Pilze ausgesetzt sein. Hölzer, die im Gebrauch zusätzlich eine dekorative Funktion besitzen, können durch Verfärbungen als Folge des Wachstums von Oberflächenschimmelpilzen und holzverfärbenden Pilzen beeinträchtigt. Das Risiko eines Insektenbefalls ist ähnlich wie für Gebrauchsklasse 1.

Gebrauchsklasse 4:

In dieser Umgebung kann für Vollholz häufig ein Feuchtegehalt deutlich über 20% erwartet werden und ist einem Befall durch holzerstörende Pilze ausgesetzt. Termiten können in bestimmten geographischen Gegenden ein zusätzliches Problem sein. Ferner kann der überirdische (oder oberhalb des Wasserspiegels befindliche) Bereich von bestimmten Elementen, z.B. Zaunpfähle, durch Holzinsekten befallen werden.

Gebrauchsklasse 5:

In dieser Umgebung hat Vollholz ständig einen Feuchtegehalt deutlich über 20%. Angriff durch wirbellose Meerwasserorganismen ist das Hauptproblem. Vor allem in wärmeren Gewässern, können Organismen wie *Limnoria spp.* und *Teredo spp.* schwere Schäden verursachen. Der oberhalb des Wasserspiegels befindliche Bereich von bestimmten Elementen, z.B. Hafendalben, kann auch Holzinsekten einschliesslich Termiten ausgesetzt sein.

Tabelle 5 Gebrauchsklassen analog prEN 335-2 (2004)

Gebrauchsklasse	Allgemeine Gebrauchsbedingungen	Beschreibung der Exposition gegenüber Befeuchtung während des Gebrauchs	Organismen	
1	eingebaut, abgedeckt	innen, trocken	Insekten	A holzzerstörende Käfer
				B holzzerstörende Käfer + Termiten
2	eingebaut, abgedeckt	innen, gelegentlich feucht	holzzerstörende Käfer, holzverfärbende Pilze	A+ holzzerstörende Pilze
				B+ holzzerstörende Pilze + Termiten
3	3.1 ohne Erdkontakt, geschützt	aussen, gelegentlich feucht	Holzzerstörende Käfer, holzverfärbende Pilze, holzzerstörende Pilze, Termiten	
	3.2 ohne Erdkontakt, ungeschützt	aussen, häufig feucht		
4	4.1 in Kontakt mit Erde	aussen, vorwiegend feucht	Holzzerstörende Käfer, holzverfärbende Pilze, holzzerstörende Pilze, Termiten, Moderfäule	
	4.2 in Kontakt mit erde (hohe Beanspruchung); in Kontakt mit Süsswasser	aussen, ständig feucht		
5	Im Meerwasser (Salzwasser einschliesslich Brackwasser)	aussen, ständig feucht	holzzerstörende Käfer, holzverfärbende Pilze, holzzerstörende Pilze, Termiten + Holzschädlinge im Meerwasser	A Teredinidae (Bohrmuscheln, Limnoria (Bohrasseln))
				B Teredinidae, Limnoria + teeröltolerante Limnoria
				B Teredinidae, Limnoria + teeröltolerante Limnoria + Pholadidae (Steinbohrmuscheln)

Am lebenden Baum treten zudem Beeinträchtigungen durch höhere Pflanzen (z.B. Mistel, Riemenblumen etc.), denen allerdings in den folgenden Abschnitten keine Beachtung geschenkt wird, da diese Schädigungen bei verbaute Holz keine Rolle spielen.

Allerdings kann verbautes Holz auch Algen oder Flechten als Substrat dienen. Diese Organismen rufen zwar keine wirtschaftlich bedeutenden Schäden hervor, allerdings können sie potentielle Pilzgefährdungen bzw. Baumängel (mit erhöhtem Feuchteintrag) anzeigen.

Nachfolgend werden abiotische (Witterung) und biotische (Pilze, Insekten) Einflüsse auf verbautes Holz beschrieben.

2.2.2 Witterungseinflüsse

Holz, das im Freien verbaut wurde, ist zahlreichen Witterungseinflüssen ausgesetzt. Zum einen ist das eine Feuchtebeanspruchung, welche sich aus wechselnder, zumeist relativ hoher Luftfeuchte und Niederschlägen (Regen, Nebel, Schnee, Tau) ergibt. Gleichzeitig können Niederschläge auch mechanisch auf Holz einwirken, z.B. können Hagelkörner Holzoberfläche oder Beschichtungen teilweise zerstören. Andererseits wirken die Sonneneinstrahlung (Wärmestrahlung, UV-Strahlung) und wechselnde Temperaturen auf Holzbauteile ein. Chemische Beanspruchung kann durch sauren Regen zusätzlich auftreten. Wind kann zum einen zur (Aus-) Trocknung von Bauteilen beitragen; ausserdem kann mitgeführter Staub bzw. Sand abrasiv wirken. Daraus ergibt sich die häufig beobachtete Reliefstruktur von altem Holz. Das weichere Frühholz wird stärker abgetragen als das Spätholz.



Abbildung 25 Reliefstruktur an altem bewittertem Holz

Ist unbehandeltes Holz im Aussenbereich witterungsgeschützt eingebaut, d.h. nur der Änderung von relativer Luftfeuchte und Temperatur, nicht aber Niederschlägen, ausgesetzt, stellt sich im Jahresmittel eine Holzfeuchte von ca. 13 – 20 °C ein (siehe Abbildung 26).

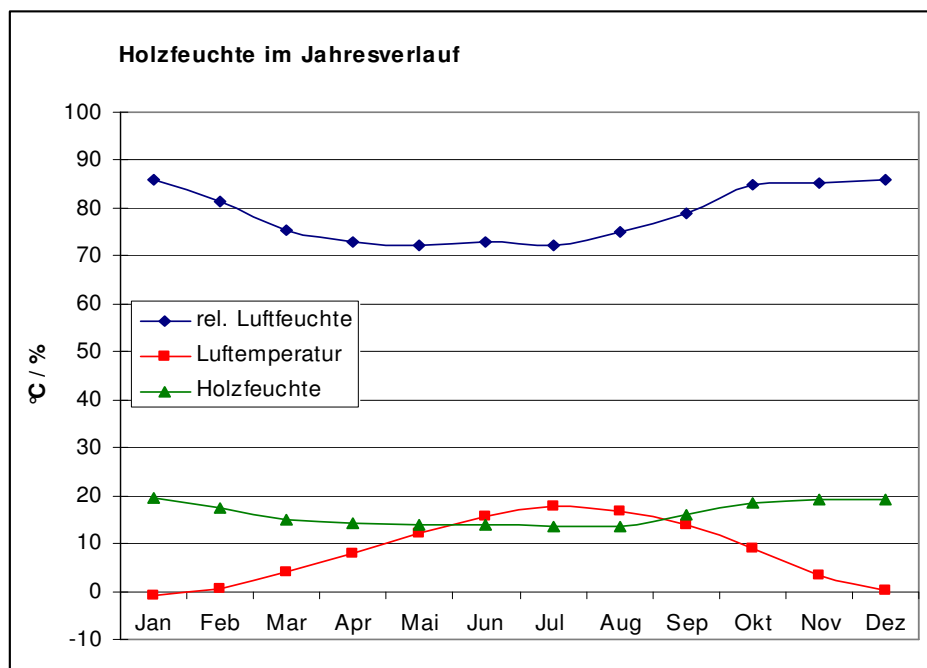


Abbildung 26 Holzgleichsfeuchte von Aussenbauteilen unter dem Einfluss von relativer Luftfeuchte und Temperatur. Die Klimadaten stammen von MeteoSchweiz (Normwerte 1961-1990; Wetterstation Zürich-Kloten)

Infolge Niederschlägen können Holzbauteile kurzfristig Feuchten über 30% aufweisen, die infolge der Luftbewegung um das Bauteil rasch abtrocknen können. In Verbindung mit konstruktiven Fehlern, die eine Befeuchtung unterstützen bzw. eine schnelle Trocknung der Bauteile erschweren, kann die kritische Holzfeuchte von 30% sogar über einen längeren Zeitraum erhalten bleiben. Dieser Zustand schafft Lebensbedingungen für holzerstörende Pilze.

Die Bewitterung von Holzbauteilen stellt in erster Linie eine Belastung im Oberflächenbereich dar. Durch klimabedingtes Quellen und Schwinden entstehen Mikrorisse, die von Insekten zur Eiablage

benutzt werden können. Im Falle von Beschichtungen können diese im selben Zusammenhang rissig werden, wodurch die Eindringung von Wasser möglich wird.

Die sichtbarste Auswirkung der Bewitterung ist das Vergrauen bzw. Nachdunkeln von Holzoberflächen. Trifft UV-Strahlung auf eine unbehandelte oder mit nur gering pigmentierten Anstrichstoffen beschichtete Holzoberflächen, findet eine fotochemische Abbaureaktion des Lignins an der Oberfläche des Holzes statt. Lignin wird in wasserlösliche Bestandteile aufgespalten, welche durch Niederschläge ausgewaschen werden können. In erster Linie wird das Holz durch UV-Strahlung dunkler (vor allem Nadelhölzer erhalten einen dunkelbraunen Farbton). Wird eine Fassade zusätzlich Niederschlägen und Spritzwasser ausgesetzt, kann es zum einen zu der erwähnten Auswaschung, zum anderen zur Besiedlung mit Mikroorganismen kommen. Der typisch graue Farbton von bewittertem Holz entsteht also durch den Einfluss von UV-Strahlung und Feuchte. Es kann allerdings auch zu schwärzlichen Verfärbungen kommen, die u.a. durch Bläuepilze hervorgerufen werden.



Abbildung 27 Braune Fassade unter Dach



Abbildung 28 Vergraute, dem Regen ausgesetzt Fassade

Bekannt ist auch die möglich Besiedlung von Holzfassaden mit Algen an der windabgewandten Seite.



Abbildung 29 Besiedlung einer Holzfassade mit Algen (Spritzwasserbereich)

2.2.3 Pilze

2.2.3.1 Holzverfärbende Pilze

Zu den holzverfärbenden Pilzen zählt man solche, die das Holz nicht zerstören, sondern nur optisch beeinflussen, wie Bläue- und Schimmelpilze.

Bläuepilze gehören zu den Klassen der *Ascomyceten* und *Funghi imperfecti*. Sie benötigen für ihr Wachstum ein hohe Holzfeuchte (30-180%) und Temperaturen zwischen 15 und 35°C. Bläuepilze befallen vorwiegend das Splintholz von Nadelhölzern, aber auch Rotbuche und ausseruropäische Laubhölzer und rufen graue bis blau-schwarze Verfärbungen hervor. Sie ernähren sich von den Nährstoffen in den Holzzellen, ohne die Zellwände zu zerstören. Die Pilzhyphen wachsen durch die Holztüpfel. Dadurch bleibt die Festigkeit des Holzes unvermindert, allerdings kann das Wasseraufnahmevermögen, aber auch die Tränkbarkeit mit Holzschutzmitteln verbessert sein. Bläuepilze sterben bei Trocknung des Holzes unter die für sie geeignete Feuchte ab.

Man kann bei der Bläue folgende Formen unterscheiden:

- Stammholzbläue: tritt am stehenden Baum oder am Rundholz auf; wird häufig auch als Primärbläue bezeichnet; meist *Ceratocytis*-Arten
- Schnittholzbläue: tritt auf Holzlagerplätzen auf; wird auch als Sekundärbläue bezeichnet; häufig durch *Cladosporium*-Arten hervorgerufen
- Anstrichbläue: tritt bei beschichtetem Holz auf; auch tertiäre Bläue genannt; häufig durch *Aureobasidium pullulans* oder *Sydowia polyspora*



Abbildung 30 Stammholzbläue



Abbildung 31 Anstrichbläue (Quelle: www.holzfragen.de)

Die Anstrichbläue ist die wirtschaftlich wichtigste. Sie kann auf Fassaden, Fenstern und Türen auftreten. Es bilden sich Risse im Anstrichfilm durch die Wasser leicht eindringen aber schlecht ausdiffundieren kann. Die daraus entstehende hohe Holzfeuchte bietet auch holzerstörenden Pilzen eine Lebensgrundlage.

Schimmelpilze benötigen ähnliche Voraussetzungen wie Bläuepilze für ihr Gedeihen. Eine Holzfeuchte von 30-150%, Temperaturen zwischen 0 und 50°C und geringe Luftbewegung ermöglichen es den Schimmelpilzen, sich auf Holz oder anderen, meist organischen Substraten (feuchter Putz, Anstriche, Tapeten, Textilien etc.) auszubreiten.

Es existieren viele Arten von Schimmelpilzen, die weisse, grünliche, bläuliche oder schwarze filzige Beläge ausbilden. Sie bewachsen nur die Oberflächen und ernähren sich von Inhaltsstoffen angeschnittener Holzzellen oder anderen Verunreinigungen. Ebenso wie die Bläuepilze, haben auch Schimmelpilze keinen Einfluss auf die Festigkeit von Holzbauteilen.

Allerdings stellen die Sporen von Schimmelpilze eine gesundheitliche Belastung dar und können allergische Reaktionen auslösen. Ein Schimmelpilzbewuchs im Innenbereich gilt als Indikator für hohe Luftfeuchte (65-100%) und schlechte Belüftung. Schimmelpilze sterben durch Austrocknung der betroffenen Bauteile ab.



Abbildung 32 Schimmelpilze auf Spanplatte (Quelle: www.holzfragen.de)

2.2.3.2 Holzerstörende Pilze

2.2.3.2.1 Fäulearten

Zahlreiche Pilzarten aus verschiedenen Klassen können Holz angreifen und abbauen. Zwei Möglichkeiten der Ordnung dieser Pilze und ihres Schadbildes gibt es:

- Unterscheidung nach Ort des Auftretens
- Unterscheidung nach Art des Schadens

Einige Vertreter werden genannt, die wichtigsten werden in den nachfolgenden Kapiteln beschrieben

Unterscheidung der Fäulearten nach dem Ort des Auftretens

Stammfäule: tritt am lebenden, daher saftfrischen, Baum auf

Lagerfäule: tritt an (unsachgemäss) gelagertem Holz mit hoher Feuchte (über Fasersättigung auf)

Hausfäule: Holz, Holzwerkstoffe oder andere zellulosehaltigen Materialien innerhalb von Gebäuden werden zerstört (durch zumeist Braunfäuleerreger)

Nassfäulepilze: Hausfäuleerreger, die besonders feuchtigkeitsbedürftig sind (z.B. Brauner Kellerschwamm)

Unterscheidung der Fäulearten nach dem Schadbild

Es gibt zwei Hauptformen der Fäule: die Braun- und die Weissfäule. Eine besondere Form der Braunfäule ist die Moderfäule. Die Weissfäule kann auch als Weisslochfäule auftreten. Ausgelöst werden beide Arten der Fäule überwiegend von Vertretern der Klasse der *Basidiomyceten* (Ständerpilze).

Braunfäule: Die Braunfäule, häufig auch als Destruktionsfäule bezeichnet, tritt bevorzugt an Nadelhölzern auf. Es wird vorwiegend Zellulose abgebaut, das Lignin bleibt überwiegend erhalten. Es treten mit Verlauf der Schädigung Längs- und Querrisse auf, in deren Folge das Holz würfelig zerfällt (5x5 bis 10x10 mm). Die Rohdichte und die Festigkeit des Holzes nehmen ab, weshalb befallene Bauteile versagen können. Im Endstadium lässt sich das Holz zu einem braunen Pulver zerreiben.



Abbildung 33 Braunfäule mit typischem Würfelbruch

Vertreter: Sägeblättling (*Lentinus lepideus*); Eichenwirrling (*Daedalea quercina*); Muschelkrempling (*Tapinella panuoides*); Porenschwämme (Weisser: *Antrodia vaillantii*); Brauner Keller- und Warzenschwamm (*Coniophora puteana*); Echter Hausschwamm (*Serpula lacrimans*); Rosafarbener Saftporeling (*Oligoporus placenta f. placenta*); Blättlinge: (*Gloeophyllum*) Tannen- (*abietinum*); Zaun- (*sepiarium*) und Balkenblättling (*trabeum*)

Moderfäule: Holz, das sich im ständigen Wasser- oder Erdkontakt befindet, kann durch Moderfäule abgebaut werden. Die Moderfäulepilze (aus der Klasse der *Funghi imperfecti*) weichen die Faserstruktur des Holzes (Nadel- und Laubhölzer) auf und zerstören diese. An der Oberfläche ist ein feiner Würfelbruch (1x1 mm) erkennbar.



Abbildung 34 Moderfäule

Weissfäule: Weissfäule (auch Korrosionsfäule) tritt bevorzugt an Laubhölzern aus. Dabei wird neben der Zellulose und Hemizellulose auch das Lignin abgebaut. Befallenes Holz wird heller bis weiss. Dunkle Grenzlinien zwischen einzelnen Pilzbeständen können das Holz marmorartig verfärben. Im Endstadium löst sich befallenes Holz faserig auf.



Abbildung 35 Weissfäule mit Grenzlinien

Vertreter: Spaltblättling (*Schizophyllum commune* Fr.), Echter Zunderschwamm, Schmetterlingsporling (*Trametes versicolor*), Eichenporling (*Donkioporia expansa*)

Weisslochfäule: Die Weisslochfäule ist eine Sonderform der Weissfäule, die vorwiegend im Kernholz auftritt. Durch lokalen Abbau der Holzkomponenten entstehen Löcher (mit weisser Zellulose gefüllt).



Vertreter: Wurzelschwamm, Kiefernbaumschwamm

Abbildung 36 Weisslochfäule

2.2.3.2 Fäuleerreger

Allgemein

Die wirtschaftlich bedeutendsten Holzschädlinge gehören der Gruppe der Pilze an. Zahlreiche Vertreter können Holz besiedeln und abbauen. Holzzerstörende Pilze können aus folgenden Klassen kommen:

- Schlauchpilze (*Ascomycetes*)
- Ständerpilze (*Basidiomycetes*)
- Pilze ohne Hauptfruchtform (*Funghi imperfecti*)

Der eigentliche Holzzerstörer ist allerdings nicht der häufig als Pilz bezeichnete Fruchtkörper, sondern das Myzel, welches zumeist im Substrat (Waldboden, Holz etc.) zu finden ist. Die Pilze ernähren sich von Zellinhaltsstoffen (Zucker, Stärke) und/oder Holzinhaltsstoffen (Zellulose/Lignin) und bauen dadurch das Holz ab. Häufig sind einzelne Spezies auf Nadel- oder Laubhölzer bzw. Kern- oder Splintholz spezialisiert. Als Substrat können den Pilzen Holz, Holzwerkstoffe, holzhaltige Materialien, Papier, Textilien oder ähnliches dienen.

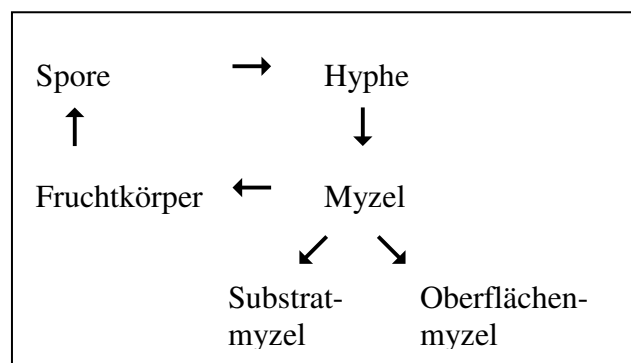


Abbildung 37 Entwicklungszyklus der Pilze

Pilze können sich sowohl geschlechtlich als auch ungeschlechtlich fortpflanzen. Die ungeschlechtliche Vermehrung erfolgt durch Abschnürung von Hyphen bzw. Endzellen (Konidien); aus diesen Myzelteilen kann sich ein neues eigenständiges Myzel bilden. Diese Fortpflanzung kann im Falle einer ungenügenden Sanierung auftreten, bei der nicht alle Myzelteile entfernt worden (vor allem beim Echten Hausschwamm).

Die geschlechtliche Vermehrung erfolgt durch die Sporen, welche in sehr hoher Anzahl in der Fruchtschicht (Hymenium) des Fruchtkörpers gebildet werden. Sie können durch Wind, auf Tier und Mensch oder durch Materialtransporte verbreitet werden. Pilzsporen sind widerstandsfähig gegen Temperaturextreme und keimen erst unter geeigneten Bedingungen aus. Dabei bilden sie Fäden, sogenannte Hyphen, die im Holz durch Tüpfel hindurch wachsen können. Hyphen können sich verzweigen, das entstehende Geflecht nennt sich Myzel. Das Myzel (= der eigentliche Pilz) scheidet Enzyme aus, die zum Abbau von Nährstoffen bzw. Holzsubstanz dienen. Es kann zwischen Oberflächen- und Substratmyzel unterschieden werden. Hat sich das Myzel im Substrat ausgebreitet und findet genügend Nährstoffe vor, können Fruchtkörper ausgebildet werden. Bei einigen Pilzen kommt es auch zur Strangausbildung wenn mehrere Hyphen zusammengelagert werden. In den Strängen können Pilze Nährstoffe und Wasser über gewisse Strecken transportieren. Alle Stadien bzw. Teile des Pilzes (Sporen, Hyphen, Myzel, Stränge, Fruchtkörper) können aufgrund charakteristischer Ausprägung (Form, Farbe, Grösse etc.) für Bauschadensanalysen zur Bestimmung des Schadorganismus herangezogen werden.

Lebensbedingungen holzerstörender Pilze:

- geeignetes Substrat (Holz, holzhaltig, auch Textilien, Papier o.ä.)
- Feuchte (hohe Substrat- bzw. Umgebungfeuchte); Trockenstarre möglich
- charakteristischer Temperaturbereich (0-44 °C), sowohl Kälte- als auch Hitzestarre möglich
- geringe Ansprüche an Lichtverhältnisse, da kein Chlorophyll. Eher dunkel.
- Sauerstoff für Atmung und Stoffwechsel (Pilze sind aerob)

Tabelle 6 Lebensbedingungen einiger Pilze

Schädigung	Vertreter	Lebensbedingungen	
		Holzfeuchte [%]	Temperatur [°C]
Holzverfärbung	Bläuepilze	30-180	20-35
	Schimmelpilze	30-150	0-50 (Opt. 24-28)
Moderfäule	Moderfäulepilze	30 ¹⁾ -200	5-35 (Opt. ≈27)
Lagerfäule	Tannen-/Zaunblättling	35-60	5-44 (Opt. 26-35)
	Sägeblättling	30-40	8-38 (Opt. 27-29)
	Schmetterlingsporling	35 Optimum	5...35 (Opt. ≈26)
	Eichenwirrling	hohe Holzfeuchte	Optimum 23-29
	Spaltblättling	hohe Holzfeuchte	30-40
	Eichenporling	hohe Holzfeuchte	27
	Muschelkrempling	50...60...70	5-29 (Opt. 23-26)
Hausfäule	Brauner Keller- und Warzenschwamm	30...50...80	3-35 (Opt. 22-26)
	Weisser Porenschwamm	30...45...90	3-36 (Opt. 25-27)
	Echter Hausschwamm	20...40...60	3-26 (Opt. 18-22)

¹⁾ ab Fasersättigungsbereich (holzartenspezifisch)

Wichtige Vertreter holzerstörender Pilze sind im folgenden Abschnitt mit deutschem und lateinischem Namen aufgeführt. Die wissenschaftlichen Namen sind einem häufigen Wechsel unterworfen, da regelmässig neue wissenschaftliche Erkenntnisse bezüglich der Einordnung gewonnen werden. Es gibt zahlreiche Synonyme. Das ist vor allem auch bei älterer Literatur zu beachten.

Wichtige Vertreter holzerstörender Pilze

Folgende kurze Charakteristika dienen der Kenntnis einiger wichtiger Holzzerstörer. Eine Bestimmung ist für den Laien aufgrund der Vielzahl der Schadorganismen selten möglich, da auch bei intensiver Schädigung nicht immer ein charakteristischer Fruchtkörper ausgebildet wird.

Schuppiger Sägeblättling* (Zähling) - *Lentinus lepideus*

Fäuleart	Braunfäule	
Holzarten	Nadelholz: Kiefer (besonders Kernholz), Fichte, Lärche	
Vorkommen	Feuchte Keller-/Erdgeschossräume, Balkone; Brücken, Pfähle, Masten, Schwellen, Grubenholz, Stubben	
Wachstumsbedingungen	Holzfeuchte	30-40%
	Temperatur	8-38 °C, Optimum 27-29 °C
Aussehen	Myzel	Weisses Substratmyzel in Rissen; Oberflächenmyzel bei Lichtmangel (weiss-braun-ocker)
	Fruchtkörper	Ledrig-zäher Pilzhut mit gebogenem Stiel; weiss-gelb, auch ocker oder braun; Oberseite mit Schuppen; sägeblatt-artig gezähnte weiss-gelbe Lamellen an der Unterseite; geweihartige Dunkelfruchtformen bei Lichtmangel
Merkmale/ Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> - widerstandsfähig gegen hohe Temperaturen und Trockenheit - hohe Widerstandsfähigkeit gegenüber Steinkohlenteeröl - Befall äusserlich meist nicht erkennbar - Absterben nach längerer Austrocknung 	



Abbildung 38 Fruchtkörper des Schuppigen Sägeblättlings und myzel-bewachsene Holzproben (Quelle: holzfragen.de)

Balkenblättling* - *Gloeophyllum trabeum*

(weitere Blättlinge: Tannenblättling, Zaunblättling; werden häufig als Gruppe der Blättlinge zusammengefasst, da ähnliches Vorkommen, Aussehen, Schadbild)

Fäuleart	Braunfäule	
Holzarten	Nadel- und Laubholz (Zaun- und Tannenblättling: nur Nadelholz)	
Vorkommen	Im Freien verbautes Holz: Zäune, Gartenmöbel, Masten, Schwellen; sehr häufig an Fenstern; feuchte Gebäude	
Wachstumsbedingungen	Holzfeuchte	35-60%
	Temperatur	5-38 °C, Optimum 26-35 °C
Aussehen	Myzel	Substratmyzel bräunlich, keine Strangbildung
	Fruchtkörper	Muschel- oder leistenförmig, lederähnlich, zäh; wächst aus Rissen; einzeln oder dachziegelartiges Auftreten; rot-braune, enge Lamellen an der Unterseite; Oberseite braun (zum Teil filzig/zottig behaart) mit oftmals hellerem Rand; Dunkelfruchtformen bei Lichtmangel
Merkmale/ Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> - ruft typische Innenfäule hervor (äusserlich bei vollständiger Innenzerstörung nichts erkennbar) - jahrelange Trockenstarre möglich 	

* obligatorischer Prüfpilz nach EN 113 „Prüfverfahren zur Bestimmung der vorbeugenden Wirksamkeit gegen Holzzerstörende Basidiomyceten“



Abbildung 39 Schaden durch Blättlinge an Fensterholz



Abbildung 40 Fruchtkörper des Tannenblättlings (Quelle: www.pentol.ch)

Weisser Porenschwamm - *Antrodia vaillantii*

Fäuleart	Braunfäule	
Holzarten	Bevorzugt Nadelholz, selten Laubholz	
Vorkommen		In Gebäuden an feuchtem verbautem Holz; im Garten- bzw. Landschaftsbau, Palisaden, Masten, Schwellen, Bergwerke etc.
Wachstumsbedingungen	Holzfeuchte	30...45...90%
	Temperatur	3-36 °C, Optimum etwa 27 °C
Aussehen	Myzel	Zartes reinweisses Myzel, watteartig oder eisblumenförmig; weisse Stränge (dünn, biegsam)
	Fruchtkörper	Weissliche Polster mit Porenschicht (eckige Poren); ältere Fruchtkörper gelblich, hart, korkig
Merkmale/ Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> - häufig vergesellschaftet mit Braunem Kellerschwamm - auch an chromat- oder kupferhaltig imprägniertem Holz - Verwechslungsgefahr zum Echten Hausschwamm (Myzel) - kann lange Trockenzeiten überstehen 	



Abbildung 41 Junges Myzel des Weissen Porenschwammes (Quelle: www.bfafh.de)



Abbildung 42 Schadbild und kleine Fruchtkörper (Quelle: www.holzfragen.de)

Brauner Keller- und Warzenschwamm* - *Coniophora puteana*

Fäuleart	Braunfäule	
Holzarten	Nadelhölzer, seltener Laubhölzer	
Vorkommen		In feuchten Gebäuden an Balkenköpfen, unter Dielen, Im Keller, in Feuchträumen; Masten, Zäune, Pfähle, Schwellen

* obligatorischer Prüfpilz nach EN 113 „Prüfverfahren zur Bestimmung der vorbeugenden Wirksamkeit gegen Holzzerstörende Basidiomyceten“

Wachstumsbedingungen	Holzfeuchte	30...50...80%
	Temperatur	3-35°C, Optimum 22-26°C
Aussehen	Myzel	Oberflächenmyzel selten und schwach ausgebildet, anfangs weiss, später grau bis dunkelbraun; charakteristische dünne braun-schwarze Stränge (spinnwebenartig, Haftung an Untergrund)
	Fruchtkörper	Flache Krusten, hell bis dunkelbraun, weisslich-gelbe Zuwachszonen; Sporenbildung an der Oberseite; charakteristische Warzen (5mm Durchmesser); im trocknen Zustand brüchig
Merkmale/ Besonderheiten		<ul style="list-style-type: none"> - gefährlicher und zweithäufigster Hausfäulepilz - Wegbereiter für Echten Hausschwamm, häufig vergesellschaftet mit Weissem Porenschwamm - häufig Innenfäule erzeugend, bzw. Holzunterseiten zerstörend, während Oberseite intakt - schnelles Wachstum - Trockenstarre möglich



Abbildung 43 Myzel des Braunen Kellerschwammes (Quelle: www.pentol.ch)



Abbildung 44 Fruchtkörper Brauner Keller- und Warzenschwamm (Quelle: www.pentol.ch)

Echter Hausschwamm - *Serpula lacrimans*

Fäuleart	Braunfäule mit grobem Würfelbruch	
Holzarten	Nadel- und Laubholz, Kern und Splint	
Vorkommen	Altbauten, Keller, Erdgeschoss, Dachfussbereich etc.	
Wachstumsbedingungen	Holzfeuchte	Zum Auskeimen 30-60%, Aktivität 20-60%
	Temperatur	3-26°C, Optimum 18-22°C
Aussehen	Myzel	Frisches Oberflächenmyzel weiss und wattig; gelbe Hemmungsflecken; später lappige, graue Polster; bleistiftdicke graue Stränge (brechen im trocknen Zustand knackend) mit Myzel verwachsen
	Fruchtkörper	Häufig Fruchtkörper bildend; 10-100cm grosse, rotbraune Fruchtkörper mit weissem Zuwachsrand; Fruchtschicht fleischig und gefältelt; alte Fruchtkörper schwarz-braun und stinkend
Merkmale/ Besonderheiten		<ul style="list-style-type: none"> - gefährlichster Holzzerstörer, am schwierigsten zu bekämpfen - kann anorganische Materialien (Putz, Mauerwerk) überwachsen - Wassertransport über lange Strecken (Stränge) - befallenes Holz verformt und verwirft sich - kann auch auf trockenes Holz überwachsen - Sanierung schwierig und mit hohen Anforderungen



Abbildung 45 Strangmyzel des Echten Hausschwammes (Quelle: www.holzfragen.de)



Abbildung 46 Vom E.H. durchwachsendes Mauerwerk (Quelle: www.holzfragen.de)



Abbildung 47 Fruchtkörper des E.H. an Deckenbalken



Abbildung 48 Vergrößerung der Fruchtschicht (Quelle: www.holzfragen.de)

Schmetterlingsporling* - *Trametes versicolor*

Fäuleart	Weissfäule (schwarze, marmorartige Grenzlinien)	
Holzarten	Vorwiegend Laubholz (BU, BI), auch Nadelholz	
Vorkommen		Kranke, schwache Bäume; Holzlagerplätze; Schwellen, Masten, Gartenholz
Wachstumsbedingungen	Holzfeuchte	Optimum etwa 35%
	Temperatur	5-35°C, Optimum 26°C
Aussehen	Myzel	Sehr selten Oberflächenmyzel; weisses, dünnes Substratmyzel
	Fruchtkörper	Konsolförmig; häufig grosse Anzahl von Fruchtkörpern, dachziegelartige Anordnung; dünn, lederartig; Oberseite mehrfarbig gezont (braun, grün, gelb, rot, grau möglich), weisser Rand, behaart; Unterseite weiss-gelbe Poren
Merkmale/ Besonderheiten	- Pilz stirbt nach Austrocknung ab	



Abbildung 49 Fruchtkörper des Schmetterlingsporlings (Quelle: www.pentol.ch)

* Obligatorischer Prüfpilz nach EN 113 „Prüfverfahren zur Bestimmung der vorbeugenden Wirksamkeit gegen Holzzerstörende Basidiomyceten“

Striegeliger Schichtpilz** - *Stereum hirsutum*

Fäuleart	Weissfäule	
Holzarten	Vorwiegend Laubholz (BU, EI), vorwiegend Splintholz	
Vorkommen	Lagerndes Holz; Pfähle, Bretter	
Wachstumsbedingungen	Holzfeuchte	Hohe Holzfeuchte
	Temperatur	Keine Angabe
Aussehen	Myzel	Substratmyzel, keine Stränge
	Fruchtkörper	Dachziegelartiger, gelbbrauner Fruchtkörper; zahlreiche Fruchtkörper in gewellten Reihen; lederartig, krustig; Oberseite zottig behaart
Merkmale/ Besonderheiten	- wenig gefährlicher Holzzerstörer	



Abbildung 50 Fruchtkörper des Striegeligen oder Zottigen Schichtpilzes (Quelle: www.pilzfotopage.de)

Eichenporling bzw. Ausgebreiteter Hausporling - *Donkioporia expansa*

Fäuleart	Weissfäule	
Holzarten	Hauptsächlich Eiche, auch Kiefer, Fichte	
Vorkommen	In Gebäuden, Kellern, Fachwerkhölzer, Balken	
Wachstumsbedingungen	Holzfeuchte	Hohe Holzfeuchte
	Temperatur	Optimum 27°C
Aussehen	Myzel	Substratmyzel in Rissen/Spalten, weiss bis gelblich
	Fruchtkörper	Flach mit Röhrenschicht; 15-20cm Durchmesser oder grösser, bis wenige Zentimeter dick; bräunliche Röhren- bzw. Porenschicht; frisch zäh-elastisch, alt korkig
Merkmale/ Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> - streifenweise Zersetzung des Holzes - häufig in Altbauten (schlechter Zustand, hohe Feuchte) - befallenes Holz häufig durch Anobiiden befallen 	



Abbildung 51 Fruchtkörper des Eichenporlings **Abbildung 52** Myzel im Riegelanschluss eines Fachwerkbaus (Quelle: www.holzfragen.de) (Quelle: www.holzfragen.de)

** Fakultativer Prüfpilz nach EN 113 „Prüfverfahren zur Bestimmung der vorbeugenden Wirksamkeit gegen Holzzerstörende Basidiomyceten“

Moderfäulepilze

Fäuleart	Moderfäule	
Holzarten	Laubhölzer anfälliger als Nadelhölzer	
Vorkommen	An ständig feuchtem Holz, vor allem im Erdkontakt	
Wachstumsbedingungen	Holzfeuchte	Holzfeuchte über Fasersättigungsbereich
	Temperatur	5-35°C
Aussehen	Myzel	Anfangs weisslich-grau, später fast schwarz
	Fruchtkörper	Winzige Fruchtkörper ca. 1mm hoch (blau, grau, schwarz)
Merkmale/ Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none">- viele verschiedene Erreger v. a. aus den Klassen der <i>Ascomyceten</i> und <i>Funghi imperfecti</i>- Toleranz gegen Chrom-Fluor-Salze- Empfindlichkeit gegen Kupfer- erzeugen sehr kleinteiligen Würfelbruch- Oberfläche im feuchten Zustand schmierig	

Abbildung 53 Dunkelfärbung und kleinteiliger Würfelbruch durch Moderfäulepilze



2.2.4 Tierische Schädlinge

2.2.4.1 Allgemein

Bauteile aus Holz können auch durch Tiere in ihrer Funktionsfähigkeit beeinträchtigt oder zerstört werden. Die Zerstörung durch Insektenfrass kann wirtschaftlich schwerwiegend sein, auch kulturelle Gegenstände (alte Schnitzereien etc.) können unwiederbringlich zerstört werden.

Die eigentlichen Holzzerstörer sind aber nicht die Käfer oder Holzwespen an sich, sondern deren Larven, die sich während ihrer Entwicklung zum Vollinsekt durch das Holz fressen.

Die komplette Entwicklung vom Ei bis zum Vollinsekt wird als Generationsdauer bzw. Metamorphose bezeichnet und ist bei den einzelnen Käfern unterschiedlich lang (1 bis mehrere Jahre). Das Larvenstadium, in welches die eigentliche Holzzerstörung durch die Tiere fällt, ist meist sehr lang, während die anderen Stadien schneller abgeschlossen sind.

Die Larven durchziehen das Holz mit charakteristischen Frassgängen. Das Holz wird zerkleinert und zum Teil gegessen, weshalb Holzspäne und Kotpillen in den Frassgängen bleiben, die zur Bestimmung des Schädlings dienen können.

Viele Larven bevorzugen das weichere Frühholz, z.B. der Hausbockkäfer, weshalb Dachbalken und ähnlichen Bauteile einen hohen Kernanteil aufweisen sollten.

Auf das Larvenstadium folgt das Puppenstadium, während dessen keine Nahrung aufgenommen wird. Anschliessend schlüpft das Vollinsekt aus, das sich durch die meist nur dünne Holzschicht nach aussen frisst. Holzwespen können dabei sogar dünne Blei- oder Zinkplatten durchbohren, was bei unter Dach verbautem Holz zu einem spät erkennbaren Feuchteschaden führen kann. Das Insekt selbst legt nun wieder Eier in Holzrisse oder -spalten.

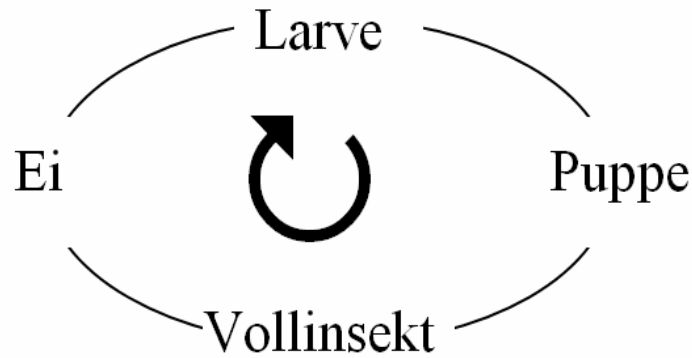


Abbildung 54 Entwicklungskreislauf Insekten

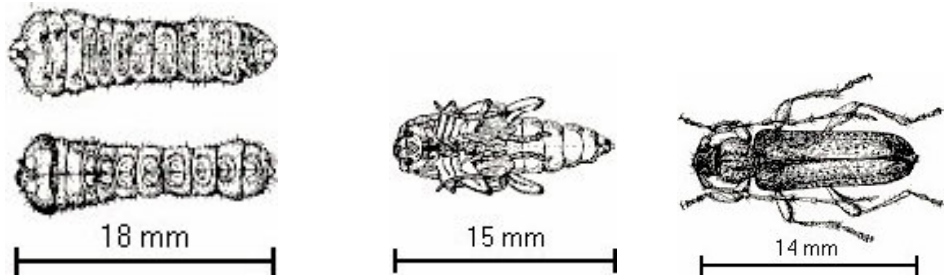


Abbildung 55 Veränderlicher Scheibenbock. Stadien: Larve, Puppe, Vollinsekt (Quelle: www.pentol.ch)

Tierische Holzschädlinge können folgendermassen eingeteilt werden, wobei die Zuordnung einer Spezies zu einer Klasse nicht immer eindeutig ist:

Frischholzinsekten

Sie befallen lebende oder frisch gefällte Bäume, sowie lagerndes Holz. Das betrifft also Holzfeuchten über 30%; nach dem Trocknen des Holzes finden Frischholzinsekten keine geeigneten Lebensbedingungen mehr vor und sterben ab. Die Schäden beziehen sich daher nicht auf Bauwerke, sondern auf den Rohstoff Holz. Ausnahme ist hierbei die Holzwespe, die beim Ausbohren zum Beispiel Dampfsperren oder Bleche zerstört und dadurch Folgeschäden hervorrufen kann.



Abbildung 56 Frassgänge eines Borkenkäfers

Trockenholzinsekten

Natürlich oder künstlich getrocknetes Holz ist durch Trockenholzinsekten gefährdet. Die resultierenden Schäden an Gebäuden (Dachbalken, Möbel, Kunstgegenstände usw.) sind zum Teil erheblich. Als Nahrung dienen den Insekten v.a. Kohlenhydrate und Eiweisse. Der Eiweissanteil ist dann auch entscheidend für die Entwicklungszeit der Larven und den Zerstörungsgrad durch diese.



Abbildung 57 Schaden durch Nagekäfer an Geländerholm

Marine Holzzerstörer

Die Meerwasserschädlinge greifen im (Salz-)Wasser verbautes Holz z.B. von Hafenanlagen und Holzschiffe an. Auch sie können immense Schäden hervorrufen, sind aber weder für die Schweiz noch im Holzbau von Bedeutung.

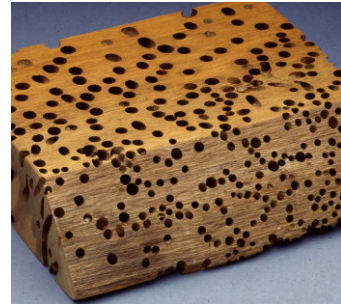


Abbildung 58 Frassbild der Schiffsbohrmuschel

Gelegentlich wird auch die Gruppe der **Faulholz-Insekten** genannt, die feuchtes, pilzgeschädigtes Holz befallen. Zu dieser Gruppe gehören u.a. einige Vertreter der Nagekäfer (z.B. Trotskopf, Gescheckter Nagekäfer). Auch einige Ameisenarten bevorzugen Holz, welches durch Pilze vorgeschädigt ist.



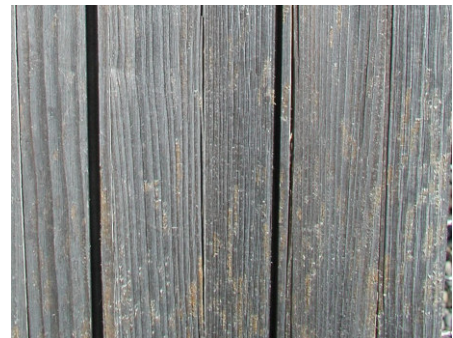
Abbildung 59 Durch Pilze und Ameisen zerstörtes Stück Holz

Tabelle 7 Einordnung tierischer Holzzerstörer (Quelle: www.holzfragen.de)

Befalls- biologische Einteilung	Ordnung	Familie	Art (deutsch)	Art (latein)
Frischholz- insekten	Hymenoptera (Hautflügler)	Siricidae (Holzwespen)	Riesenhilzwespe	Urocerus gigas
			Stahlblaue Holzwespe	Sirex juvencus
			Blaue Fichtenholzwespe	Sirex noctilio
	Coleoptera (Käfer)	Scolytidae (Borkenkäfer)	Buchdrucker	Ips typographus
			gestreifter Nadelholzborkeukäfer	Trypodendron lineatum
			Buchennutzholzborkeukäfer	Trypodendron domesticum
			Eichennutzholzborkeukäfer	Trypodendron signatum
			gestreifter Nutzholzborkeukäfer	Xyloterus lineatus
			Ungleicher Nutzholzborkeukäfer	Xyleborus dispar
			Kiefernborkeukäfer, Zwölfzähner	Ips sexdentatus
			Gehöckerter Eichenholzbohrer	Xyleborus monographus
			Kleiner Holzbohrer	Xyleborus saxeseni
			Platypodidae (Kernholzborkeukäfer)	Eichenkernkäfer
		Lymexylidae (Werftkäfer)	Schiffswerftkäfer	Lymexylon navale
			gewöhnlicher Werftkäfer	Hylecoetus dermestoides
		Cerambycidae (Bockkäfer)	Schneiderbock	Monochamus sartor
			Schusterbock	Monochamus sutor
			Großer Pappelbock	Saperda carcharias
			Fichtenbock	Tetropium castaneum
			Lärchenbock	Tetropium gabrieli
Düsterbock	Asemum striatum			
Dunkelbrauner Halsgrubenbock	Arhopalus rusticus			
Schwarzbrauner Gruben- Halsbock	Arhopalus ferus			
Großer Eichenbock	Cerambyx cerdo			
Feuchtholz- insekten	Coleoptera (Käfer)	Cerambycidae (Bockkäfer)	Hausbockkäfer	Hylotrupes bajulus
			Blauer Scheibenbock	Callidium violaceum
			Veränderlicher Scheibenbock	Phymatodes testaceus
			Erzfarbiger Scheibenbock	Callidium aeneum
			Mulmbock	Ergates faber
			Rothals- oder Schmalbock	Leptura rubra
			Rothaarbock	Pyrrhidium sanguineum
	Tenebrionidae (Schwarzkäfer)	Genetzter Schwarzkäfer	Bolitophagus reticulatus	
Trockenholz- insekten	Coleoptera (Käfer)	Anobiidae (Nage-, Poch-/Klopfkäfer)	gewöhnlicher Nage- oder Möbelkäfer	Anobium punctatum
			Trotzkopf	Coelostethus pertinax
			Bunter-/ Gescheckter Nagekäfer, Totenuhr	Xestobium rufovillosum
			Gekämmter Nagekäfer	Ptilinus pectinicornis
			Weicher Nagekäfer	Ernobius mollis

		Oedemeridae (Scheinbockkäfer)	Werftbohrkäfer	Nacerdes melanura
		Lyctidae (Splintholzkäfer)	Brauner Splintholzkäfer	Lyctus brunneus
			Parkettkäfer	Lyctus linearis
		Bostrychidae (Holzbohrkäfer)	Kapuzinerkäfer	Bostrychus capucinus
			Bambusbohrer	Dinoderus minutus
		Melandryidae (Düsterkäfer)	-	
		Curculionidae (Rüsselkäfer)	Grubenholzkäfer	Rhyncolus culinaris
	Rüsselkäfer		Euophryum confine	
	Cleridae (Buntkäfer)	Stahlblauer Käfer	.Korynetes caeruleus	
	Isoptera (Gleichflügler)	Termitidae (Termiten)	Gelbhalsige Holztermite	Calotermes flavicollis
			Lichtscheue Bodentermite	Reticulitermes lucifugus Rossi
			Gelbfüßige Bodentermite	Reticulitermes flavipes Kollar
Hymenoptera (Hautflügler)	Formicidae (Ameisen)	Glänzenschwarze Holzameise	<i>Lasius fuliginosus</i>	
		Rossameisen, Riesenameisen	<i>Camponotus</i>	
marine Holzzerstörer	Isopoda (Asseln)	Sphaeromatidae	Kugelasseln (europäische)	Sphaeroma serratum
		Limnoriidae	Bohrasseln	Limnoria lignorum
	Mollusca (Weichtiere)	Teredinidae (Schiffsbohrwürmer)	Schiffsbohrmuschel, Schiffsbohrwurm	Teredo navalis
			Holzbohrmuschel	Bankia setacea
Amphipoda (Flohkrebse)	Cheluridae	Bohr(floh)krebse		
Vorrats-schädlinge	Coleoptera (Käfer)	Ptinidae (Diebskäfer)	Diebskäfer	Ptinus spp
			Australische Diebkäfer	Ptinus tectus
			Kräuterdieb	Ptinus fur

Abbildung 60 Wespenfrass kann die Oberflächen von Fassaden beschädigen



2.2.4.2 Wichtige Vertreter

Hausbockkäfer – *Hylotrupes bajulus*

Der Hausbock gilt in Mitteleuropa als der gefährlichste und wirtschaftlich bedeutendste der tierischen Holzzerstörer.

Er kann sowohl im Freien (Masten, Pfähle, Brücken, Fachwerk, Zäune) als auch in Innenräumen vorkommen. Im Haus ist er vor allem in Dachstühlen, aber auch an Deckenbalken, Treppen, Fussböden etc. zu finden. Der Hausbock befällt ausschliesslich Nadelholz, da die Larven sich in Laubholz nicht entwickeln können. Es wird vorwiegend die Aussenzone des Splintholzes gefressen, der Kern wird weitgehend gemieden. Die Befallswahrscheinlichkeit eines Holzbauteiles sinkt mit zunehmendem Alter (d.h. sinkendem Eiweissgehalt).

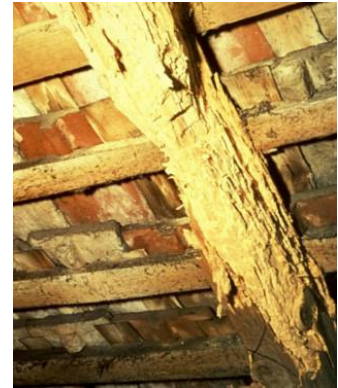


Abbildung 61 Schaden an Dachbalken durch Hausbockkäfer

Der Hausbock ist sehr wärmeliebend. Die Larven sind unter 10°C nur sehr gering aktiv, überleben aber auch Frost. Das Temperaturgefälle, das sich dem Hausbock auf Dachböden bietet (Sommer warm - Winter kalt), ist optimal für eine gleichzeitige Entwicklung der Larven, deren Verpuppung (niedrige Temperaturen) und gleichzeitigen Schlupf. Der Flug der Käfer ist relativ kurz, daher ist die zeitgleiche Entwicklung der Insekten wichtig für deren Fortpflanzung. Die Entwicklung der Larven ist zudem stark vom Eiweissgehalt des Holzes abhängig. Auch Zellulose und Polyosen dienen als Nahrung.

Beschreibung: Weibchen 10-25mm; Männchen 8-16mm; Körper und Flügeldecken schwarz, seltener braun; dicht behaarter Halsschild mit zwei tropfenförmigen Erhebungen; 1-2 Querbänder aus weissgrauen Haaren auf den Flügeldecken; Beine schlank mit keulenförmig verdickten Schenkeln; Fühler etwa halb so lang wie der Körper; Weibchen mit Legeröhre

Larve: 15-30mm lang; gelblichweiss; langgestreckt, am Kopf breiter als am Hinterleib; drei winzige Beinpaare an den vorderen Brustsegmenten; dunkle Fühlerbasis mit 2x3 Punktaugen

Schadbild: Frass beginnt in äusseren Splintholz zonen; unregelmässig verlaufende Gänge meist in Faserrichtung; Frühholz bevorzugt; wellenförmige Nagespuren im Frassgang (Rippelmarken); Nagsel und Kotpillen locker in den Gängen; Frassgänge häufig bis dicht unter die Holzoberfläche;

Ausfluglöcher: oval, 5-10mm Längsdurchmesser (ausgefranst, bei glatter Holzoberfläche aber glattrandig)

Generationsdauer: normal 3-6 Jahre, in Einzelfällen auch 10 Jahre

Flug- und Paarungszeit: Juni-August



Abbildung 62 Frassgänge mit typischen Rippelmarken, Hausbockweibchen mit Ausflugloch, Larve (Quelle mitte und rechts: www.pentol.ch)

Gewöhnlicher Nagekäfer – *Anobium punctatum*

Der gewöhnliche Nagekäfer ist der häufigste und wirtschaftlich bedeutendste Vertreter aus der Familie der Nagekäfer. Er bzw. seine Larve wird häufig als „Holzwurm“ bezeichnet; früher wurde er fälschlicherweise oft Poch-/Klopfkäfer oder Totenuhr genannt.

Der gemeine Nagekäfer kommt an verbautem, trockenem Holz (Balken, Bretter, Dielen/Parkett, Möbel, Kunstgegenstände) vor. Befallen wird Nadel- und Laubholz, wobei der Splint bevorzugt wird. Kernholz wird befallen, wenn es durch Pilze vorgeschädigt ist.

Der gewöhnliche Nagekäfer bevorzugt etwas kältere, feuchtere Plätze (22 °C, u>12% optimal) als der Hausbock, weshalb er vor allem in Kellern, Erdgeschossen und häufig in Kirchen zu finden ist.

Die Larven ernähren sich vor allem von der Zellulose und Eiweissen im Holz. Sie fressen relativ ortstreu, d.h. sie bleiben meist solange im Holz, bis diese vollständig zerstört ist.

Beschreibung: dunkelbraune bis schwarze Käfer; 3-5mm lang; Längsstreifen aus punktförmigen Grübchen auf den Flügeldecken; Halsschild verdeckt den Kopf kapuzenartig

Larve: gelblichweiss, engerlingsartig gekrümmt, 4-6mm lang; Kopf deutlich vom Brustabschnitt abgesetzt; drei Beinpaare

Schadbild: Frass vorwiegend im Frühholz (Spätholzlamellen bleiben stehen); Gänge selbst unregelmässig (1-2mm Durchmesser); Gänge locker mit Bohrmehl gefüllt (+ walzenförmige Kotteilchen: ein Ende stumpf, eines zugespitzt), kleine runde Ausfluglöcher (1-2mm)

Generationsdauer: 4-8 Jahre

Flug- und Paarungszeit: April-August (Hauptflugzeit Mai-Juli)



Abbildung 63 Schadbild, Larve und Vollinsekt mit Ausflugloch (Quelle mitte und rechts: www.pentol.ch)

Brauner Splintholzkäfer

Der Braune Splintholzkäfer ist der bedeutendste Schädling aus der Gruppe der Splintholzkäfer. Er ist ursprünglich nicht in Mitteleuropa heimisch, hat sich aber nach seiner Einschleppung durch Holzimporte auch hier eingelebt. Seine grosse wirtschaftliche Bedeutung ergibt sich aus seiner schnellen Generationsfolge von durchschnittlich 1 Jahr. Zudem bevorzugt er trockene, warme Lebensräume, wie zum Beispiel zentral geheizte Wohnungen.

Er befällt ausschliesslich stärkereiches Laubholz, das betrifft Tropenhölzer (Abachi, Limba, Okumé etc.) und einheimische Laubhölzer (EI, UL, ES etc.), ausser der Rotbuche. Kernholz wird aufgrund der geringen Nährstoffmenge (Stärke, Zucker, Eiweiss) nicht gefressen. Betroffen können Möbel, Türen, Fenster, Vertäfelungen und Parkett sein. Die Larven können sich auch durch Beschichtungen fressen. Der Braune Splintholzkäfer lebt auch in relativ trockenem Holz (ab u = 7% bis u = 30%). Die optimale Temperatur liegt bei 26/27 °C.

Beschreibung: schlanker, stäbchenförmiger rot-brauner Käfer mit trapezförmigem Halsschild; 2,5-8mm; Kopfteil meist dunkler

Larve: engerlingsartig gekrümmt, elfenbeinfarben, bis 6mm lang, 3 Beinpaare

Schadbild: Festverstopfte Frassgänge bis 2mm Durchmesser; grosse Mengen puderfeinen Bohrmehls; Gänge vorwiegend in Faserrichtung (unregelmässiger Verlauf); Ausschlugloch rund 0,8 bis 2mm gross, ausgefranter Rand

Generationsdauer: normal 1 Jahr, 5-18 Monate

Flug- und Paarungszeit: April-Juni



Abbildung 64 Frassgänge, Larve und Vollinsekt (Brauner Splintholzkäfer) (Quelle links und rechts: www.holzfragen.de; Quelle mitte: www.pentol.ch)

Holzwespen

Stahlblaue/Gemeine Holzwespe -*Sirex juvenicus*

Die Holzwespen sind Waldinsekten, welche schwache Bäume oder lagerndes Holz (mit oder ohne Rinde) befallen, um ihre Eier in Risse oder Spalten zu legen. Fast alle Holzwespenarten (u.a. Gemeine Holzwespe –*Sirex juvenicus*; Riesenh Holzwespe -*Sirex gigas*) leben in Symbiose mit Pilze und sind daher an frisches Holz gebunden.

Wirtschaftliche Bedeutung haben nur die in Nadelholz (KI, FI, TA, LÄ) brütenden Arten. Laubholzbrütende Arten befallen Holz, welches aufgrund seiner Vorschädigung durch Pilze nicht vom Menschen genutzt wird.

Die Holzwespe bohrt mit ihrem Legebohrer einen Kanal ins Holz und legt ihre Eier im Splintholz ab. Die Larven fressen sich abhängig vom Nahrungsangebot, der Holzfeuchte und der Temperatur abhängig etwa 2, 3 bis 6 Jahre durchs Holz, wobei sie bis ca. 20cm tief in das Holz vorstossen. Die Frassgänge werden fest mit Nagsel verstopft, so dass ein Befall auch bei eingeschnittenem Holz schlecht erkennbar ist

Einmal getrocknetes Holz wird nicht mehr befallen; bereits geschlüpfte Larven setzen ihre Entwicklung und Frasstätigkeit jedoch fort. Es entstehen allgemein geringe Schäden ohne nennenswerten Einfluss auf die Festigkeitseigenschaften des Holzes. Es können allerdings beträchtliche Folgeschäden entstehen, wenn die aus dem Holz schlüpfenden Insekten sich durch andere Materialien (Linoleum, Teppiche, Täfelungen, Parkett, Dachpappe, dünne Blei-/Zinkplatten) ins Freie bohren/nagen. Denn dort können Eintrittstellen für Feuchte entstehen, die Pilzschäden nach sich ziehen können.

Beschreibung: Weibchen 15-35 mm lang, metallisch glänzend, blauschwarz, kurzer Legestachel; Beine und Fühlerbasis orangefarben; Männchen: 8-25mm lang, Hinterleib rotgelb, Vorderteil schwarz

Larve: bis 30mm lang; weichhäutig, weisslich, walzenförmig, augenlos; 3 Paar stummelartige Brustbeine; dunkler, dornartiger Stachel am Hinterleib

Schadbild: Bohrgänge 15-25cm lang, fest mit Bohrmehl verstopft; Puppenwiege nahe Rinde bzw. Oberfläche

Generationsdauer: 2-6 Jahre

Flug- und Paarungszeit: Juni-August

Bohrgänge werden mit zunehmender Grösse der Larve grösser; Ausfluglöcher (4-10mm; kreisrund, glattrandig)



Abbildung 65 Festverstopfte Frassgänge in grosser Anzahl, Larve und Vollinsekt (Riesenh Holzwespe) (Quelle mitte und rechts: www.pentol.ch)

Holzbewohnende Ameisen

Von der Vielzahl verschiedener Ameisenarten nutzen nur wenige stehendes oder verbautes Holz zum Nestbau, wie zum Beispiel die einheimische Ross- bzw. Riesenameise (*Camponatus herculeanus* L.). Diese können im Holz wohnen und die Holzsubstanz als Baumaterial nutzen.

Ameisen ernähren sich von Blattlaushonig und Pflanzensäften, weshalb ein Vorkommen in verbautes Holz meist in Waldnähe liegt, da die Tiere auf Sträucher und Bäume angewiesen sind. Im Gebäude können Bodendielen oder Balken befallen sein. Am stehenden Baum legen die Tiere ihre Nester im Kern- oder Reifholzbereich an, so dass der wasserführende Splint im Allgemeinen unversehrt bleibt und der Baum weiterlebt.

Das weiche Frühholz wird von den Ameisen ausgenagt, während das Spätholz lamellenartig stehenbleibt. Die entstehenden Hohlräume bilden ein System aus Gängen und Kammern, welches im gesunden Holz relativ regelmässig, in morschem Holz aber eher unregelmässig ausgeprägt ist. Betroffen sind Nadelhölzer (FI, TA, KI) und weiche Laubhölzer (PA, WE, BI).

Sowohl der Baum als auch verbautes Holz wird durch den Abbau der Holzsubstanz geschwächt, was zu Sturmschäden bzw. mechanischem Versagen führen kann.

Die Flugzeit der Ameisen liegt im Juni.

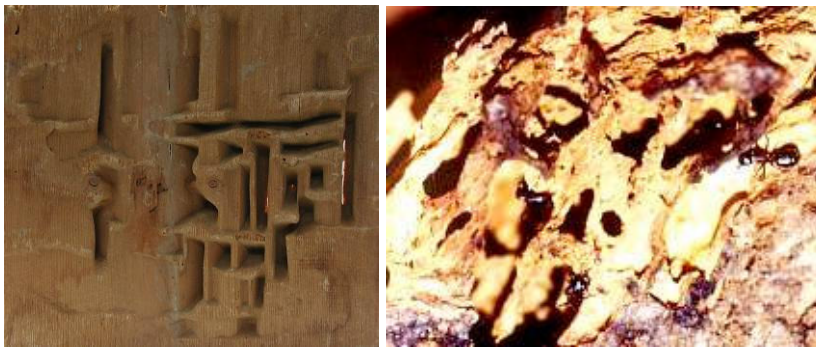


Abbildung 66 Schadbild und Befall durch Holzzerstörende Ameisen (Quelle rechts: www.pentol.ch)

Termiten

Die Termiten sind aufgrund ihrer Verbreitung und Zerstörungskraft die weltweit bedeutendsten Holzschädlinge. Sie sind allerdings nördlich der Alpen nicht heimisch und daher in der Schweiz nicht von wirtschaftlicher Bedeutung. Nur wenige Fälle von Termitenbefall nördlich der Alpen sind bekannt, der bekannteste in Hamburg, wo die Termiten jahrzehntelang überlebt haben, bevor sie bekämpft wurden.

Termiten ernähren sich von zellulosehaltigen Stoffen, auch von Wolle oder Horn. Nur wenige Arten sind Holzfresser. Das Holz wird von ihnen sowohl bewohnt, als Baumaterial benutzt, als auch gefressen. Es können stehende Bäume ebenso wie verbautes Holz befallen werden. Das Holz wird stark ausgehöhlt. Hierbei wird wie bei den Ameisen, das Frühholz abgebaut und das Spätholz lamellenartig stehen gelassen. Die Holzoberfläche bleibt dabei weitgehend unverletzt, weshalb ein Befall zunächst nicht sichtbar ist. Dennoch werden aufgrund der Anzahl der Tiere in kurzer Zeit starke Zerstörungen erreicht, die zu einem Versagen von Bauteilen führen können.



Abbildung 67 Larven, Arbeiterin und Termitenkönigin (Quelle: www.pentol.ch)

2.3 Holzschutzmassnahmen

2.3.1 Allgemein

Unter Holzschutz werden alle Massnahmen, die eine Wertminderung oder Zerstörung von Holz oder Holzwerkstoffen verhindern bzw. verzögern, verstanden.

Im Zusammenspiel der verschiedenen Schutzmöglichkeiten soll ein ideales Verhältnis zwischen Aufwand und Ertrag erreicht werden. Das Ziel sollte sein, dass das Holz trotz allem noch ein ökologischer Werkstoff bleibt, und nicht unnötigerweise mit Chemie belastet wird

Tabelle 8 Zusammenfassende Darstellung von diversen Schutzmassnahmen

Art der Massnahme		Aufgabe	Beispiele	Bedeutung/Anmerkungen
Organisatorischer Holzschutz		durch Planung und Koordination unzutragliche Bedingungen vor der endgültigen Nutzung vermeiden	Abstimmung von Fällungszeit/ Abtransport/ Einschnitt; trockene Lagerung an der Baustelle	Vermeiden von Qualitätsverlusten des Rohstoffes Holz, Sicherstellen des Verbauens von trockenem Holz (zu feuchtes Holz durch Fäulepilze gefährdet)
Natürlicher Holzschutz		Auswahl der Holzarten aufgrund ihrer natürlichen Dauerhaftigkeit	Einsatz natürlich dauerhafter Holzarten je nach Gefährdung	Begrenzte Verfügbarkeit, insbesondere von Holzarten mit hoher Dauerhaftigkeit im Erdkontakt
Baulicher Holzschutz	Konzeptioneller Holzschutz	Berücksichtigung der Eigenschaften des Bau- und Werkstoffes Holz	Durchlässigkeit (Wiederbefeuchtung), Stehvermögen (Rissbildung), Dimensionen, Jahrringlage, getrocknete Hölzer	Abstimmung der Wahl und Ausformung des Holzes auf die Anwendungsbedingungen, ist häufig mit grösserem Aufwand und höheren Kosten verbunden
	Konstruktiver Holzschutz	Vermeiden von Bedingungen, die einen Schädlingsbefall ermöglichen	wasserabweisende Konstruktionen, Verhindern von Tauwasserbildung; Fernhalten von Insekten durch vollflächige Abdeckung	Von grosser Bedeutung zur Verhinderung von Fäulnisschäden, die stets eintreten können, wenn Holz zu lange feuchte ist; Gegen Insekten nur begrenzt möglich
Physikalischer Holzschutz		Vermindern der Feuchteaufnahme von Holz	Wasserabweisende Beschichtung oder Imprägnierung	Indirekte Massnahme, die durch Verwitterung oder Rissbildung hinfällig werden kann
Chemischer Holzschutz		Anwendung von Bioziden gegen potentielle Holzschädlinge	Holzimprägnierung	Bei sorgfältiger Wahl der Holzschutzmittel und Ausführung sehr effizient, in Teilbereichen der Holzverwendung (z.B. im Erdkontakt) für zahlreiche Holzarten unerlässlich, doch Belastung der Umwelt möglich
Biologischer Holzschutz		Nutzung von Lebensvorgängen zur Abwehr von Holzschädlingen	Einsatz von Antagonisten (natürlichen Feinden)	Erfolgversprechend aber noch nicht praxisreif; hierzu kann bedingt auch die Anwendung von Naturstoffen als Holzschutzmittel zählen
Modifikation des Holzes	Chemisch	Veränderung der Holzsubstanz (Anfälligkeit für Holzschädlinge vermindern)	Acetylierung (mit Essigsäureanhydrid)	Noch zahlreiche ungelöste technische Probleme
	Thermisch		Wärmebehandlung	Negativer Einfluss auf die Holzfestigkeit
Einlagerung von Harzen		Einbringen biozidfreier Stoffen in das Holz, um das Holz weniger anfällig zu machen	Drucktränkung mit wasserlöslichen Harzen	Aufgrund der hohen Kosten nur für wenige Anwendungen wirtschaftlich
Verkieselung		Erhöhung der Widerstandsfähigkeit gegen Organismen ohne Biozide	Behandlung mit Kieselsäure und anderen Siliziumverbindungen	Wissenschaftlicher Nachweis einer Wirkung bisher nicht möglich; verbessertes Brandverhalten

Allgemein gilt, dass alle Möglichkeiten zum Schutz des Holzes auf natürlichem und konstruktivem Weg prinzipiell ausgeschöpft werden sollten. Erst dann sollte, wenn erforderlich, chemischer Holzschutz zum Einsatz kommen.

2.3.2 Natürlicher Holzschutz

Als natürlichen Holzschutz bezeichnet man die Auswahl natürlich resistenter Holzarten für den Einsatz in bestimmten Gebrauchsklassen nach EN 335. Die natürliche Dauerhaftigkeit einer Holzart kann nach EN 350 ermittelt werden. In dieser Norm wird unterschieden zwischen der Dauerhaftigkeit:

- gegen Pilzbefall (5 Klassen),
- gegen Larven von Trockenholz zerstörenden Käfern (2 Klassen),
- gegen Termitenangriff (3 Klassen) und
- gegen einen Angriff durch Holzschädlinge im Meerwasser (3 Klassen).

Für die Anwendung der einzelnen Hölzer in den Gebrauchsklassen gibt die EN 460 Richtlinien vor. Sie gibt einen konkreten Leitfaden für die Eignung der Dauerhaftigkeitsklassen (gegenüber holzerstörenden Pilzen) in den Gebrauchsklassen vor.

Tabelle 9 Natürliche Dauerhaftigkeit und Tränkbarkeit ausgewählter Holzarten (aus EN 350-2)

Benennung		Natürliche Dauerhaftigkeit				Tränkbarkeit	
		Pilze	Hausbock	Anobium	Termiten	Kernholz	Splintholz
Eibe	<i>Taxus baccata</i>	2	S	S	k. A.	3	2
Fichte	<i>Picea abies</i>	4	SH	SH	S	3-4	3v
Kiefer	<i>Pinus sylvestris</i>	3-4	S	S	S	3-4	1
Lärche	<i>Larix decidua</i>	3-4	S	S	S	4	2v
Radiata Pine	<i>Pinus radiata</i>	4-5	S	SH	S	2-3	1
(Weiss-) Tanne	<i>Abies alba</i>	4	SH	SH	S	2-3	2v
Afrormosia	<i>Pericopsis elata</i>	1-2	k. B.	k. A.	D	4	1
Afzelia	<i>Afzelia bipindensis</i>	1	k. B.	k. A.	D	4	2
Ahorn	<i>Acer pseudoplatanus</i>	5	k. B.	S	S	1	1
Amerikanische Roteiche	<i>Quercus rubra</i>	4	k. B.	k. A.	S	2-3	1
Bangkirai	<i>Shorea laevis</i>	2	k. B.	k. A.	D	4	1-2
Edelkastanie	<i>Castanea sativa</i>	2	k. B.	S	M	4	2
Jarrah	<i>Eucalyptus marginata</i>	1	k. B.	k. A.	M	4	1
Robinie	<i>Robinia pseudoacacia</i>	1-2	k. B.	S	D	4	1
Roskastanie	<i>Aesculus hippocastanum</i>	5	k. B.	SH	S	1	1
Rotbuche	<i>Fagus sylvatica</i>	5	k. B.	S	S	1 (4)	1
Stiel-/Traubeneiche	<i>Quercus robur</i>	2	k. B.	S	M	4	1
Teak	<i>Tectona grandis</i>	1	k. B.	k. A.	M	4	3
Wengé	<i>Millettia laurentii</i>	2	k. B.	k. A.	D	4	k. A.

Erklärungen:

Natürliche Dauerhaftigkeit gegen Pilz

- 1 sehr dauerhaft
- 2 dauerhaft
- 3 mässig dauerhaft
- 4 wenig dauerhaft
- 5 nicht dauerhaft

Natürliche Dauerhaftigkeit gegen Hausbock, Anobium, Termiten

- D dauerhaft
- M mässig dauerhaft
- S anfällig
- SH auch Kernholz ist als anfällig bekannt

Tränkbarkeit

- 1 gut tränkbar
- 2 mässig tränkbar
- 3 schwer tränkbar
- 4 sehr schwer tränkbar
- k. B. kein Befall (der Hausbockkäfer befällt nur Nadelholz)
- k. A. keine oder ungenügende Angaben
- v hohes Mass an Variabilität

Neben der natürlichen Dauerhaftigkeit einer Holzart ist auch auf dessen Festigkeitseigenschaften Wert zu legen, um eine angemessene Tragfähigkeit der Bauteile gewährleisten zu können. Weiterhin sind die Verfügbarkeit und der Preis wichtige Entscheidungskriterien bei der Holz Auswahl.

2.3.3 Organisatorischer Holzschutz

Der Einbau von Holz mit zu hoher Feuchte ist einer der häufigsten Fehler im Holzbau. Denn Holz fachgerecht einbauen bedeutet auch, dass es in der im Praxiseinsatz zu erwartenden Feuchte eingebaut wird. Zu diesem Zweck muss das Holz heruntergetrocknet werden. Die technische Trocknung ist zwar kostenintensiv, erfüllt aber zwei Ansprüche:

- Holz das einmal getrocknet wurde und aufgrund der richtigen Bauausführung trocken bleibt ist nicht durch Pilzbefall gefährdet
- Insektenlarven, die sich evtl. im Holz befinden, werden durch die Trocknung bei hohen Temperaturen abgetötet und somit gar nicht erst mit ins Haus gebracht.

Zu der Problematik des organisatorischen Holzschutzes gehört auch die Planung von Fällung bis Bedarf. Die Fällzeit, schneller Abtransport und angemessene Lagerung bieten Schutz vor dem Befall und Schäden durch Frischholzinsekten. Die jährlichen Fällzeiten orientieren sich daher an den Flug- und Paarungszeiten holzerstörender bzw. -bewohnender Insekten. Holz wird meist im Winterhalbjahr geschlagen und noch vor Beginn des Sommer (bzw. der Paarungszeit der Insekten) aus dem Wald abtransportiert.

Kann Holz, z.B. aus Sturmbruch, nicht rechtzeitig abtransportiert werden, kann es künstlich beregnet werden. Dadurch wird das Holz vorm Austrocknen und damit verbundener Schwindung bewahrt. Mikrorisse, die durch die Trocknung entstünden, könnten sonst zahlreichen Insekten die Eiablage im Holz bzw. den Einflug von Pilzsporen ermöglichen. Zugleich ist das Holz „zu nass“ für das Gedeihen holzverfärbender oder -zerstörender Pilze.

Wird Holz länger gelagert, ist es rasch zu entrinden. Dadurch trocknet es schneller ab und bietet zahlreichen Insekten, die ihre Eier ausschliesslich in berindetes Holz legen (z.B. Scheibenböcke), keine Lebensgrundlage.

Stichwort Mondholz

Die Anpreisung von sogenanntem Mondholz als pilz- und insektenresistent hingegen ist nichts als (überlieferter) Aberglaube und der Versuch, mehr Geld für ganz normales Holz zu erhalten. Dieses Holz ist nicht besser oder schlechter als solches, dass zu „ungünstigen“ Zeitpunkten gefällt wurde. Entscheidend ist der rechtzeitige Abtransport und die fachgerechte Lagerung (und Trocknung). Der Imageschaden, der dem Baustoff Holz durch die Vermarktung von Mondholz und daran geknüpfte unrealistische Versprechen entsteht, ist nicht genau abzuschätzen.

2.3.4 Konstruktiver Holzschutz

Sowohl bei der Planung als auch bei der Ausführung von Holzkonstruktionen müssen die Grundregeln des konstruktiven Holzschutzes beachtet werden. Grundsätzlich gilt es, Zustände, die eine Befeuchtung, Pilzbefall, Insektenbefall etc. begünstigen, zu vermeiden.

Wird die falsche Holzart (Abschnitt 3.2) benutzt, bzw. Holz schlecht verbaut oder an nicht geeigneten Orten eingesetzt, ist ein chemischer Holzschutz unbedingt nötig. Durch unsachgemässen Einsatz wird für das Holz nur Negativ-Werbung gemacht!

Konstruktiver Holzschutz ist also in erster Linie Feuchteschutz, denn Holz ist eigentlich erst durch Pilze gefährdet, wenn die Holzfeuchte ständig 18-20% übersteigt. Der Begriff Feuchteschutz beinhaltet dabei:

- Tauwasserschutz und
- Wetterschutz (Beachtung von Regenschutz, Wasserablauf und Spritzwasserbereich)

Zahlreiche konstruktive Grundregeln sind diesbezüglich zu beachten:

- Niederschläge abführen (Risse nicht nach oben, keine waagerechten Flächen, Ausbildung von Tropfnasen)
- Vermeiden von Holzverbindungen/Haarfugen, in denen sich Wasser ansammelt
- Vermeidung von Spritzwasser (Abstand Unterkante Holz – Boden ≥ 300 mm)
- Schutz der Bauteile gegen aufsteigende Feuchte durch ausreichenden Bodenabstand oder durch Sperrschichten (Erdkontakt vermeiden)
- Sicherstellen eines ausreichenden Luftzutritts bzw. einer ausreichenden Luftzirkulation (Hinterlüftung, luftumspülte Konstruktionen)
- Abschrägen von Hirnholzflächen, besser noch Abdeckung (sog. Opfer-/ Pfettenbrettchen)
- Anordnung ausreichend grosser Dachüberstände, Klebdächer
- Ausbildung von Fassadenvorsprüngen
- vertikale statt horizontale Anordnung von Fassadenbrettern
- Vermeiden von Hölzern, die stärker zur Schwindrissbildung neigen (z.B. grosse Querschnitte aus einstieligem Einschnitt)
- Konstruktive Berücksichtigung von feuchtebedingten Massänderungen (bei Montage drauf achten, dass Schwind- und Quellsbewegungen möglichst wenig behindert werden)
- Holzkanten anfasen, damit Anstriche besser haften

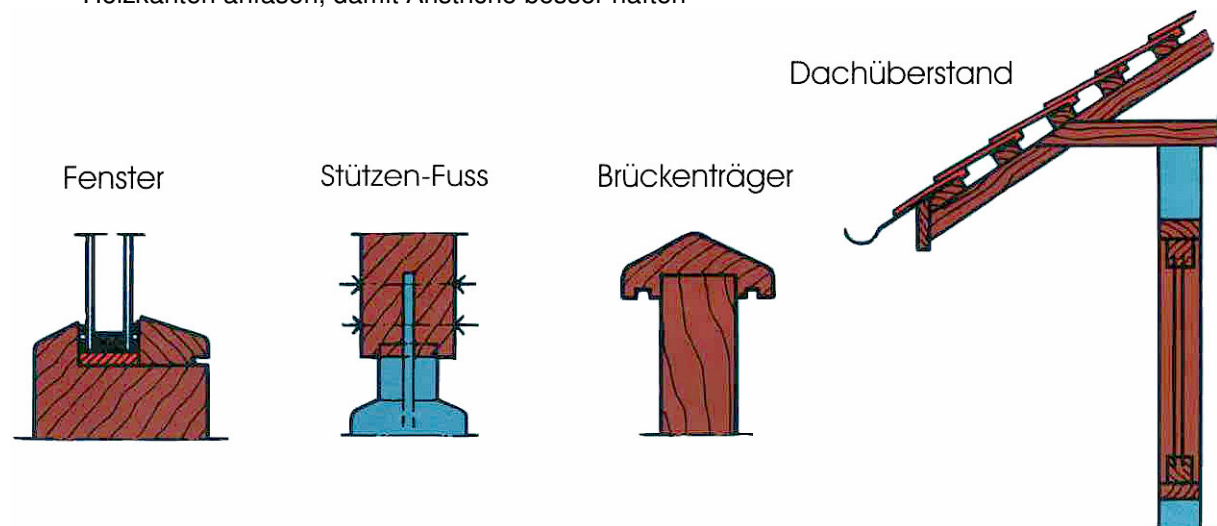


Abbildung 68 Beispiele für den konstruktiven Holzschutz

2.3.5 Chemischer Holzschutz

2.3.5.1 Allgemein

Der chemische Holzschutz ist nur eine, und zwar die als letztes anzuwendende, Möglichkeit, die Gebrauchsdauer des Holzes zu erhalten. Während beim bekämpfenden Holzschutz Massnahmen ergriffen werden, um einen bereits erfolgten Insekten- oder Pilzbefall zu beseitigen, ist es das Ziel des vorbeugenden Holzschutzes, einen solchen Befall von vornherein auszuschliessen, bzw. zu minimieren.

Vor Errichtung einer Holzkonstruktion wird nach folgendem Schema ermittelt, ob eine chemische Schutzmassnahme für die Holzbauteile zu treffen ist.

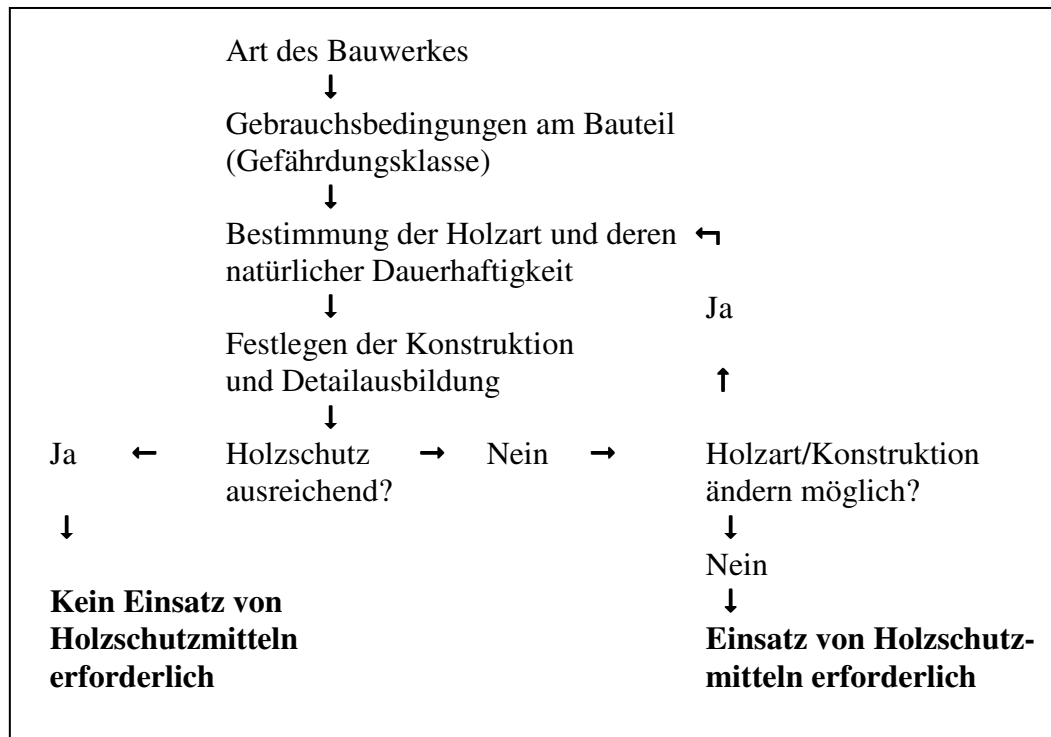


Abbildung 69 Entscheidung zum Einsatz von Holzschutzmitteln

Liegt ein durch ein Gutachten ermittelter Befall (und Schaden) vor, können bekämpfende Massnahmen getroffen werden. Neben dem Einsatz chemischer Mittel können auch andere Verfahren zum Einsatz kommen.

Sowohl vorbeugende als auch bekämpfende Massnahmen sind durch Fachfirmen mit zugelassenen Holzschutzmitteln durchzuführen. Jede chemische Behandlung (vorbeugend oder bekämpfend) ist nach gewissen Vorgaben zu kennzeichnen.

Vorbeugende chemische Behandlungen (z.B. Tränkverfahren) sind generell nach dem Zuschnitt bzw. Abbund durchzuführen. Nachträgliche Schnitte oder Bohrlöcher sind nachzubehandeln.

Prinzipiell gilt:

So wenig Chemie wie möglich, aber soviel wie nötig!

2.3.5.2 Holzschutzmittel

Der Einsatz von Holzschutzmitteln bedeutet immer einen Einsatz von Bioziden. Denn der chemische Holzschutz hat zum Ziel, den Organismen, die Holz angreifen und zerstören, von vorneherein jegliche Lebensgrundlage am Nutzobjekt zu enthalten oder diese Organismen abzutöten. Ein negativer Einfluss auf Menschen oder Nutztiere ist daher durch sachgemässen Einsatz zu verhindern. Ein Umweltzeichen hingegen ist auf einem wirksamen Holzschutzmittel nicht zu erwarten.

Holzschutzmittel bedürfen in der Schweiz einer Bewilligung des BUWAL (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft). Die zugelassenen Mittel werden in einer Liste aufgeführt. Holzschutzmittel bestehen in der Regel aus verschiedenen Stoffen, die eine spezifische Wirkung haben.

Es sind dies:

- **Wirkstoff**, verursacht die biozide Wirkung des Holzschutzmittels (Bsp. DDT (grösstenteils verboten), Lindan, Arsen).
- **Bindemittel**, zur Fixierung des Wirkstoffes (Verhinderung des Auswaschens).
- **Emulgator**, damit sich der Wirkstoff sich in der Flüssigkeit löst.
- **Pigment**, Ästhetische Wirkung, Kenntlichmachung des Holzschutzmittels.
- **Lösemittel**, damit feste Verbindungen und/oder organische Wirkstoffe aufgetragen werden können.
- **weitere Hilfsmittel**, zur Verbesserung der gewünschten Eigenschaften (z.B. Wachse zur Wasserabweisung).

Das Holzschutzmittel sollte folgende Bedingungen erfüllen:

- Spezifische Wirkung
- Langandauernde Wirkung
- Gute biologische Abbaubarkeit
- Wirkung in möglichst geringen Dosen
- Kein Fisch- und Bienengift
- Gute Abbaubarkeit im Wasser

2.3.5.3 Wirkstoffe

Tabelle 10 Zusammenstellung der unterschiedlichen Wirkstoffe in Holzschutzmitteln

Wasserlösliche Wirkstoffe	Steinkohleteeröl	Lösemittellösliche Wirkstoffe
Auf Basis von anorganischen Salzen	Besteht aus ausgewählten Fraktionen des Steinkohleteeröls (Dieses entsteht bei der Trockendestillation von Steinkohle zu Koks).	Organische Verbindungen, die bereits in geringen Mengen eine spezifische Wirkung haben.
Oft in Form von Mischungen eingesetzt. Bezeichnungen: C Chromverbindungen ¹⁾ F Fluorverbindungen A Arsenverbindungen B Borverbindungen K Kupferverbindungen	Viele der polyzyklischen aromatischen Verbindungen haben einen biozide Wirkung	In Form von Lasuren, Grundierungen und Imprägnierungen.

¹⁾ Das Chrom dient der Fixierung der Verbindungen auf dem Holz; die Auswaschung wird damit weitestgehend verhindert. Problem: Chrom gilt als ökotoxisch.

B-Salze: Wirken insektizid und fungizid. Fixieren nicht direkt mit der Holzfaser, sind also sehr anfällig gegen Auswaschung. Für den Menschen praktisch ungiftig.

F-Salze: Wirken insektizid und fungizid. Nicht zur grossflächigen Anwendung in Räumen, die dauernd für den Aufenthalt für Mensch oder Tier bestimmt sind. Die Ausgasung des Fluorwasserstoffes bei HF-Salzen ist sehr hoch (nach 1 Jahr ca. 75% Verlust).

C-Salze: Wirken insektizid und fungizid. Sind z.T. sehr giftig. CKA-, CKF- und CKB-Salze sind witterungsbeständig (auch bei ständigem Erd- oder Wasserkontakt), dürfen aber nicht für Holzbauteile verwendet werden, die häufig in direktem Hautkontakt mit Mensch und Tier kommen.

Steinkohleteeröle: Vor allem das Carbolineum (besteht aus mehreren Teerölen) ist eindeutig krebserzeugend und reizt die Haut und Atemwege (Carbolineum-Dämpfe). Aufgrund dessen ist der Einsatz stark eingeschränkt.

Lösemittelhaltige Holzschutzmittel: Je nach Bindemittelgehalt (üblicherweise Kunstharz) in Imprägnierungen, Imprägnierlasuren, Holzschutzlasuren und Holzschutzfarben unterteilt. Die biozide Wirkung wird durch organische Fungizide und Insektizide erreicht. Eine Anwendung in Innenräumen ist nicht nur überflüssig, sondern kann zu schweren Gesundheitsschäden führen.

2.3.5.4 Einbringverfahren

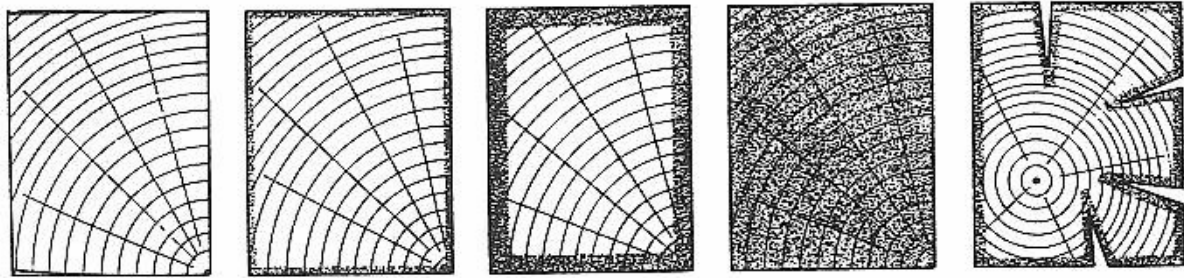
Das Eindringen der Holzschutzmittel hängt sehr stark von der Holzart ab (vgl. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** 11). Je mehr offene Zellen vorliegen und je besser die Verbindung der einzelnen Zellen untereinander ist, desto besser dringt die Flüssigkeit in das Holz ein. Holzanatomisch bedingt, leiten Laubhölzer in Längsrichtung Flüssigkeiten besser, während Nadelhölzer besser quer dazu leiten. Das Kernholz ist nur bei wenigen Hölzern tränkbar; normalerweise sind die Zellen durch Stoffwechselprodukte verstopft (z.B. fakultativer Kern bei Buche).

Tabelle 11 Vergleich der Imprägnierbarkeit einiger europäischer Holzarten; aus Leisse (1992)

Tränkbarkeit	Holzart
Sehr gut	Buche
Gut	Birke, Eiche (Splint), Erle, Pappel
Mittel	Ahorn, Esche, Linde
Schlecht	Weide, Eiche (Kern)
Sehr gut	Föhre (Splint)
Gut	Lärche (Splint)
Mittel	Tanne, Föhre (Kern), Douglasie (Splint)
Schlecht	Lärche (Kern), Fichte
Sehr schlecht	Douglasie (Kern)

Als Möglichkeit, schwer imprägnierbare Hölzer (z.B. Fichte) dauerhafter zu machen, kann die Holzmodifikation (Kapitel 2.3.8) angesehen werden, zu der es allerdings bisher noch keine Langzeiterfahrungen gibt.

In Abhängigkeit von der Eindringtiefe des Holzschutzmittels wird die Schutzwirkung folgendermassen unterschieden:



Oberflächenschutz Randschutz Tiefschutz Vollschutz Nachimprägnierung

Abbildung 69 Eindringtiefen der Holzschutzmittel



Abbildung 70 Kesseldruckimprägnierte Fichte

Es gibt eine Vielzahl möglicher Einbringverfahren für Holzschutzmittel. Abhängig vom Holzschutzmittel und der Gebrauchsklasse sind unterschiedliche Verfahren als geeignet anzusehen.

Tabelle 12 Übersicht über die Einbringverfahren der chemischen Holzschutzmittel; aus Müller (1993)

Nichtdruckverfahren		Sonderverfahren	Druckverfahren	
Langzeitverfahren	Kurzzeitverfahren		Niederdruckverfahren	Hochdruckverfahren
- Trogtränkverfahren - Diffusions-/Osmoseverfahren	- Streichen - Spritzen - Beschäumen - Tauchen - Spritztunnelverfahren - Fluten - Giessen	- Bohrlochtränkung - Tränksondenverfahren - Bandagen - Patronenverfahren - Begasungsverfahren	- Saftverdrängungsverfahren	- Kesseldruckverfahren

Im Folgenden werden einige Imprägnierverfahren näher erläutert:

Tauchen: Die zu imprägnierenden Hölzer werden in das Tränkmittel eingetaucht und verbleiben dort schwimmend für einige Sekunden bis Minuten.

Trogtränkverfahren: Die zu imprägnierenden Hölzer werden mehrere Stunden bis Tage lang in (teils beheizten) offenen Trögen in dem Tränkmittel untergetaucht.

Osmose-/Diffusionsverfahren: Das pastenförmig aufgetragene Schutzmittel dringt aufgrund von Diffusionsvorgängen in das nasse weissgeschälte Holz ein. Das Verfahren ist witterungsabhängig und von März bis Oktober durchführbar.

- Streichen/Spritzen:** Das Holzschutzmittel wird manuell oder maschinell auf das Holz aufgetragen (per Pinsel, Bürste oder ähnlichem). Je nach dem sind mehrere Arbeitsgänge nötig.
- Beschäumen:** Wassergelöste Schutzmittel werden in Schaum überführt, womit die Holzoberfläche benetzt wird. Während des langsamen Schaumzerfalls (Depotwirkung) nimmt das Holz in kurzer Zeit relativ grosse Mengen des Schutzmittels auf.
- Fluten/Giessen:** Das Imprägniermittel wird mit Druck in Form einer "Fahne" auf die zu imprägnierenden Hölzer aufgebracht. Der hohe Schutzmittelüberschuss wird aufgefangen und zurück gewonnen.
- Bohrloch-/Sondenverfahren:** Dabei werden die in bestimmten Abständen im vorgeschriebenen Neigungswinkel angeordneten Bohrlöcher mehrmals nacheinander mit Tränkmittel gefüllt, bis die vorgeschriebene Einbringmenge sich im Holz verteilt hat.
- Patronenverfahren:** Dabei werden in Bohrlöcher in Patronenform gepresste salzförmige Holzschutzmittel eingebracht, die im nassen Holz aufgelöst werden und in das Holz diffundieren.
- Begasungsverfahren:** Dabei werden holzschädigende Organismen durch Einwirkung toxisch wirkender Gase (Blausäure, Phosphorwasserstoff) auf das befallene Material abgetötet. Kurzzeitverfahren ohne vorbeugende Wirkung.
- Saftverdrängungsverfahren:** In saftfrische Stämme wird aus hochstehenden Vorratsbehältern durch Schläuche unter Verdrängung der Baumsäfte Schutzmittellösung eingepresst oder eingesaugt.
- Hochdruckverfahren:** Entrindetes Holz wird in einem verschliessbaren druckdichten Kessel getränkt, in welchem Tränkmittel mit Hilfe von Druckunterschieden in die Zellhohlräume des Holzes eingebracht wird

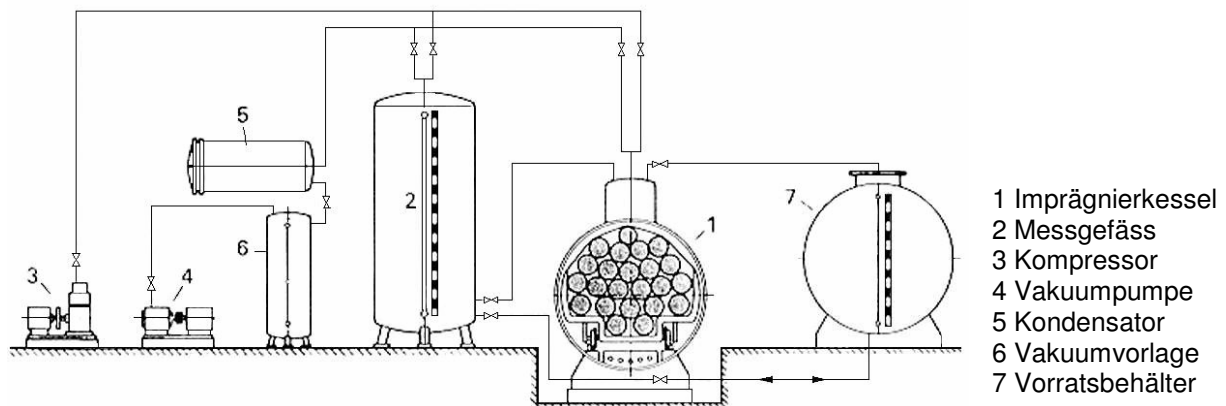


Abbildung 71 Anlage zur Kesseldruckimprägnierung

2.3.5.5 Zulassung von Holzschutzmitteln

Holzschutzmittel werden in der Schweiz nach Prüfung der Wirksamkeit und Umweltverträglichkeit durch das BUWAL und das BAG (Bundesamt für Gesundheit) zugelassen. Der Wirksamkeitsnachweis erfolgt dabei durch die EMPA St Gallen.

Prüfzeichen für Holzschutzmittel

- B** vorbeugend wirksam gegen Bläuepilze (inkl. Bauphase)
- B*** vorbeugend wirksam gegen Bläuepilze (Abdeckung/Deckanstrich mangels Fixierung)
- Bs** vorbeugend wirksam gegen Bläue und Schimmel auf frischem, witterungsgeschützten Schnittholz
- E** vorbeugend wirksam gegen Braun-, Weiss- und Moderfäule für Holz mit extremer Feuchtebeanspruchung (ständiger Erd-, Wasserkontakt)
- lb** schnelle bekämpfende Wirksamkeit gegen holzerstörende Insekten
- lba** verzögerte bekämpfende Wirksamkeit gegen holzerstörende Insekten
- lv** vorbeugend wirksam gegen holzerstörende Insekten
- lvr** vorbeugend wirksam gegen Werft- und Nutzholzborkenkäfer an berindetem Holz
- P** vorbeugend gegen Braunfäule wirksam
- Pb** bekämpfend wirksam gegen Echten Hausschwamm im Mauerwerk
- W** Eignung für Produkte, die der Witterung, nicht aber ständigem Wasser- oder Erdkontakt ausgesetzt sind
- F** vorbeugende Wirkung gegen kapillare Durchfeuchtung und starke Holzfeuchteschwankungen
- O** Schutz gegen abiotische Einflüsse (Wetterbeanspruchung, Schmutz, Abnutzung)

Es kann überdies das LIGNUM-Gütezeichen für „Holzschutzmittel und wirkstofffreie Produkte zur Oberflächenbehandlung“ erteilt werden. Das LIGNUM-Gütezeichen für „Druckimprägniertes Holz“ garantiert die fachgerechte Anwendung eines zugelassenen Holzschutzmittels durch Druckimprägnierung.



Abbildung 72 Gütezeichen der LIGNUM für "Holzschutzmittel und wirkstofffreie Produkte zur Oberflächenbehandlung" (links) und "Druckimprägniertes Holz" (rechts)

Holzschutzmittel enthalten Biozide und sind daher mit dem entsprechenden VVS-Code (**V**erordnung über den **V**erkehr mit **S**onderabfällen) zu kennzeichnen, welcher auch bei der späteren Entsorgung von Holzschutzmittelresten und behandeltem Holz eine Rolle spielt.

2.3.5.6 Entsorgung und Gefahrenpotential

Die chemische Behandlung stellt unter anderem auch gewisse Anforderungen an die Entsorgung dieser Hölzer (Altholzverbrennung nur mit speziellen Luftfiltern). Auch Schutzmittelreste sind gesondert zu entsorgen (Giftsammelstellen / Schutzmittelhersteller).

Tabelle 12 Entsorgungskategorien für Holz und deren Herkunft

Kategorie	Herkunft	Entsorgung
Naturbelassenes Holz	Wald (auch in Form von Hackschnitzel oder Sägemehl)	Öfen, Holzheizkessel
Restholz	Holzverarbeitende Betriebe (Schwarten, Spanplatten, Schaltafeln, Kanthölzer,...)	Restholzfeuerungen sind meldepflichtig; es gelten niedrigere Emissionsgrenzwerte als für naturbelassenes Holz
Altholz	Gebäudeabbrüche, Verpackungen, Möbel	Nur in Altholzfeuerungen, Zementöfen und Müllverbrennungsanlagen mit spez. Filtern
Problematische Holzabfälle	z.B. Platten mit PVC-Beschichtungen, Eisenbahnschwellen, Telefonstangen, sämtliches mit Holzschutzmitteln behandelte Holz etc.	Zementöfen und Müllverbrennungsanlagen mit spez. Filtern; die hohen Temperaturen führen zu einer praktisch vollständigen Verbrennung der org. Schadstoffe

Da Holzschutzmassnahmen dauerhaft am Gebäude gekennzeichnet werden müssen, kann altes Holz gezielt entsorgt werden.

Über alte Eisenbahnschwellen (die mit Teeröl imprägniert wurden) und nun z.B. auf Spielplätzen oder als Sitzgelegenheiten einen neuen Verwendungszweck fanden, wurde in letzter Zeit stark diskutiert. Die Gefahr geht hier vor allem von den polyzyklischen aromatischen Wasserstoffen (PAK) aus, welche als krebserregend gelten. Aber unabhängig davon, ob es sich um ein chemisches, biologisches oder natürliches Holzschutzmittel handelt ist eine mögliche Giftigkeit immer gegeben.

2.3.6 Biologischer Holzschutz

Die Abgrenzung biologischen Holzschutzes ist nicht immer eindeutig, daher ist die nachfolgende Beschreibung nur eine Möglichkeit der Definition.

Zum biologischen Holzschutz können zwei Aspekte gezählt werden:

- der Einsatz natürlicher (Frass-)Feinde (sogenannter Nützlinge) gegen holzschädigende Organismen
- die Gewinnung natürlicher Stoffe, z.B. Holzinhaltsstoffe aus resistenten Holzarten (ätherische Öle, natürliche Harze etc.) oder auch Bienenwachs etc.

Die Bedeutung des biologischen Schutzes im Bereich Holzschutz ist sehr gering. Vor allem der Einsatz von Nützlingen kann den Ansprüchen an den praktischen Holzschutz nicht gerecht werden, denn er kann ausschliesslich eine bekämpfende Massnahme darstellen. Diese wird zudem erst dann wirksam, wenn der Schaden schon sehr weit fortgeschritten ist. Dies verdeutlicht Abbildung... Dennoch ist das Vorhandensein typischer Räuber (Lagererzwespe - *Lariophagus distinguendus*) meist ein deutliches Indiz für das Vorhandensein eines Schädling (Gewöhnlicher Nagekäfer – *Anobium punctatum*).

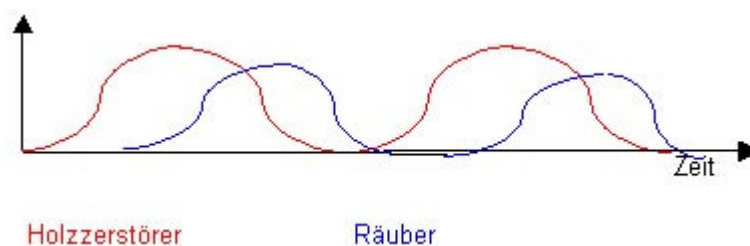


Abbildung 73 Prinzip der Zeitverschiebung: zuerst die Befallsentwicklung der Holzzerstörer, dann folgen deren Räuber (Quelle: www.holzfragen.de)

Der Einsatz von Naturstoffen wird häufig nicht direkt dem biologischen Holzschutz zugeordnet, da die Grenze zum chemischen Holzschutz in dem Bereich fließend ist. Der Vollständigkeit halber soll er aber hier erwähnt werden.

Die natürliche Dauerhaftigkeit einzelner Hölzer ist von deren Inhaltsstoffen abhängig. Extraktstoffreiche Tropenhölzer sind in der Regel besonders dauerhaft. Auch die an Gerbstoffen reichen Holzarten Eiche und Edelkastanie gelten als dauerhaft. Es können Extraktstoffe, Gerbstoffe, Harze oder andere Inhaltsstoffe (z.B. aus der Rinde) gewonnen werden, die durch in oder auf andere Hölzer gebracht werden (Imprägnieren, Streichen) um sie gegen Holzschädlinge zu schützen. Die Wirkung solcher natürlicher Mittel ist allerdings nicht erwiesen.

Zahlreiche wirkungsvolle Gifte werden von Pflanzen produziert. Werden diese Gifte (natürlich gewonnen oder synthetisch hergestellt) im Holzschutz eingesetzt, befindet man sich schon im Bereich des chemischen Holzschutzes.

Ein weiterer möglicher biologischer Holzschutz wäre das Beimpfen des Holzes mit nicht holzerstörenden Pilzen welche die Entwicklung von Holzschädlingen verhindern. Praktisch anwendbar sind solche Verfahren aber bisher noch nicht.

2.3.7 Physikalischer Holzschutz

Unter physikalischen Holzschutz sollen Anstriche bzw. Beschichtungen, die eine Wasseraufnahme von Holz verzögern oder verhindern, gezählt werden. Anstrichsysteme können Schutz gegen Niederschläge, hohe Luftfeuchten, UV-Strahlung und mechanische Beanspruchung bieten und sind damit in erster Linie ein Wetterschutz. Sie aber können zudem mit chemischen Wirkstoffen gegen Holzschädlinge ausgerüstet sein.

Gestrichene Holzfassaden bedürfen der regelmässigen Kontrolle und eines regelmässigen Unterhaltes (d.h. Anschleifen bei Lackschichten, Neuanstrich, Ausbesserung von Beschädigungen etc.)

Tabelle 13 Verschiedene Anstrichsysteme, Anwendung und Unterhalt (www.holzfragen.de)

Art	Schichtdicke (µm)	Transparenz	Anwendung	Wartungsintervalle	Wartungsaufwand
unbehandelt	-	-	Nicht masshaltige Bauteile (Fassaden, Gartenmöbel, Zäune etc.)	keine	keiner
farblose Beschichtung (Klarlack)		transparent	für Holz im Außenbereich ungeeignet		
Imprägnierlasur, Dünnschichtlasur	0-20	halbtransparent	nicht maßhaltige Bauteile, alternative Beschichtung für Fenster und Türen	kurz	gering
Mittelschichtlasur	20-60	halbtransparent	nicht maßhaltige Bauteile, alternative Beschichtung für Fenster und Türen	mittel	mittel
Dickschichtlasur	> 60	halbtransparent	nur für maßhaltige Bauteile (Fenster und Türen) empfohlen	mittel-lang	hoch
deckender Lack	> 30	deckend	für alle Bauteile geeignet (> 80µm für maßhaltige Bauteile)	lang	hoch

Der Zusatz von Pigmenten ist der einzig wirksame Schutz gegen die natürliche Vergrauung. Pigmente reflektieren UV-Strahlen und schirmen die Holzoberfläche ab.

Gute Anstrichsysteme sind offenporig, also wasserdampfdurchlässig. Dadurch wird der Feuchteausgleich zwischen Bauteil und Umgebung ermöglicht. Allerdings erfolgt dieser Ausgleich verzögert, die Unterschiede sind daher weniger extrem und Gefahr der Rissbildung durch Quellen und Schwinden gemindert. Starre, dicke Anstrichfilme können allerdings dennoch zum Abplatzen neigen. Risse in der Oberflächenbeschichtung sind ermöglichen Feuchteindringung. Regelmässige Wartung soll deshalb einem Feuchteschaden vorbeugen.

Die Wahl des Anstrichsystems und die Schichtdicke sollte auf die Lage des Bauteils (Witterungsbelastung), die Holzart (harzreich, Laubholz etc.) und die Vorbehandlung (sägerauh, gehobelt etc.) abgestimmt werden.

Helle, stark pigmentierte Lacke bieten den besten Witterungsschutz, sie heissen sich weniger stark auf als dunkle Farben und bieten einen guten Schutz gegen Vergrauung.

Neben den herkömmlichen Lacken und Lasuren gibt es auch Anstriche, die auf der Hydrophobierung oder der Nanotechnologie basieren.

Hydrophobierung: Anstrich mit öl- oder wachshaltigen Anstrichen, hoher Randwinkel auftreffender Regentropfen erzeugt einen Abperleffekt.

Nanotechnologie: Trocknung des Anstrichfilmes (Silikatbasis) bewirkt eine Mineralisierung der Oberfläche, d.h. Schicht kleinster Quarzteilchen (mikroporös, im Nanobereich = Millionstel mm) bietet nur geringe und unterbrochene Kontaktfläche → Flächendeckende Benetzung und Abtragung; vor allem für Holzbauteile noch selten eingesetzt, daher geringe Praxiserfahrungen.

2.3.8 Holzmodifikation

2.3.8.1 Allgemein

Die Kritik am Einsatz von Chemie beim Holzschutz und die geringe Verfügbarkeit dauerhafter einheimischer Hölzer führten schon vor einigen Jahrzehnten zu Untersuchungen im Bereich der Holzmodifikation. Nicht nur eine Erhöhung der natürlichen Dauerhaftigkeit, auch die Erhöhung der Härte und andere Eigenschaftsänderungen wurden angestrebt.

Im Bereich Holzschutz sind folgende zwei Eigenschaften des Holzes und ein Einfluss auf diese von Interesse:

- die Hygroskopizität des Holzes und seine spezifische Ausgleichsfeuchte
- die Resistenz gegen holzerstörende Pilze, Insekten, aber auch gegen Verwitterung

Die angestrebte Senkung der Ausgleichsfeuchte würde schon allein zu einem geringeren Befallsrisiko durch holzerstörende Pilze führen. Eine erhöhte Resistenz gegen holzerstörende Pilze bedeutet geringere Masseverluste in der Laborprüfung nach EN 113, aus welchen man auf geringere zu erwartende Schäden in der Praxis schliessen kann. Die Modifikation geht im Idealfall soweit, dass derart vergütetes Holz nicht mehr von holzerstörenden Insekten angegangen wird.

Holz kann

- chemisch
- thermisch
- biologisch

verändert werden. Weiterhin können holzfremde Substanzen eingebracht werden. Es geht also darum Holzschutzeffekte ohne die bisher üblichen Holzschutzmittel zu erreichen.

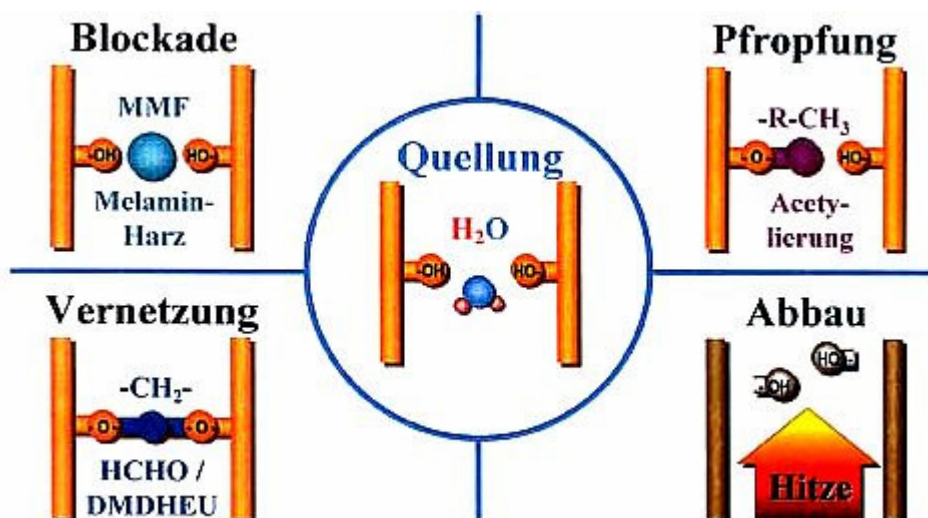


Abbildung 74 Wirkung verschiedener Methoden der Holzmodifikation (Quelle: www.holzfragen.de)

2.3.8.2 Chemische Holzmodifikation

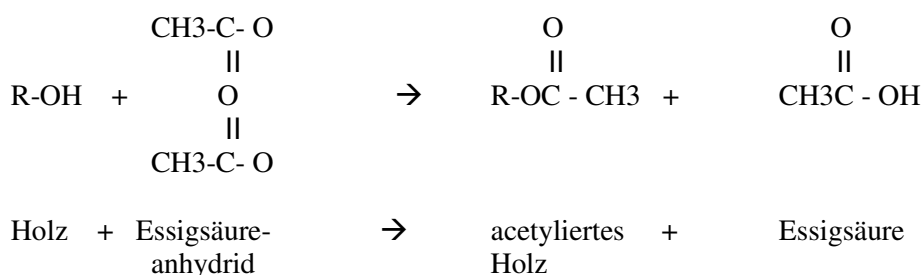
Der Begriff der chemischen Holzvergütung wird entweder für eine Wechselwirkung zwischen einer Holzkomponente und einem Reagens (die zu einer kovalenten Bindung führt) oder wenn es zu oxidativen Veränderungen holzoriginärer chemischer Gruppen durch Redox-Reaktionen kommt, verwendet.

Acetylierung

Eine bereits umfangreich erforschte Möglichkeit der chemischen Modifikation ist das Verfahren der Acetylierung. Hierbei werden die Hydroxylgruppen (R-OH) der Zellulose, der Hemizellulose oder des Lignins durch einen Säureester ersetzt.

Eine farbliche Veränderung des behandelten Holzes findet als Nebeneffekt enzymatischer und chemischer Umsetzung statt.

Reaktionsgleichung:



wobei R = Ligninrückstand, Polysaccharidkette oder irgendein anderes organisches Radikal

Die Bindungskräfte zwischen acetyliertem Holz und Wasser sind schwächer als die zwischen den Hydroxylgruppen des unbehandelten Holzes und Wasser. Daraus ergibt sich eine verminderte Ausgleichsfeuchte des acetylierten Holzes. Gleichzeitig werden Porenräume zum Teil verstopft, d.h. für Wasser unzugänglich gemacht.

Acetyliertes Holz weist deutlich verminderte Abbauraten holzerstörender Pilze auf. Festigkeitseigenschaften, Härte und UV-Stabilität können verbessert werden.

Das behandelte Holz enthält wie unbehandeltes Holz nur die Elemente Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff als chemische Bausteine und bleibt damit frei von toxischen Substanzen.



Abbildung 75 Acetylierungs-Anlage in der Industrie

Phthalierung

Auch dieses Verfahren stellt eine Veresterung dar. Ebenso wie bei der Acetylierung wird die innere Porenstruktur des Holzes verstopft, sodass weniger Wasser eingelagert werden kann. Die Hydroxyl-Gruppen des Holzes werden durch Phthalylsäure-Gruppen ersetzt. Diese binden allerdings Wasser stärker an sich als die ursprünglichen Hydroxyl-Gruppen.

2.3.8.3 Biologische Holzmodifikation

Modifizierung der Holzeigenschaften durch Enzyme

Die Enzyme der Braun-, Weiß-, und Moderfäulepilze, welche für den Abbau von Holzsubstanz verantwortlich sind, können auch indirekt im Holzschutz sinnvoll wirken. Um die Tränkbarkeit bestimmter Hölzer zu erhöhen, können diese gezielt mit Pilzkulturen beimpft werden. Vor allem für die sehr schwer tränkbar Fichte könnte das Verfahren eingesetzt werden. Die Hyphen der eingesetzten Pilzkulturen würden vereinfacht gesagt, auch die geschlossenen Tüpfel durchwachsen. Dadurch würde die Tränkbarkeit mit Holzschutzmittel ermöglicht, bei der angesetzte Pilzkulturen absterben würden. Der Einsatz von enzymatischer Holzmodifikation ist für die Verbesserung der Tränkbarkeit bisher praktisch nicht industriell umsetzbar.

Für die Herstellung von Faserplatten aus enzymatisch veränderten Holzfasern wird das Verfahren aber schon erfolgreich in der Industrie genutzt. Die aufgelockerte Struktur des Holzes verringert den Aufwand für Zerfaserung und Plastifizierung. Die erhöhte Reaktivität der Fasern ermöglicht die Verringerung des Bindemittelanteils bei der Herstellung von MDF.

Das sogenannte Myko-Holz wird weiterhin zur Bleistiftherstellung, für Holzformen in der Glasindustrie, sowie im Modelbau eingesetzt.

2.3.8.4 Thermische Holzmodifikation

Das derzeit einzige konkurrenzfähige Modifikationsverfahren auf dem Markt ist die thermische Behandlung von Holz. Speziell zu diesem Thema sind auch an der ETH zahlreiche Untersuchungen durchgeführt worden. Es fehlen allerdings noch einheitliche Richtlinien und Kontrollen, sowie Langzeiterfahrungen für das Produkt.

Die thermische Behandlung von Holz findet bei Temperaturen deutlich über 100°C (160-250°C) in einem mehr oder minder abgeschlossenen Reaktionsraum statt. Die Einteilung verschiedener Prozesse kann aufgrund des wärmeübertragenden Mediums erfolgen:

- **Wasserdampfatosphäre** (Wasserdampfkonzentration regelbar, davon abhängige Sauerstoffkonzentration)
- **Inertgasatosphäre** (reaktionsträge Gase, wie N₂ oder CO₂, die Sauerstoff vom Holz und der stattfindenden Reaktion fernhalten → Senkung der Holzbrandgefahr; praktisch nur N₂ einsetzbar)
- **heisses Ölbad** (pflanzliche Öle umschliessen Holz → Sauerstoffausschluss)

Weiterhin können Thermoprozesse nach ihrer Prozessführung in 1- oder mehrstufige Prozesse unterteilt werden.

Wesentliche **Parameter** für die Prozessführung sind:

- Holzart
- Anfangsfeuchte
- Geometrie und Probengrösse
- Behandlungstemperatur
- Behandlungsdauer
- Wärmeübertragungsmedium
- Druck
- Präsenz eines Katalysators

Die Intensität der erreichten Eigenschaftsänderungen ist direkt von den genannten Behandlungsparametern abhängig.

Folgende **Eigenschaften** kann thermisch modifiziertes Holz vorweisen:

- verringerte Ausgleichsfeuchte (folglich geringere Pilzbefallswahrscheinlichkeit)
- verbesserte Dimensionsstabilität (durch verminderte Ausgleichsfeuchte)
- verbesserte Dauerhaftigkeit gegen holzerstörende Pilze (Abbauraten einzelner Fäuleerreger selektiv vermindert; besonders wirksam gegen Braunfäuleerreger)
- dunklere Farbe (gezieltes Farbspektrum von gealtertem Holz zu Exoten)

Negativ kann sich die Verminderung der Festigkeitseigenschaften (v.a. der Bruchschlagarbeit) und eine insgesamt zu verzeichnende Sprödigkeit auswirken. Eine Nutzung im konstruktiven Bereich scheint nicht möglich.

Die **Argumente** für die Thermobehandlung sind:

- Alternative zu Holzschutzmitteln
- Alternative zu Tropenhölzern (Dauerhaftigkeit, Aussehen)
- Nutzung einheimischer Hölzer

Bei der Erhitzung des Holzes deutlich über 100°C werden Hemizellulose, Zellulose und Lignin in dieser Reihenfolge abgebaut bzw. umgewandelt. Die Veränderung erfolgt über den gesamten Holzquerschnitt. Die Wasseraufnahmefähigkeit ist dadurch vermindert.

Am Markt haben sich zahlreiche Verfahren und Hersteller aus ganz Europa etabliert. Ausgehend von Finnland, den Niederlanden und Frankreich, entstanden auch in Österreich, Dänemark, der Schweiz, Russland und Deutschland Anlagen zur Thermobehandlung von Holz. Die Fa. Balz Holz in Langnau i.E. ist der einzige Schweizer Thermoholzerhersteller. Dort wird das Holz im eigens entwickelten Autoklaven in Stickstoffatmosphäre vergütet.



Abbildung 76 Thermoholz-Anlage der Fa. Balz Holz in Langnau i.E.



Abbildung 77 Einsatzbeispiele für thermisch vergütetes Holz in der Schweiz (Mehrfamilienhaus, AG. Sitzreihen im Flughafen Zürich-Kloten)

2.3.8.5 Einlagerung verschiedener Substanzen ins Holzgefüge

Polymerholz

Sogenanntes Polymerholz wird durch die Tränkung des Rohholzes mit monomerem oder niedermolekularem (Kunst-)Harz hergestellt (z.B. Melaminharz). Das Harz füllt die Hohlräume in der Zellstruktur und härtet dort zu Polymeren aus. Die Füllung der Hohlräume bewirkt eine Verringerung der Wasseraufnahme und in der Folge ein verringertes Pilzbefallsrisiko. Zusätzlich werden die Dimensionsstabilität und Härte des derartig behandelten Holzes erhöht.

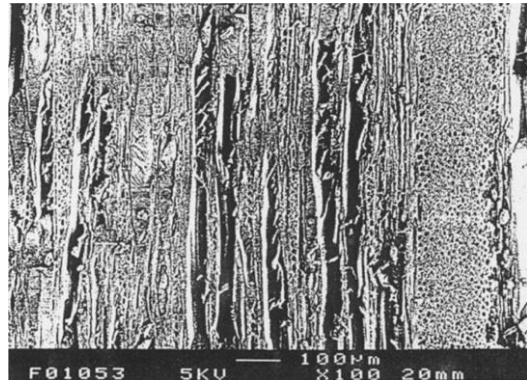


Abbildung 78 REM-Aufnahme. Ausgehärtetes Kunstharz in Zellumen (Quelle: Vortrag Herr Scheicher, Bauwerk Parkett)

Imprägnierung mit Siliconen (Silanen)

Als Silane werden leicht flüchtige Verbindungen aus Silizium und Wasserstoff bezeichnet, die vielfältig auf dem Markt erhältlich sind. Deren Reaktionsprodukte, welche als Gele vorliegen, werden in ein Rohmaterial eingebracht. In der Textil-, Kunststoff- und Baubranche werden Silane zur Hydrophobierung eingesetzt. Das behandelte Material bleibt durch die Behandlung offenporig. Untersuchungen zur Imprägnierung von Holz mit Silanen wurden an der Uni Göttingen durchgeführt. Es können dafür monomere oder oligomere Silane eingesetzt werden. Bei ersteren ist die Senkung der Gleichgewichtsfeuchte allerdings nicht langzeitstabil, d.h. nach mehreren Klimawechseln nähert sich die Ausgleichsfeuchte wieder dem Ursprungswert an. Der Einfluss auf die Sorption selbst ist gering, es wird allerdings ein wasserabweisender Effekt erzielt. In Versuchen wurde eine verbesserte Resistenz des behandelten Holzes gegen biologische Holzzerstörer bzw. eine Verzögerung deren Abbautätigkeit beobachtet. In Freibewitterungsversuchen stellte sich eine verbesserte Resistenz gegen Bläue und Schimmel dar.

Verkieselung

Mit Hilfe von Alkalisilikaten wurden schon vor einigen Jahrzehnten Holzoberflächen mit einer Schicht aus Kieselsäure und Soda bzw. Pottasche verkieselt, um sie vor Brand zu schützen. Derartig behandelte Hölzer werden erfahrungsgemäss sehr selten von Insekten befallen. Einige Holzschutzmittel (ohne Prüfzertifikat) bauen auf dem Prinzip der Verkieselung auf. Bei der Behandlung der Holzoberfläche mit Silikaten wird diese nach einer recht langen Trocknungsdauer sehr hart. Bis zur Aushärtung ist das aufgebrachte Mittel wasserlöslich, daher nicht für den Aussenbereich geeignet. Die Gewichtszunahme der Hölzer durch die Behandlung ist vergleichsweise hoch.



Abbildung 79 Versteinerte Holzprobe (Verkieselung ist eine Art der Versteinierung und daher eine Möglichkeit der Konservierung von Holz)

2.3.8.6 Einlagerung von Holz in andere Stoffe

Wood plastic composites (WPC)

Holz kann auch eingesetzt werden, um die Eigenschaften anderer Stoffe zu verändern. Bei WPC-Bauteilen werden Holzfasern oder Späne in eine Kunststoffmatrix eingelagert, so dass beide Ausgangsstoffe die Eigenschaften des Holz-Kunststoff-Verbundes beeinflussen. Diese Materialien werden in den letzten Jahren in Bereich eingesetzt, die sowohl durch Holz als auch durch Kunststoffe abgedeckt werden konnten. Zum Beispiel sind Terrassenbeläge, Fenster- und Türenprofile aus WPC erhältlich.

Dem Gemisch aus 20-85% Holzpartikeln und Kunststoffen (PE, PP, PVC) werden zur Eigenschaftssteuerung Additive wie Haftvermittler, Holz- und Flammschutzmittel, UV-Absorber und andere Stoffe zugemischt. Das Verhältnis Holz-Kunststoff beeinflusst die Eigenschaften, welche mit denen anderer Holzwerkstoffe vergleichbar sind, entscheidend.

Die Werkstoffe sollten theoretisch eine hohe Dauerhaftigkeit und Wetterbeständigkeit aufweisen, praktisch ist das allerdings stark von den Umgebungsbedingungen und der Einbettung und Haftung der abbaubaren Holzpartikel in der Matrix abhängig.

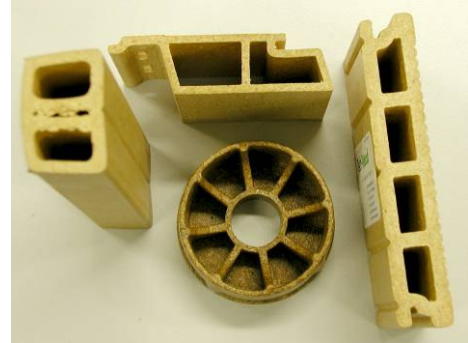


Abbildung 80 Verschiedene Profile aus WPC

2.3.9 Brandschutz

2.3.9.1 Allgemein

Holz ist bekanntermassen brennbar. Der Einsatz von brennbaren Materialien als Baustoff wird durch die Brandschutzvorschriften geregelt und charakterisiert.

Tabelle 14 Thermische Kennwerte bei Feuereinwirkung auf Holz; aus Niemz (1993)

Temperatur in °C	Kennwert-bezeichnung	Erläuterung
>105	Thermische Zersetzung	Gasförmige Zersetzungsprodukte: Aceton, Methanol, Kohlenmonoxid und Kohlendioxid
200 - 275	Flammpunkt	Holzgase entflammen kurzzeitig durch Fremdzündung; dünnes Holz kann sich bei Wärmestau und längerer Wärmeeinwirkung von Temperaturen < 200 °C selbst entzünden
260 - 290	Brennpunkt	Holz brennt ohne Wärmeenergiezufuhr. Ausbildung einer Holzkohleschicht an der Holzoberfläche, deren Wärmeleitfähigkeit nur noch etwa 20% derjenigen von Holz beträgt; Abbrandgeschwindigkeit sinkt infolge erschwelter Wärmezufuhr in das Holzinnere
330 - 520	Zündpunkt	Holzgase entzünden sich selbst ohne Fremdzündung

2.3.9.2 Klassierung des Brandverhaltens nach VKF

Baustoffe und Bauteile werden nach brandschutztechnischen Richtlinien hinsichtlich ihres Brandverhaltens klassiert. In der Schweiz wird die Brandschutzlinie von der VKF (Vereinigung kantonaler Feuerversicherungen) herausgegeben. Europaweit wird die Klassierung durch die EN geregelt. Die VKF vergibt Brandkennziffern für die einzelnen Baustoffe, die sich aus Brennbarkeitsgrad und Qualmgrad ergeben.

Tabelle 15 Brennbarkeits- und Qualmgrade nach VKF

Brennbarkeitsgrad		Qualmgrad	
1-2	als Baustoff nicht zugelassen	1	Starke Qualmbildung
3	leicht brennbar	2	Mittlere Qualmbildung
4	mittel brennbar	3	Schwache Qualmbildung
5	schwer brennbar		
5(2000)	schwer brennbar bei 2000 °C		
6q	quasi nicht brennbar		
6	nicht brennbar		

Tabelle 16 Brandkennziffern einiger Baustoffe

Baustoff	BKZ
Holz (Fichte, Tanne, Buche)	4.3
Holz (Eiche)	5.3
Spanplatten, Faserplatten	4.3
Wärmedämmung aus Zellulosefasern	5.3
Spanplatten, gips- oder zementgebunden	6q.3
Mineralfaserplatten	6q.3

Bauteile werden durch ihren Feuerwiderstand charakterisiert, welcher angibt wie lange ein Bauteil seine Funktion, sowie den Raumabschluss und Temperaturleitung gewährleistet. Abhängig ist das von den Baustoffen, aus denen das Bauteil gefertigt ist und seinen Abmessungen. Typische Feuerwiderstandsklassen sind:

F0: Das Bauteil erfüllt im Brandfall weniger als 30 Minuten seine Funktion
 F30: Das Bauteil erfüllt im Brandfall mindestens 30 Minuten seine Funktion
 F60, F90, F120, F180

2.3.9.3 Feuerhemmende Schutzmittel

Eine Möglichkeit, den Feuerwiderstand eines Bauteils zu erhöhen, stellt der Einsatz feuerhemmender Schutzmittel dar.

Tabelle 17 Feuerhemmende Schutzmittel

Gruppe	Anorganische Salze	Schaumschichtbildner
Einbringverfahren	Kesseldruckverfahren	Mehrmaliger Anstrich
Schutzart	Tief- bis Vollschutz	Oberflächenschutz
Chemikalien	Nicht-flüchtige kristallwasserhaltige Salze: - Ammoniumverbindungen - Hydrogencarbonate bzw. -sulfate - Ammoniumphosphate - Borate	Stickstoffhaltige organische Verbindungen, z.B. Dicyanid-amid oder Harnstoffe, kombiniert mit Phosphaten und Kohlehydraten
Verhalten bei Feuereinwirkung	Verdampfen der Schmelze zu den Löschgasen CO ₂ , NH ₃ , SO ₂	Bildung einer mikroporösen Schaumschicht bei direkter Feuereinwirkung oder Strahlungswärme
Feuerhemmende Wirkung	Schmelzvorgänge, Wärmeentzug durch Freiwerden von Wasser, Beschleunigung der Bildung einer Holzkohle-Wärmedämmschicht und damit Verzögerung der Entzündung bzw. Brandausbreitung	Verzögerung der Entzündung und ggf. der Brandausbreitung durch feuerhemmende nicht brennbare Schutzschicht, Unterbindung der Sauerstoff-zufuhr, macht Holz im Innenbereich schwer entflammbar

2.4 Nachweis und Bekämpfung holzerstörender Pilze und Insekten

2.4.1 Evaluation, Schadensnachweis

2.4.1.1 Untersuchungsmethoden im Schadensfall (Praxis)

Ist ein Holz- bzw. Bauteilschaden festgestellt worden, muss dieser genau charakterisiert werden um die Schadursache und das Schadensausmass zu ermitteln und bekämpfende und/oder sanierende Massnahmen ergreifen zu können. Pilzschäden sollten stets nach Bestimmung des Fäuleerregers und Behebung der Ursache saniert werden, da ein ruhender Befall auch nach einer Trocken- oder Kältestarre wieder aktiv werden kann. Bei Insektenschäden ist vor der Bekämpfung die Aktivität des Schädling, d.h. Lebendbefall, nachzuweisen.

Bei sichtbarem Pilzbefall und Schädigung durch diesen, ist vor allem die Beteiligung des Echten Hausschwammes als gefährlichstem Gebäudepilz zu ermitteln. Im Zweifelsfall sollten Myzelreste mikroskopisch untersucht werden. Schwer zugängliche Stellen können endoskopisch untersucht werden.

Im Falle von Schäden durch Insekten ist in erster Linie der Schadorganismus zu bestimmen und dessen Aktivität nachzuweisen. Anschliessend muss das Schadausmass beurteilt werden.

Holzbauteile sind daher von Schmutz, alten Anstrichen und Rinde zu befreien. Hinweise für die Aktivität eines Insektenbefalls sind Nagegeräusche (selten), frisches Bohrmehl, helle Ausflughöcher oder das Auffinden von Insekten(-teilen) oder Larven. Die Bestimmung des Schädling kann durch Begutachtung der Frassgänge, der Ausflughöcher, aber auch durch Analyse der Kotpartikel erfolgen. Das Ausmass des Schadens lässt sich häufig erst durch Anschleifen oder Anbeilen (Aufreißen der Larvengänge) der betroffenen Holzbauteile erahnen. Schwer bzw. nicht zugängliche Bauteile (Dächer, Dämmung, Balkenköpfe etc.) sind bei begründetem Verdacht des Befalls freizulegen und zu untersuchen. Ist kein aktiver Befall nicht eindeutig nachweisbar, sollten solche Anordnungen kontrollierbar bleiben und auf Änderungen des Schadbildes während der nächsten 3-4 Jahren (Generationsfolge) zu achten.

Der Restquerschnitt insektenbefallener Bauteile gibt einen Anhaltspunkt über die Tragfähigkeit der Konstruktion. Sowohl bei pilzlichem als auch einem Befall durch Insekten ist die Tragfähigkeit der Konstruktion ein wichtiger zu überprüfender Punkt. Diese sollte durch einen Fachmann beurteilt werden, welcher auch Massnahmen vorschlägt (z.B. Verstärken oder Austauschen eines Bauteils).

Tabelle 18 Phasen der Sanierung biogener Schäden

I			II	III	
Analyse	Diagnose	Prognose	Ausschreibung	Bekämpfung	Vorbeugen
Zustands- erhebung	Befund bezüglich: -Tragsicherheit -Feuchte -Organismen (Aktivität, Ausbreitung)	Konsequenzen möglicher Massnahmen	Planung Kosten	Ersetzen Verstärken Feuchtesanierung Behandlung	
Augenschein	Schlussfolgerungen		Offerte	Massnahmen	
Bauherr, Planer evtl. mit beigezogenen Spezialisten (Statik, Bauphysik, Holzschutz)			Planer	Zimmermann (Ersetzen, verstärken der Holzkonstruktion), Baumeister (Sanierung, Entfeuchtung des Mauerwerkes), Holzschutzspezialist (Behandlung bekämpfend, vorbeugend) u.a.	

2.4.1.2 Nachweismethoden in der Forschung

Die vorherrschenden Bedingungen in der Praxis sind selten optimal für die Bestimmung des Schadorganismus und die Beurteilung des Schadens (Umfang, Festigkeitseigenschaften des Holz, Schädigungstiefe etc.). Im Labormassstab können einige Massnahmen diesbezüglich angewendet werden, andere Massnahmen müssen hinsichtlich ihrer Eignung in der Praxis noch genauer untersucht werden.

Mikroskopie

Eine sichere Bestimmung der Schadorganismen aber auch der Holzart kann durch mikroskopische Betrachtungen erfolgen. Die vorgefundenen Myzelteile, Stränge oder Fruchtkörper von Pilzen sind nicht immer eindeutig ausgebildet, manchmal werden auch weder Fruchtkörper noch Oberflächenmyzel gebildet. Unter dem Mikroskop können vorgefundene Myzelteile, aber auch Sporen aufgrund spezifischer Eigenschaften wie Form und Farbe eindeutig zugeordnet werden.

Bei der Bestimmung von Insekten kann die Mikroskopie für die Charakterisierung des Schadinsektes anhand von Kotpartikeln eingesetzt werden.

Vitalitätstest (Pilze)

Pilze, die am Schadort festgestellt werden, können auf ihre Lebensfähigkeit untersucht werden. Dazu werden Pilzteile entnommen und im Labor künstlich angezchtet. Auch können Farbreagenzien einen Rückschluss auf die Aktivität des Pilzes geben. Falsche Ergebnisse könnte man allerdings erhalten, wenn die Pilze zwischen Ausbauort und Labor für sie extreme Bedingungen erfahren und dadurch absterben. Eine nachgewiesene Aktivität allerdings zeigt die Notwendigkeit von Bekämpfungsmassnahmen an.

Bohrwiderstandsmessung / Resistograph

Der Widerstand beim Einbohren einer speziellen Bohrnadel gibt Rückschluss auf die Dichte und die daraus zu erwartende Festigkeit des Holzes. Der Bohrwiderstand wird auch in der Praxis eingesetzt, dennoch können im Labormassstab stets genauere Ergebnisse erzielt werden, da hier die zumeist die Dichte und die Festigkeit direkt bestimmt werden können, weshalb Probleme wie die Inhomogenität des Holzes, punktuelle Ergebnisse u.a. nicht bzw. kaum ins Gewicht fallen.

Holzschutzmittelnachweis

Für Anwendung chemischer Mittel in der Bekämpfung kann es sinnvoll sein, zu wissen, welche Holzschutzmittel bereits vorher eingebracht wurden. Auch für die Entsorgung ausgebauten Holzes ist der Nachweis evtl. gefährlicher Stoffe im Holz sinnvoll.

Farbreagenzien dienen dem qualitativen und begrenzt quantitativen Nachweis von Holzschutzmitteln und deren Eindringtiefe bzw. Verteilung im Holz. Für den genauen Nachweis ist sind spezifische Mengen und Konzentrationen zu beachten. Die Empfindlichkeit der Reagenzien bestimmt über die Nachweisgrenze einzelner Wirkstoffe.

Mögliche Störungen der Farbreaktionen können durch ungeeignete pH-Werte, Farbreaktionen anderer Stoffe oder hohe Holzfeuchten entstehen. Auch Fehldeutungen können nicht ganz ausgeschlossen sein.

Tabelle 19 Nachweis von Holzschutzmitteln bzw. deren Wirkstoffe mit Farbreagenzien

Nachweis von	Reagenz		Farbreaktion	
	I	II	mit	ohne
Fluor (F-, SF-, CFB- und CKF-Salze, F-Salze für HWS)	Zirkonoxychlorid Salzsäure	Alizarin S	gelb	Weinrot
Bor B-, CKB-, CFB-Salze, chromfreie Kupferpräparate mit Borverbindungen, B-Salze für HWS	Salzsäure	Curcumatinktur	Orange-rot	gelb
Quaternäre Ammoniumverbindungen Quat-Präparate, Quat-Bor-Präparate und chromfreie Cu-Präparate auf Basis Quat	Natrium-Hydroxid	Quecksilber (II)-jodid, Kaliumjodid	rotgelb bis tomatenrot	
	Cobalt(II)-Thiocyanat		türkis	rosa
	Bromphenolblau Ethanol Essigsäure		blau	gelb
Chrom (6wertig)	Diphenylcarbid Ethanol Essigsäure		violett	gelblich
Chrom (3wertig) CK, CKB-, CKA-, CKF- und CKB-Salze	Bleiacetat Essigsäure	Eriochromcyan	blau-violett	rot
Kupfer CK-, CKB-, CKA-, CKF-Salze, chromfreie Cu-Präparate auf der Basis Cu-Quat, Cu-HDO, Cu-Triazol	Kaliumhexacyanoferrat(II)		braun	blassgelb
	Chromazurol-S Natriumacetat		blau	keine
	Diphenylcarbazid(1,5) Ethanol Essigsäure		violett (purpurrot)	keine
Kupfersulfat	Ferricyankalium-Lösung		rot	keine
Arsen (3wertig) z.B. Natriumarsenit	Jod Kaliumjodidi	Reisstärke	verblaßt schnell	blau
Arsen (5wertig) z.B. Natriumarsenit)	Silbernitrat		rotbraun	keine
Zink	Dithizon		rot	grün
Chlorzink	Ferricyankalium-Lösung Jodkalium-Lösung Stärke-Lösung		blau	keine
Quecksilberchlorid (Sublimat)	Wässrige Schwefelammonium-Lösung		schwarz	keine
Tributylzinn	Brompyrogallorot Ethanol		blau	rot
Ölige Holzschutzmittel	Sudan III (Ceresinrot) Gemahlene Kreide		tiefrot	hellrosa

Eine weitere einfache Methode, Chlor oder Halogene nachzuweisen ist der Beilstein-Test (Nachweis mit Kupferblech mittels Flammenfärbung). Allerdings können hierbei Dioxine (hochgiftig!) entstehen.

2.4.2 Methoden zur Bekämpfung von Pilz- oder Insektenbefall

An erster Stelle steht bei Bekämpfung vor allem von Pilzbefall die Behebung der Schadursache, welche in den meisten Fällen mit einem Feuchteschaden verbunden ist.

Die verschiedenen Methoden der Bekämpfung dürfen nur durch Firmen mit Fachbewilligung (zum Umgang mit Holzschutzmitteln) erfolgen. Gegen Pilze und Insekten haben sich unterschiedliche Bekämpfungsmethoden bewährt.

Bei **Pilzbefall** ist vorrangig zu klären, ob der Echte Hausschwamm an der Schädigung beteiligt ist. Wenn dieser nachgewiesen werden konnte, ist bei der Sanierung besondere Sorgfalt geboten. Generell sind pilzgeschädigte Hölzer und Bauteile auszubauen und zu ersetzen. Beim Echten Hausschwamm soll dieser Ausbau 1m über den sichtbaren Befall (Myzel) hinaus erfolgen. Auch der Putz an betreffenden Stellen ist abzuschlagen, da der Pilz auch Putz hinterwachsen und Mauerfugen durchwachsen kann. Während der Sanierungsmassnahme ist darauf zu achten, dass keine Sporenverschleppung in andere, gar feuchte, Räume erfolgt.

Kann nun nicht ausgeschlossen werden, dass alle möglichen Infektionsquellen (Myzelreste etc.) entfernt wurden oder dass die Bauteile über mehrere Tage Holzfeuchten von über 20% aufweisen, sollten die neu eingebauten Bauteile chemisch geschützt werden. Das kann zum Beispiel durch Schwammbekämpfungsmittel im Mauerwerk (Bohrpatronen, Schaumverfahren etc.) erfolgen.

Insektenbefall sollte nur bekämpft werden, wenn ein nachweislicher aktiver Befall vorliegt. Handelt es sich um lokalen, nur vereinzelt Befall, sollten nur lokale Massnahmen ergriffen werden. Unter Beachtung der Holzart und des Alters befallener Bauteile, kann die Wahrscheinlichkeit eines Neubefalls bzw. der Ausbreitung des Befalls abgeschätzt werden.

Beim Einsatz chemischer Bekämpfungsmittel gegen Insekten können die eingesetzten Mittel folgendermassen unterteilt werden:

- schnell wirksam; Kontaktinsektizide (Nervengifte) z.B. Pyrethroide (wie Permethrin)
- verzögert wirksam; reine Frassgifte z.B. Borverbindungen (Borsäure, Borax)
- langsam wirksam; greift in hormonelle Steuerung ein, Häutungshemmer z.B. Flufenoxuron

Darüber hinaus können noch andere Verfahren eingesetzt werden:

Heissluftbehandlung

Zur Abtötung holzzerstörender Insekten kann das Heissluftverfahren eingesetzt werden. Auch für die Abtötung holzzerstörender Pilze wird die Heissluftbehandlung eingesetzt, ist dabei aber eher umstritten.

Vor der Behandlung wird der betreffende Raum gedämmt, um möglichst wenig Energie einsetzen zu müssen. Die betroffenen Bauteile müssen im Kern auf mindestens 55°C erhitzt werden, wobei die Temperatur mindestens eine Stunde aufrechterhalten werden muss. Diese Temperatur führt zur sicheren Denaturierung von Eiweissen und damit zur Abtötung der Schädlinge. Entsprechend der Holzmenge, der Bauteilabmessungen und der Dichtheit des zu behandelnden Raumes (z.B. Dachboden) geht man von einer nötigen 8 bis 12stündigen Heizdauer der Raumluft auf 80-100°C aus. Durch Temperaturfühler wird dabei der Temperaturverlauf, vor allem im Inneren von dimensionsstarken Bauteilen gemessen. Werden die geforderten Werte eingehalten, werden alle Entwicklungsstadien der Insekten abgetötet. Das Verfahren ist allerdings nur im Sommer mit vertretbarem Energieaufwand am Gebäude realisierbar. Die Anwendung für die Abtötung holzzerstörender Pilze ist eher umstritten, denn die Letaltemperatur müsste mehrere Stunden gehalten werden.

Vorteile: schnelle Wirksamkeit, kein Eintrag oder Einsatz chemischer Stoffe

Nachteile: hoher Energieeinsatz, hoher Aufwand für Abdichtung/Dämmung, keine vorbeugende Wirkung; Rissbildung an Holz und anderen Baustoffen/-teilen möglich

Begasungsverfahren

Ein weiteres gebräuchliches Verfahren zur Bekämpfung ist die Begasung. Durch das Einbringen eines giftigen Gases in einen abgedichteten Raum werden alle Insektenstadien sicher abgetötet. Auch bei Pilzschäden wird das Verfahren eingesetzt, der Erfolg ist dabei aber nicht so sicher. Das Verfahren ist aufgrund der Gefährdung für Mensch und Tier recht aufwendig (Abdichtung etc.) und teuer. Für die Begasung werden Methylbromid (Zerstört Ozonschicht), Blausäure, Phosphorwasserstoff oder Sulfuryldifluorid eingesetzt werden.

Mobile befallene Gegenstände (Möbel, Kunstgegenstände) können sicher in einer Kammer begast werden. Für die Kammerbegasung können auch ungiftige Gase (N₂) eingesetzt werden. Die Insekten würden in diesem Fall durch den akuten Sauerstoffmangel absterben.

Vorteile: sehr wirksam, alle Lebensstadien der Insekten sicher abgetötet

Nachteile: Gefährdungen für Lebewesen und Umwelt durch Gifteinsatz; umfangreiche Sicherungsmassnahmen erforderlich; Reaktionen/Schäden an Farben oder Metallen möglich; keine vorbeugende Wirkung gegen Wiederbefall

Sonderverfahren

Es können noch weitere Verfahren eingesetzt werden, die in aller Regel mit dem Prinzip der Eiweissabtötung bei hohen Temperaturen arbeiten. Allerdings sind diese meist nur lokal anwendbar.

Hochfrequenztechnik

Am betreffenden Bauteil werden zwei Metallplatten angebracht zwischen welchen mittels Hochfrequenzgenerator ein hochfrequentes Wechselfeld (MHz-Bereich) im Holz erzeugt. Die Wassermoleküle im Holz werden dadurch in rascher Folge umgepolt und erzeugen durch diese Reibung eine enorme Wärme. Die erzeugten Temperaturen können ausreichen, einen lokalen Pilz- oder Insektenbefall abzutöten.

Mikrowellentechnik

Ähnlich funktioniert die Mikrowellentechnik, bei der noch deutlich höhere Frequenzen (GHz-Bereich) genutzt werden. Die Tiefenwirkung ist allerdings etwas geringer und die Strahlenbelastung für den Anwender ist deutlich höher.

Kälteverfahren

Die Abtötung von Holzzerstörern kann auch durch besonders tiefe Temperaturen erfolgen. Mit flüssigem Stickstoff können mobile Holzbauteile, Möbel oder Kunstgegenstände auf Temperaturen unter -15°C heruntergekühlt werden. Allerdings können bei dieser Art der Behandlung Probleme, wie zum Beispiel Gefrierbrand auftreten.

2.5 Literatur

- Bosshard, H.H. (1984):** Holzkunde 3, Aspekte der Holzbearbeitung und Holzverwertung. Birkhäuser Verlag.
- Graf, E. (XXXX):** Biogene Schäden. Artikel aus Beitragssammlung zum Thema Holzschutz am Bau. Vorlesung "Masch. Holzsortierung und Holzbaunormen", Richter/Steiger, ETH Zürich, 2001.
- Grosser, D. (1987):** Pflanzliche und tierische Bau- und Werkholzschädlinge. DRW-Verlag, Leinfelden-Echterdingen
- Holz-Lexikon (1988):** 3. Nachdruck 1993. DRW-Verlag.
- Industrieverband Bauchemie und Holzschutzmittel (1997):** Foliensammlung "Holzschutz". Frankfurt am Main: 42 Folien.
- Kempe, K. (1999):** Dokumentation Holzschädlinge: holzerstörende Pilze und Insekten an Bauholz. Verlag Bauwesen, Berlin.
- Müller, K. (1993):** Holzschutzpraxis, ein Handbuch in Tabellen. Bauverlag, Wiesbaden.
- Langendorf, G. (1988):** Holzschutz. VEB Fachbuchverlag, Leipzig.
- Leisse, B. (1992):** Holzschutzmittel im Einsatz: Bestandteile, Anwendungen, Umweltbelastungen. Bauverlag, Wiesbaden.
- Leisse, B. (2002):** Holzbauteile richtig geschützt - Langlebige Holzbauten durch konstruktiven Holzschutz. DRW-Verlag, Leinfelden-Echterdingen.
- Lohmann, U. (1999):** Holz Handbuch. DRW-Verlag, Leinfelden-Echterdingen.
- Niemz, P. (1993):** Physik des Holzes und der Holzwerkstoffe. DRW-Verlag, Leinfelden-Echterdingen.
- Rapp, A. O., Sailer, M. und Peek, R.-D. (2000):** Innovative Holzvergütung zur Erhöhung der Dauerhaftigkeit. in: Mitteilungen der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft Nr. 200, 27-34
- Vill, E. (1997):** Natürlicher Holzschutz, Wirksamer Schutz auch ohne Gift. Eigenverlag.
- Weiss, B.; Wagenführ, A.; Krause, K. (2000):** _Beschreibung und Bestimmung von Bauholzpilzen. DRW-Verlag. Leinfelden-Echterdingen.
- Weissenfeld, P. (1988):** Holzschutz ohne Gift. Ökobuch Verlag, Staufen b.Fr.

- www.binker.de → Holzschutzfirma, Beschreibung von Bekämpfungsmethoden
- www.holzfragen.de → Zahlreiche zuverlässige Informationen zum Holzschutz
- www.lignum.ch
- www.lignum.ch/deutsch/files/FP_PaLc14.pdf → Broschüre zu holzerstörenden Pilzen und Insekten
- www.pentol.ch → Hersteller von Holzschutzmitteln
- www.schadstoffberatung.de/holzschz.htm → Chemischer Holzschutz
- www.seco-admin.ch/ → Staatssekretariat für Wirtschaft
- 77.05 Fachbewilligung (Umgang mit bestimmten Produktgruppen)
- 24.29 Zulassungsbewilligung Holzschutzmittel (HSM) und Antifoulings (AF)
- www.itis.usda.gov → Datenbank, Einordnung und Bezeichnung von Pflanzen und Tieren
- www.wood.uni-goettingen.de → Forschungen im Bereich Holzmodifikation

3. Holzverklebung

3.1 Allgemeines

Klebstoffe sind Materialien, die es gestatten, Werkstoffe ohne mechanische Verbindungsmittel wie Nägel, Bolzen usw. fest miteinander zu verbinden. Unter einem Klebstoff versteht man einen nichtmetallischen Werkstoff, der Werkstoffe durch Oberflächenhaftung (Adhäsion) und seine innere Festigkeit (Kohäsion) Verbinden kann, ohne dass das Gefüge der zu verbindenden Teile wesentlich verändert wird.

Der Begriff Klebstoff schliesst andere gebräuchliche Bezeichnungen wie Leim, Kleister, Kleblack, Klebkitt, Warmleim, Dispersionskleber etc. mit ein (Autorenkollektiv 1975).

Ein Klebstoff besteht im allgemeinen aus Bindemittel (Filmbildner, Grundstoff), das in einem Lösungsmittel dispergiert oder gelöst ist, sowie anderen Füllstoffen und Streckmitteln.

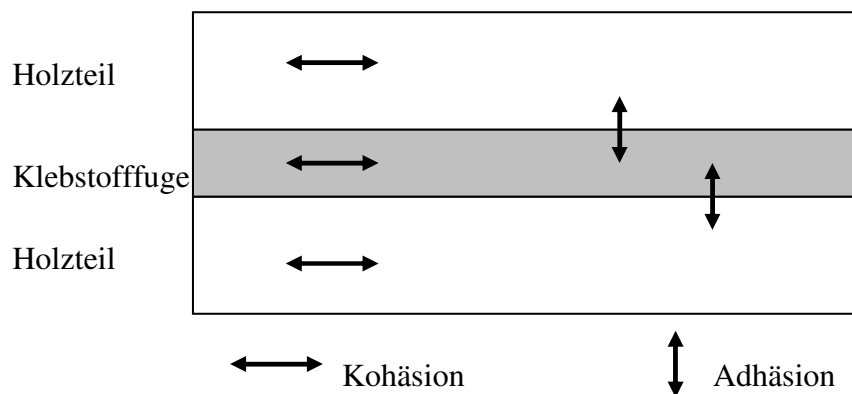


Abbildung 81 Kohäsion und Adhäsion

Der Klebstoff setzt sich zusammen aus:

Den nicht flüchtigen Bestandteilen

- Klebgrundstoff (Filmbildner, bestimmt die Grundeigenschaften des Klebstoffes)
- Modifizierungsmittel (Zusatz zum Klebgrundstoff zur Verbesserung der mechanisch-physikalischen Eigenschaften, der thermischen Eigenschaften und des Feststoffgehaltes)
- Füllstoffe/Streckmittel (Erhöhung des Feststoffgehaltes des Klebstoffes, Verbesserung der Fugenbeständigkeit)
- Hilfsstoffe (Beschleuniger, Härter, Verzögerer)
- Spezifische Zusatzstoffe (Farbstoffe, Tixotropierungsmittel)

Den flüchtigen Bestandteilen

- Lösungsmittel
- Dispersionsmittel
- Verdünnungsmittel

Übliche Bezeichnungen für Klebstoffe:

Leim

In Wasser gelöster Klebstoff. Die Basis kann natürlich oder synthetisch sein.

Kleister

Wässriges Quellungsprodukt, das schon in geringer Feststoffkonzentration eine schmalartige, kurzabreissende, nicht fadenziehende Masse bildet.

Klebdispersion

Der Klebstoff ist in einem Dispergierungsmittel (Wasser, organisches Lösungsmittel) fein verteilt. Das Lösungsmittel bildet die kohärente, zusammenhängende Phase. Mit dem Dispersionsmittel kann der Klebstoff in weiten Grenzen verdünnt werden.

Kleblack (Lösungsmittelkleber)

Lösung des Klebstoffes in flüchtigen, organischen Lösungsmitteln.

Schmelzkleber

Bei Raumtemperatur fester Klebstoff, der für die Verarbeitung aufgeschmolzen wird. Es sind thermoplastisch als auch chemisch härtende Typen bekannt.

Klebfolie

Der Klebstoff ist auf einem Träger (meist hochsaugfähiges Papier) aufgetragen, das Lösungsmittel wird durch kurzzeitiges Aufwärmen verflüchtigt. Der Klebstoff härtet durch Hitze oder Druck aus, wenn die Klebefolie zwischen die zu verklebenden Flächen gelegt wird.

Pulverleim

Verschiedene Klebstoffe können als Pulver lange gelagert werden. Auf Grund des Fehlens von Lösungsmitteln, tritt keine chemische Reaktion zwischen den Molekülen auf. Erst nach Zuführung des Lösungsmittels wird ein Klebstoff mit den bekannten Eigenschaften erreicht.

3.2 Einteilung der Klebstoffe

Folgende Einteilung von Klebstoffen ist üblich:

Klebstoffe aus Naturstoffen:

Klebstoffe auf Basis von *Eiweiss*:

- Glutin
- Blotalbumin
- Kasein

Klebstoffe auf Basis von *Polysachariden*:

- Dextrin
- Nitrocellulose
- Karboxymethylcellulose

Synthetische Klebstoffe (chemische Klebstoffe):

Klebstoffe auf Basis duroplastisch härtender Harze

- Harnstoff-Formaldehyd-Harze (UF)
- Melamin-Formaldehyd-Harze (MF)
- Phenol-Formaldehyd-Harze (PF)
- Kresol-Xylenol-Formaldehyd-Harze
- Resorcin-Formaldehyd-Harze (RF)
- Ungesättigte Polyester-Harze
- Polurethane (PUR, PMDJ)
- Mischharze (Harnstoff mit Melamin verschnitten u.a.; z.B. MUPF, PMF, PMUF, Zugabe von Taninnen, Lignin, Isocyanat)

Klebstoffe auf Basis von thermoplastischen Harzen und Kautschuk

- Polyvinylacetat (PVA)
- Polyvenylchlorid und Mischharze
- Chloropren und Kautschuk

3.3 Klebevorgang

Die Verklebung zweier Körper erfolgt mit Hilfe eines Klebstoffes, der sich während der Abbindezeit verfestigt und dadurch die beiden Flächen kraftschlüssig miteinander verbindet.

Alle bekannten Klebstoffe sind makromolekular oder enthalten zumindest einen Anteil höhermolekularer Verbindungen.

Bei einigen Klebstoffen wird während des Klebevorganges aus niedermolekularen Verbindungen durch Polymerisation, Polykondensation oder Polyaddition ein hochmolekularer Klebstoff erzeugt.

Anforderungen an einen Klebstoff:

Er muss eine Verbindung mit ausreichender Zug- und Scherfestigkeit sowie Klima- und Chemikalienbeständigkeit ergeben

- Er soll leicht und schnell auftragbar sein und die zu verbindenden Flächen rasch benetzen
- Er soll möglichst arm an quellenden (Wasser) oder destruktiven Reaktionen sein (saure Reaktion)
- Der Übergang des Klebstoffes beim Abbinden soll kontrollierbar sein und in kurzer Zeit erfolgen
- Die Klebfuge darf nicht verhungern, d.h. der Klebstoff darf nicht zu stark in das Holz eindringen

Folgende Klebstoffverarbeitungen sind möglich:

Schmelzverfahren

Der Klebstoff wird im geschmolzenen Zustand auf die zu verbindende Oberfläche aufgetragen. Dieser erstarrt entsprechend der Abkühlung in der Klebfuge zu einer zähen, harten Schicht. Sondervariante: Der Klebstoff wird in Form einer dünnen Folie zwischen die Flächen gelegt und anschliessend durch Temperatur eingeschmolzen.

Tabelle 20 Begriffe und Verklebungsklassen von Holz

Klebstofftechnische Begriffe	
Klebstoff	Nichtmetallischer Werkstoff, mit dem andere Werkstoffe durch Adhäsion und Kohäsion fest miteinander verbunden werden. Klebstoff ist der Oberbegriff für Leime und Kleber.
Füllmittel	Feingemahlene Stoffe ohne eigene Klebekraft (Kreide, Gesteins- und Holzmehl usw.)
Streckmittel	Quellfähige organische Stoffe mit eigener Klebekraft (Getreidemehl, Stärke usw.) Zweck: Leimkosten senken, Viskosität der Leimflotte regeln, Füllkraft erhöhen, Leimdurchschlag vermindern, Fugeneigenschaften verbessern.
Reifezeit	Zeit vom Ansetzen eines Klebstoffes bis zum verarbeitungsfähigen Zustand
Gebrauchsdauer (auch Topfzeit)	Zeit vom verarbeitungsfähigen Zustand bis zum Beginn des Abbindens im Gefäß
Wartezeit:	offen: Zeit vom Auftragen des Klebstoffes bis zum Zusammenlegen der Teile geschlossen: Zeit nach dem Zusammenlegen bis zum Erreichen des vollen Pressdruckes
Abbindezeit	Zeit bis Fugenfestigkeit erreicht wird und der Pressdruck aufgehoben werden kann
Abbindetemperatur	Temperatur während der Abbinde- bzw. Aushärtezeit – Kaltverleimung 5 bis 25 °C – Heißverleimung über 90 °C – Warmverleimung 40 bis 70 °C
Pressdruck	Druck auf die Klebefuge während der Abbindezeit
Presszeit	Zeit zwischen Beginn und Ende des vollen Pressdruckes
Adhäsion	Anhangskräfte zwischen den Molekülen verschiedener Stoffe; z.B. Kräfte zwischen Klebstoff und Holzwerkstoff bzw. Füge teil
Kohäsion	Zusammenhangskräfte zwischen den Molekülen gleicher Art; z.B. Kräfte innerhalb einer Klebstoffschicht
Dispersion	Verteilungszustand eines fein verteilten, unlösbaren Stoffes in einer Flüssigkeit
Fugendicke	Dünne Leimfuge maximal 0,1 mm Dicke Leimfuge über 0,1 mm
Härter	Säuren bzw. Salze, die die unterbrochene Kondensation einleiten
Untermischverfahren	Beim Leimansetzen wird Leim und Härter gemischt
Vorstrichverfahren	getrennter Auftrag von Leim und Härter auf je eine Fugenseite
Beanspruchungsgruppen (DIN EN 204)	
Beanspruchungsgruppe	Klimabedingungen und Anwendungsbereiche
D1	Innenbereich, wobei die Temperatur nur gelegentlich und kurzzeitig mehr als 50 °C und die Holzfeuchte maximal 15% beträgt
D2	Innenbereich mit gelegentlicher kurzzeitiger Einwirkung von abfließendem Wasser oder Kondenswasser und/oder kurzzeitiger hoher Luftfeuchte mit einem Anstieg der Holzfeuchte bis maximal 18%
D3	Innenbereich mit häufiger kurzzeitiger Einwirkung von abfließendem Wasser oder Kondenswasser und/oder eine langzeitige Einwirkung hoher Luftfeuchte. Außenbereich, vor der Witterung geschützt
D4	Innenbereich mit häufig starker Einwirkung von abfließendem Wasser oder Kondenswasser; Außenbereich, der Witterung ausgesetzt, jedoch mit angemessenem Oberflächenschutz

Verklebung mit Lösungsmittelklebern

Der Klebstoff wird im gelösten Zustand oder als Dispersion aufgetragen. Der Klebstoff-Film bildet sich durch Verdunsten, Diffusion oder Absaugen des Lösungsmittels durch das Kapillarsystem des Holzes. Dabei steigt die Viskosität des Klebstoffes stark an, er geht vom Sol- zum Gelzustand über. Die Endfestigkeit wird erst nach dem vollständigen Abwandern des Lösungsmittels erreicht.

Tabelle zeigt wichtige Begriffe und die Beanspruchungsgruppen von Holz, Tabelle wichtige Klebstoffe der Holzindustrie und deren Einteilung.

Tabelle 21 Abbindevorgänge und gebräuchliche Klebstoffe und Zuordnung zu Klebstoffklassen

Abbinde- bzw. Härtevorgänge					
Klebstoffart	physikalisch		chemisch		
Dispersions-Klebstoffe	Abwandern von Wasser und Zusammenlagern der Klebstoffteilchen, Aufbau von Kohäsions- und Adhäsionskräften, zusätzliche mechanische Verankerung				
Kondensations-Klebstoffe	Wie oben		Chemische Reaktion durch Zugabe von Härter und/oder Hitze, Vernetzung		
Kontakt-Klebstoffe lösungsmittelhaltig	Verdunsten der Lösungsmittel, Zusammenlagern der Klebstoffmoleküle, nach Ablüften pressen – Adhäsionskräfte zwischen den Oberflächenmolekülen		Mit Härter teilweise Vernetzung		
Zweikomponenten-Klebstoffe lösungsmittelfrei			Chemische Reaktion zwischen den beiden Komponenten		
Schmelz-Klebstoffe	Sofortige Verfestigung nach Unterschreiten der Schmelztemperatur		Bei reaktiven Schmelzklebern zusätzliche Vernetzung		

Gebräuchliche Klebstoffe in der Holztechnik					
Klebstoffe			Gruppe nach EN 204	Temperaturbeständigkeit (°C)	Anwendung
Dispersions-Klebstoffe	1	Polyvinylacetat PVAC	D2/D3	- 20 bis 100	Montage-, Flächen- und Lackleime
	2	Polyvinylacetat PVAC Zwei-Komp.	D4	- 20 bis 120	Wasserfeste und wetterbeständige Verleimungen
Kondensations-Klebstoffe	3	Harnstoffharz (gefüllt)	D2/D3	- 20 bis 150	Furnier- und Flächenverleimungen
	4	Harnstoff-Melaminharz	D3		Furnierleime
	5	Phenol-/Resorcinharz	D3/D4		Wasser- und wetterbeständige Verleimungen
Kontakt-Klebstoffe	6	ohne Härter	keine Klassifizierung	- 20 bis 70	Verklebungen von verschiedenen Werkstoffen
	7	mit Härter		- 20 bis 100	wie 6, aber bessere Wärme- und Feuchtigkeitsbeständigkeit
Reaktions-Klebstoffe	8	Epoxidharzkleber	D3/D4	- 20 bis 100	Sonderverklebungen
	9	Polyurethan-Kleber PUR-Kleber			Verleimungen mit hoher Wasser- und Temperaturbeständigkeit
Schmelz-Klebstoffe	10	Ethylenvinylacetat EVA	keine Klassifizierung	- 10 bis 60	Verkleben und Vorbeschichten verschiedener Kantenmaterialien
	11	Polyamid		- 20 bis 130	
	12	Polyolefin			
	13	PUR		< 150	

3.4 Klebtheorien

Die Ausbildung einer festen Verbindung durch den Klebstoff wird durch eine Reihe wichtiger Einflussfaktoren entscheidend beeinflusst. Der Anwender muss diese Größen kennen, um einen optimalen Effekt einstellen zu können. Die Gesamtfestigkeit der Klebfuge wird durch Adhäsion und Kohäsion bestimmt (vgl. Abbildung).

Der Bruch tritt also im Holz und nicht in der Klebfuge ein, denn als Bedingung gilt:

Kohäsion_{Fügeteil} < Kohäsion_{Klebstoffuge}

Adhäsion_{Klebstoffuge} > Kohäsion_{Fügeteil}

Adhäsion ist die Summe aller Kräfte, welche die Haftung des Klebstoffes an der Oberfläche bewirken. *Kohäsion* ist die Summe aller Kräfte, die den Zusammenhalt eines Stoffes bewirken (also der Klebfuge oder des Holzes).

3.4.1 Van der Waalsche Kräfte

Sie sind Restvalenzkräfte, die zwischen allen chemischen Verbindungen wirksam sind. Sie sind die Ursache dafür, dass auch unpolare Stoffe wie Paraffin einen Zusammenhalt zeigen. Es gibt 3 Arten von Restvalenzbindungen:

- Polkräfte (Debye-Kräfte) treten zwischen Molekülen mit permanenten Dipolen auf, es wirken elektrostatische Kräfte. Die Wechselwirkung der Dipole erzeugt Anziehungskräfte, die von dem Produkt der Stärke beider Dipole und der 6. Potenz des Abstandes abhängen;
Beispiele: H-O Gruppen bei PVA, Polyester, Polykondensationsklebstoffe
N-H Gruppen bei Harnstoffharzen, Melaminharzen
C=N=O Gruppen bei Isocyanaten, PUR Klebstoffen
- Induktionskräfte (Keesom-Kräfte): im leichtpolymerisierbaren Molekül kann bei Annäherung eines starken Dipols ein sekundärer Dipol induziert werden.
Beispiele für Gruppen: -C=C- ungesättigte Polyester
C=C=NH Melaminharze
C=C-C=O Akrylatharze
Induktionskräfte haben eine Reichweite von 5×10^{-8} cm.
- Dispersionskräfte (London - Kräfte) treten zwischen allen Atomen und Molekülen auf. Die Reichweite liegt bei 5×10^{-8} cm. Die Energie nimmt mit der Entfernung mit der 6. Potenz ab. Bei unpolaren Stoffen bilden diese Kräfte 75 - 100% aller Adhäsions- und Kohäsionskräfte.

3.4.2 Wasserstoff-Brückenbindungen

Eine häufig auftretende Bindungsart höherer Bindungsenergie ($3...9$ kcal/Bindung, Reichweite $2,6...3 \times 10^{-8}$ cm) sind Wasserstoffbrückenbindungen. Sie sind an das Vorhandensein von Wasserstoffatomen und an das Auftreten von Elektronenpaaren gebunden. Nähert sich ein Wasserstoffatom dem negativen Pol eines Dipols, so treten erhebliche Kräfte auf, die durch den kleinen Radius des H-Atoms begünstigt werden. Die Bindung bildet sich nur im atomaren Bereich aus. Die Bindung tritt z.B. bei der Verklebung von Holz mit Harnstoffharzen oder Phenolharzen auf.

3.4.3 Chemische Bindungen

Man formuliert 2 Grundtypen von Verbindungen:

- Die Ionenbeziehung (heteropolare Bindung), z.B. bei den Phenolharzleimen
- Die Atombindung (homöopolare Bindung)

Sie kommen dadurch zustande, dass zwischen den reagierenden Atomen Elektronen ausgetauscht werden und dadurch eine feste Bindung entsteht. Chemische Bindungen haben wesentlich höhere Festigkeiten. Sie können zwischen den Klebstoffen und den Cellulose- bzw. Hemicellulosebestandteilen des Holzes ausgebildet werden.

3.4.4 Vergleich der Bindungsarten

Tabelle 22 zeigt einen Vergleich der Bindungsarten. Chemische Bindungen haben extrem grosse Bindekräfte.

Tabelle 22 Vergleich der Bindungsarten

Bindung	Dissoziationsenergie in kJ	Mittlere Reichweite in 10^{-8} cm
Chem. Bindung	335...420	4...5
Wasserstoffbrückenbindung	21	2,6...3
Dispersionskräfte	8,4	3,5...4,5
Polkräfte	8,4	4...5
Induktionskräfte	8,4	3,5...4,5

3.5 Einfluss des Holzes auf die Verklebungsgüte

Wichtige Einflussfaktoren des Holzes sind:

- Die **Holzfeuchte** bei der Verklebung (abhängig von Klebstoffart: PUR Klebstoffe sind unempfindlicher gegen Feuchteschwankungen als Harnstoff- und Phenolharze). Holz wird allgemein bei 8 - 12% Feuchte verklebt. Soll die Verbindung für höhere Gebrauchsfeuchten eingesetzt werden, sind Klebstoffe zu wählen, die das Quell-/Schwindverhalten kompensieren.
- Die **Dichte des Holzes** beeinflusst die Scherfestigkeit. Die Scherfestigkeit steigt bis $0,8 \text{ g/cm}^3$ an und fällt danach ab. Dies korreliert mit dem Anteil an Holzbruch.
- Die **Faserrichtung**. Klebverbindungen, deren Fasern parallel zur Klebfuge verlaufen, haben die höchste Scherfestigkeit. Mit zunehmendem Winkel fällt die Festigkeit. Sie erreicht bei 90 Grad (Sperrholz) den niedrigsten Wert.
- Die **Holzart**.

Die Klebbarkeit der einzelnen Holzarten variiert stark. Laubhölzer hoher Dichte lassen sich schwerer kleben als Nadelhölzer. Holz mit starken Inhaltsstoffen zeigt eine Abhängigkeit vom Gehalt an Inhaltsstoffen.

3.6 Klebgrundoperationen

Folgende prinzipielle Vorgehensweise erfolgt beim Kleben:

Gestaltung der Klebfuge

Die Klebfuge soll so gestaltet werden, dass vorwiegend Scherkräfte auftreten, aber keine schälende Wirkung vorliegt, günstig sind Schäftungen und Überlappungen.

Holzfeuchte

Diese sollte etwa 8 - 12% sein. Ist das Holz zu trocken (unter 5%), kommt es zum Wegschlagen des Wassers aus dem Klebstoff, dadurch verringert sich das Fließvermögen. Ist das Holz zu feucht, vermindert sich seine Benetzbarkeit, das Wasseraufnahmevermögen des Holzes sinkt. Dadurch steigt die Verleimungszeit. Eine Ausnahme bilden PUR-Leime, die auch nass verklebt werden können.

Oberflächenvorbereitung

Bei Holz erfolgt vor der Verklebung meist ein spanender Abtrag, um eine saubere, glatte Oberfläche zu erzielen.

Dies sollte unmittelbar vor der Verleimung erfolgen. So kommt es bei Keilzinken auch zu Verformungen (durch Quellen und Schwinden), wenn zwischen Vorbehandlung und Verklebung zu viel Zeit liegt.

Vorbereitung des Klebstoffes

Vor der Verarbeitung erfolgt ein Mischen der Klebstoffkomponenten. Zugegeben werden Streckmittel (Weizenmehl, Roggenmehl, Bohnenmehl), um den Klebstoffverbrauch zu reduzieren. Die Streckmittelzugabe erhöht die offene und die geschlossene Wartezeit. Bei Tischlerplatten werden bis zu 250% Streckmittel zugegeben. Ebenso werden Füllstoffe (Kaolin, Glimmer etc.) zugegeben, um die Warm- und Kochwasserbeständigkeit zu erhöhen. Durch Mikroverkapselung werden hochreaktive

Härter, Beschleuniger und Modifizierungsmittel in innere Feststoffe überführt. Der diesen Komponenten zugeführte Klebstoff verhält sich wie ein Einkomponentenklebstoff, der z.B. erst bei Einwirkung von Druck und Wärme härtet.

Klebstoffauftrag

Der Klebstoffauftrag erfolgt durch Giessen, Streichen, Spritzen.

Folgende Auftragsmengen gelten als Richtwerte (Zeppenfeld 1991):

Absperren, Auftrag auf Mittellage	150 - 240 g/m ²
Absperren, Auftrag auf Furnier	140 - 240 g/m ²
Kleben sägerauher Flächen	400 - 500 g/m ²
Kleben von Folien auf Spanplatten	80 - 150 g/m ²
Kleben von Dekorfolien auf harte Faserplatten	30 - 80 g/m ²
Kleben von Schmalflächenband auf Spanplatten	140 - 170 g/m ²
Brettschichtholz	300 - 400 g/m ²

Fügeteil zusammenführen/offene Wartezeit

Die offene Wartezeit ist die Zeit, die der Klebstoff nach dem Auftrag bis zum Fügen der Teile ohne äussere Einwirkung sich selbst überlassen ist. Dabei treten im Klebstoff Veränderungen auf, die durch das Absaugen von Lösungsmitteln in das Holz und das Verdunsten in die Umgebung verursacht sind.

Die Zeit ist abhängig von:

- Der chem. Zusammensetzung des Klebstoffes
- Der Klebstoffauftragsmenge
- Der Saugfähigkeit des Klebstoffes
- Der Feuchte des Fügeteiles
- Äusseren Bedingungen (Luftströmung, Licht- und Strahlungseinwirkung)

3.7 Beschreibung ausgewählter Klebstoffe

3.7.1 Klebstoffe auf Basis natürlicher Ausgangsmaterialien

Glutinleime sind die ältesten Klebstoffe. Die Herstellung erfolgt aus Abfallprodukten auf der Basis von Eiweissen wie Leder, Knochen, Fischblasen. Die Klebfuge hat eine gute Bindefestigkeit und Elastizität aber eine geringe Feuchtebeständigkeit.

Bei der Verarbeitung werden die Glutinleime mit Wasser gequollen und durch Erwärmen in Lösung gebracht. Die Holzoberfläche wird vorgewärmt.

Blutalbumine haben eine wichtige Rolle bei der Sperrholzherstellung gespielt. Der Klebstoff wird aus geronnenem Blut hergestellt. Der Klebstoff wird nach Quellen in kaltem Wasser löslich. Er wird im Verhältnis 1:3 bis 1:10 in Wasser gelöst.

Kaseinleime werden aus dem Eiweiss von Milch gewonnen. Dieses bildet mit Wasser und Alkali einen Kaltleim.

Dextrine: Durch thermischen Abbau oder Hydrolyse wird die makromolekulare Stärke in kolloid-lösliche Dextrine umgewandelt. Der DP (durchschnittlicher Polymerisationsgrad) beträgt etwa 200. Sie werden meist als wässrige Kleber verwendet.

Karboxymethylcellulose wird durch Umsetzen von Cellulose mit Natrium-Chlorazetat hergestellt. Es entstehen verschiedene Karboxymethylcellulosen.

Die Haftung auf polaren Materialien ist gut, das Material ist empfindlich gegenüber Feuchte.

Holzeigene Bindekräfte: Oligomere Zucker, wie sie bei der Hydrolyse von Hemicellulose und ggf. auch von Cellulose entstehen, sind unter Einfluss von Wärme und in Gegenwart von Feuchte sinterbar und schmelzbar. Sie sind in der Lage, z.B. Fasern oder Partikel in Gegenwart von Feuchte zu verbinden, indem sich die geschmolzenen Zucker zwischen die Partikeln lagern und Wasserstoffbrückenbindungen mit den polaren Gruppen der Holzoberflächen ausbilden. Die Festigkeit ist umso höher, je höher der Anteil holzeigener Bindemittel durch die Hydrolyse ist. Das Prinzip wird bei der Herstellung von Faserplatten im Nassverfahren genutzt. Zwischen den verschiedenen Holzarten bestehen dabei erhebliche Unterschiede.

Lignin kann durch Erhitzen auf 105°C geschmolzen werden. Dabei kondensiert es zu braunen, ungeschmolzenen Stoffen. Wird bei der Aktivierung des Lignins gleichzeitig Druck angewandt, so fliesst

Lignin und verbindet Holzfasern zu hochverdichteten Pressholzprodukten (Lignostone). Die Mitwirkung von Holzzuckern bei dieser Reaktion ist wahrscheinlich.

Faserstoffe, die nach dem Masonite- oder dem Defibrator-Verfahren hergestellt wurden, enthalten aktiviertes Lignin und Polysaccharidprodukte, die als Klebstoff genutzt werden können.

Sulfitablauge–Lignine: Sulfitablauge lässt sich in eingedickter Form direkt als Klebstoff einsetzen. Die Klebverbindungen sind feuchtebeständig.

Tannine sind Gerbstoffe. Sie werden aus Rinde oder Holz durch Extraktion mit Wasser gewonnen. Sie lassen sich mit Formaldehyd methylieren und in alkalischem Medium ähnlich Phenol-Formaldehydharzen heiss härten. Genutzte Rinden sind z.B. Quebracho oder Radiata pine. Tannine werden für feuchtebeständige Verklebungen eingesetzt.

3.7.2 Synthetische Klebstoffe

Duroplastische Polykondensationsklebstoffe

In diese Klebstoffklasse einzuordnen sind:

- Harnstoff-Formaldehyd-Harze
- Melamin-Formaldehyd-Harze
- Mischharze aus Harnstoff- und Melamin-Harzen
- Phenol-Formaldehydharze
- Resorcin-Formaldehyd-Harze

Beim Aushärten von Kondensationsharzen auf Basis von Formaldehyd bilden sich unlösliche und unschmelzbare Netzwerke. Je nach Art des Harzes und des eingesetzten Härtungskatalysators laufen diese Reaktionen im sauren (UF, MF, MUF, MUPF) oder im alkalischen (PF, PUF) ab.

a) **Phenol-Harze**

Phenolharze sind braun. Es sind die ersten synthetischen Polykondensationsharze, die industriell genutzt wurden. Als Hauptkomponente kommen Phenole und Derivate (Kresol, Xylenol) zum Einsatz. Phenole werden z.B. durch Synthese aus Steinkohlenteer, Xylenole aus Braunkohlenteer gewonnen. Für die Herstellung der Phenolharze ist die Zugabe von Kondensationsmitteln erforderlich, da die Umsetzung des Phenols mit dem Aldehyd allein zu träge verläuft. Dies erfolgt meist durch Alkali. PF-Harze bilden beim Aushärten neue Kohlenstoffketten aus. Diese sind chemisch ausserordentlich stabil und haben eine hohe Hydrolyse-Beständigkeit und Kochfestigkeit der daraus hergestellten Leime (V100 Verklebung). Die Härtung erfolgt durch Wärmezufuhr bei Temperaturen um 130-150°C. PF-Harze könne in weiten Grenzen variiert werden. Eine Kalthärtung ist durch starke Säuren (Paratoluolsäure) möglich. Dadurch entsteht eine gewisse Schädigung des Holzes.

b) **Resorcinharze**

Für Spezialzwecke werden Resorcinharze eingesetzt. Sie haben eine sehr hohe Reaktivität und eine sehr hohe Wasser- und Klimabeständigkeit. Sie eignen sich auch für die Verklebung nassen Holzes. Sie werden dort eingesetzt, wo Heissverklebungen nicht möglich sind und der Einsatz von säurehärtenden PF-Harzen ungenügende Festigkeiten bringt.

c) **Harnstoff-Formaldehyd-Harze**

Harnstoffharze sind farblos. Bei der Herstellung werden Harnstoff und Phenol in Gegenwart saurer Katalysatoren bis zum gewünschten Kondensationsgrad gebracht. Tränklarze für die Oberflächenveredlung (z.B. für KF-Platten) werden weniger stark kondensiert. Bei Tränklarzen werden Harnstoff-Formaldehyd-Harze teilweise mit Alkoholen veräthert.

Die Härtung erfolgt im sauren Medium. Je höher die Temperatur ist, umso höher ist die Härtungsgeschwindigkeit. Harnstoffharze sind nicht hydrolysebeständig. Bei hoher Feuchte wird die Leimfuge durch Hydrolyse abgebaut.

Modifizierung von UF-Leimen

Harze, die lediglich aus Harnstoff und Formaldehyd als harzbildende Bestandteile bestehen, stellen die mengenmäßig überwiegend eingesetzten preisgünstigen Leime für Span- und MDF-Platten dar. Sie weisen neben den vielen positiven Eigenschaften, die letztendlich für den weitverbreiteten Einsatz dieser Harze entscheidend sind, aber auch verschiedene Nachteile wie eine erhöhte Sprödigkeit und einen geringen Widerstand gegen hydrolytischen Einfluß durch erhöhte Luftfeuchtigkeit oder Wasser auf, insbesondere in Zusammenhang mit höheren

Temperaturen. In speziellen Fällen ist daher eine Modifikation der UF-Leimharze zu empfehlen bzw. erforderlich. Chemische Modifikationen betreffen z.B. den Einbau von Melamin zur Verbesserung der Feuchte- und Wasserbeständigkeit, die Sulfittierung von Methylolgruppen oder die Cokondensation mit Ammoniak oder Aminen. Eine Plastifizierung auf physikalischem Weg ist z.B. durch Zugabe von einigen Prozent Weißleim (Polyvinylacetatdispersion) sowie von Streck- und Füllmitteln möglich.

- Cokondensation von Melamin
Die beschränkte Hydrolysebeständigkeit von ausgehärteten UF-Harzen kann durch die Zugabe von Melamin in unterschiedlicher Form verbessert werden. Reine Melamin- (MF-) Leimharze werden aus Kostengründen allerdings nicht allein, sondern immer in Kombination mit UF-Harzen eingesetzt. Lediglich im Bereich der Papierimprägnierung kommen reine Melaminharze zur Herstellung von Folien und Laminaten zum Einsatz.
- Zugabe von partiell hydrolysierten Polyamiden
Partiell hydrolysierte Polyamide mit einem verbleibenden Polymerisationsgrad von $n = 1 - 3$ sind in ihrer Salzform wasserlöslich und verfügen über eine Vielzahl an NH-Gruppen, die mit Formaldehyd oder Methylolgruppen eines UF-Harzes reagieren und somit die Wasserfestigkeit des UF-Harzes erhöhen können.
- Einbau von speziellen Harnstoffoligomeren
Die Zugabe von verzweigten Oligoharnstoffen, wie z.B. Triethylentetraharnstoff, ermöglicht eine verbesserte Ausbildung eines dreidimensionalen Netzwerkes.
Harnstoffoligomere mit flexiblen Zwischenketten, wie z.B. Hexamethylen-Diharnstoff, bewirken einen Abbau der im Harz während der Aushärtung entstehenden, inneren Spannungen und erhöhen dadurch die Widerstandsfähigkeit gegen zyklische Klimaschwankungen.
- Cokondensation mit Aminen oder Ammoniak
Der Einbau flexibler di- und trifunktioneller Amine, z.T. mit Harnstoffendgruppen, oder der Einsatz von HCl-Salzen von Aminen als Härter (z.B. Hexamethyldiamin-hydrochlorid), die in das Harz eingebaut werden, kann ausgehärtete UF-Harze widerstandsfähiger gegen zyklische Quell- und Schwindbewegungen machen. Durch den Einbau solcher flexiblen Gruppen werden die im Harz während der Aushärtung entstehenden inneren Spannungen abgebaut und somit die Widerstandsfähigkeit gegen zyklische Klimaschwankungen erhöht.
- Modifizierung mit Resorcin
Die Reaktion zwischen einem UF-Harz und Resorcin findet im sauren Bereich vor allem als Reaktion des Resorcins mit den Methylolgruppen statt, während im alkalischen Bereich die Abspaltung von Formaldehyd aus den Methylolen und die Reaktion von Resorcin mit diesem freigesetzten Formaldehyd überwiegt. Die Zugabe von Resorcin zu einem kalthärtenden UF-Harz ergibt zwar (allerdings bei preislich praktisch nicht mehr akzeptierbaren Zugabemengen) eine deutliche Verbesserung der Zugscherfestigkeit von Sperrholz nach Kochvorbehandlung der Proben.
- Isocyanat (PMDI) als Beschleuniger und Verstärker für UF-Leime
Kombinations- bzw. Mischverleimungen werden zur Absenkung der hohen Kosten einer reinen Isocyanatverleimung eingesetzt.
Beim heute üblichen Untermischverfahren erfolgt eine Eindüsung des PMDI in das UF-Harz unter hohem Druck.
PMDI kann dabei als Beschleuniger und als Verstärker für UF-Leime eingesetzt werden. Die Beschleunigung erfolgt durch Abmischung von UF-Harz und PMDI knapp vor dem Beleimungsmischer in der Mittelschicht, wobei meist eine Größenordnung von 0,5% PMDI/atro Span neben der üblichen oder geringfügig abgesenkten Mittelschicht-UF-Beleimung eingesetzt wird. Es wird über eine Verkürzung der spezifischen Preßzeit in der Größenordnung von bis zu 1 s/mm berichtet.
Die verstärkende Wirkung von PMDI als zusätzliche Quervernetzung des aminoplastischen Harzes bzw. als Bindemittel selbst wurde vor allem bei der Entwicklung formaldehydarmen Verleimungen vorgeschlagen. Dabei wird die niedrige nachträgliche Formaldehydabgabe durch eine entsprechende formaldehydarme Einstellung des aminoplastischen Harzes erreicht (Molverhältnis F/U < 1,0); die beim Einsatz solcher Harze mangelnden Eigenschaften der Platten (niedrige Querkzugfestigkeit, hohe Dickenquellung) werden durch die Zugabe von PMDI wieder ausgeglichen. Mischungen von aminoplastischen Harzen und PMDI sind allerdings nur wenige Stunden stabil, die Abmischung dieser beiden Komponenten erfolgt demnach immer nur kurz vor der Verarbeitung beim Plattenhersteller, üblicherweise online

mittels Hochdruckverdüsung des PMDI in den Flüssigharzstrom knapp vor dem Beileimmischer.

d) Melaminharze

Melaminharze sind reaktiver als Harnstoffharze und können ohne Härter heiss gehärtet werden.

Sie werden aus Melamin und Formaldehyd hergestellt. Melamin ist ein Kondensationsprodukt aus 3 Molen Harnstoff. Die höhere Reaktivität der Aminogruppe bewirkt, dass die Harze ohne Härter ausgehärtet werden können.

Die beschränkte Hydrolysebeständigkeit von ausgehärteten UF-Harzen kann durch eine in unterschiedlicher Form erfolgende Zugabe von Melamin verbessert werden. Melaminharze (MF) werden aus Kostengründen allerdings als Leime praktisch nicht alleine eingesetzt; sie haben jedoch eine breite Anwendung als Imprägnier- und Tränkhharze. Aus den gleichen Gründen wird auch immer nur der unbedingt erforderliche Anteil an Melamin eingesetzt; oberstes Ziel der Entwicklung bei melaminhaltigen Leimen ist demnach die Minimierung und Optimierung der eingesetzten Melaminmenge.

Harnstoffharzleime für Span- und MDF-Platten können bis zu 10% Melamin, bezogen auf Lieferform, enthalten, wobei dieses Melamin während der Kondensation zugegeben wird und chemisch einkondensiert wird (melaminverstärkte UF-Leime). Dabei bleibt im wesentlichen das Molverhältnis konstant, wobei es nunmehr als $F/(NH_2)_2$ an Stelle von F/U berechnet wird.

Melamin-Harnstoff-Mischharze (MUF-Harze) für feuchte- und wasserbeständige Platten enthalten bis zu 25% Melamin bezogen auf Flüssigleim. Die Verstärkung des UF-Harztes beruht auf der aromatischen Ringstruktur des Melamins, der höheren Hydrolysebeständigkeit der C-N-Bindungen zwischen Melamin und der Methylolgruppe sowie der Pufferwirkung und dem damit verbundenen langsameren Abfall des pH-Wertes in der Leimfuge.

Durch Polymerisation oder Polyaddition härtende Klebstoffe

Klebstoffe auf der Basis polymerisierbarer bzw. polyaddierbarer Systeme sind häufig 2-Komponentensysteme. Sie haben den besonderen Vorteil, dass sie lösungsmittelfrei eingesetzt werden können, weil mindestens 1 Komponente so niedrig molekular ist, dass die Viskosität des verarbeitungsfähigen Klebstoffes in gewünschter Weise gesenkt wird. Das fehlen von Wasser als Lösungsmittel verhindert das Quellen und so Spannungen in den Klebfugen bei der Aushärtung (Schrumpfspannungen). Die Klebstoffe sind teurer als Polykondensationsharze.

Zu dieser Gruppe gehören Epoxidharze, Polyurethane und ungesättigte Polyester.

Der Einsatz ist begrenzt, Polyurethane sind derzeit stark im Kommen.

Ungesättigte Polyester

Ungesättigte Polyester werden durch Kondensation von Maleinsäure und Diolen hergestellt. Die Kondensation verläuft in Gegenwart saurer Katalysatoren (z.B. Phosphorsäure). Während des Kondensationsprozesses wird die Maleinsäure vollständig zur reaktionsfreudigeren Fumarsäure isomerisiert. Die Polymerisation wird abgebrochen, wenn sich etwa 4 bis 6 Dikarbonsäuremoleküle mit der gleichen Anzahl Diolen umgesetzt haben. Die noch heisse Reaktionsmischung wird mit dem Vernetzer gemischt und das ungesättigte Polyester erhalten. Epoxidharze haben eine sehr gute Haftung, Bindefestigkeit und Chemikalienbeständigkeit. Sie werden für Holz-Kunststoffverklebungen und Holz-Lackverklebungen eingesetzt.

Polyurethane

Dieser Klebstoff wird heute zunehmend eingesetzt. Durch seine hohe Reaktivität und die Fähigkeit, in dicken Schichten geschäumt zu werden (Schaumstoff in Polstermöbeln, Isolationsmaterial, Schäume hoher Dichte für tragende Zwecke), ist eine grosse Anwendungsbreite gegeben. PUR-Klebstoffe werden als Ein- und Zweikomponentenklebstoffe gefertigt. Durch die eingebauten Isocyanatgruppen werden reaktive Gruppen in den zu verbindenden Stoffen chemisch umgesetzt, und dadurch eine besonders wirksame Haftung erzielt. PUR-Klebstoffe sind unempfindlich gegen Feuchteschwankungen; auch Verklebungen im nassen Zustand sind möglich.

Als Einkomponentenklebstoffe werden Polyisocyanate eingesetzt, die bereits auf Grund der hohen Molmasse eine Klebwirkung haben.

Zweikomponentenklebstoffe werden aus Isocyanaten mit Polyolen hergestellt. Diese Stoffe sind wasserunlöslich, daher werden Lösungsmittel verwendet. Im Holzbau werden PUR-Klebstoffen teilweise Faserstoffe zugegeben, um die Festigkeit der Leimfuge zu erhöhen (geringe Festigkeit bei dicken Fugen durch die vorhandenen Hohlräume beim Aufschäumen des verwendeten Klebstoffes).

Physikalisch abbindende Klebstoffe

PVAc Klebstoffe

PVAc Klebstoffe binden bei Raumtemperatur schnell ab und haben lange Topfzeiten. Durch Kombination mit Polykondensationsharzen kann die Feuchtebeständigkeit erhöht werden.

PVAc-Leime werden aus Vinylacetat in Anwesenheit von Emulgatoren bzw. Dispersionsmitteln wie Polyvinylalkohol, Hydroxyläthyl-Cellulose usw. mittels mechanischer Hilfsmittel in Wasser fein verteilt. Zur Auslösung des Polymerisationsvorganges werden Kalium- oder Natrium-Persulfate verwendet, die bei Erhöhen der Temperatur in Radikale zerfallen und Kettenreaktionen auslösen.

Der Polymerisationsvorgang verläuft exotherm. PVAc Leimfugen sind empfindlich gegen Kriechverformung und Wärme.

Schmelzkleber

Schmelzkleber sind 100%ig thermoplastisch härtende Klebstoffe. Sie werden bei Raumtemperatur fest und weisen keinerlei Klebrigkeit auf. Sie werden zur Verabreichung angeschmolzen und erstarren sofort nach dem Fügen. Basispolymer ist der Festigkeitsträger und klebaktiver Anteil der Klebstoffkomposition. Es besteht aus hochpolymeren Misch- und Kondensationsharzen. Vorwiegend auf der Basis von Äthylen-Vinylacetat-Polymeren.

3.8 Wichtige Gebrauchseigenschaften von Klebstoffen

Tabelle 233 zeigt eine Übersicht zu wichtigen Gebrauchseigenschaften von Klebstoffen.

Tabelle 233 Gebrauchseigenschaften von Klebstoffen

Klebstoff	Scherfestigkeit ¹ in kp/cm ²		pH ² - Wert	Wasser- aufnahme nach 24 h Wasser- lagerung in %	Elastizi- tätsmodul in Mp/cm ²	Farbe der Klebfuge	Beständigkeit gegenüber					
	trok- ken	nach 24 h Wasser- lagerung					Was- ser 20 °C	Was- ser 100 °C	Alko- hol 96%ig	organi- schen Lösungs- mitteln	Säuren (wäß- rig) 10%ig	Laugen (wäßrig) 2%ig
Kasein	80	10	10	7...10	38	gelblich	-	-	+	-	-	-
Glutin	100	0	6			braun	-	-	-	-	-	-
Blutalbumin	100	20	9			dunkel- braun	(-)	-	-	-	-	-
Dextrin	80	0	5			gelblich	-	-	-	-	-	-
Nitrozellulose	100	10	6	0,6	10... 30	gelblich	(-)	-	-	-	-	-
Karboxymethyl- zellulose	60	0	8			farblos	-	-	+	-	-	-
Phenol-Form- aldehyd-Harz												
kalt gehärtet	100	80	3	0	10...100	braun	+	(+)	+	+	+	(+)
heiß gehärtet	100	90	10	0	10...100	braun	+	(+)	+	+	+	+
Resorzin-Form- aldehyd-Harz	100	90	7,5	0	10...100	braun	+	+	+	+	+	+
Harnstoff- Formaldehyd-Harz												
kalt gehärtet	100	10	5	0,8	80	farblos	(-)	-	+	-	-	-
heiß gehärtet	100	30...60	6	0,8	80	farblos	(-)	-	+	-	-	-
Melamin- Formaldehyd-Harz	100	70	7,5	0,1	80...100	farblos	+	(-)	+	+	-	-
Ungesättigter Polyester	80	20	4,5	0,2	40... 60	schwach gelblich	-	-	+	+	(+)	(-)
Epoxidharz												
kalt gehärtet	80	60	8	0	40... 50	farblos	+	(+)	+	+	+	+
heiß gehärtet	100	80	6	0	40... 60	farblos	+	(+)	+	+	+	+
Polyurethan	100	80	7	0	40	farblos	+	+	+	+	+	+
PVAc	100	5	5	2	25	farblos	-	-	-	-	-	-
Chlorkautschuk						gelblich	+	(+)	+	(+)	+	+
Schmelzklebstoff (PÄ/PVAc)	80	6	7	0,6	10	farblos bis braun	-	-	-	-	-	-

¹ nach TGI 7448

² pH-Wert des wäßrigen Extraktes der Klebfuge

- nicht beständig

(+) bedingt beständig

+ beständig

3.9 Literatur

- Autorenkollektiv (1970):** Taschenbuch der Holztechnologie. Leipzig.
- Autorenkollektiv (1984):** Wissenspeicher Holztechnik. Fachbuchverlag, Leipzig.
- Autorenkollektiv (1984):** Holzbearbeitung. Fachbuchverlag, Leipzig.
- Autorenkollektiv (2002):** Modifiziertes Holz; Eigenschaften und Märkte. Holzwirtschaft an der BoKu Wien, Lignovisionen Band 3: 260 S.
- Bollmann (1984):** Firmenschrift der Fa. Bollmann: Leitfaden der Holz Trocknung. Singen.
- Bosshard, H.H. (1984):** Holzkunde 3, Aspekte der Holzbearbeitung und Holzverwertung. Birkhäuser Verlag: 286 S.
- Dunky, M.; Niemz, P. (2002):** Holzwerkstoffe und Leime. Springer Verlag. 954 S.
- Eichler, H. (1978):** Praxis der Holz Trocknung. Fachbuchverlag, Leipzig.
- Eggert, O.T. (1995):** Untersuchung der Einflussgrößen beim Biegen von Vollholz. Dissertation an der Fakultät Konstruktions- und Fertigungstechnik der Universität Stuttgart. 115 S.
- Ettelt, B. (1987):** Sägen, Fräsen, Hobeln, Bohren. DRW Verlag, Stuttgart.
- Gfeller, B. (2000):** Skript Holztechnologie 2. ETH Zürich: 74 S.
- Hoadley, R.B. (1990):** Holz als Werkstoff: Ravensburger Holzwerkstatt. Ravensburger Verlag, Ravensburg: 280 S.
- Holz-Lexikon (1988):** 3. Nachdruck 1993. DRW-Verlag.
- Keey, R.B.; Langrisch, T.A.G. (1999):** Kiln-Drying of Lumber. Springer Verlag, Berlin.
- Kollmann, F. (1955):** Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe. Zweiter Band. Springer Verlag: 1183 S.
- Langendorf, G., Eichler, H. (1973):** Holzvergütung. VEB Fachbuchverlag, Leipzig: 171 S.
- Lohmann, U. (1999):** Holz Handbuch. DRW-Verlag, Leinfelden-Echterdingen: 351 S.
- Mahlke, Troschel, Liese (1950):** Holzkonservierung. Springer Verlag, Berlin: 571 S.
- Seubert-Hunziker, H. (2001):** Skript Holzkunde 2, Teil Holzchemie. ETH Zürich 42 S.
- Vorreiter, L. (1958):** Holztechnologisches Handbuch. Band II. Verlag Georg Fromme & Co. 641 S.
- Wagenführ, A. (2002):** Grundlagen der Verarbeitungs- und Verfahrenstechnik, Teilkomplex Holz- und Faserwerkstoffe, Unterlagen für das Fernstudium.

- | | |
|--|---|
| www.balz-holz.ch | → Schweizer Hersteller von therm. beh. Holz |
| www.basf.de/de/produkte/chemikalien/t | → Leime |
| www.bes-bollmann.de | → Trocknungstechnik |
| www.collano.com | → Leimhersteller |
| www.compwood.dk | → Gestauchtes Holz |
| www.holzfeuerung.ch/deutsch/Maschinen/Produkte/leimpress.htm | → Verleimmaschinen |
| www.irg-wp.com | → International research group on wood preservation |
| www.kiln-direct.com | → Trocknungstechnik |
| www.kuper.de | → Verleimmaschinen |
| www.lebois.ch | → thermisCHwood (Schweizer Hersteller von therm. beh. Holz) |
| www.platowood.nl | → Platowood |
| www.retifie.com | → Retifikation |
| www.thermowood.fi | → Thermowood |
| www.vanicek.com | → Trocknungstechnik |
| www.woodmodification-network.org | → Holzmodifikation in Europa |

Wichtige Normen zur Holzphysik

(gemäss Verzeichnis der Online-Datenbank der ETH-Nebis-Bibliothek)

August 2006

1. Vollholz

Holzarten und Begriffe

DIN 4076-1	1985-10-00	Benennung und Kurzzeichen auf dem Holzgebiet: Holzarten
DIN EN 844-1	1995-04-00	Rund- und Schnittholz – Terminologie – Teil 1: Gemeinsame allgemeine Begriffe über Rundholz und Schnittholz; Deutsche Fassung EN 844-1:1995
DIN EN 844-2	1997-08-00	Rund- und Schnittholz – Terminologie – Teil 2: Allgemeine Begriffe über Rundholz; Deutsche Fassung EN 844-2 : 1997
DIN EN 844-3	1995-04-00	Rund- und Schnittholz – Terminologie – Teil 3: Allgemeine Begriffe über Schnittholz; Deutsche Fassung EN 844-3:1995
DIN EN 844-4	1997-08-00	Rund- und Schnittholz – Terminologie – Teil 4: Begriffe zum Feuchtegehalt; Deutsche Fassung EN 844-4:1997
DIN EN 844-5	1997-08-00	Rund- und Schnittholz – Terminologie – Teil 5: Begriffe zu Massen von Rundholz; Deutsche Fassung EN 844-5:1997
DIN EN 844-6	1997-08-00	Rund- und Schnittholz – Terminologie – Teil 6: Begriffe zu Massen von Schnittholz; Deutsche Fassung EN 844-6:1997
DIN EN 844-7	1997-08-00	Rund- und Schnittholz – Terminologie – Teil 7: Begriffe zum anatomischen Aufbau von Holz; Deutsche Fassung EN 844-7:1997
DIN EN 844-8	1997-08-00	Rund- und Schnittholz – Terminologie – Teil 8: Begriffe zu Merkmalen von Rundholz; Deutsche Fassung EN 844-8:1997
DIN EN 844-9	1997-08-00	Rund- und Schnittholz – Terminologie – Teil 9: Begriffe zu Merkmalen von Schnittholz; Deutsche Fassung EN 844-9:1997
DIN EN 844-10	1998-06-00	Rund- und Schnittholz – Terminologie – Teil 10: Begriffe zu Verfärbung und Pilzbefall; Dreisprachige Fassung EN 844-10:1998
DIN EN 844-11	1998-06-00	Rund- und Schnittholz – Terminologie – Teil 11: Begriffe zum Insektenbefall; Dreisprachige Fassung EN 844-11:1998
DIN EN 844-12	2001-03-00	Rund- und Schnittholz – Terminologie – Teil 12: Zusätzliche Begriffe und allgemeiner Index; Deutsche Fassung EN 844-12:2000
DIN EN 1438	1998-10-00	Symbole für Holz und Holzwerkstoffe; Deutsche Fassung EN 1438:1998
DIN EN 13556	2003-10-00	Rund- und Schnittholz – Nomenklatur der in Europa verwendeten Handelshölzer; Dreisprachige Fassung EN 13556:2003

Sortierung von Rundholz

DIN EN 1315-1	1997-06-00	Dimensions-Sortierung – Teil 1: Laub-Rundholz; Deutsche Fassung EN 1315-1:1997
DIN EN 1315-2	1997-10-00	Dimensions-Sortierung – Teil 2: Nadel-Rundholz; Deutsche Fassung EN 1315-2:1997
DIN EN 1316-1	1997-06-00	Laub-Rundholz – Qualitäts-Sortierung – Teil 1: Eiche und Buche; Deutsche Fassung EN 1316-1:1997
DIN EN 1316-2	1997-06-00	Laub-Rundholz – Qualitäts-Sortierung – Teil 2: Pappel; Deutsche Fassung EN 1316-2:1997
DIN EN 1316-3	1997-12-00	Laub-Rundholz – Qualitäts-Sortierung – Teil 3: Esche und Ahorn; Deutsche Fassung EN 1316-3:1997

DIN ENV 1927-1	2006-04-00	Qualitäts-Sortierung von Nadel-Rundholz – Teil 1: Fichten und Tannen; Deutsche Fassung ENV 1927-1:2006
DIN ENV 1927-2	2006-04-00	Qualitäts-Sortierung von Nadel-Rundholz – Teil 2: Kiefern; Deutsche Fassung ENV 1927-2:2006
DIN ENV 1927-3	2006-04-00	Qualitäts-Sortierung von Nadel-Rundholz – Teil 3: Lärchen und Douglasien; Deutsche Fassung ENV 1927-3:2006

Sortierung nach der Tragfähigkeit

DIN 4074-1	2003-06-00	Sortierung von Holz nach der Tragfähigkeit - Teil 1: Nadelschnittholz
DIN 4074-2	1958-12-00	Bauholz für Holzbauteile; Gütebedingungen für Baurundholz (Nadelholz)
DIN 4074-3	2003-06-00	Sortierung von Holz nach der Tragfähigkeit - Teil 3: Sortiermaschinen für Schnittholz; Anforderungen und Prüfung
DIN 4074-4	2003-06-00	Sortierung von Holz nach der Tragfähigkeit - Teil 4: Nachweis der Eignung zur maschinellen Schnittholzsortierung
DIN 4074-5	2003-06-00	Sortierung von Holz nach der Tragfähigkeit - Teil 5: Laubschnittholz / Achtung: Gilt in Verbindung mit DIN 6779-1 und DIN 6779-2

Gütebedingungen

DIN EN 975-1	1999-10-00	Schnittholz – Sortierung nach dem Aussehen für Laubholz – Teil 1: Eiche und Buche (enthält Änderung A1 : 1999); Deutsche Fassung EN 975-1:1995 + A1:1999
DIN EN 975-2	2004-03-00	Schnittholz - Sortierung nach dem Aussehen für Laubholz - Teil 2: Pappel; Deutsche Fassung prEN 975-2:2004
DIN EN 1611-1	2002-11-00	Schnittholz - Sortierung nach dem Aussehen von Nadelholz - Teil 1: Europäische Fichten, Tannen, Kiefern, Douglasie und Lärchen (enthält Änderung 1:2002); Deutsche Fassung EN 1611-1:1999 + A1:2002

Prüfung

DIN 52180-1	1977-11-00	Prüfung von Holz; Probenahme, Grundlagen
DIN 52182	1976-09-00	Prüfung von Holz; Bestimmung der Rohdichte
DIN 52184	1979-05-00	Prüfung von Holz; Bestimmung der Quellung und Schwindung
DIN 52185	1976-09-00	Prüfung von Holz; Bestimmung der Druckfestigkeit parallel zur Faser
DIN 52186	1978-06-00	Prüfung von Holz; Biegeversuch
DIN 52187	1979-05-00	Prüfung von Holz; Bestimmung der Scherfestigkeit in Faserrichtung
DIN 52188	1979-05-00	Prüfung von Holz; Bestimmung der Zugfestigkeit parallel zur Faser
DIN 52189-1	1981-12-00	Prüfung von Holz; Schlagbiegeversuch; Bestimmung der Bruchschlagarbeit
DIN 52192	1979-05-00	Prüfung von Holz; Druckversuch quer zur Faserrichtung
DIN EN 1533	2000-04-00	Parkett und andere Holzfussböden – Bestimmung der Biegeeigenschaften – Prüfmethode; Deutsche Fassung EN 1533:2000
DIN EN 1534	2000-04-00	Parkett und andere Holzfussböden – Bestimmung des Eindruckwiderstandes (Brinell) – Prüfmethode; Deutsche Fassung EN 1534:2000

DIN EN 1910	2000-03-00	Parkett und andere Holzfussböden und Wand- und Deckenbekleidungen aus Holz – Bestimmung der Dimensionsstabilität; Deutsche Fassung EN 1910:2000
-------------	------------	---

Messung

DIN EN 1309-1	1997-08-00	Rund- und Schnittholz – Verfahren zur Messung der Masse – Teil 1: Schnittholz; Deutsche Fassung EN 1309-1:1997
DIN EN 1309-2	2006-06-00	Rund- und Schnittholz – Verfahren zur Messung der Masse – Teil 2: Rundholz – Anforderungen an die Messung und Regeln zur Volumenberechnung; Deutsche Fassung EN 1309-2:2006
DIN EN 1310	1997-08-00	Rund- und Schnittholz – Messung der Merkmale; Deutsche Fassung EN 1310:1997
DIN EN 1311	1997-08-00	Rund- und Schnittholz – Verfahren zur Messung von Schädlingsbefall; Deutsche Fassung EN 1311:1997
DIN EN 13183-1	2002-07-00	Feuchtegehalt eines Stückes Schnittholz - Teil 1: Bestimmung durch Darrverfahren; Deutsche Fassung EN 13183-1:2002
DIN EN 13183-1	Berichtigung 1	2003-12-00 Berichtigungen zu DIN EN 13183-1:2002-07
DIN EN 13183-2	2002-07-00	Feuchtegehalt eines Stückes Schnittholz - Teil 2: Schätzung durch elektrisches Widerstands-Messverfahren; Deutsche Fassung EN 13183-2:2002
DIN EN 13183-2	Berichtigung 1	2003-12-00 Berichtigungen zu DIN EN 13183-2:2002-07
DIN EN 13183-3	2005-06-00	Feuchtegehalt eines Stückes Schnittholz - Teil 3: Schätzung durch kapazitives Messverfahren; Deutsche Fassung EN 13183-3:2005

Verzeichnis Internationaler Normen der ISO für Vollholz (DIN-Normen zum selben Thema in Klammern)

ISO 1030	1975-12-00	Nadelschnittholz; Fehler; Messung (E, F, R) (DIN EN 1310)
ISO 1031	1974-12-00	Nadelschnittholz; Fehler; Begriffe und Definitionen (E, F, R) (DIN EN 844-3)
ISO 3129	1975-11-00	Holz; Stichprobenverfahren und allgemeine Anforderungen an physikalische und mechanische Prüfungen (DIN 52180-1)
ISO 3130	1975-11-00	Holz; Feuchtigkeitsbestimmung bei physikalischen und mechanischen Prüfungen
ISO 3131	1975-11-00	Holz; Dichtebestimmungen bei physikalischen und mechanischen Prüfungen (DIN 52182)
ISO 3132	1975-11-00	Holz; Bestimmung der Druckfestigkeit senkrecht zur Faserrichtung (DIN 52192)
ISO 3133	1975-11-00	Holz; Bestimmung der Biege(bruch)festigkeit bei statischer Belastung (DIN 52186)
ISO 3345	1975-09-00	Holz; Bestimmung der maximalen Zugspannung (Bruchspannung) parallel zur Faser (DIN 52188)
ISO 3347	1976-01-00	Holz; Bestimmung der höchsten Scherspannung (Scherbruchspannung) parallel zur Faser (DIN 52187)
ISO 3348	1975-08-00	Holz; Bestimmung der Schlagbiegefestigkeit (DIN 52189-1)

2. Holzwerkstoffe

Allgemein

DIN EN 310	1993-08-00	Holzwerkstoffe, Bestimmung des Biege-Elastizitätsmoduls und der Biegefestigkeit; Deutsche Fassung EN 310:1993
DIN EN 311	2002-08-00	Holzwerkstoffe - Abhebefestigkeit der Oberfläche - Prüfverfahren; Deutsche Fassung EN 311:2002
DIN EN 317	1993-08-00	Spanplatten und Faserplatten; Bestimmung der Dickenquellung nach Wasserlagerung; Deutsche Fassung EN 317:1993
DIN EN 318	2002-06-00	Holzwerkstoffe - Bestimmung von Maßänderungen in Verbindung mit Änderungen der relativen Luftfeuchte; Deutsche Fassung EN 318:2002
DIN EN 319	1993-08-00	Spanplatten und Faserplatten; Bestimmung der Zugfestigkeit senkrecht zur Plattenebene; Deutsche Fassung EN 319:1993
DIN EN 321	2002-03-00	Holzwerkstoffe - Bestimmung der Feuchtebeständigkeit durch Zyklustest; Deutsche Fassung EN 321:2001
DIN EN 322	1993-08-00	Holzwerkstoffe; Bestimmung des Feuchtegehaltes; Deutsche Fassung EN 322:1993
DIN EN 323	1993-08-00	Holzwerkstoffe, Bestimmung der Rohdichte; Deutsche Fassung EN 323:1993
DIN EN 324-1	1993-08-00	Holzwerkstoffe; Bestimmung der Plattenmasse; Teil 1: Bestimmung der Dicke, Breits und Länge; Deutsche Fassung EN 324-1:1993
DIN EN 324-2	1993-08-00	Holzwerkstoffe; Bestimmung der Plattenmasse; Teil 2: Bestimmung der Rechtwinkligkeit und der Kantengeradheit; Deutsche Fassung EN 324-2:1993
DIN EN 325	1993-08-00	Holzwerkstoffe; Bestimmung der Masse der Prüfkörper; Deutsche Fassung EN 325:1993
DIN EN 326-1	1994-08-00	Holzwerkstoffe – Probenahme, Zuschnitt und Überwachung; Teil 1; Probenahme und Zuschnitt der Probekörper sowie Angabe der Prüfergebnisse; Deutsche Fassung EN 326-1:1994
DIN EN 326-2	2000-10-00	Holzwerkstoffe – Probenahme, Zuschnitt und Überwachung; Teil 2; Qualitätskontrolle in der Fertigung; Deutsche Fassung EN 326-2:2000
DIN EN 326-2 Berichtigung	2006-06-00	Holzwerkstoffe – Probenahme, Zuschnitt und Überwachung; Teil 2; Qualitätskontrolle in der Fertigung; Deutsche Fassung EN 326-2:2000; Berichtigung zu DIN EN 326-2:2000-10; Deutsche Fassung EN 326-2:2000/AC:20005
DIN EN 326-3	2004-02-00	Holzwerkstoffe – Probenahme, Zuschnitt und Überwachung; Teil 3; Abnahmeprüfung eines einzelnen loses von Platten; Deutsche Fassung EN 326-3:2003
DIN EN 1058	1996-04-00	Holzwerkstoffe - Bestimmung der charakteristischen Werte der mechanischen Eigenschaften und der Rohdichte; Deutsche Fassung EN 1058:1995
DIN V ENV 1156	1999-03-00	Holzwerkstoffe - Bestimmung von Zeitstandfestigkeit und Kriechzahl; Deutsche Fassung ENV 1156:1998
DIN EN 12369-1	2001-04-00	Holzwerkstoffe - Charakteristische Werte für die Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken - Teil 1: OSB, Spanplatten und Faserplatten; Deutsche Fassung EN 12369-1:2001
DIN EN 12369-2	2004-05-00	Holzwerkstoffe - Charakteristische Werte für die Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken - Teil 2: Sperrholz; Deutsche Fassung EN 12369-2:2004
DIN EN 13879	2002-09-00	Holzwerkstoffe - Bestimmung der Eigenschaften bei Hochkantbiegung; Deutsche Fassung EN 13879:2002

Holzfaserplatten

DIN 52351	1956-09-00	Prüfung von Holzfaserplatten; Bestimmung des Feuchtigkeitsgehaltes, der Wasseraufnahme und der Dickenquellung
DIN EN 316	1999-12-00	Holzfaserplatten - Definition, Klassifizierung und Kurzzeichen; Deutsche Fassung EN 316:1999
DIN EN 320	1993-08-00	Faserplatten - Bestimmung des achsenparallelen Schraubenausziehwidestands; Deutsche Fassung EN 320 : 1993
DIN EN 382-1	1993-08-00	Faserplatten; Bestimmung der Oberflächenabsorption; Teil 1: Prüfverfahren für Faserplatten nach dem Trockenverfahren; Deutsche Fassung EN 382-1:1993
DIN EN 382-2	1994-02-00	Faserplatten; Bestimmung der Oberflächenabsorption; Teil 2: Prüfmethode für harte Platten; Deutsche Fassung EN 382-2:1993
DIN EN 622-1	2003-09-00	Faserplatten - Anforderungen - Teil 1: Allgemeine Anforderungen; Deutsche Fassung EN 622-1:2003
DIN EN 622-2	2004-07-00	Faserplatten - Anforderungen - Teil 2: Anforderungen an harte Platten; Deutsche Fassung EN 622-2:2004
DIN EN 622-2 Berichtigung 1	2006-06	Faserplatten - Anforderungen - Teil 2: Anforderungen an harte Platten; Deutsche Fassung EN 622-2:2004; Berichtigung zu DIN EN 622-2:2004:07; Deutsche Fassung EN 622-2:2004/AC:2005
DIN EN 622-3	2004-07-00	Faserplatten - Anforderungen - Teil 3: Anforderungen an mittelharte Platten; Deutsche Fassung EN 622-3:2004
DIN EN 622-4	1997-08-00	Faserplatten – Anforderungen – Teil 4: Anforderungen an poröse Platten; Deutsche Fassung EN 622-4:1997
DIN EN 622-5	2004-05-00	Faserplatten – Anforderungen – Teil 5: Anforderungen an Platten nach dem Trockenverfahren (MDF); Deutsche Fassung prEN 622-5:2004 / Achtung: Vorgesehen als Ersatz für DIN EN 622-5 (1997-08)
DIN EN 13171	2001-10-00	Wärmedämmstoffe für Gebäude – Werkmässig hergestellte Produkte aus Holzfasern (WF) – Spezifikation; Deutsche Fassung EN 13171:2001
DIN EN 13171 Berichtigung 1	2006-06-00	Wärmedämmstoffe für Gebäude – Werkmässig hergestellte Produkte aus Holzfasern (WF) – Spezifikation; Deutsche Fassung EN 13171:2001, Berichtigung zu DIN EN 13171:2001-10; Deutsche Fassung DIN EN 13171:2001/AC:2005
DIN EN 13171/A1	2004-08-00	Wärmedämmstoffe für Gebäude – Werkmässig hergestellte Produkte aus Holzfasern (WF) – Spezifikation; Deutsche Fassung EN 13171:2001/A1:2004

Spanplatten, OSB, zementgebundene Spanplatten

DIN 52366	1996-03-00	Spanplatten – Bestimmung der Schichtfestigkeit von Strangpressplatten
DIN 52367	2002-05-00	Spanplatten - Bestimmung der Scherfestigkeit parallel zur Plattenebene
DIN EN 1087-1	1995-04-00	Spanplatten – Bestimmung der Feuchtebeständigkeit – Teil 1: Kochprüfung; Deutsche Fassung EN 1087-1 : 1995
DIN 68762	1982-03-00	Spanplatten für Sonderzwecke im Bauwesen; Begriffe, Anforderungen, Prüfung
DIN 68764-1	1973-09-00	Spanplatten; Strangpressplatten für das Bauwesen; Begriffe, Eigenschaften, Prüfung, Überwachung
DIN 68764-2	1974-09-00	Spanplatten; Strangpressplatten für das Bauwesen; Beplankte Strangpressplatten für die Tafelbauart

DIN 68771	1973-09-00	Unterböden aus Holzspanplatten
DIN EN 300	2004-07-00	Platten aus langen, schlanken, ausgerichteten Spänen (OSB) – Definitionen, Klassifizierung und Anforderungen; Deutsche Fassung prEN 300:2004 / Achtung: Vorgesehen als Ersatz für DIN EN 300 (1997-06)
DIN EN 309	2005-04-00	Spanplatten; Definition und Klassifizierung; Deutsche Fassung EN 309:2005
DIN EN 312	2003-11-00	Spanplatten - Anforderungen; Deutsche Fassung EN 312:2003
DIN EN 633	1993-12-00	Zementgebundene Spanplatten; Definition und Klassifizierung; Deutsche Fassung EN 633:1993
DIN EN 634-1	1995-04-00	Zementgebundene Spanplatten – Anforderungen – Teil 1: Allgemeine Anforderungen; Deutsche Fassung EN 634-1:1995
DIN EN 634-2	2005-05-00	Zementgebundene Spanplatten – Anforderungen – Teil 2: Anforderungen an Portlandzement (PZ) gebundene Spanplatten zur Verwendung im Trocken-, Feucht- und Aussenbereich; Deutsche Fassung prEN 634-2:2005
DIN EN 1128	1995-11-00	Zementgebundene Spanplatten – Bestimmung des Stosswiderstandes mit einem harten Körper; Deutsche Fassung EN 1128:1995
DIN EN 1328	1996-09-00	Zementgebundene Spanplatten – Bestimmung der Frostbeständigkeit; Deutsche Fassung EN 1328:1996

Sperrholz

DIN 52376	1978-11-00	Prüfung von Sperrholz; Bestimmung der Druckfestigkeit parallel zur Plattenebene
DIN 52377	1978-11-00	Prüfung von Sperrholz; Bestimmung des Zug-Elastizitätsmoduls und der Zugfestigkeit
DIN 68705-2	2003-10-00	Sperrholz - Teil 2: Stab- und Stäbchensperrholz für allgemeine Zwecke
DIN EN 313-1	1996-05-00	Sperrholz – Klassifizierung und Terminologie – Teil 1: Klassifizierung; Deutsche Fassung EN 313-1:1996
DIN EN 313-2	1999-11-00	Sperrholz - Klassifizierung und Terminologie - Teil 2: Terminologie; Deutsche Fassung EN 313-2:1999
DIN EN 314-1	2005-03-00	Sperrholz - Qualität der Verklebung - Teil 1: Prüfverfahren; Deutsche Fassung prEN 314-1:2004
DIN EN 314-2	1993-08-00	Sperrholz; Qualität der Verklebung; Teil 2: Anforderungen; Deutsche Fassung EN 314-2:1993
DIN EN 315	2000-10-00	Sperrholz - Maßtoleranzen; Deutsche Fassung EN 315:2000
DIN EN 635-1	1995-01-00	Sperrholz – Klassifizierung nach dem Aussehen der Oberfläche – Teil 1: Allgemeines; Deutsche Fassung EN 635-1:1994
DIN EN 635-2	1995-08-00	Sperrholz – Klassifizierung nach dem Aussehen der Oberfläche – Teil 2: Laubholz; Deutsche Fassung EN 635-2:1995
DIN EN 635-3	1995-08-00	Sperrholz – Klassifizierung nach dem Aussehen der Oberfläche – Teil 3: Nadelholz; Deutsche Fassung EN 635-3:1995
DIN V ENV 635-4	1996-11-00	Sperrholz – Klassifizierung nach dem Aussehen der Oberfläche – Teil 4: Einflussgrößen auf die Eignung zur Oberflächenbehandlung - Leitfaden; Deutsche Fassung ENV 635-4:1996
DIN EN 635-5	1999-05-00	Sperrholz - Klassifizierung nach dem Aussehen der Oberfläche - Teil 5: Meßverfahren und Angabe der Merkmale und Fehler; Deutsche Fassung EN 635-5:1999
DIN EN 636	2003-11-00	Sperrholz - Anforderungen; Deutsche Fassung EN 636:2003
DIN EN 1072	1995-08-00	Sperrholz – Beschreibung der Biegeeigenschaften von Bau-Sperrholz; Deutsche Fassung EN 1072:1995

DIN V ENV 1099	1998-02-00	Sperrholz – Biologische Dauerhaftigkeit – Leitfaden zur Beurteilung von Sperrholz zur Verwendung in verschiedenen Gefährdungsklassen; Deutsche Fassung ENV 1099:1997
----------------	------------	--

Massivholzplatten

DIN EN 12775	2001-04-00	Massivholzplatten - Klassifizierung und Terminologie; Deutsche Fassung EN 12775:2001
DIN EN 13017-1	2001-03-00	Massivholzplatten - Klassifizierung nach dem Aussehen der Oberfläche - Teil 1: Nadelholz; Deutsche Fassung EN 13017-1:2000
DIN EN 13017-2	2001-03-00	Massivholzplatten - Klassifizierung nach dem Aussehen der Oberfläche - Teil 2: Laubholz; Deutsche Fassung EN 13017-2:2000
DIN EN 13353	2003-09-00	Massivholzplatten (SWP) - Anforderungen; Deutsche Fassung EN 13353:2003
DIN CEN/TS 13354	2003-09-00	Massivholzplatten - Qualität der Verklebung - Prüfverfahren; Deutsche Fassung CEN/TS 13354:2003

Verklebung

DIN 53255	1964-06-00	Prüfung von Holzleimen und Holzverleimungen; Bestimmung der Bindefestigkeit von Sperrholzleimungen (Furnier- und Tischlerplatten) im Zugversuch und im Aufstechversuch
DIN EN 204	2001-09-00	Klassifizierung von thermoplastischen Holzklebstoffen für nichttragende Anwendungen; Deutsche Fassung EN 204:2001
DIN EN 205	2003-06-00	Klebstoffe - Holzklebstoffe für nichttragende Anwendungen - Bestimmung der Klebfestigkeit von Längsklebung im Zugversuch; Deutsche Fassung EN 205:2003
DIN EN 13446	2002-09-00	Holzwerkstoffe - Bestimmung des Haltevermögens von Verbindungsmitteln; Deutsche Fassung EN 13446:2002

Holzschutz

DIN 68800-2	1996-05-00	Holzschutz – Teil 2: Vorbeugende bauliche Massnahmen im Hochbau
DIN 68800-5	1978-05-00	Holzschutz im Hochbau; Vorbeugender chemischer Schutz von Holzwerkstoffen
E DIN 68800-5	1990-01-00	Holzschutz; Vorbeugender chemischer Schutz von Holzwerkstoffen
DIN EN 335-3	1995-09-00	Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten – Definition der Gefährdungsklassen für einen biologischen Befall – Teil 3: Anwendung bei Holzwerkstoffen; Deutsche Fassung EN 335-3:1995
DIN V ENV 12038	2002-07-00	Dauerhaftigkeit von Holz und Holzwerkstoffen - Holzwerkstoffplatten - Bestimmung der Beständigkeit gegen holzerstörende Basidiomyceten; Deutsche Fassung ENV 12038:2002

Formaldehydbestimmung

DIN EN 120	1992-08-00	Holzwerkstoffe; Bestimmung des Formaldehydgehaltes; Extraktionsverfahren genannt Perforatormethode; Deutsche Fassung EN 120:1992
------------	------------	--

DIN EN 717-1	2005-08-00	Holzwerkstoffe - Bestimmung der Formaldehydabgabe - Teil 1: Formaldehydabgabe nach der Prüfkammer-Methode; Deutsche Fassung EN 717-1:2004
DIN EN 717-2	1995-01-00	Holzwerkstoffe – Bestimmung der Formaldehydabgabe – Teil 2: Formaldehydabgabe nach der Gasanalyse-Methode; Deutsche Fassung EN 717-2:1994
DIN EN 717-2 Berichtigung 1	2003-06-00	Berichtigungen zu DIN EN 717-2:1995-01 (EN 717-2:1994/AC:2002)
DIN EN 717-3	1996-05-00	Holzwerkstoffe – Bestimmung der Formaldehydabgabe – Teil 3: Formaldehydabgabe nach der Flaschen-Methode; Deutsche Fassung EN 717-3:1996

Holzbau

DIN EN 789	2005-11-00	Holzbauwerke - Prüfverfahren - Bestimmung der mechanischen Eigenschaften von Holzwerkstoffen; Deutsche Fassung EN 789:2004
DIN EN 1995-1-1	2005-12-00	Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten - Teil 1: Allgemeine Regeln und Regeln für den Holzbau; Deutsche Fassung EN 1995-1-1:2004
DIN EN 1995-1-2	2006-02-00	Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauwerken - Teil 2: Brücken; Deutsche Fassung EN 1995-2:2004
DIN EN 12871	2001-09-00	Holzwerkstoffe - Leistungsspezifikationen und Anforderungen für tragende Platten zur Verwendung in Fußböden, Wänden und Dächern; Deutsche Fassung EN 12871:2001
DIN V ENV 12872	2000-12-00	Holzwerkstoffe - Leitfaden für die Verwendung von tragenden Platten in Böden, Wänden und Dächern; Deutsche Fassung ENV 12871:2000
DIN EN 13810-1	2003-06-00	Holzwerkstoffe - Schwimmend verlegte Fußböden - Teil 1: Leistungsspezifikationen und Anforderungen; Deutsche Fassung EN 13810-1:2002
DIN CEN/TS 13810-2	2003-07-00	Holzwerkstoffe - Schwimmend verlegte Fußböden - Teil 2: Prüfverfahren; Deutsche Fassung CEN/TS 13810-2:2003
DIN EN 13986	2005-03-00	Holzwerkstoffe zur Verwendung im Bauwesen - Eigenschaften, Bewertung der Konformität und Kennzeichnung; Deutsche Fassung EN 13986:2004

Benennungen und Kurzzeichen auf dem Holzgebiet

(gemäss DIN-4076 Teil 5)

Übersicht über die genormten Holzzeichen

1. Zweck

Diese Norm enthält die auf dem Holzgebiet genormten Kurzzeichen; sie soll deren Anwendung und die Bildung neuer Kurzzeichen erleichtern.

2. Benennungen und Kurzzeichen

Tabelle 1. Kurzzeichen in alphabetischer Reihenfolge

Kurzzeichen	Benennung	DIN
A (A 1, A 2)	Nichtbrennbare Baustoffe	4102 Teil 1
ABA	Abachi (Ayous, Obeche, Samba, Wawa)	4076 Teil 1
ABU	Abura (Bahia, Vuku)	4076 Teil 1
AD	Tischlerholz für Aussenanwendung deckend zu streichen	68 360 Teil 1
ADI	Andiroba (Cedro macho, Krappa, Crabwood)	4076 Teil 1
ADO	Andoung	4076 Teil 1
AFR	Afromosia (Asamela, Kokrudua)	4076 Teil 1
AFZ	Afzelia, afrikanisches und asiatisches (Apa, Chanfuta, Doussie, Lingue, Maka, Mong)	4076 Teil 1
AGB	Agba (Tola branca)	4076 Teil 1
AGQ	Angelique (Basralocus)	4076 Teil 1
AGT	Agathis (Damar minyak, East Indian Kauri)	4076 Teil 1
AH	Ahorn, Berg- (Sycamore, Maple)	4076 Teil 1
AHZ	Ahorn, Zucker- (Vogelaugenahorn [Maser], Sugar maple)	4076 Teil 1
AKO	Antiaris (Ako, Bonkonko, Chenchen, Kyenkyen)	4076 Teil 1
ALR	Alerce (Lahuan)	4076 Teil 1
AMA	Amarant (Purpleheart, Amaranth)	4076 Teil 1
AND	Tischlerholz für Aussenanwendung nicht deckend zu streichen	68 360 Teil 1
ANG	Angelin (Cochenilla)	4076 Teil 1
ANI	Aningeri (Aningre, Aningueri)	4076 Teil 1
AS	Aspe (Espe, Zitterpappel)	4076 Teil 1
ASA	Assacu (Possentrie)	4076 Teil 1
AVO	Avodire (Lusamba)	4076 Teil 1
AW	Sperrholzverleimung beständig auch bei erhöhter Feuchtigkeitsbeanspruchung (bedingt wetterbeständig)	68 705 Teil 2
AZO	Azobe (Bongossi, Ekki)	4076 Teil 1
B	besäumte Bretter und Bohlen	68 370
B 1	Klebung beständig in geschlossenen Räumen mit im allgemeinen niedriger Luftfeuchtigkeit, soweit das Freiluftklima auch bezüglich Temp, und Luftfeuchte nicht unmittelbar einwirken kann	68 602
B 1 ²⁾	Schwerentflammbare Baustoffe	4102 Teil1
B 2	Klebung beständig in geschlossenen Räumen mit kurzzeitig hoher und wechselnder Luftfeuchte und gelegentlicher kurzzeitiger Wassereinwirkung	68 602
B 2 ²⁾	Normalentflammbare Baustoffe	4102 Teil1
B 3	Klebung beständig gegen Klimaeinflüsse in einem Klimagebiet mit gemässigtem Klima	68 602
B 3 ²⁾	Leichtentflammbare Baustoffe	4102 Teil1
B 4	Klebung beständig gegen Klimaeinflüsse in einem Klimagebiet mit gemässigtem Klima unter besonders ungünstigem Klima	68 602

Kurzzeichen	Benennung	DIN
BAB	Baboen (Bicuiba, Virola, Banak, Quinquamadou, Yayamadou, Dalli)	4076 Teil 1
BAF	Bleistiftholz, Afrikanisches (African pencil cedar)	4076 Teil 1
BAL	Balsa	4076 Teil 1
BB	Birnbaum	4076 Teil 1
BER	Berlinia (Ebiara)	4076 Teil 1
BFU	Bau-Furniersperrholz	68 705 Teil 3 ¹⁾
BFU 20	nicht wetterbeständig verleimtes Bau-Furniersperrholz für den Anwendungsbereich der Holzwerkstoffklasse 20 ³⁾	68 705 Teil 3 ¹⁾
BFU 100	wetterbeständig verleimtes Bau-Furniersperrholz für den Anwendungsbereich der Holzwerkstoffklasse 100 ³⁾	68 705 Teil 3 ¹⁾
BFU 100 G	wetterbeständig verleimtes Bau-Furniersperrholz, das durch Verwendung von Holzarten mit hoher Resistenz oder durch Behandlung mit Holzschutzmitteln für den Anwendungsbereich der Holzwerkstoffklasse 100 ³⁾ vorgesehen ist	68 705 Teil 3 ¹⁾
BFU-BU	Bau-Furniersperrholz aus Buche	68 705 Teil 5
BFU-BU 100	wetterbeständig verleimtes ungeschliffenes Buchen-Furniersperrholz für den Anwendungsbereich der Holzwerkstoffklasse 100 ³⁾	68 705 Teil 5
BFU-BU100G	wetterbeständig verleimtes ungeschliffenes, gegen holzerstörende Pilze (Basiomyceten) mit Schutzmitteln behandeltes Buchen-Furniersperrholz für den Anwendungsbereich der Holzwerkstoffklasse 100 ³⁾	68 705 Teil 5
BI	Birke, Gemeine (Weiss-,Hänge-,Sandbirke, Haar-,Moorbirke)	4076 Teil 1
BIL	Bilinga (Opepe,Badi)	4076 Teil 1
BKA	Bleistiftholz, Kalifornisches (Incense cedar)	4076 Teil 1
BOS	Bosse (Guarea)	4076 Teil 1
BPH	Bitumen-Holzfasersplatte	68 752
BPH 1	Bitumen-Holzfasersplatte (normal)	68 752
BPH 2	Bitumen-Holzfasersplatte (extra)	68 752
BRU	Bruyere	4076 Teil 1
BST	Bau-Stabsperrholz	68 705 Teil 4 ¹⁾
BSTAE	Bau-Stäbchensperrholz	68 705 Teil 4 ¹⁾
BST 20 bzw. BST AE 20	nicht wetterbeständig verleimtes Bau-Stabsperrholz bzw. Bau-Stäbchensperrholz für den Anwendungsbereich der Holzwerkstoffklasse 20 ³⁾	68 705 Teil 4 ¹⁾
BST 100bzw. BSTAE 100	wetterbeständig verleimtes Bau-Stabsperrholz bzw. Bau-Stäbchensperrholz für den Anwendungsbereich der Holzwerkstoffklasse 100 ³⁾	68 705 Teil 4 ¹⁾
BST 100G bzw. BSTAE 100G	wetterbeständig verleimtes Bau-Stabsperrholz bzw. Bau-Stäbchensperrholz, das durch Verwendung von Holzarten mit hoher Resistenz oder durch Behandlung mit Holzschutzmitteln für den Anwendungsbereich der Holzwerkstoffklasse 100 G ³⁾ vorgesehen ist	68 705 Teil 4 ¹⁾
BU	Buche (Rotbuche)	4076 Teil 1
BU-E	Buche-Exquisit für Parkett	280 Teil 1 + 3
BU-S	Buche-Standard für Parkett	280 Teil 1 + 3
BUB	Bubinga (Kevazingo)	4076 Teil 1
BUC	Buchsbaum	4076 Teil 1
BVI	Bleistiftholz, Virginisches (Eastern red cedar)	4076 Teil 1
BWA	Banga Wanga (Mutiria)	4076 Teil 1
CAF	Canarium, Afrikanisches (Aiele, Abel)	4076 Teil 1
CAM	Campeche (Blauholz)	4076 Teil 1
CAT	Cativo	4076 Teil 1
CED	Cedro (Cedrela, Zeder)	4076 Teil 1
CEI	Ceiba (Fromager, Fuma)	4076 Teil 1
CF ⁴⁾	Chromat-Fluorid-Gemische	4076 Teil 4 ^{*)}
CFA ⁴⁾	Chromat-Fluorid-Arsenat-Gemische	4076 Teil 4 ^{*)}

Kurzzeichen	Benennung	DIN
CFB ⁴⁾	Chromat-Fluorid-Borat-Gemische	4076 Teil 4 ^{*)}
CK ^{4),5)}	Chromat-Kupfersalz-Gemische	4076 Teil 4 ^{*)}
CKA ^{4),5)}	Chromat-Kupfersalz-Arsenat-Gemische	4076 Teil 4 ^{*)}
CKB ^{4),5)}	Chromat-Kupfersalz-Borat-Gemische	4076 Teil 4 ^{*)}
CKF ^{4),5)}	Chromat-Kupfersalz-Fluorid-Gemische	4076 Teil 4 ^{*)}
COC	Cocobolo	4076 Teil 1
CUB	Courbaril (Locust, Guapinol)	4076 Teil 1
CUS	Cocuswood (Cocus)	4076 Teil 1
DA	Dabema (Dahoma)	4076 Teil 1
DAN	Daniellia (Faro, Ogea)	4076 Teil 1
DG	Douglasie	4076 Teil 1
DGA	Douglas Fir (Oregon Pine)	4076 Teil 1
DIB	Dibetou (Bibolo)	4076 Teil 1
DIM	Diambi	4076 Teil 1
DKS	Dekorative Schichtpressstoffplatte A	16 926 u. 53 799
DS	Dachschindel (Holzschindel)	68 119 Teil 1
DSG	Dachschindel, auf beiden Seiten gesägt	68 119 Teil 1
DSGP	Dachschinder, auf einer Seite gesägt, auf der anderen Seite gespalten	68 119 Teil 1
DSP	Dachschindel, auf beiden Seiten gespalten	68 119 Teil 1
DUK	Douka (Okola)	4076 Teil 1
E	Holzschutzmittel auch für Holz, das extremer Beanspruchung ausgesetzt ist (Erdkontakt, fließendes Wasser o. ä.)	68 800 Teil 3
EBE	Ebenholz, Afrikanisches, Asiatisches, Madagaskar-	4076 Teil 1
EBM	Ebenholz, Macassar- (Gestreiftes Ebenholz)	4076 Teil 1
EI	Eiche, Stiel- (Sommereiche) und Trauben- (Wintereiche)	4076 Teil 1
EI-E	Eiche-Exquisit für Parkett	280 Teil 1 + 3
EI-G	Eiche-Gestreift für Parkett	280 Teil 2
EI-N	Eiche-Natur für Parkett	280 Teil 2
EI-R	Eiche-Rustikal für Parkett	280 Teil 1 - 3
EI-S	Eiche.Standard für Parket	280 Teil 1 + 3
EI-X	Eiche-X für Fertigparkett	280 Teil 5
EI-XX	Eiche-XX für Fertigparkett	280 Teil 5
EI-XXX	Eiche-XXX für Fertigparkett	280 Teil 5
EIJ	Eiche, Japanische (Mizunara, Onara)	4076 Teil 1
EIR	Eiche, Rot- (Red oak)	4076 Teil 1
EIW	Eiche, Weiss- (Amerikanische Weisseiche)	4076 Teil 1
EKA	Edelkastanie (Echte Kastanie)	4076 Teil 1
ER	Erle (Rot-, Schwarz-, Grau-, Weisserle)	4076 Teil 1
ES	Esche (Gemeine)	4076 Teil 1
ESA	Esche, Amerikanische (Weissesche, White ash)	4076 Teil 1
ESJ	Esche, Japanische (Tamo)	4076 Teil 1
ESS	Essia (Abale)	4076 Teil 1
EVI	Evino	4076 Teil 1
EYG	Eyong (Yello Sterculia)	4076 Teil 1
F	Holzschutzmittel wirksam zur Brandschutzausrüstung von Holz und Holzwerkstoffen (Feuerschutzbehandlung)	68 800 Teil 3
F 30	Feuerwiderstandsdauer 30min	4102 Teil 2
F 60	Feuerwiderstandsdauer 60min	4102 Teil 2
F 90	Feuerwiderstandsdauer 90min	4102 Teil 2
F 120	Feuerwiderstandsdauer 120min	4102 Teil 2

Kurzzeichen	Benennung	DIN
F 180	Feuerwiderstandsdauer 180min	4102 Teil 2
FEI	Freijo (Amerikanische Cordia, Laurel)	4076 Teil 1
FI	Fichte (Europäische Fichte, Weissholz)	4076 Teil 1
FIS	Fichte, Sitka- (Spruce, Sitka spruce)	4076 Teil 1
FPO	Flachpressplatte mit feinspaniger Oberfläche	68 761 Teil 4 ^{*)}
FPY	Flachpressplatte für allgemeine Zwecke	68 761 Teil 1
FRA	Framire (Black afara, Idigbo, Emeri)	4076 Teil 1
FU	Furniersperrholz	68 705 Teil 2 68 792
GE	Holzpflaster für gewerbliche Zwecke	68 701
GOP	Goupie (Kopie, Kabukalli)	4076 Teil 1
GRE	Greenheart (Demerara Greenheart)	4076 Teil 1
HB	Hainbuche (Weissbuche)	4076 Teil 1
HEM	Hemlock (Western Hemlock)	4076 Teil 1
HF	Holzfaserverplatte	68 754 Teil 1 68 753
HFD	Poröse Holzfaserverplatte	68 750 u. 68 753
HFE	Extrahartplatte	68 753
HFH	Harte Holzfaserverplatte	68 750 u. 68 753 68 754 Teil 1
HFH 20	Nicht wetterbeständig verleimte harte Holzfaserverplatte für das Bauwesen; Anwendungsbereich der Holzwerkstoffklasse 20 ³⁾	68 754 Teil 1
HFM	Mittelharte Holzfaserverplatte	68 753 68 754 Teil 1
HFM 20	Nicht wetterbeständig verleimte mittelharte Holzfaserverplatte für das Bauwesen; Anwendungsbereich der Holzwerkstoffklasse 20 ³⁾	68 754 Teil 1
HIC	Hickory (True Hickory)	4076 Teil 1
Ib	Holzschutzmittel gegen Insekten bekämpfend wirksam	68 800 Teil 3
ID	Tischlerholz für Innenanwendung deckend zu streichen	68 360 Teil 2
IF	Sperrholzverleimung nur beständig in Räumen mit im allgemeinen niedriger Luftfeuchte (nicht wetterbeständig)	68 705 Teil 2
ILO	Ilomba (Lolako, Lomba)	4076 Teil 1
IMB	Imbuia (Imbuya)	4076 Teil 1
IND	Tischlerholz für Innenanwendung nicht deckend zu streichen	68 360 Teil 2
IPE	Ipe (Lapacho, Guayacan)	4076 Teil 1
IRO	Iroko (Kambala, Mvule)	4076 Teil 1
Iv	Holzschutzmittel gegen Insekten vorbeugend wirksam	68 800 Teil 3
(Iv)	Holzschutzmittel (nur bei Tiefschutz ist die vorbeugende Wirksamkeit gegen Insekten gewährleistet)	68 800 Teil 3
IVH	Isolier-Vollholz	7707 Teil 2
IVHP	Isolier-Vollholz, gepresst	7707 Teil 2
IVHT	Isolier-Vollholz, getränkt	7707 Teil 2
IZO	Izombe	4076 Teil 1
JAR	Jarrah	4076 Teil 1
JEL	Jelutong	4076 Teil 1
K 1	Holzschutzmittel (behandeltes Holz führt bei Chrom-Nickel-Stählen nicht zu Lochkorrosion)	68 800 Teil 3
KA	Roskastanie	4076 Teil 1
KAL	Blutalbuminleim	4076 Teil 3
KAR	Karri	4076 Teil 1
KB	Kirschbaum	4076 Teil 1

Kurzzeichen	Benennung	DIN
KC	Kaseinleim	4076 Teil 3
KCPD	Copolymerisat-Dispersions-Klebstoff	4076 Teil 3
KEP	Epoxidharz-Klebstoff	4076 Teil 3
KF	Kunststoffbeschichtete dekorative Flachpressplatte	68 765
KFMF	Melamin-Formaldehydharz-Leimfilm	4076 Teil 3
KFPF	Phenol-Formaldehydharz-Leimfilm	4076 Teil 3
KFUF	Harnstoff-Formaldehydharz-Leimfilm	4076 Teil 3
KG	Glutinleim	4076 Teil 3
KH	Kunststoffbeschichtete dekorative Holzfasерplatte	53 799 u. 68 751
KI	Kiefer (Föhre, Forche, Rotholz) Schwarzkiefer (Österreichische Schwarzkiefer)	4076 Teil 1
KI-E	Kiefer-Exquisit für Parkett	280 Teil 1 + 3
KI-S	Kiefer-Standard für Parkett	280 Teil 1 + 3
KIS	Isocyanat-Klebstoff	4076 Teil 3
KIW	Kiefer, Weymouth- (Strobe, Yellow pine, Eastern white pine)	4076 Teil 1
KIZ	Kiefer, Zirbel- (Arve)	4076 Teil 1
KMF	Melamin-Formaldehydharz	4076 Teil 3
KOB	Kotibe (Danta)	4076 Teil 1
KP	Kunsthartz-Pressholz	7707 Teil 2
KPAN	Polyacrylnitrilkautschuk-Klebstoff (auch vernetzbar)	4076 Teil 3
KPCB	Polychloroprenklebstoff (auch vernetzbar)	4076 Teil 3
KPF	Phenol-Formaldehydharz	4076 Teil 3
KPR	Kapur (Borneo Kampfholz)	4076 Teil 1
KPVAC	Polyvinylacetat-Dispersions-Klebstoff	4076 Teil 3
KRF	Resorcin-Formaldehydharz	4076 Teil 3
KSCH	Schmelzklebstoff	4076 Teil 3
KTO	Koto (Pohouro)	4076 Teil 1
KUF	Harnstoff-Formaldehydharz	4076 Teil 3
KUP	Polyester-Klebstoff (ungesättigt)	4076 Teil 3
L	Holzschutzmittel (Verträglichkeit mit bestimmten Klebstoffen [Leime] entsprechend den Angaben im Prüfbescheid nachgewiesen)	68 800 Teil 3
LA	Lärche, Europäische	4076 Teil 1
LAI	Laurel, Indian- (Sain, Taukyan)	4076 Teil 1
LAJ	Lärche, Japanische (Hondolärche, Japanese larch)	4076 Teil 1
LAS	Lärche, Sibirische	4076 Teil 1
LBI	Limballi (Ditshipi, Bolapa)	4076 Teil 1
LI	Linde (sommerlinde, Winterlinde)	4076 Teil 1
LF	Leichte Flachpressplatte mit höherer Schallabsorption ohne oder mit Beschichtung oder Beplankung	68 762
LMB	Limba (Afara, Fraka, Ofram)	4076 Teil 1
LMD	Strangpress-Vollplatte (beidseitig beschichtet oder beplankt) mit durchbrochener Oberfläche und höherer Schallabsorption	68 762
LR	Strangpress-Röhrenplatteplatte (beidseitig beschichtet oder beplankt) mit geschlossener Oberfläche	68 762
LRD	Strangpress-Röhrenplatteplatte (beidseitig beschichtet oder beplankt) mit durchbrochener Oberfläche und höherer Schallabsorbtion	68 762
LVE	Louro vermelho (Red Louro, Wane)	4076 Teil 1
M	Holzschutzmittel geeignet zur Bekämpfung von Schwamm im Mauerwerk	68 800 Teil 3
MAA	Mahagoni, Khaya- (Grand Bassam, N`Gollon, African mahagony, Acajou blanc)	4076 Teil 1

Kurzzeichen	Benennung	DIN
MAC	Makore (Baku)	4076 Teil 1
MAD	Madrono, Pacific-	4076 Teil 1
MAE	Mahagoni, Echtes (Acajou Amerique, American mahagony, Caoba)	4076 Teil 1
MAK	Mahagoni, Kosipo- (Omu, Kosipo)	4076 Teil 1
MAN	Mansonia (Bete)	4076 Teil 1
MAO	Manio (Maniu)	4076 Teil 1
MAS	Mahagoni, Sapelli- (Aboudikro, Lifaki, Sapele)	4076 Teil 1
MAT	Mahagoni, Tiama- (Edinam, Kalungi, Gedu nohor)	4076 Teil 1
MAU	Mahagoni, Sipo- (Utile, Sipo, Assie)	4076 Teil 1
MBK	Manbarklak (Kakaralli)	4076 Teil 1
MCE	Mecrusse (Mezembite)	4076 Teil 1
MEB	Merbau (Ipil, Kwila)	4076 Teil 1
MEG	Meranti, Gelbes	4076 Teil 1
MER	Meranti, Rotes (Red Lauan, red seraya, Light red meranti, Dark red meranti)	4076 Teil 1
MEW	Meranti, Weisses	4076 Teil 1
MHF	Verbundplatte mit Mittellage aus Holzfaserplatte	68 753
MKI	Mukusi	4076 Teil 1
MNA	Muninga (Ostafrikanische Padouk, Umbila)	4076 Teil 1
MOA	Moabi	4076 Teil 1
MOV	Movingui (Ayan)	4076 Teil 1
MRW	Merawan (Thingan Sao, Kien kien)	4076 Teil 1
MSA	Massaranduba (Balata)	4076 Teil 1
MUC	Mucarati (Macarati, Mucarala)	4076 Teil 1
MUH	Muhimbi	4076 Teil 1
MUK	Mukulungu	4076 Teil 1
MUT	Mutenye	4076 Teil 1
MUU	Muhuhu	4076 Teil 1
NAG	Naga (Okwen)	4076 Teil 1
NB	Nussbaum (Walnussbaum)	4076 Teil 1
NBA	Nussbaum, Amerikanischer (Black walnut, American walnut)	4076 Teil 1
NIA	Niangon	4076 Teil 1
NIO	Niove	4076 Teil 1
OKU	Okoume (Gabunholz)	4076 Teil 1
OLI	Olive (Olivier, Ostafrikanische Olive)	4076 Teil 1
OVE	Ovengkol (Amazakoue)	4076 Teil 1
OZI	Ozigo	4076 Teil 1
P	Holzschutzmittel wirksam gegen Pilze (Fäulnisschutz)	68 800 Teil 3
PA	Pappel (Grau-, Schwarz-, Weiss-, Silberpappel)	4076 Teil 1
PAF	Padouk, Afrikanisches (African padauk)	4076 Teil 1
PAL	Paldao (Dao)	4076 Teil 1
PAP	Parana "Pine" (Brasilianische Araukarie, Brasil "Kiefer")	4076 Teil 1
PBA	Padouk, Burma- (Burma padauk, Mai pradoo)	4076 Teil 1
PDG	Partridge (Cochenille)	4076 Teil 1
PEC	Peroba de campos (Peroba jaune, White peroba)	4076 Teil 1
PER	Peroba rosa (Amarello)	4076 Teil 1
PGP	Panga Panga	4076 Teil 1
PIP	Pine, Pitch (Kernholz [überwiegend] von: Amerikanische Südkiefer, Southern hard p., Karibisches pitch pine, Honduras pitch p., Nicaragua pitch p., Ocote p.)	4076 Teil 1

Kurzzeichen	Benennung	DIN
PIR	Pine, Red (Splintholz [überwiegend] von: Amerikanische Südkiefer, Carolina pine, Loblolly p., Shortleaf p., Honduras p., Nicaragua p., Ocote p.)	4076 Teil 1
PIR-S	Carolina- Pine-Standard für Parkett	280 Teil 3
PLT	Platane	4076 Teil 1
PML	Padouk, Manila- (Narra Amboyna)	4076 Teil 1
PNB	Pernambuc (Pernambuco, Brazilwood)	4076 Teil 1
POC	Port-Orfordcedar (Oregoncedar, Scheinzypresse)	4076 Teil 1
POD	Podo (Yellow Wood)	4076 Teil 1
POH	Pockholz (Gaiac, Lignum vitae, Guayacan)	4076 Teil 1
POS	Palisander, Ostindisches (Ostind. Jacaranda, Indian rosewood)	4076 Teil 1
PRO	Palisander, Rio- (Rio Jacaranda, Brasil rosewood)	4076 Teil 1
PRS	Pau rosa	4076 Teil 1
PSI	Persimmon	4076 Teil 1
PYN	Pyinkado	4076 Teil 1
QEB	Quebracho blanco	4076 Teil 1
QEC	Quebracho colorado (Rotes Quebracho)	4076 Teil 1
QUA	Quaruba (Itaballi, San Juan, Yemeri)	4076 Teil 1
RAM	Ramin (Melawis)	4076 Teil 1
RAU	Rauli	4076 Teil 1
RCW	Redcedar, Western (Kanadische Rotzeder, Thuja)	4076 Teil 1
RE	Holzpflaster für Räume in Schulen, Verwaltungsgebäuden, Versamm- lungsstätten und ähnlichen Anwendungsgebieten	68 702
RGS	Rengas (Son)	4076 Teil 1
ROB	Robinie (Falsche Akazie)	4076 Teil 1
RS	Richtsortiment	68 370
RSB	Rosenholz, Bahia- (Tulip wood)	4076 Teil 1
RU	Rüster (Rotrüster, Feldulme)	4076 Teil 1
RWK	Redwood, Kalifornisches (Redwood, Sequoia, Vavona [Maser])	4076 Teil 1
S	Holzschutzmittel zum Streichen, Spritzen (Sprühen) und Tauchen von Bauholz geeignet	68 800 Teil 3
SAF	Safukala (Bidinkala)	4076 Teil 1
SAO	Satinholz, Ostindisches (Citronnier, Ceylon satinwood)	4076 Teil 1
SAW	Satinholz, Westindisches (West indian satinwood)	4076 Teil 1
SEN	Sen	4076 Teil 1
SFU	Grossflächen-Schalungsplatte aus Furniersperrholz	68 792
SHZ	Schlangenhholz (Amourette, Snakewood)	4076 Teil 1
SIK	Sikom (Hoh)	4076 Teil 1
SPO	Sapo (Bondu, Toubaounate)	4076 Teil 1
SR	Strangpress-Röhrenplatte für das Bauwesen	68 764 Teil 1
SR 1	Strangpress-Röhrenplatte 1 für das Bauwesen ⁶⁾	68 764 Teil 1
SR 2	Strangpress-Röhrenplatte 2 für das Bauwesen ⁷⁾	68 764 Teil 1
SST	Grossflächen-Schalungsplatte aus Stabsperrholz	68 791
SSTAE	Grossflächen-Schalungsplatte aus Stäbchensperrholz	68 791
St	Holzschutzmittel zum Streichen und Tauchen von Bauholz geeignet sowie zum Spritzen in stationären Anlagen	68 800 Teil 3
ST	Stabsperrholz (Tischlerplatte)	68 705 Teil 2
STAE	Stäbchensperrholz (Tischlerplatte)	68 705 Teil 2
SUG	Sugi	4076 Teil 1
SV	Strangpress-Vollplatte für das Bauwesen	68 764 Teil 1
SV 1	Strangpress-Vollplatte 1 für das Bauwesen ⁶⁾	68 764 Teil 1

Kurzzeichen	Benennung	DIN
SV 2	Strangpress-Vollplatte 2 für das Bauwesen ⁷⁾	68 764 Teil 1
SWG	Sweetgum (Satin-, "Nussbaum")	4076 Teil 1
SWW	Spruce, Western white (Alberta white spruce)	4076 Teil 1
TA	Tanne (Edeltanne, Weisstanne)	4076 Teil 1
TAL	Tali (Missanda)	4076 Teil 1
TCH	Tchitola (Tola chinifuta, Lolagbola)	4076 Teil 1
TEK	Teak (Djati, Kyun)	4076 Teil 1
TSV 1	Beplankte Strangpress-Vollplatte 1 für Tafelbauart ⁶⁾	68 764 Teil 1
TSV 2	Beplankte Strangpress-Vollplatte 2 für Tafelbauart ⁷⁾	68 764 Teil 1
TUY	Thuya-Maser (Thuya de Barbarie)	4076 Teil 1
U	unbesäumte Bretter und Bohlen	68 370
V 20	Bau-Flachpressplatte 20 ³⁾ Verleimung beständig bei Verleimung in Räumen mit im allgemeinen niedriger Luftfeuchtigkeit (nicht wetterbeständige Verleimung); Bindemittel: Aminoplaste	68 763
V 100	Bau-Flachpressplatte 100 ³⁾ Verleimung beständig gegen hohe Luftfeuchtigkeit (begrenzt wetterbeständige Verleimung); Bindemittel: alkalisch härtende Phenoplaste, Phenolresorcinharze	68 763
V 100 G	Bau-Flachpressplatte 100 G ³⁾ Verleimung beständig gegen hohe Luftfeuchtigkeit (begrenzt wetterbeständige Verleimung); Bindemittel: alkalisch härtende Phenoplaste, Phenolresorcinharze. Mit einem Holzschutzmittel geschützt gegen holzzerstörende Pilze (Basidiomyceten).	68 763
W	Holzschutzmittel auch für Holz, das der Witterung ausgesetzt ist, jedoch ohne Erdkontakt.	68 800 Teil 3
WAC	Wacapou (Bruinhart, Brownheart)	4076 Teil 1
WCE	Eastern White Cedar	68 119 Teil 1
WDE	Weide (Silberweide, Weissweide)	4076 Teil 1
WEN	Wenge	4076 Teil 1
WIW	Whitewood (Tulpenbaum)	4076 Teil 1
WS	Wandschindel (Holzschindel)	68 119 Teil 1
YAN	Yang (Apitong, Dau, Eng, Gujun, In, Keruing)	4076 Teil 1
ZAP	Zapatero (Maracaiba, Boxwood)	4076 Teil 1
ZIN	Zingana (Zebrano)	4076 Teil 1
ZYP	Zypresse (Echte Zypresse)	4076 Teil 1

¹⁾ Entwurf Februar 1980

²⁾ Kennzeichnung: DIN 4102 - B 1 usw.

³⁾ Holzwerkstoffklassen 20, 100 und 100 G nach DIN 68 800 Teil 2

⁴⁾ Gruppeneinteilung der Holzschutzmittel im Verzeichnis der Prüfzeichen für Holzschutzmittel (Holzschutzmittelverzeichnis) Erich Schmidt Verlag Berlin

⁵⁾ Im englischen Sprachgebrauch werden Kupfersalze allgemein durch "C" gekennzeichnet, so dass die entsprechenden Kurzzeichen lauten: CC, CCA, CCB und CCF.

⁶⁾ Verleimung zwischen Rohplatte und Beplankung sowie die innere Verleimung des Beplankungsmaterials beständig in Räumen mit allgemeinen niedriger Luftfeuchtigkeit; Anwendungsbereich der Holzwerkstoffklasse 20³⁾.

⁷⁾ Verleimung zwischen Rohplatte und Beplankung sowie die innere Verleimung des Beplankungsmaterials beständig gegen hohe Luftfeuchtigkeit; Anwendungsbereich der Holzwerkstoffklasse 100³⁾.

^{*)} Z.Z. Entwurf

2. Verzeichnis der Benennungen

Anmerkung: Die Benennungen der Holzarten sind alphabetisch geordnet in DIN 4076 Teil 1.

Benennung	Kurzzeichen
Bau-Flachpressplatte (Verleimung)	V 20, V 100, V 100 G
Bau-Furniersperrholz	BFU, BFU 20, BFU 100, BFU 100 G
Bau-Furniersperrholz aus Buche	BFU-BU, BFU-BU 100, BFU-BU 100 G
Bau-Stabsperrholz	BST, BST 20, BST 100, BST 100 G
Bau-Stäbchensperrholz	BSTAE, BSTAE 20, BSTAE 100, BSTAE 100 G
Baustoffklassen	B 1, B 2, B 3
Beplankte Strangpressplatte	TSV 1, TSV 2
Bitumen-Holzfasersplatte	BPH, BPH 1, BPH 2
Blutalbuminleim	KAL
Bretter und Bohlen, besäumt	B
Bretter und Bohlen, unbesäumt	U
Buche für Parkett	BU-E, BU-S
Caroline-Pine für Parkett	PIR-S
Copolymerisat-Dispersions-Klebstoff	KCPD
Dachschindel	DS, DSG, DSGP, DSP
Eastern White Cedar	WCE
Eiche für Fertigparkett	EI-X, EI-XX, EI-XXX
Eiche für Parkett	EI-E, EI-G, EI-N, EI-R, EI-S
Epoxidharz-Klebstoff	KEP
Feuerwiderstandsklassen	F 30, F 60, F 90, F 120, F 180
Flachpressplatte	FPO, FPY
Furniersperrholz	FU
Glutinleim	KG
Grossflächen-Schalungsplatte	SFU, SST, SSTAE
Harnstoff-Formaldehydharz	KFU, KFUF
Holzfasersplatte	HF, HFD, HFE, HFH, HFH 20, HFM, HFM 20
Holzpflaster	GE, RE
Holzschutzmittel	CF, CFA, CFB, CK, CKA, CKB, CKF, E, F, Ib, (Iv), K 1, L, M, P, S, St, W
Holzspanplatte	FPO, FPY, KF, LF, LMD, LR, LRD, SR 1, SR 2, SV, SV 1, SV 2, TSV 1, TSV 2, V 20, V 100, V 100 G
Isocynat-Klebstoff	KIS
Isolier-Vollholz	IVH, IVHP, IVHT
Kaseinleim	KCPD
Kiefer für Parkett	KI-E, KI-S
Klebung	B 1, B 2, B 3, B 4
Kunsthartz-Pressholz	KP
Kunststoffbeschichtete Flachpressplatte	KF
Kunststoffbeschichtete Holzfasersplatte	KH
Leichte Flachpressplatte	LF
Melamin-Formaldehydharz-Leimfilm	KFMF
Phenol-Formaldehydharz	KPF, KPPF
Polyacrylnitrilkauschuk-Klebstoff	KPAN
Polychloroprenklebstoff	KPCB
Polyester-Klebstoff	KUP
Polyvinylacetat-Dispersions-Klebstoff	KPVAC
Resorcin-Formaldehydharz	KRF
Richtsortiment	RS

Benennung	Kurzzeichen
Schichtpressstoffplatte A	DKS
Schmelzklebstoff	KSCH
Spanplatte	FPO, FPY, KF, LF, LMD, LR, LRD, SR 1, SR 2, SV, SV 1, SV 2, TSV 1, TSV 2, V 20, V 100, V 100 G
Sperrholzverleimung	AW, IF
Stabsperrholz	ST
Stäbchensperrholz	STAE
Strangpress-Röhrenplatte	LR, LRD, SR, SR 1, SR 2
Strangpress-Vollplatte	LMD, SV, SV 1, SV 2
Tischlerholz	AD, AND, ID, IND
Verbundplatte	MHF
Wandschindel	WS

Zitierte Normen

- DIN 280 Teil 1 Parkett; Parkettstäbe und Tafeln für Tafelparkett
- DIN 280 Teil 2 Parkett; Mosaikparkettlamellen
- DIN 280 Teil 3 Parkett; Parketriemen
- DIN 280 Teil 5 Parkett; Fertigparkett-Elemente
- DIN 4076 Teil 1 Benennungen und Kurzzeichen auf dem Holzgebiet; Holzarten
- DIN 4076 Teil 3 Benennungen und Kurzzeichen auf dem Holzgebiet; Klebstoffe, Verleimungsarten, Beanspruchungsgruppen für Holz-Leimverbindungen
- DIN 4076 Teil 4 (z. Z. Entwurf) Benennungen und Kurzzeichen auf dem Holzgebiet; Holzschutzmittel
- DIN 4102 Teil 1 Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen; Baustoffe, Begriffe, Anforderungen und Prüfungen
- DIN 4102 Teil 2 Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen; Bauteile, Begriffe, Anforderungen und Prüfungen
- DIN 7707 Teil 2 Kunstharzpressholz und Isoliervollholz; Typen
- DIN 16 926 Dekorative Schichtpressstoffplatten A; Einteilung, Anforderungen und Prüfungen
- DIN 53 799 Prüfung von Platten mit dekorativer Oberfläche auf Aminoplastharzbasis
- DIN 68 119 Teil 1 Holzschindeln, Dachschindeln
- DIN 68 360 Teil 1 Holz für Tischlerarbeiten; Gütebedingungen bei Aussenanwendung
- DIN 68 360 Teil 2 Holz für Tischlerarbeiten; Gütebedingungen bei Innenanwendung
- DIN 68 370 Eichen-Schrittholz; Gütebedingungen
- DIN 68 602 Beurteilung von Klebstoffen zur Verbindung von Holz und Holzwerkstoffen; Beanspruchungsgruppen, Klebfestigkeit
- DIN 68 701 Holzpflaster GE für gewerbliche Zwecke
- DIN 68 702 Holzpflaster RE für Räume in Schulen, Verwaltungsgebäuden, Versammlungsstätten und ähnlichen Anwendungsgebieten
- DIN 68 705 Teil 2 Sperrholz; Sperrholz für allgemeine Zwecke
- DIN 68 705 Teil 3 (Entwurf Februar 1980) Sperrholz, Bau-Furniersperrholz
- DIN 68 705 Teil 4 (Entwurf Februar 1980) Sperrholz, Bau-Stabsperrholz, Bau-Stäbchensperrholz
- DIN 68 705 Teil 5 Sperrholz, Bau-Furniersperrholz aus Buche
- DIN 68 750 Holzfaserplatten; poröse und harte Holzfaserplatten; Gütebedingungen
- DIN 68 751 Kunststoffbeschichtete dekorative Holzfaserplatten, Begriffe, Anforderungen
- DIN 68 752 Bitumen-Holzfasernplatten; Gütebedingungen
- DIN 68 753 Begriffe für Holzfaserplatten
- DIN 68 754 Teil 1 Harte und mittelharte Holzfaserplatten für das Bauwesen, Holzwerkstoffklasse 20
- DIN 68 761 Teil 1 Spanplatten; Flachpressplatten für allgem. Zwecke; FPY-Platte
- DIN 68 761 Teil 4 (z. Z. Entwurf) Spanplatten; Flachpressplatten für allgem. Zwecke; FPO-Platte
- DIN 68 762 Spanplatten für Sonderzwecke im Bauwesen; Begriffe, Eigenschaften, Prüfung
- DIN 68 763 Spanplatten; Flachpressplatten für das Bauwesen; Begriffe, Eigenschaften, Prüfung, Überwachung

DIN 68 764 Teil 1	Spanplatten;Strangpressplatten für das Bauwesen;Begriffe, Eigenschaften, Prüfung, Überwachung
DIN 68 764 Teil 2	Spanplatten;Strangpressplatten für das Bauwesen;Beplankte Strangpressplatten für die Tafelbauart
DIN 68 765	Spanplatten, Kunststoffbeschichtete dekorative Flachpressplatten für allgem. Zwecke; Begriffe, Anforderung, Prüfung
DIN 68 791	Grossflächen-Schalungsplatten aus Stab- und Stäbchensperrholz für Beton und Stahlbeton
DIN 68 792	Grossflächen-Schalungsplatten aus Furniersperrholz für Beton und Stahlbeton
DIN 68 800 Teil 2	Holzschutz im Hochbau; Vorbeugende bauliche Massnahmen
DIN 68 800 Teil 3	Holzschutz im Hochbau; Vorbeugender chemischer Schutz von Vollholz

Weitere Normen

DIN 280 Teil 4 Parkett, Parkettdielen, Parkettplatten

Erläuterungen

Diese Norm fasst die auf dem Holzgebiet genormten Kurzzeichen zusammen.

Für die Festlegung neuer Kurzzeichen sollten folgende Regeln beachtet werden:

- a) Grundsätzlich sind nur Grossbuchstaben zu verwenden, um eine verwechslungsfreie Datenverarbeitung und Datenübertragung zu ermöglichen.
- b) Für gruppenmässige Zuordnung (wie Holzschutzmittel, Holzwerkstoffe, Einsatzgebiete, Prüfverfahren) und verfahrenstechnische Behandlungsweisen (wie Schutzbehandlung, Wärmebehandlung, Verdichten, Behandlungsmittel) sind nach Möglichkeit einheitliche Leitbuchstaben (bzw. Zahlen) zu verwenden, die gegebenenfalls durch einen Bindestrich oder eine Leerstelle von der Hauptbezeichnung des Produktes abzusetzen sind. Beispiele für systematische durch Leitbuchstaben sind: B für Verwendung im Bauwesen, D für Wärmeisolierung und Schalldämmung, F für Schutzbehandlung gegen Feuer, G für Schutzbehandlung gegen Organismen, I für elektrisches Isoliermaterial, K für Klebstoffe, P für Verdichten, T für Imprägnierung, W für Wärmebehandlung, Y für Holzschutzmittel, 20 und 100 für Verleimungskurzprüfverfahren.

Nähere Auskunft erteilt der Normenausschuss Holz im DIN, Köln.