

Grundlagen der Holzbe- und Verarbeitung

Educational Material

Author(s):

Niemz, Peter; Bächle, F.; Sonderegger, Walter; Junghans, Kristin; Herbers, Y.

Publication date:

2007

Permanent link:

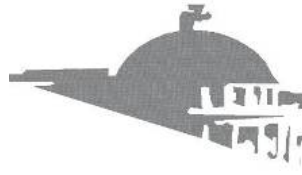
<https://doi.org/10.3929/ethz-a-005433202>

Rights / license:

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

ETH

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich



IfB

Institut für Baustoffe
Institute for Building Materials

Grundlagen der Holzbe- und Verarbeitung

I. Grundlagen der Holzbearbeitung

1. Auflage 2007

Prof. Dr.-Ing. habil. P. Niemz

unter Mitarbeit von: F. Bächle, W. Sonderegger,
K. Junhans, Y. Herbers

Vorwort

Die Vorlesung Grundlagen der Holzbe- und Verarbeitung befasst sich einerseits mit der Holzbe- und Verarbeitung in der Sägerei und andererseits mit der weiteren Behandlung/Vergütung, respektive mit dem Holzschutz.

Das Vorlesungsskript stellt das Gerüst der Vorlesung dar. Damit es a) durch in der Vorlesung abgegebene Unterlagen ergänzt und b) nach Belieben gebunden, geheftet, eingeordnet werden kann, wird es als ungebunden und ungeheftet verkauft.

Inhaltsverzeichnis Teil I

1	ÖKOLOGISCHE BEDEUTUNG DES HOLZES	1-2
1.1	HOLZ ALS CO ₂ -SPEICHER	1-2
1.2	ÖKOBILANZIERUNG	1-4
1.2.1	<i>Entstehung</i>	1-4
1.2.2	<i>Definitionen</i>	1-4
1.2.3	<i>Inhalt</i>	1-5
1.3	GRUNDLAGEN DER HOLZVERWENDUNG	1-11
1.4	LITERATUR ZU KAPITEL 1	1-14
2	GRUNDPROZESSE DER HOLZBE- UND VERARBEITUNG	2-3
2.1	TRENNEN	2-3
2.1.1	<i>Schnittarten</i>	2-3
2.1.2	<i>Geometrie am Schneidkeil</i>	2-5
2.1.3	<i>Grundbegriffe des Zerspanens</i>	2-6
2.1.4	<i>Systematik von Trennvorgängen</i>	2-9
2.1.5	<i>Übersicht zu Maschinen der Holzindustrie</i>	2-15
2.2	HOLZTROCKNUNG	2-17
2.2.1	<i>Grundlagen</i>	2-17
2.2.2	<i>Qualitätskontrolle bei der Holz Trocknung</i>	2-22
2.2.3	<i>Methoden der Holz Trocknung</i>	2-25
2.3	DÄMPFEN	2-31
2.3.1	<i>Zweck</i>	2-31
2.3.2	<i>Ablauf</i>	2-31
2.3.3	<i>Dampfverbrauch</i>	2-32
2.3.4	<i>Dämpfzeiten</i>	2-32
2.3.5	<i>Kochen</i>	2-33
	LITERATUR ZU KAPITEL 2.1 BIS 2.3	2-34
2.4	HOLZVERKLEBUNG	2
2.4.1	<i>Allgemeines</i>	2
2.4.2	<i>Einteilung der Klebstoffe</i>	3
2.4.3	<i>Klebevorgang</i>	3
2.4.4	<i>Klebethorien</i>	7
2.4.5	<i>Einfluss des Holzes auf die Verklebungsgüte</i>	8
2.4.6	<i>Klebrgrundoperationen</i>	8
2.4.7	<i>Beschreibung ausgewählter Klebstoffe</i>	9
2.4.8	<i>Wichtige Gebrauchseigenschaften von Klebstoffen</i>	13
2.4.9	<i>Literatur zu Kapitel 2.4</i>	14
2.5	HOLZSCHUTZ	2
2.5.1	<i>Notwendigkeit von Schutzmaßnahmen für Holz</i>	2
2.5.2	<i>Gefährdung</i>	4
2.5.3	<i>Holzschutzmassnahmen</i>	30
2.5.4	<i>Natürlicher Holzschutz</i>	31
2.5.5	<i>Nachweis und Bekämpfung holzerstörender Pilze und Insekten</i>	54
2.5.6	<i>Literatur zu Kapitel 2.5</i>	59

2.6	HOLZVERGÜTUNG	2
2.6.1	<i>Chemisch</i>	2
2.6.2	<i>Biologisch</i>	4
2.6.3	<i>Physikalisch</i>	5
2.6.4	<i>Mechanisch (Druck)</i>	8
2.6.5	<i>Verformung von Holz</i>	10

1	ÖKOLOGISCHE BEDEUTUNG DES HOLZES	1-2
1.1	HOLZ ALS CO ₂ -SPEICHER.....	1-2
1.2	ÖKOBILANZIERUNG.....	1-4
1.2.1	<i>Entstehung</i>	1-4
1.2.2	<i>Definitionen</i>	1-4
1.2.3	<i>Inhalt</i>	1-5
1.2.3.1	I. Zieldefinition.....	1-5
1.2.3.2	II. Sachbilanz.....	1-7
1.2.3.3	III. Wirkungsabschätzung.....	1-9
1.2.3.4	IV. Interpretation.....	1-9
1.3	GRUNDLAGEN DER HOLZVERWENDUNG.....	1-11
1.4	LITERATUR ZU KAPITEL 1.....	1-14

1 Ökologische Bedeutung des Holzes

1.1 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 1). 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 1: 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.

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.

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.

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 1).

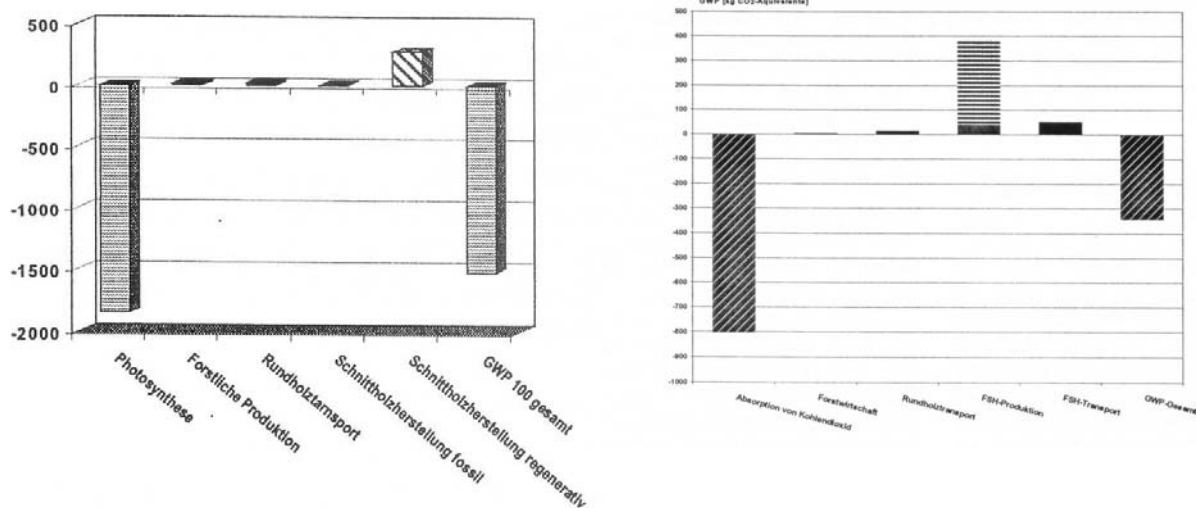


Abbildung 1: CO₂-Bilanzen: Für 1 m³ technisch getrocknetes Fichtenschnittholz (links); Für Kerto-Furnierschichtholz pro m³ Rundholzäquivalent (rechts). Aus Zimmer 2002.

Erläuterungen zu Abbildung 1:

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.

1.2 Ökobilanzierung

1.2.1 Entstehung

Die Ökobilanzierung ist eine junge Bewertungsmethode von Produkten. Durch den Bericht des Club of Rome „Die Grenzen des Wachstums“ wurde 1972 auf die Begrenztheit der natürlichen Ressourcen aufmerksam gemacht. Darauf folgten noch in den 70er Jahren erste Produktbewertungen bezüglich des Energieverbrauchs. Anfang der 80er Jahre entstanden erste Lebenswegbilanzierungen (Verpackung), die dann auf immer weitere Produkte angewendet wurden. Da unterschiedliche Methoden der Ökobilanzierung entwickelt wurden, entstand in den 90er Jahren das Bedürfnis nach einheitlichen Kriterien zur Bewertung und Interpretation von Ökobilanzen. Dies führte zu den ISO-Normen 14040 - 14043.

1.2.2 Definitionen

Ökobilanz nach ISO 14040: „Zusammenstellung und Beurteilung der Input- und Outputflüsse und der potentiellen Umweltwirkungen eines Produktsystems im Verlauf seines Lebenswegs.“

Ökobilanz allgemein (nach Künniger und Richter 2001): „Die Ökobilanz ist ein Instrument zur Ermittlung, Analyse und Bewertung der Umweltbelastungen und Umwelteinwirkungen durch eine funktionelle Einheit. Dabei kann die funktionelle Einheit ein Produkt, Prozess, Betrieb oder auch eine Dienstleistung sein.“

Ökobilanz eines Produktes (nach Frühwald et al. 2002 in Anlehnung an ISO 14040): „In einer Ökobilanz werden die Umweltaspekte und potentiellen Umweltwirkungen im Verlauf des Lebenswegs eines Produktes von der Rohstoffgewinnung, über Produktion, Anwendung bis zur Beseitigung (bzw. Entsorgung) untersucht.“

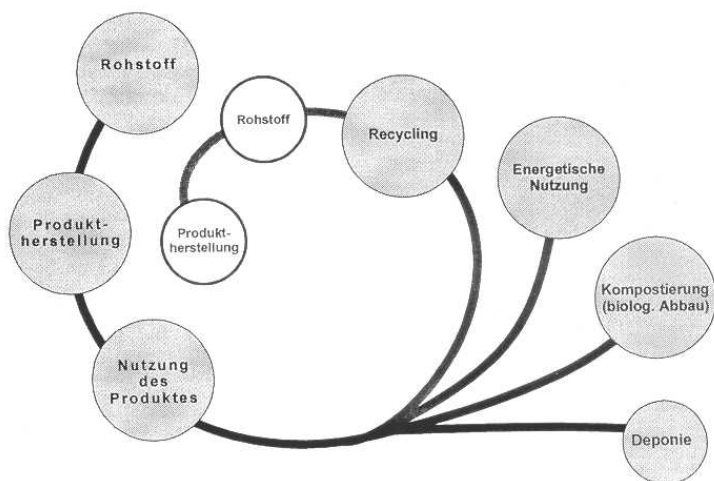


Abbildung 2: Der Lebensweg eines Produktes⁴ (Zimmer 2002).

⁴ Die wesentlichsten Methoden um die Umweltfreundlichkeit von Materialien, Produktionsverfahren und Produkten bestimmen zu können, sind die Material-Intensitäts-Analyse (MAIA) und die produktbezogene Ökobilanzierung. Die Material-Intensitäts-Analyse wurde am Wuppertal-Institut für Klima, Umwelt und Energie

1.2.3 Inhalt

Im folgenden wird die Ökobilanz anhand der ISO5-Normen 14040-140436, die als europäische (EN7) und deutsche Normen (DIN8) übernommen wurden, dargestellt. In den DIN-Normen sind jeweils der deutsche und der englische Text einander gegenübergestellt. Deshalb werden die wichtigsten englischen Ausdrücke nachfolgend jeweils in Klammern beigelegt.

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):

1.2.3.1 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.

entwickelt und orientiert sich nur am Materialinput. Die produktbezogene Ökobilanzierung bewertet dagegen zusätzlich auch alle Outputs (Emissionen). (nach Zimmer 2002)

⁵ ISO: International Organization for Standardization

⁶ DIN EN ISO 14040 – 14043

DIN EN ISO 14040 (August 1997)

Prinzipien und Verfahren (Principles and Framework)

DIN EN ISO 14041 (November 1998) Sachbilanz (Life Cycle Inventory)

DIN EN ISO 14042 (Juli 2000)

Wirkungsabschätzung (Life Cycle Impact Assessment)

DIN EN ISO 14043 (Juli 2000)

Interpretation (Interpretation)

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.

(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. Abbildung 3), 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 Bestandesbe-gründung bis zur Holzernte und Bereitstellung an der Waldstrasse bzw. Lieferung ins Werk. Dieser Abschnitt wird bei der Bilanzierung von Holz- und Holzwerkstoffprodukten meistens pauschal behan-delt. 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 Thoroe 2001).

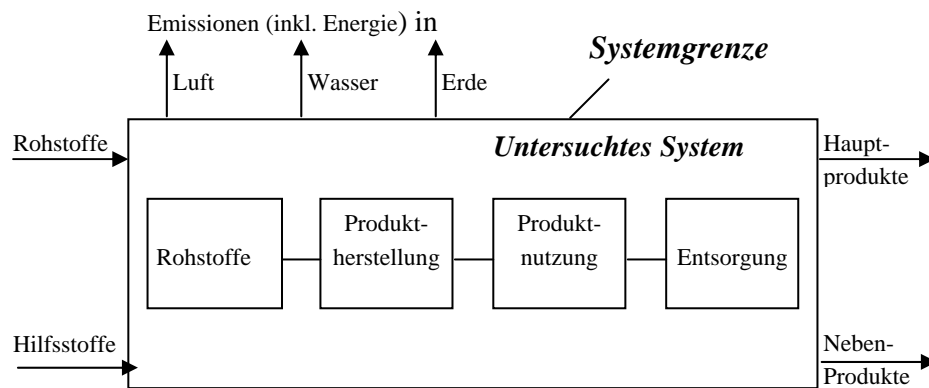


Abbildung 3: Modularer Aufbau einer Ökobilanz (aus Frühwald und Hasch 2002)

1.2.3.2 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 2 die Stoff- und Energieströme bei der Produktion einer Spanplatte.

Tabelle 2: Sachbilanz für die Produktion von Spanplatten für den Trockenbereich (aus Frühwald und Hasch 2002)

INPUT	kg/m3 Span- platten	OUTPUT	kg/m3 Spanplat- ten
Rohstoffe		Produkt	
Industrieholz	95	Spanplatten	642.4
Schwarten und Kappstücke	127	Feuchte	54.4
Hackschnitzel	90.3	Summe	696.9
Späne	236.9		
Spanplattenrecycling	6.4	Nebenprodukte	
Gebrauchtholz (Altholz)	87.8	Schonplatten, Kanthölzer, Leisten	5.1
Sonstiges	17	Schleifstaub (zur Verbrennung)	68.9
Summe Holz (atro)	660.4	Sonstiger ausschuss	8
Summe Wasser (63% Holzfeuchte)	415.8	Summe	82.1
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 Lösungs- mittel	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 aus Brun- nen	78.9	Metall	0.16
Sonstiges Produktionswasser	53.4	Sonstige feste Emissionen:	
Sonstiges:		Verwertbare Kunststoffe	0.05
Markierungsfarbe org. Lösungsmittel	0.002	Verwertbare Papiere/Kartons	0.03
Sonstige Markierungsfarbe	0.011	Summe feste Emissionen	3.0
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

1.2.3.3 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 Versauerung 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).

1.2.3.4 IV. Interpretation

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

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)

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

1.3 Grundlagen der Holzverwendung

Vom gesamten Baum können etwa 60% als Stammholz genutzt werden. Den restlichen Anteil machen Laub oder Nadeln, Äste und Zweige, Rinde sowie der Wurzelstock aus (Abbildung 4).

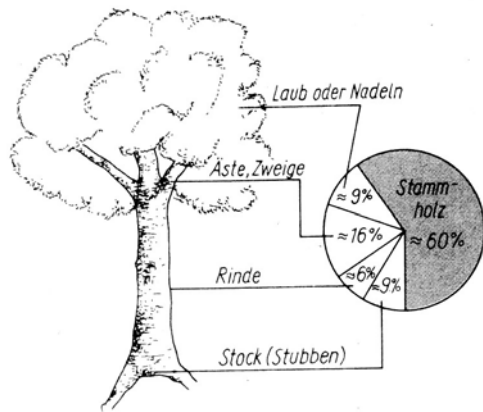


Abbildung 4: Anteil der verschiedenen organischen Substanzen an der Gesamt-Biomasse eines Baumes (Roland 1988).

Jährlich werden weltweit ca. 3.4 Mrd. Fm Holz genutzt¹². Davon wird rund die Hälfte als Brennholz verwendet: In Europa ca. 16 %, in Afrika ca. 85 %.

In der Schweiz betrug der Brennholzanteil an der gesamten Holznutzung im Jahr 1999 21 %. Der Brennholzverbrauch wurde von 1989 - 1999 dank Förderprogrammen des Bundes fast verdoppelt auf ca. 27 % des gesamten Holzverbrauchs. Abbildung 5 gibt einen Überblick über den Holzfluss in der Schweiz mit den Hauptverbrauchssektoren Energie, Bauwesen, Möbel, Verpackung, Papier/Karton, Do-it-yourself und übrige Holzwaren.

Das Holz kann gemäss seiner Verarbeitung folgendermassen unterteilt werden (in Anlehnung an Grammel 1989):

- Verwendung in roher oder mechanisch nur wenig veränderter Form:
 - Stangen, Stützen, Rammpfähle, Grubenstempel, Masten
- Verwendung nach mechanischer Verformung:
 - Schnittholz, Furniere, Holzwaren aller Art (Zündhölzer, Spankörbe, Holzwohle)
- Verwendung nach weitgehender mechanischer Verformung und Aufbau eines neuen Gefüges:
 - Sperrholz, Spanplatten, Faserplatten, OSB, etc.
- Verwendung nach Auflösung des gewachsenen Fasergefüges
 - Holzschliff, Zellstoff → Papier, Karton
- Verwendung nach Zerlegung des Holzes in seine chemischen Grundbausteine durch Erwärmung
 - Holz als Energiestoff, hydrolytische Erzeugnisse → s. unter 1.4.
- Verwendung von Holznebenprodukten:
 - Rinde, Gerbstoffe, Harze (inkl. Terpentin- und Tallöl) → s. Kapitel 4

¹² Gemäss FAO Statistik 1999

Dabei können folgende Stufen der Holzverarbeitung unterschieden werden (nach Roland 1988; s. auch Tabelle 3):

- Rohholzgewinnung (inkl. Rohholzaufbereitung, Sortimentsbereitstellung, Lagerung)
- Primäre Holzverwendung = Halbfabrikate (Verarbeitung zu Schnittholz, Lagenholz, Span- und Faserplatten, Zellstoff, Holzschliff)
- Sekundäre Holzverwendung = Endprodukte (Weiterverarbeitung zu Möbeln, Bauelementen, Holzwaren, Spielwaren, Musikinstrumenten, Papier, Karton, Chemieprodukten etc.)
- Verbrauch der Erzeugnisse

Tabelle 3: Wichtige Arten der Holzverwendung (nach Schuster in Roland 1988)

	Primäre Holzverwendung	Sekundäre Holzverwendung
Sägeholz	Schnittholz	Möbel Fenster, Türen Bauelemente Fahrzeug- und Schiffbau Holzgeräte, Holzwaren Schwellen, Leisten
Furnierholz	Furniere, Lagenholz	Möbel Inneneinbau, Ladenmöbel Formteile Verpackungen Schalungen
Plattenholz	Span- und Faserplatten	Möbel Inneneinbau Dämmelemente Fahrzeug- und Schiffbau Verpackungen
Chemie- und Faserholz	Zellstoff und Holzschliff	Papier, Karton Zellwolle, Kunstseide Verbandzellstoff Vulkanfiber Pharmazeutische und andere Chemierzeugnisse
Schichtholz	Holzwohle, Späne	Leichtbauplatten Spanplatten Verpackungshilfsmaterial Sonstige Holzverwertung
Langholz, Pfähle, Stangen		Grubenholz, Masten Erd- und Brückenbau Bauwesen (Gerüste usw.) Landwirtschaftliches Bauwesen Zäune
Meilerholz		Holzkohle

in 1'000 m³ feste Holzmasse
en 1'000 m³ de bois compact

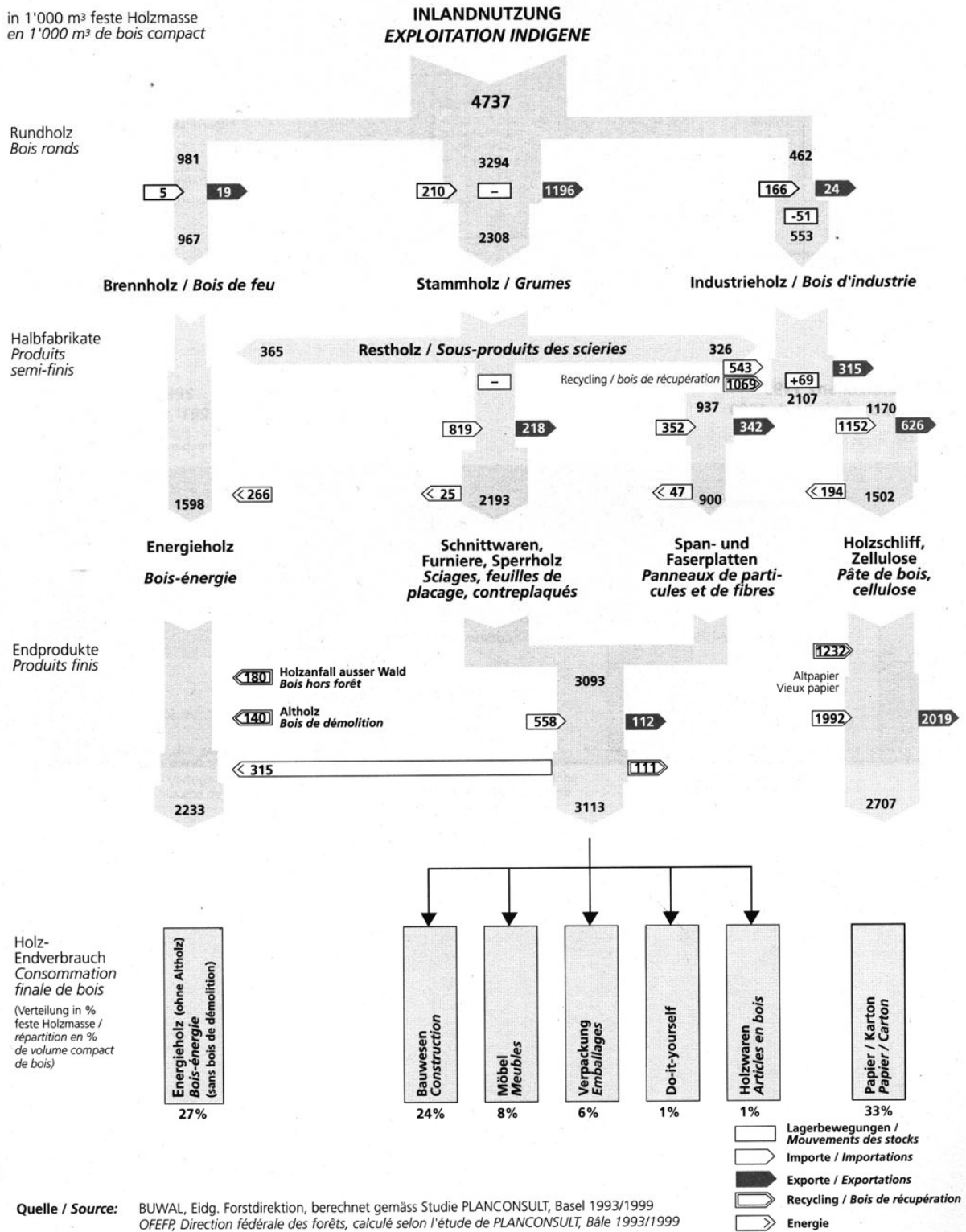


Abbildung 5: Übersicht über den Holzfluss in der Schweiz 1999 (Bundesamt für Statistik und BUWAL 2000).

1.4. Literatur zu Kapitel 1

- 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 Holzfaserverplatten. 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.
- Künniger, 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: Verbraucherministerium.de/forschungsreport/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 Thoroé, C., (2004):** Vergleichende Ökobilanzierung der Rundholzproduktion in verschiedenen Forstbetrieben. Mitteilungen der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holz-wirtschaft 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/>

ISO-Normen

Club of Rome

Energieportal der Schweiz

<http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.html>
www.admin.ch/ch/d/sr/c641_71.html
www.fowi.ethz.ch/piw

Kyoto-Protokoll
CO₂-Gesetz der Schweiz
Informationen zu Life cycle analysis

2	GRUNDPROZESSE DER HOLZBE- UND VERARBEITUNG	2-2
2.1	TRENNEN.....	2-2
2.1.1	<i>Schnittarten</i>	2-2
2.1.2	<i>Geometrie am Schneidkeil</i>	2-4
2.1.3	<i>Grundbegriffe des Zerspanens</i>	2-5
2.1.3.1	Schnittgeschwindigkeit.....	2-5
2.1.3.2	Vorschubgeschwindigkeit	2-5
2.1.3.3	Eingriffsgrösse.....	2-5
2.1.3.4	Zahnvorschub	2-5
2.1.3.5	Schnittgüte.....	2-5
2.1.3.6	Spanungskräfte	2-6
2.1.3.7	Schneidwerkstoffe	2-7
2.1.3.8	Schneidenverschleiss.....	2-7
2.1.4	<i>Systematik von Trennvorgängen</i>	2-8
2.1.4.1	Teilen.....	2-9
2.1.4.2	Spanen	2-10
2.1.4.3	Sägen.....	2-10
2.1.4.4	Fräsen	2-11
2.1.4.5	Bohren	2-12
2.1.4.6	Schleifen.....	2-12
2.1.5	<i>Übersicht zu Maschinen der Holzindustrie</i>	2-14
2.2	HOLZTROCKNUNG	2-16
2.2.1	<i>Grundlagen</i>	2-16
2.2.2	<i>Qualitätskontrolle bei der Holztrocknung</i>	2-21
2.2.3	<i>Methoden der Holztrocknung</i>	2-24
2.2.3.1	Allgemeine Grundlagen.....	2-24
2.2.3.2	Freilufttrocknung.....	2-25
2.2.3.3	Verdunstungstrocknung.....	2-26
2.2.3.4	Verdampfungstrockner (Hochtemperaturtrocknung).....	2-27
2.2.3.5	Vakuumtrocknung	2-28
2.2.3.6	Sonstige Trocknungsverfahren	2-29
2.3	DÄMPFEN	2-30
2.3.1	<i>Zweck</i>	2-30
2.3.2	<i>Ablauf</i>	2-30
2.3.3	<i>Dampfverbrauch</i>	2-32
2.3.4	<i>Dämpfzeiten</i>	2-32
2.3.5	<i>Kochen</i>	2-32
2.3.6	<i>Literatur zu Kapitel 2.1 bis 2.3</i>	2-33

2 Grundprozesse der Holzbe- und Verarbeitung

2.1 Trennen

2.1.1 Schnittarten

Abbildung 2.1 zeigt die Schnittarten für verschiedene Materialien.

Bei Vollholz und Lagenholz:

- A: Schnittfläche senkrecht zur Faser; Schnittrichtung praktisch ohne Bedeutung; grosser Energiebedarf; rauhe Schnittfläche.
- B: Schnittfläche parallel zur Faser; Schnittrichtung parallel zur Faser, entspricht Längsschnitt; Energiebedarf gering; glatte Schnittfläche.
- C: Schnittfläche parallel zur Faser; Schnittrichtung senkrecht zum Faserverlauf, entspricht Querschnitt; Energiebedarf geringer als bei B; rauhere Oberfläche.

Praktisch kommen meist Mischungen zwischen A und B vor.

Man unterscheidet Schneiden mit und gegen die Faser (Abbildung 2.2 und Abbildung 2.3).

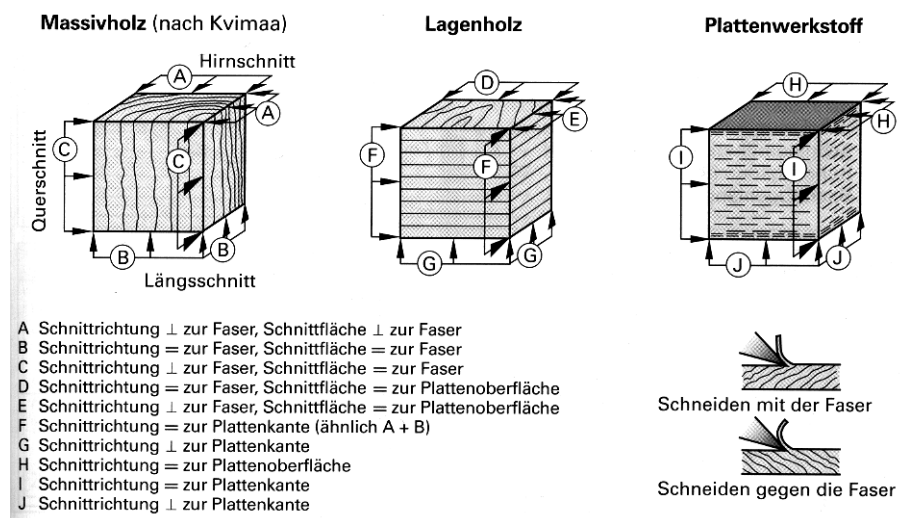


Abbildung 2.1: Schnittarten

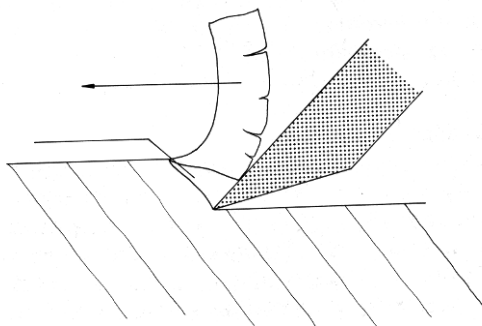


Abbildung 2.2: Schneiden mit der Faser

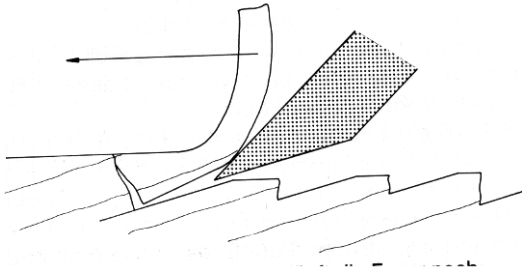


Abbildung 2.3: Schneiden gegen die Faser

Das Vorspalten beim Schneiden gegen die Faser kann durch Gegendruck vermindert werden. Abbildung 2.4 zeigt ein Beispiel an Hand des Schälvorganges.

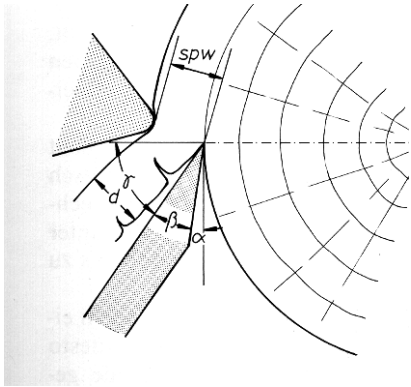


Abbildung 2.4: Schälen von Holz, Druckleiste zum Verhindern des Vorspaltens

Bei Span- und Faserplatten entspricht:

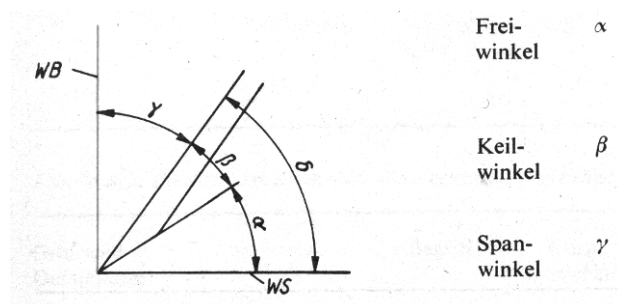
- A: Schnittfläche senkrecht zur Plattenbreitfläche
- B: Schnittfläche parallel zur Plattenbreitfläche

2.1.2 Geometrie am Schneidkeil

Tabelle 2.1 zeigt wichtige Begriffe für das Trennen des Holzes.

Tabelle 2.1: Begriffe für die Holztrennung

Begriff	Erläuterung
Schnittfläche	Am Werkstück von einer Schneide momentan erzeugte Fläche, Hauptschneiden erzeugen Hauptschnittflächen, Nebenschneiden Nebenschnittflächen
Wirkliche Oberfläche	Summe der am Werkstück verbliebenen Schnittflächenteile
Schneidkeil	Teil des Werkzeuges, an dem der Span durch die Relativbewegung zwischen Werkzeug und Werkstück entsteht
Werkzeugschaft	Teil des Werkzeuges, an dem sich der Schneidkeil befindet und der zum Befestigen des Werkzeuges in der Werkzeugaufnahme dient
Freifläche	Fläche am Schneidkeil, die der entstehenden Schnittfläche zugekehrt ist. An Hauptfreiflächen befinden sich die Hauptschneiden, an Nebenfreesflächen die Nebenschneiden
Spanfläche	Fläche am Schneidkeil, auf der der Span abläuft
Hauptschneide	Schnittlinie zwischen Frei- und Spanfläche, deren Schneidkeil bei Betrachtung in der Arbeitsebene in Vorschubrichtung weist
Nebenschneide	Schnittlinie zwischen Freifläche und Spanfläche, deren Schneidkeil bei Betrachtung in der Arbeitsebene nicht in Vorschubrichtung weist
Schneidenecke	Ecke, an der eine Haupt- und eine Nebenschneide mit gemeinsamer Spanfläche zusammentreffen. Sie kann gerundet oder gefast sein



$\alpha + \beta =$ Schnittwinkel

Abbildung 2.5: Schneidengeometrie

Die Schneidengeometrie entscheidet über die Schnittkraft bzw. Antriebsleistung und die erzielbare Oberflächenqualität. Der Freiwinkel liegt im Allgemeinen bei 1 bis 20° (Sonderfall Furnierschalen dort -1°, der Keilwinkel zwischen 25-60°, der Schnittwinkel zwischen 25-80°).

2.1.3 Grundbegriffe des Zerspanens

Folgende wichtige Begriffe gelten:

2.1.3.1 Schnittgeschwindigkeit

Geschwindigkeit, mit der die Schneide eines Werkzeuges spanende Bewegungen im Werkstück ausführt.

Es gilt für rotierende Werkzeuge: $V = \pi * d * n$

Dabei sind:

- n: Drehzahl
- v: Schnittgeschwindigkeit
- d: Durchmesser des Flugkreises des Werkzeuges

2.1.3.2 Vorschubgeschwindigkeit

$$u = s_z * z_w * n$$

dabei sind:

- s_z : Zahnvorschub
- z_w : wirksame Schneidenzahl

2.1.3.3 Eingriffsgrösse

Die Eingriffsgrösse e ist die Grösse des Eingriffes der Schneide je Hub oder Umdrehung.

2.1.3.4 Zahnvorschub

$$s_z = \frac{D * \pi * n}{1000 * 60}$$

- D: Werkzeugdurchmesser
- n: Drehzahl

2.1.3.5 Schnittgüte

Die Schnittgüte wird durch die Welligkeit, Rauigkeit und Kantenausbrüche bestimmt. Zusätzlich können Formabweichungen durch Schwingungen des Werkstückes infolge ungleichmässiger und unzureichender Führung oder durch Durchbiegen entstehen. Die Welligkeit macht sich speziell auf der Arbeitsfläche bemerkbar und entsteht beim Umfangsfräsen. Sie wird durch die Messerschlagtiefe oder die Messerschlaglänge bestimmt. Messerschlagtiefe und Länge sind voneinander abhängig.

Abbildung 2.6 zeigt schematisch die Entstehung der Welligkeit beim Fräsen.

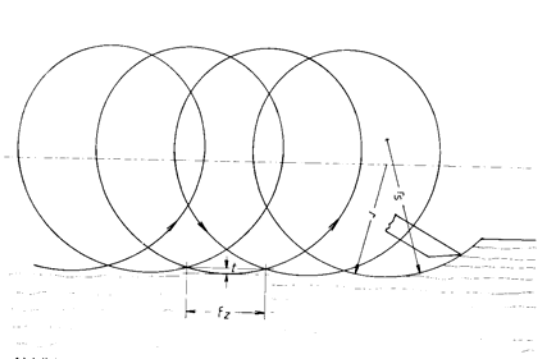


Abbildung 2.6: Entstehung der Welligkeit beim Fräsen von Holz

Theoretisch müsste die Messerschlaglänge genauso gross sein wie der Zahnvorschub. Praktisch ist aber zu beachten, dass niemals alle Schneiden auf dem gleichen Flugkreis liegen. Es ist daher zweckmässiger, mit weniger Schneiden aber höheren Drehzahlen zu arbeiten. Die Messerschlaglänge kann als Kenngrösse der Oberflächenqualität verwendet werden.

Die Messerschlagtiefe t berechnet sich für das Umfangsfräsen wie folgt aus der Messerschlaglänge:

$$t = \frac{d}{2} - \frac{1}{2} * \sqrt{(d^2 - s_M^2)}$$

$$s_M = 2\sqrt{t(d-t)}$$

- t: Messerschlagtiefe
- s_M: Messerschlaglänge
- d: Flugkreisdurchmesser

Für das Umfangsfräsen gelten folgende Ansprüche:

Tabelle 2.2: Schnittgüte in Abhängigkeit von der Messerschlagtiefe

Ansprüche	Messerschlagtiefe in μm	Gefordert bei
hoch	0,03 bis 0,3	Sichtbaren Möbelteilen, die nicht nachgeschliffen werden
mittel	0,3 bis 1,2	Profilfräsungen bei Möbelteilen, die nachgeschliffen werden
gering	1,2- 10	Konstruktionsfräsungen wie Nut und Feder

2.1.3.6 Spanungskräfte

Die Kraft an der Schneide, resultierende Schnittkraft genannt, umfasst die Trenn-, Verformungs- und Reibungskraft.

Folgende Schnittkräfte gelten bei Spandicken von 0,1-0,2 mm.

Sägen: $K_S = 30-70 \text{ N/mm}^2$

Fräsen: $K_S = 10-120 \text{ N/mm}^2$

Bohren: $K_S = 40-100 \text{ N/mm}^2$

2.1.3.7 Schneidwerkstoffe

Tabelle 2.3 zeigt eine Übersicht zu wesentlichen Schneidstoffen für Holz und Holzwerkstoffe. Für Holzwerkstoffe (Spanplatten, MDF) wird überwiegend Hartmetall, teilweise auch polykristalliner Diamant eingesetzt.

Tabelle 2.3: Schneidstoffe für Holz und Holzwerkstoffe

Schneidstoffe			
Kurzzeichen	Werkstoff	Verwendung	Eigenschaften
WS	Werkzeugstahl, unlegiert	ohne Bedeutung	+ groß + elastisch + Härte - gering + spröde - Verschleiß
SP	Werkzeugstahl, < 5% Legierungsanteil	Stecheisen, Hobeisen, Bandsägen, Holzbohrer	
HL SS	Schnellarbeitsstahl, < 12% Legierungsanteil	Holzbohrer, Metallbohrer	
HS HSS	hochlegierter Schnellarbeitsstahl, > 12% Legierungsanteil	Holzbohrer, Metallbohrer, Schneiden für Fräser, Streifenhobelmesser	
ST	Stellit, geschmolzene Legierung ohne Stahlanteile	Streifenhobelmesser, Bestückung für Fräser und Bandsägen	
HW	Hartmetall, Sintermetall ohne Stahlanteile, in der Praxis übliche Zerspanungsgruppe K 05 ... K 20	Bestückung für Kreissägen, Fräser, Bandsägen, Bohrer	
DP	Polykristalliner Diamant mittlere Korngröße 2 µm ... 25 µm	Bestückung für Kreissägen, Fräser, Bohrer	

2.1.3.8 Schneidenverschleiß

Unter Schneidenverschleiß verstehen wir das allmähliche Abtragen von Schneidstoff während der Bearbeitung.

Es wird verursacht durch:

- Mechanischen Abrieb (Ausbrechen von Gefügeteilchen)
- Kraterbildung und Verbrennung durch Funkenüberschlag bei hoher elektrostatischer Aufladung (Reibungselektrizität)
- Korrosion durch im Material vorhandene Säuren

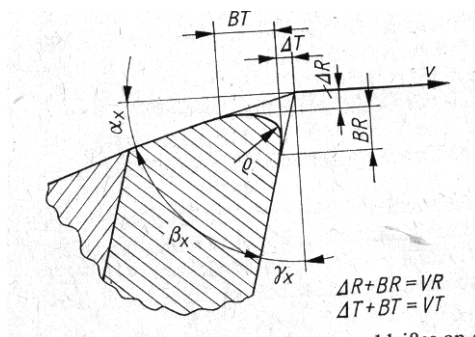
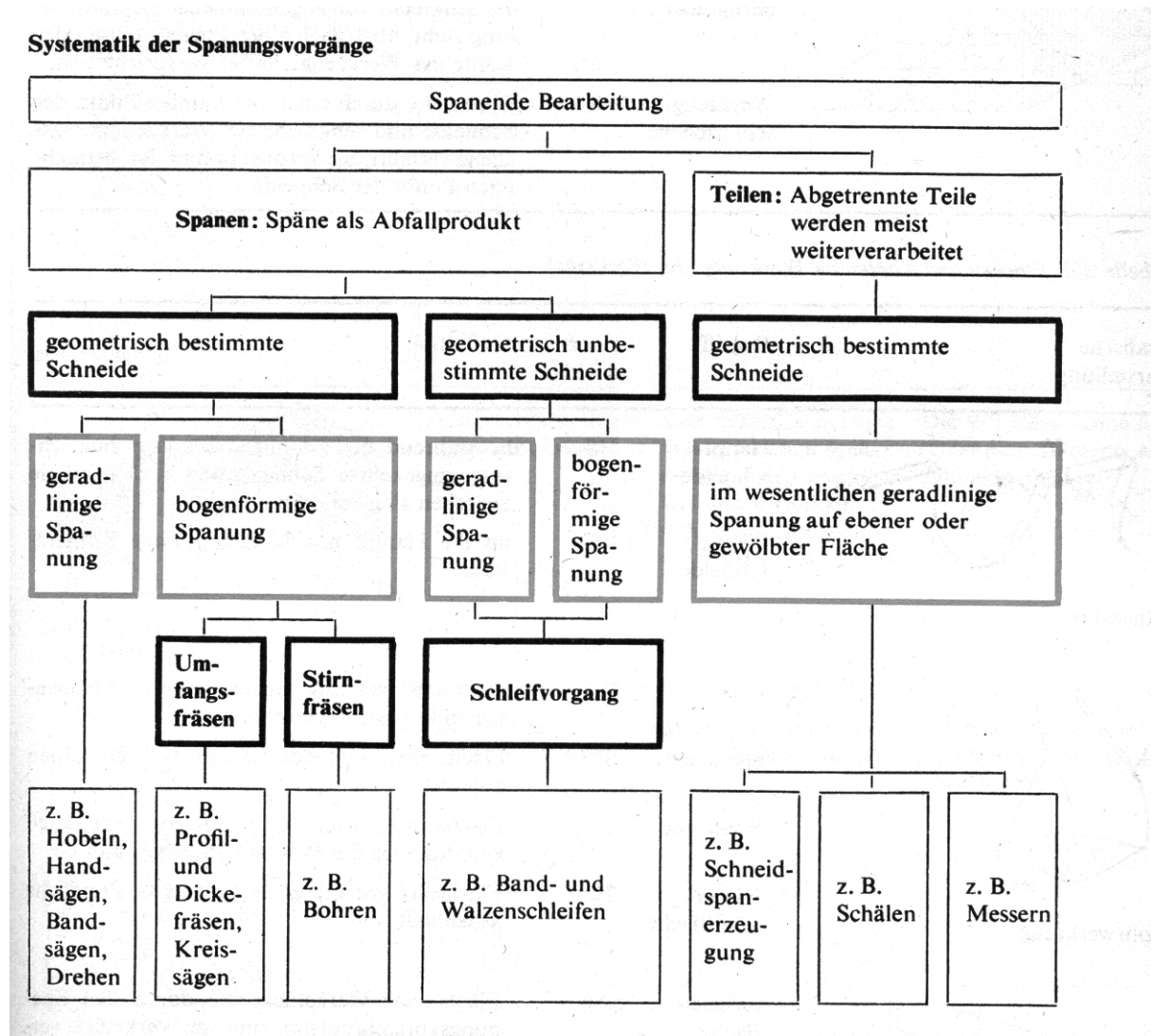


Abbildung 2.7: Verschleiß an einer Schneide

2.1.4 Systematik von Trennvorgängen

Tabelle 2.4 zeigt eine Systematik wichtiger Trennvorgänge.

Tabelle 2.4: Systematik von Trennvorgängen



2.1.4.1 Teilen

Schneiden (z.B. Furnierpaket Schneiden)

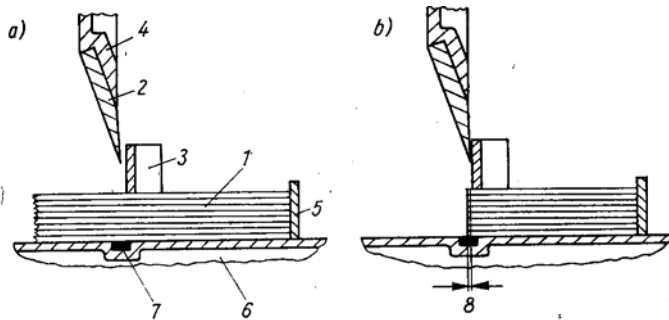


Abbildung 2.8: Schneiden

1-Furnierpaket, 2- Messer, 3-Druckbalken, 4-Messerbalken, 5 Anschlag, 6-Maschinentisch

Scheren (Aufteilen von Furnierbändern)

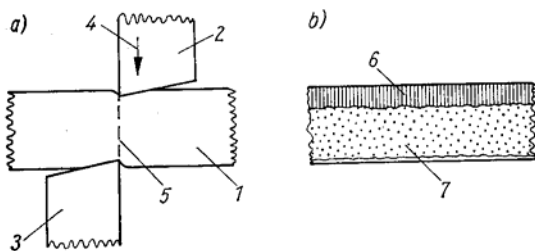


Abbildung 2.9: Prinzip des Scherens

1-Werkstück, 2-Obermesser, 3-Untermesser, 4-Arbeitsrichtung Obermesser, 5-Trennschnitt, 6-durch schneidendes Eindringen des Messers entstandener Trennflächenteil, 7- durch Überwinden der Scherfestigkeit entstandener Teil

Stanzen (Austausflicken, Herstellung von Lammello-Verbindungen)

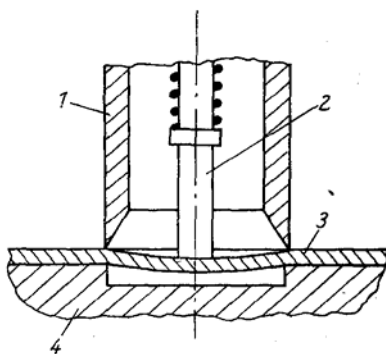


Abbildung 2.10: Stanzen

1-Schnittstempel, 2-federbelasteter Vordruckstempel, 3-Spanplatte

Vibrationsschneiden

2.1.4.2 Spanen

Folgende Verfahren sind üblich:

2.1.4.3 Sägen

Hierunter zählen Bandsägen, Kreissägen, Kettensägen.
Abbildung 2.11 zeigt typische Sägen.

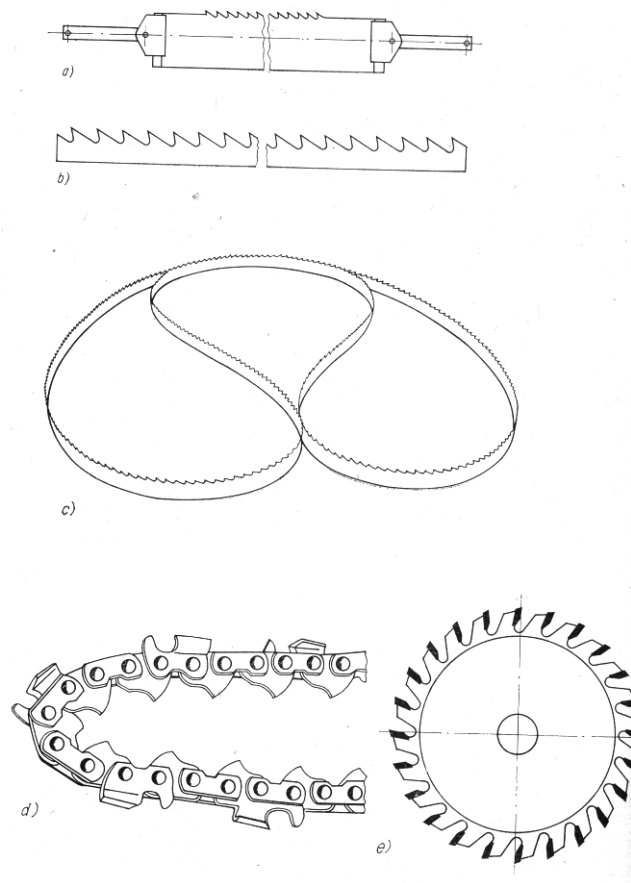


Abbildung 2.11: Sägeblätter: a) Gattersäge, b) Dekupiersäge, c) Bandsäge, d) Kettensäge, e) Kreissäge

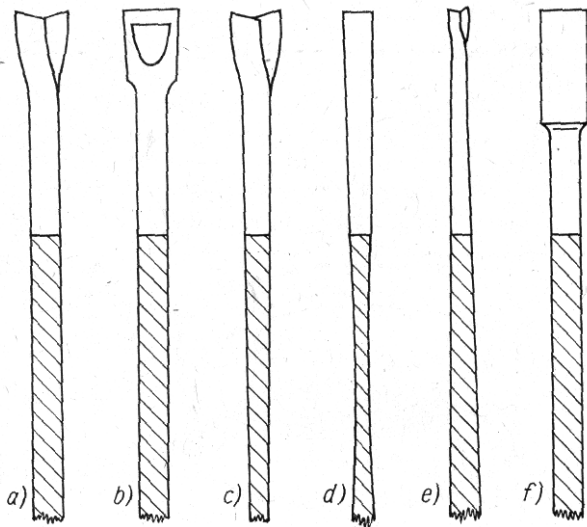


Abbildung 2.12: Kreissägeblätter

a) mit Schrank, b) mit Stauchung, c) konisch, d) Hobelkreissägeblatt, e) Spaltkreissägeblatt, f) bestücktes Sägeblatt

2.1.4.4 Fräsen

Abbildung 2.13 zeigt einen Fräser. Folgende wesentliche Maschinengruppen zählen zum Fräsen:

Abbrichtfräsen, Dickenfräsmaschinen, Unterfräsmaschinen, Mehrseitenfräsmaschinen, Oberfräsmaschinen.

Das Fräsen ist neben dem Sägen das gebräuchlichste Bearbeitungsverfahren.

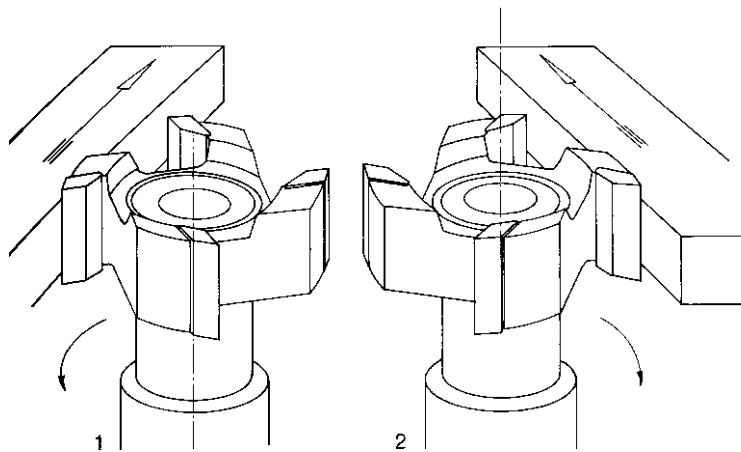
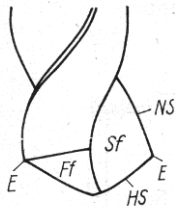


Abbildung 2.13: Fräsen

2.1.4.5 Bohren



Bohrwerkzeug

Abbildung 2.14: Bohrer

2.1.4.6 Schleifen

Tabelle 2.7 zeigt wichtige Parameter von Schleifmitteln.

Tabelle 2.5: Körnungen für Schleifmittel

Körnung und Einsatzgebiete																
Körnung	sehr grob			mittel				fein			sehr fein			extra fein		
	16	24	36	40	50	60	80	100	120	150	180	220	240	280	320	360
Einsatz	Fußbodenschliff, Sonderarbeiten			Vorschleifen gehobelter und furnierter Flächen							Schleifen von Kunststoff, Lack und Spachtel					
	Entfernen alter Überzüge			Maschineller Vorschliff				Fertigschliff von Hand								
	Aufrauhern der Rückseite von HPL							Fertigschliff, maschinell								
														Lackfertigschliff von Hand und maschinell		

Tabelle 2.6: Anwendung von Schleifmitteln

Anwendung	Anwendung, Schleifmittelform und Kornbereich							
	Breitband	Kantenband Hülse	Langband	Profilband	Handschleifband	Streifen	Scheiben Bürsten	Bogen Rollen
Kornbereich								
Vorarbeiten								
Calibrieren von Massivholz/MDF Spanplatten	P80							
Calibrieren von Imleimern	P60 und P80							
Kanten bündig schleifen			P60 ... P80		P60 ... P100			
Kanten schleifen		P60 ... P120	P80 ... P120		P80 ... P120	P80 ... P150		P100 ... P150
Profile und Konturen schleifen				P100 ... P120				P80 ... P120
Strukturieren Restaurieren							K46 ... K120	
Feinschleifen								
flächen Massivholz/Furnier	P120 ... P220		P120 ... P220		P100 ... P150	P120 ... P180		P120 ... P180
MDF/ Spanplatten	P120 ... P180		P120 ... P180					
harzhaltiges Holz	P120 ... P180		P120 ... P180					
Konturen und Profile		P120		P120 ... P180				
Schleifen von Grundierungen/ nach Wassern						P120 ... P180	P150 ... P180	P120 ... P180 K120 ... K180
Lackfeinschliff								
flächenwischenschliff	P220 ... P500		P220 ... P500			P220 ... P320	P220 ... P400	P220 ... P400

Tabelle 2.7: Schleifmittel und deren Parameter

Schleifpapiere und Schleifgewebe werden zum Schleifen von Holz, Holzwerkstoffen, Lacken, Kunststoffen und Metalloberflächen benutzt. Zum Schleifen von Werkzeugen dienen Schleifscheiben und Abziehsteine.

Aufbau von Schleifpapieren und Geweben		
	1	Schleifkorn
	2	Deckbinder
	3	Grundbinder
	4	Unterlage

Schleifkornwerkstoffe			
	Werkstoff	Härte nach Mohs	Typischer Einsatz
natürlich	Granat (Ruby)	7 ... 7,5	Weiches Holz Handschliff
	Schmirgel	7,5 ... 8	Feinschliff, Buntmetalle
synthetisch	Schwarzer Korund	ca. 7	Weichholzschliff grobe Körnung
	Braunkorund	8 ... 9	Weiche Holzarten Metalle
	Halbedel-Korund (Rosa)	9,2	Maschinenschliff auch bei harten Hölzern, Metalle
	Elektrokorund (Weiß-)	9,3	Maschinenschliff bei harten Hölzern Kunststoffe, Metalle
	Siliziumkarbid	9,6	Spanplatten, MDF Glas, Stein, Metalle, hochbeanspruchte Schleifbänder
	Bornitrid		Hochlegierte Stähle
	Diamant	10	Hartmetall

Unterlagen	
Material	Einsatz
A-Papiere	Fein- und Handschliff, trocken
B-Papiere	Hand- und Rutscherschliff, trocken Bandschleifmaschinen
C-Papiere	wie B, Feinschliff, Schleifscheiben (kleiner Durchmesser), Nassschliff
D-Papiere	wie C, Maschinenschliff mit flexiblen Bändern
E-Papiere	Maschinenschliff mit hoher Anforderung
J-Gewebe	Kanten- und Profilschliff, Leistungsschliff
J-Flex-Gewebe	Profilschliff, mehrfache Flexung
X-Gewebe	Fußbodenschleifmaschinen
XS-Gewebe	Maschinenschliff, hohe Leistung
Y-Gewebe	Hochleistungsschliff
I-Flex-Fiber	Profilschliff, hohe Standzeit
I-Fiber; X-Fiber	Schleifen von Spanplatten
Kombinationen	Breitband- und Zylinderschleifmaschinen

Bindungswerkstoffe		
Grundbinder	Hautleim, Kunstharz	
Deckbinder	Hautleime, Kunstharz, Füllstoffe	
Eigenschaften und Anwendung der Binder		
Art	Eigenschaft	Anwendung
Hautleim	trockenfest	weicher Schliff bei mäßiger Anwendung, niedrige Temperatur- beständigkeit
Hautleim + Kunstharz	feuchtfest	normale Temperatur- beständigkeit und Anforderung
Kunstharz	wasserfest	hohe Schleifleistung und Temperaturbestän- digkeit, harter Schliff

Streuung	
geschlossen	
cl	Schleifkörner ohne Abstand auf der Unterlage höhere Abtragsleistung für harte und kurzspanende Werk- stoffe
offen	
op	bis zu 60% der Unterlage sind be- streut, weiche Hölzer, Farben und Lacke Aluminium grobe Schleifarbeiten
halboffen 1/2 op	Erwärmung und Zusetzen geringer

Korngröße			
Die Korngröße wird mit einer Nummer bezeichnet. Bei Körnungen aus Siliziumkarbid und Elektrokorund auf Unterlagen mit ganz bestimmter Korngrößenverteilung (FEPA-Standard) wird ein P vorgesetzt.			
Die Kornnummer entspricht der Anzahl der Sieböffnungen pro Zoll (25,4 mm) Länge einer Siebseite.			
Körnungen ab P240 werden durch Sedimentation (Absinken in Alkohol gefülltem Fallrohr) festgelegt.			
Makrokörnung		Mikrokörnung	
Kornnummer	Korngröße (µm)	Kornnummer	Korngröße (µm)
12	1760	240	58,5
bis	bis	bis	bis
220	65	2500	8,5

2.1.5 Übersicht zu Maschinen der Holzindustrie

Abbildung 2.115 zeigt eine Einteilung der Maschinen in der Holzindustrie.

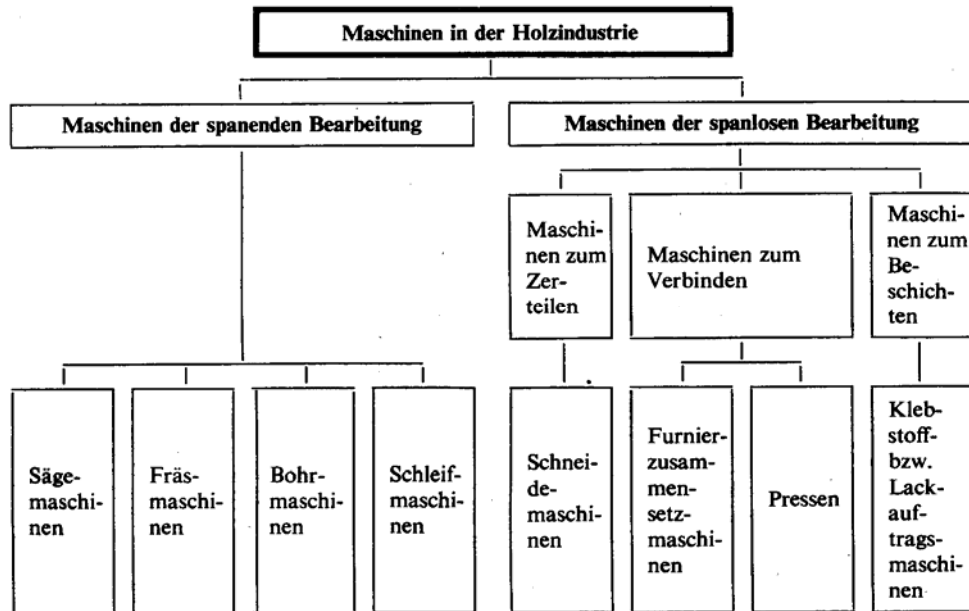


Abbildung 2.115: Einteilung von Maschinen der Holzindustrie

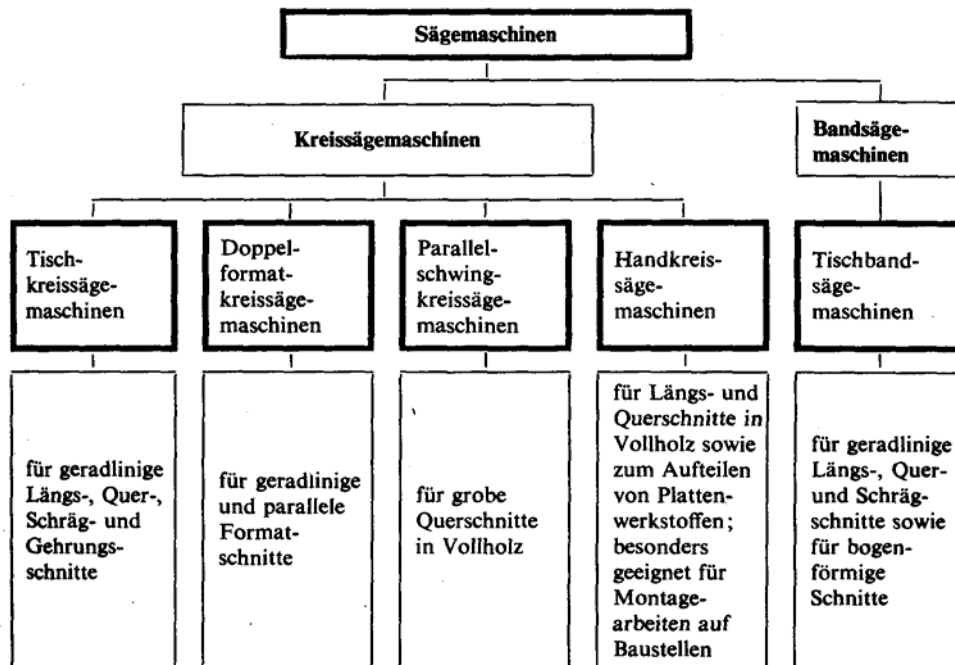


Abbildung 2.16: Sägemaschinen

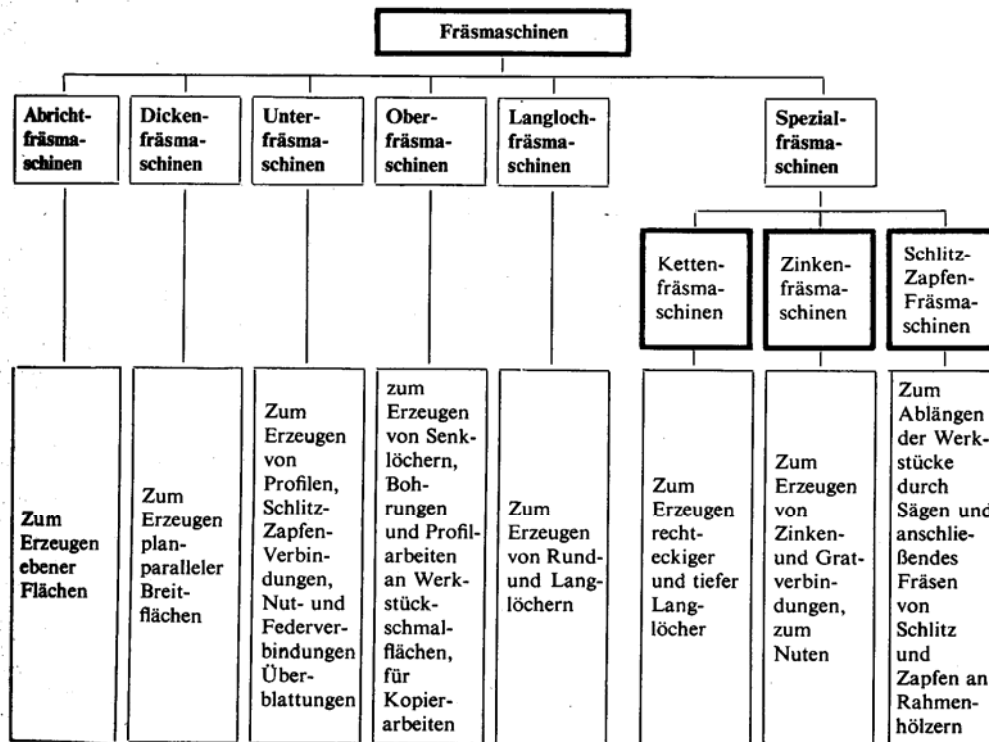


Abbildung 2.12: Fräsmaschinen

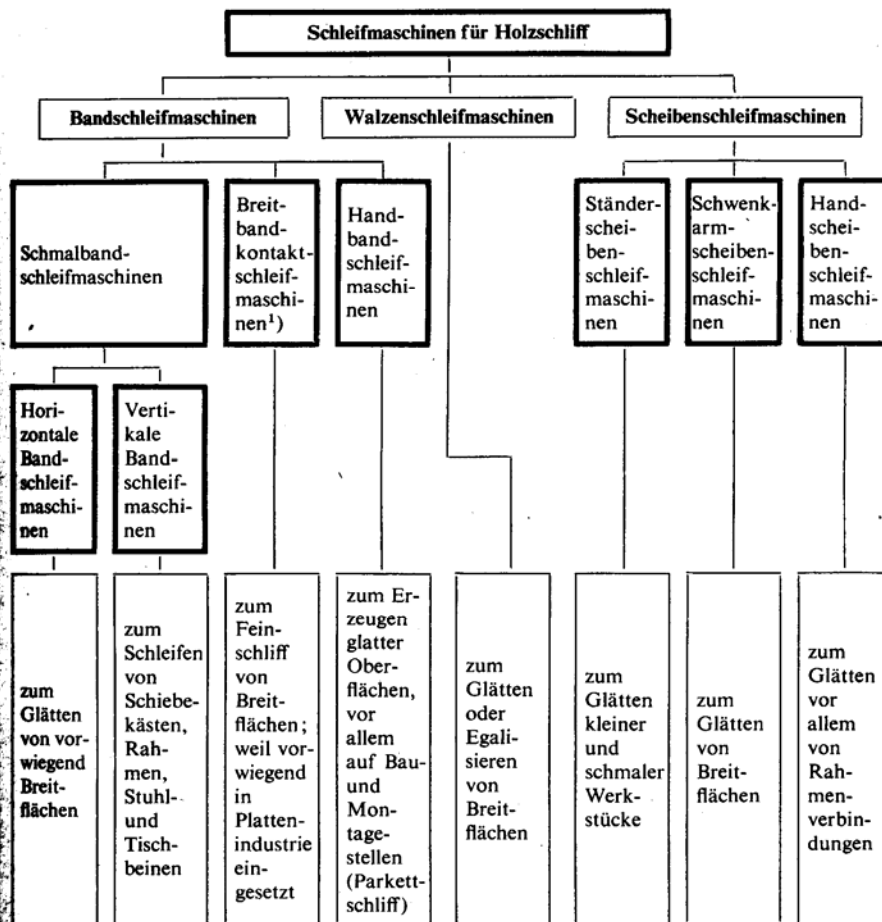


Abbildung 2.18: Schleifmaschinen

2.2 Holztrocknung

2.2.1 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 2.19 und Abbildung 2.20). 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.

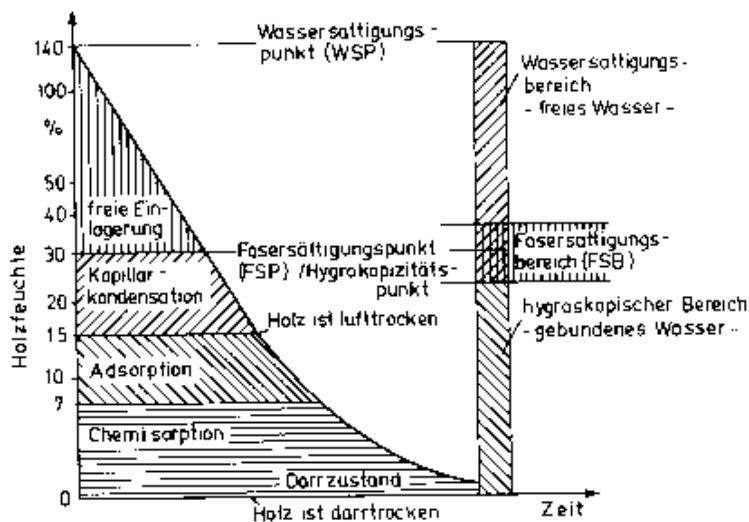


Abbildung 2.19: Sorptionsverhalten des Holzes

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

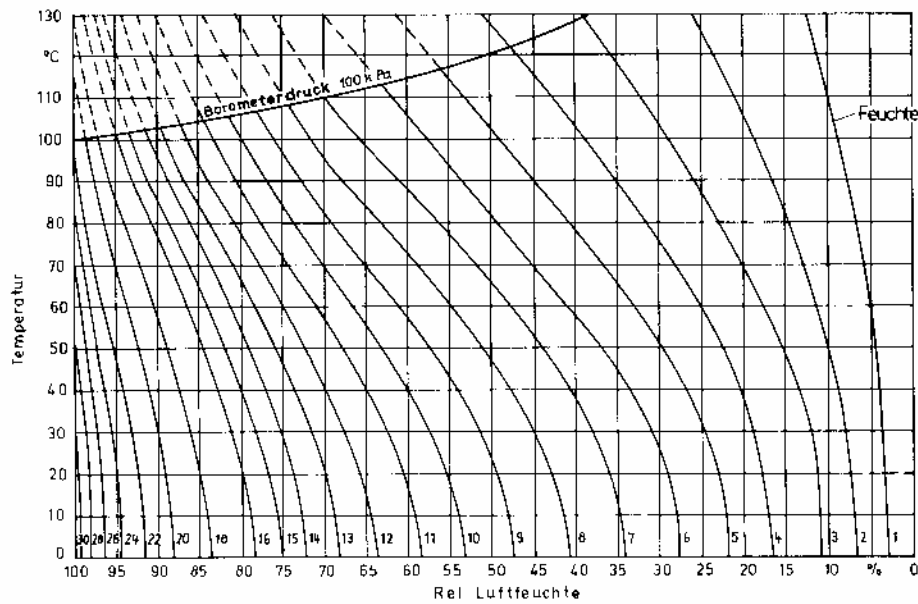


Abbildung 2.20: Gleichgewichtsfeuchte von Fichte als Funktion der Temperatur und der rel. Luftfeuchte

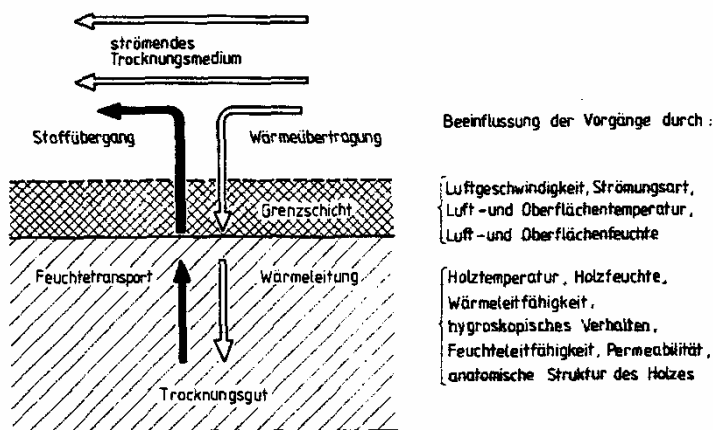


Abbildung 2.21: Schema der Vorgänge während der Holz Trocknung:

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 2.22). 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.

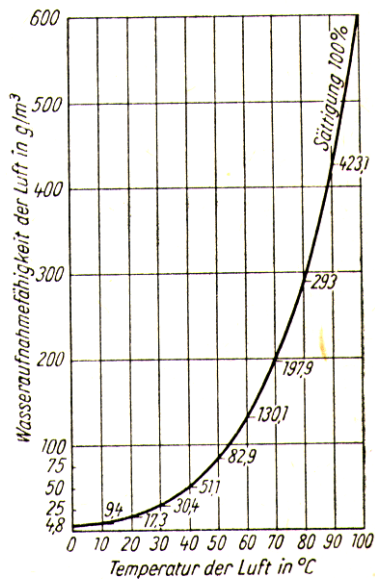


Abbildung 2.22: Abhängigkeit der Wasserdampfsättigungsmenge von der Lufttemperatur nach Janik

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.

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, umso schneller trocknet Holz, um so eher entstehen Schäden.

Tabelle 2. 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 2.23 zeigt den schematischen Ablauf der Holz Trocknung.

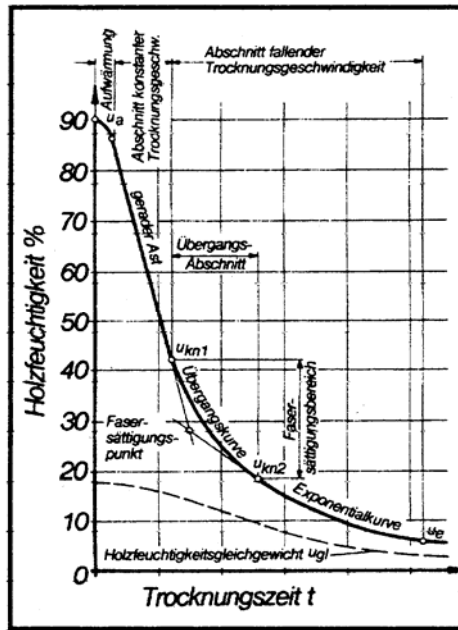


Abbildung 2.23: Schematischer Ablauf der Holz Trocknung

Tabelle 2.8: 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
	<div style="text-align: center;"> europ. - am. Nadelholz 250 Fichte 800 $r_0 \text{ kg/m}^3$ </div>								
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					
	<div style="text-align: center;"> europ. - am. Laubholz 400 Buche Eiche 900 $r_0 \text{ kg/m}^3$ </div>								
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		
	<div style="text-align: center;"> Exoten leichte, weisse $r_0 \text{ kg/m}^3$ 300 Sipo Meranti schwere, rote 1200 </div>								
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 2.9: Werte für Alpha, das Trocknungsgefälle sowie die Trocknungstemperatur für verschiedene Holzarten

Holzart	teta (°C)						TG			alphaT
	u>uFS			u<uFS			u<uFS			
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
Erl	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

2.2.2 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 Laubböhlzern auf

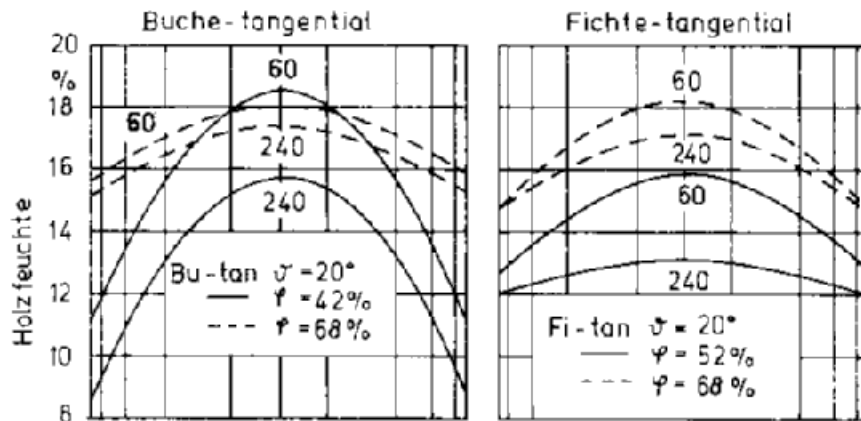


Abbildung 2.24: Feuchtegefälle über der Holzdicke bei der Trocknung in Abhängigkeit von der Zeit und der rel. Luftfeuchte



Abbildung 2.25: Ausbildung des Feuchteprofils und der Spannungen bei der Holz-trocknung

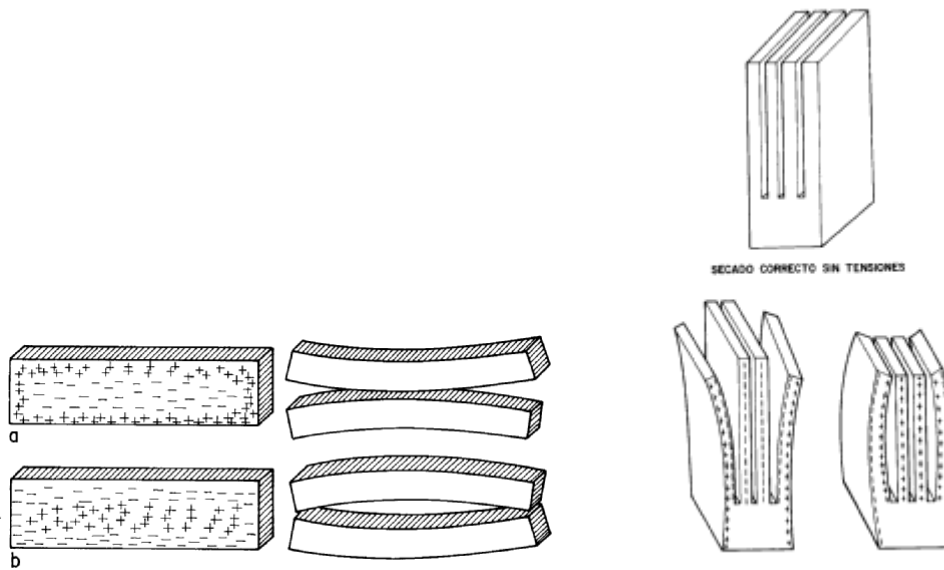


Abbildung 2.26: Methoden zum Nachweis von Trocknungsspannungen

Links: Trennschnitt → oben: aussen verschalt
 unten: innen verschalt
 Rechts: Gabelprobe → oben: spannungsfrei
 unten rechts: innen verschalt (Zugspannungen innen)
 unten links: aussen verschalt (Zugspannungen aussen)

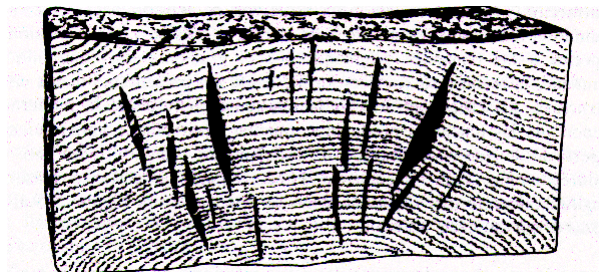


Abbildung 2.27: Zellkollaps

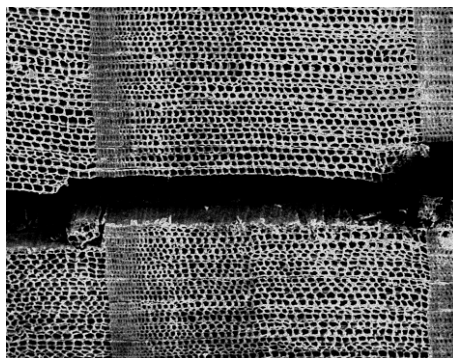


Abbildung 2.28: Trocknungsrisse in Fichte in tangentialer Richtung

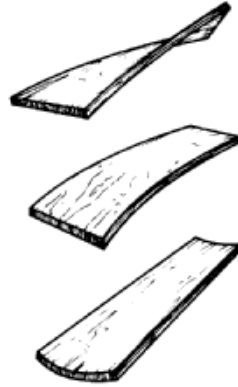


Abbildung 2.29: Verformungen im Holz

2.2.3 Methoden der Holz Trocknung

2.2.3.1 Allgemeine Grundlagen

Stapelung

Eine wichtige Vorbedingung für die einwandfreie Trocknung ist das richtige Stapeln des Holzes (Abbildung 2.30). 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). Dadurch werden Verformungen durch Trocknungsspannungen reduziert. Zusätzlich wird der Stapel häufig mit Betonplatten beschwert, um Verformungen der Bretter zu reduzieren.

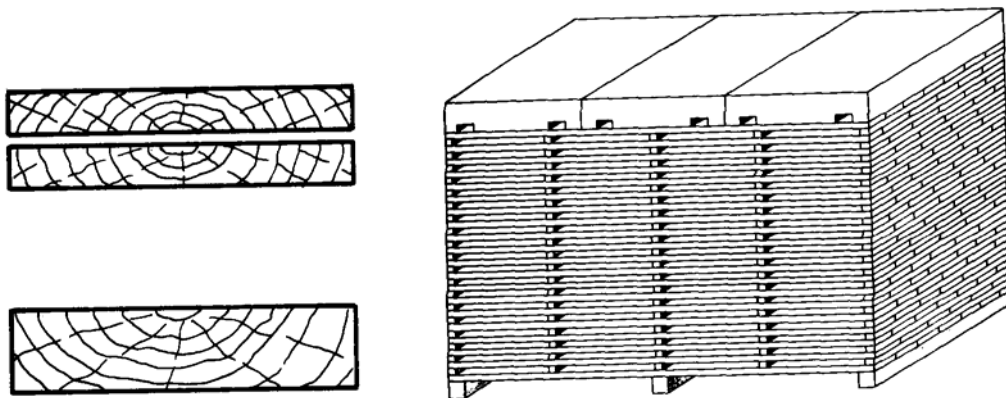


Bild 30

Abbildung 2.30: 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.

2.2.3.2 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 40-60cm betragen (Zementsockel, darüber Stapelunterlage)

	Stapellattendicken	Abstand der Latten
Holzdicke bis 20mm:	18 mm	500-700mm
Holzdicke 22-30:	25 mm	750-1000mm
Holzdicke: 35-40:	30 mm	1000-1250mm
Holzdicke: 45-60mm:	35 mm	1250-1500mm
Holzdicke: 65-80mm:	40mm	1500mm
Holzdicke: 100 mm:	45 mm	1500mm

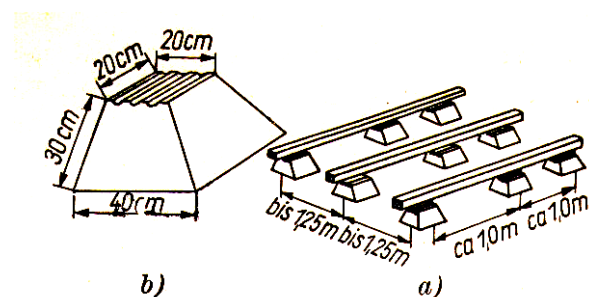


Abbildung 2.31: Stapelunterlage

- 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 500kg/m^3 0,6 Jahre/cm; über 500kg/m^3 1 Jahr pro cm Holzdicke
- auf freien Luftdurchzug achten

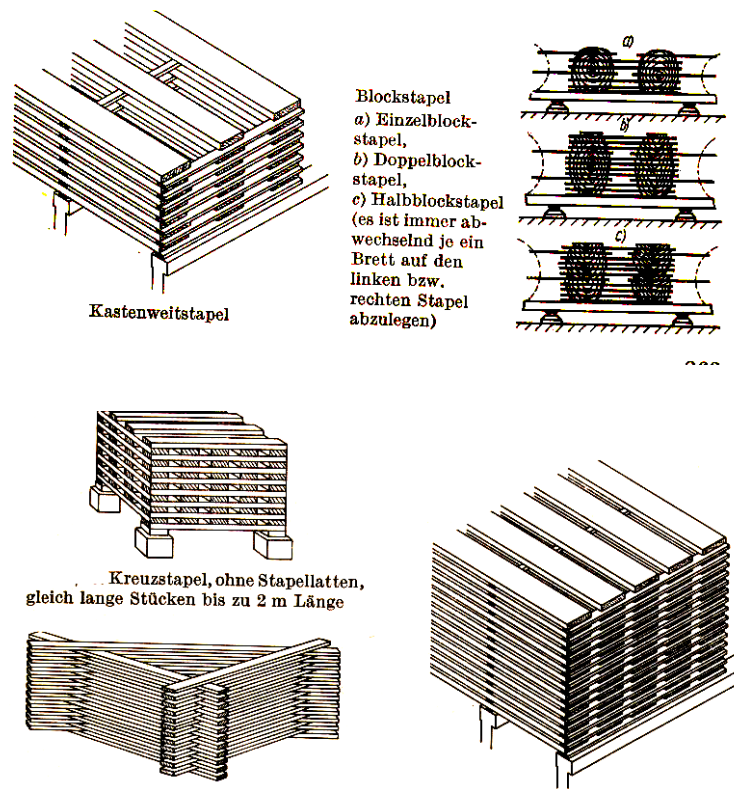


Abbildung 2.32: Möglichkeiten der Stapelbildung

2.2.3.3 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 2-10K 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 2.33 zeigt einen solchen Trockner.

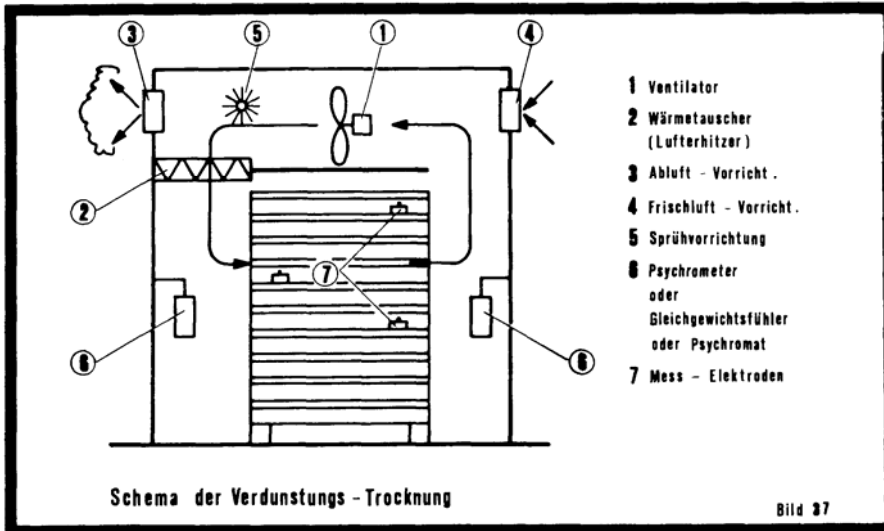


Abbildung 2.33: Verdunstungstrockner

2.2.3.4 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 angegeben:

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

Heute wird in Südamerika und Australien 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 mit einer Holzfeuchte oberhalb der Fasersättigung vor.



Abbildung 2.34: Hochtemperaturtrockner (Vanicek)

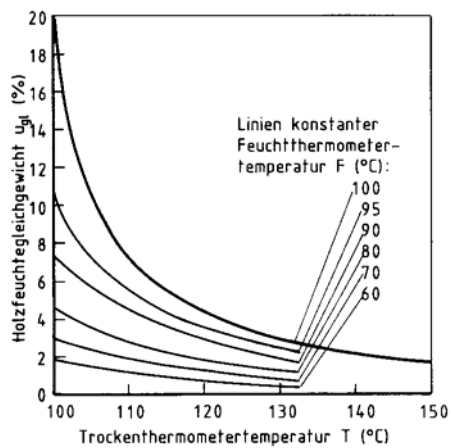


Abbildung 2.35: Einfluss der Temperatur auf die Gleichgewichtsfeuchte

2.2.3.5 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.

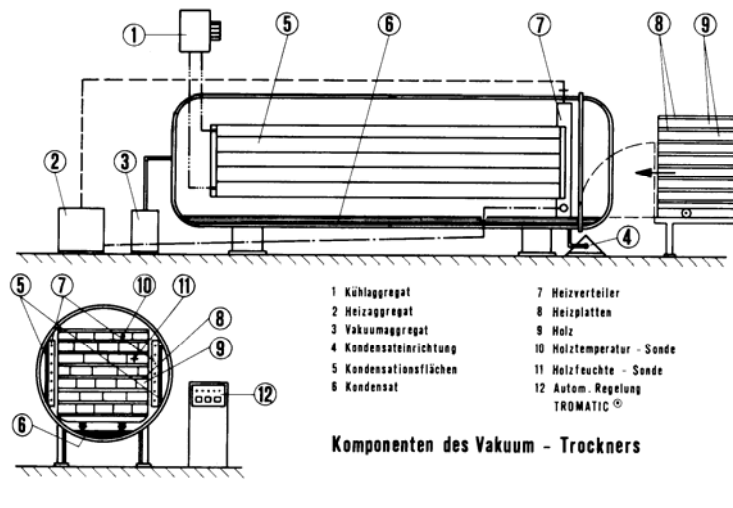


Abbildung 2.36: Vakuumtrockner (Bollmann)

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

2.2.3.6 Sonstige Trockungsverfahren

Ferner sind folgende Verfahren im Einsatz:

- Die Hochfrequenztrocknung:
Trocknung des Holzes in einem hochfrequenten Wechselfeld. Es kommt zum Umpolen der Wassermoleküle und dadurch zur Erwärmung. Die Hochfrequenztrocknung 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 50mm dickes Brett folgendes Verhältnis der Trocknungszeiten

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

2.3 Dämpfen

2.3.1 Zweck

Mit dem Dämpfen des Holzes werden folgende Ziele angestrebt:

1. Plastifizierung des Holzes zur Verbesserung der weiteren Verarbeitung (z.B. zum Biegen oder für die Furnierherstellung)
2. Abtöten von Schädlingen
3. Abbau von inneren Spannungen (zu Beginn der technischen Trocknung)
4. Farbveränderungen

2.3.2 Ablauf

Es gibt zwei unterschiedliche Dämpfverfahren (vgl. Abbildung 2.37), nämlich das direkte (Dampf wird unmittelbar in Kammer eingeleitet; eher für Massenware) und das indirekte Verfahren (Erwärmung erfolgt via ein Wasserbad über welchem das Holz gestapelt wird; eher für Edelholz in Gebrauch).

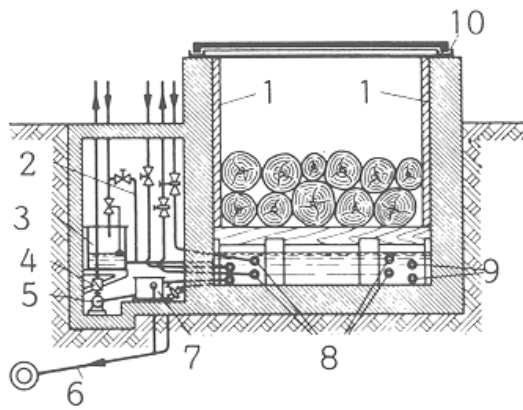


Abbildung 76 Dämpfgrube für indirekte Beheizung (nach Doffiné⁴⁴) 1 Schutzbohlen 2 Fülleitung 3 Kaltwasserbehälter 4 Rückschlagventil 5 Kondensat-Rückspeisepumpe 6 Schmutzwasser 7 Kondensat-Sammelbehälter 8 Heißwasserschlangen 9 Abdampfschlangen 10 Wasserverschluß

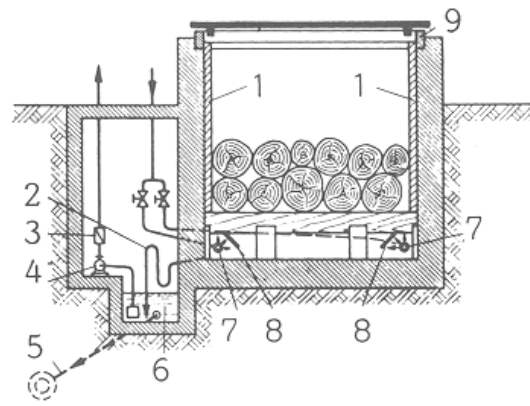


Abbildung 77 Dämpfgrube für direkte Beheizung (nach Doffiné⁴⁴) 1 Schutzbohlen 2 Syphonverschluß 3 Rückschlagventil 4 Schmutzwasserpumpe 5 falls möglich, direkter Anschluß 6 Schmutzwasser 7 Abdampf 8 Prallbleche 9 Randhölzer

Abbildung 2.37: Indirektes Dämpfverfahren (links) und direktes Dämpfverfahren (rechts)

Tabelle 2.10: Vor- und Nachteile der beiden Dämpfverfahren; aus Gfeller (2000)

	Direkt	Indirekt
Vorteile	Einfache Anordnung der Rohrleitungen	Besonders milde Holzbehandlung → geringe Schäden
	Ausnutzbarkeit von Abdampf mit geringstem Druck	Kondensatrückgewinnung möglich → gute Wirtschaftlichkeit
	Regelung schneller wirksam	Dampf braucht nicht ölfrei zu sein
		Anschluss an Hochdruck-Heisswasseranlage möglich → zusätzliche Wirtschaftlichkeit
	Schadstoffkonzentration des Abwassers gering	Abwassermenge klein
Nachteile	Sorgfältige Überwachung nötig → Gefahr von Schäden	Höherer Dampfdruck notwendig
	Kondensatrückgewinnung nicht möglich → Wärmewirtschaftlich ungünstig	Rohrleitungen umfangreicher → teurere Anlage
	Dampf muss völlig ölfrei sein → ist schwierig zu bewerkstelligen	Träge Regelung
	Abwassermenge gross	Schadstoffkonzentration des Abwassers hoch

2.3.3 Dampfverbrauch

Dieser ist von vielen Faktoren abhängig, aber folgende Richtwerte können angesetzt werden:

Direkte Dämpfung	10 - 15 kg/h und umbautem m ³
Indirekte Dämpfung	7 - 11 kg/h und umbautem m ³

Für Rund- und Schnittholz kann mit 15 - 25 kg/h m³ gerechnet werden, für Biegeteile kann sich dieser Wert bis auf 100 kg/h m³ erhöhen

2.3.4 Dämpfzeiten

Diese sind hauptsächlich abhängig von der Rohdichte des Holzes, sowie dem Durchmesser des Abschnittes. Eine Wasserlagerung vor dem Dämpfen verkürzt die Dämpfzeit bis zur Hälfte; sind Farbänderungen erwünscht, so ist häufig mit der 1,5 - 2fachen Dämpfzeit zu rechnen. Als Faustregel kann aber gelten (aus Lohmann (1999), nach Fleischer, O.H. in Vorreiter (1958)):

Bei $\rho_0 = 0.5$	$t = 1/2 D^2$	mit $\rho_0 =$ Rohdichte und $D^2 =$ Durchmesser
Bei $\rho_0 = 0.64$	$t = 2/3 D^2$	in dm, t in Stunden

Tabelle 2.11: Dämpfzeiten

Holzart	Dämpfen Messerbetrieb		Schälbetrieb		Kochen	
	h	°C	h	°C	h	°C
Abachi	36...48	90...95	36...48	90...95	-	-
Ahorn (schlicht)	-	kalt	-	kalt	-	kalt
Ahorn Knollen	-	-	-	-	72	85
Birke	-	-	-	-	24	75...78
Buche, Rot-	35...40	75...80	48	75...80	-	-
Birnbaum	-	-	-	-	90...100	80
Erle	-	-	48	90...95	-	-
Ilomba	15...20	75...80	24	75...80	-	-
Kirschbaum	30...36	75...80	30...36	75...80	-	-
Limba	48	80...85	60	80...85	-	-
Nußbaum	48	75	48	75	-	-
Nußbaum, Pyramiden-	-	-	-	-	72	80
Okoumé	12	80	18	80	-	-
Pappel	-	kalt	-	kalt	-	kalt
Samba	12...15	75	12...15	75	-	-
Tiama	72	90...95	96	90...95	-	-

2.3.5 Kochen

Das Kochen des Holzes, wobei das Holz ganz im Wasser untergetaucht wird (Wassertemperatur ca. 85°C), bewirkt dasselbe wie das Dämpfen. Problematisch ist hier aber das Aufschwimmen der Hölzer, sowie die Frage der Abwasserbeseitigung, da viel mehr Abwasser anfällt als beim Dämpfen. Bei der Heisswasser-, als auch der Dampfbehandlung werden nämlich wasserlösliche Inhaltsstoffe (z.B. Zucker, Stärke, Phenole), bzw. Hydrolyseprodukte (z.B. Essigsäure) aus dem Holz herausgelöst, welche das Abwasser belasten.

2.3.6 Literatur zu Kapitel 2.1 bis 2.3

- 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.
- Key, R.B.; Langrish, 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/lt	→ 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

2.4	HOLZVERKLEBUNG	2
2.4.1	<i>Allgemeines</i>	2
2.4.2	<i>Einteilung der Klebstoffe</i>	3
2.4.3	<i>Klebevorgang</i>	3
2.4.4	<i>Klebetheorien</i>	7
2.4.4.1	Van der Waalsche Kräfte.....	7
2.4.4.2	Wasserstoff-Brückenbindungen	7
2.4.4.3	Chemische Bindungen.....	7
2.4.4.4	Vergleich der Bindungsarten.....	8
2.4.5	<i>Einfluss des Holzes auf die Verklebungsgüte</i>	8
2.4.6	<i>Klebgrundoperationen</i>	8
2.4.7	<i>Beschreibung ausgewählter Klebstoffe</i>	9
2.4.7.1	Klebstoffe auf Basis natürlicher Ausgangsmaterialien.....	9
2.4.7.2	Synthetische Klebstoffe.....	10
2.4.8	<i>Wichtige Gebrauchseigenschaften von Klebstoffen</i>	13
2.4.9	<i>Literatur zu Kapitel 2.4</i>	14

2.4 Holzverklebung

2.4.1 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.

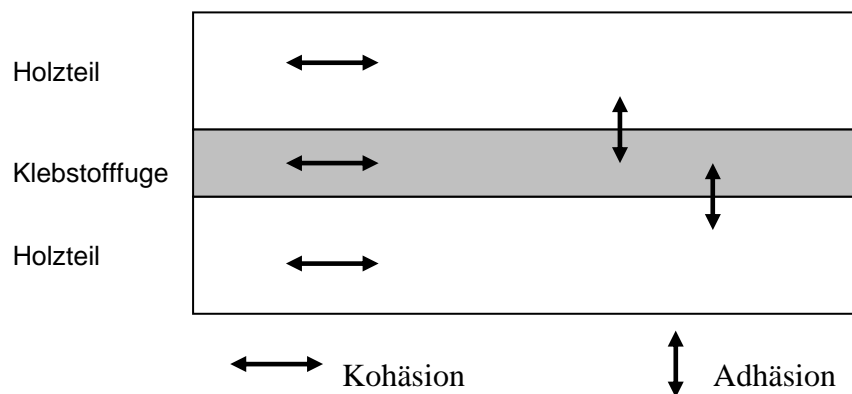


Abbildung 2.38 Kohäsion und Adhäsion

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 Klebfolie 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.

2.4.2 Einteilung der Klebstoffe

Folgende Einteilung von Klebstoffen ist üblich:

Klebstoffe aus Naturstoffen:

Klebstoffe auf Basis von *Eiweiss*:

- Glutin
- Blutalbumin
- 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)
- Polyvinylchlorid und Mischharze
- Chloropren und Kautschuk

2.4.3 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 2.12 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. Fügeteil
Kohäsion	Zusammenhangskräfte zwischen den Molekülen gleicher Art; z.B. Kräfte innerhalb einer Klebstoffschicht
Dispersion	Verteilungszustand eines fein verteilten, unlöslichen 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 2.13 zeigt wichtige Klebstoffe der Holzindustrie und deren Einteilung.

Tabelle 2.13 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		
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 Vorschichten verschiedener Kantenmaterialien
	11	Polyamid		– 20 bis 130	
	12	Polyolefin			
	13	PUR		< 150	

2.4.4 Klebetheorien

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 2.1).

Der Bruch tritt also im Holz und nicht in der Klebfuge ein, denn als Bedingung gilt:

Kohäsion_{Fügeteil} < Kohäsion_{Klebstofffuge}

Adhäsion_{Klebstofffuge} > 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).

2.4.4.1 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.

2.4.4.2 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.

2.4.4.3 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.

2.4.4.4 Vergleich der Bindungsarten

Tabelle 2.14 zeigt einen Vergleich der Bindungsarten. Chemische Bindungen haben extrem grosse Bindekräfte.

Tabelle 2.14 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

2.4.5 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.

2.4.6 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 innerte 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)

2.4.7 Beschreibung ausgewählter Klebstoffe

2.4.7.1 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, ungeschmolzbaren 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.

2.4.7.2 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. Tränkharze für die Oberflächenveredlung (z.B. für KF-Platten) werden weniger stark kondensiert. Bei Tränkharzen 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 Sulfitierung 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 freigewordenen 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 formaldehydarter 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 Querzugfestigkeit, 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 Beleimischer.

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 Tränklarze. 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-Harzes 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.

2.4.8 Wichtige Gebrauchseigenschaften von Klebstoffen

Tabelle 2.15 zeigt eine Übersicht zu wichtigen Gebrauchseigenschaften von Klebstoffen.

Tabelle 2.15 Gebrauchseigenschaften von Klebstoffen

Klebstoff	Scherfestigkeit ¹ in kp/cm ²		pH-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			7	0		gelblich	+	(+)	+	(+)	+	+
Schmelzklebstoff (PÄ/PVAc)	80	6	7	0,6	10	farblos bis braun	-	-	-	-	-	-

¹ nach TGL 7448

² pH-Wert des wäßrigen Extraktes der Klebfuge

- nicht beständig

(+) bedingt beständig

+ beständig

2.4.9 Literatur zu Kapitel 2.4

- 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.
- Key, 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

www.basf.de/de/produkte/chemikalien/lt

www.bes-bollmann.de

www.collano.com

www.compwood.dk

www.holzfeuerung.ch/deutsch/Maschinen/Produkte/leimpress.htm

www.irg-wp.com

www.kiln-direct.com

www.kuper.de

www.lebois.ch

www.platowood.nl

www.retifie.com

www.thermowood.fi

www.vanicek.com

www.woodmodification-network.org

→ Schweizer Hersteller von therm. beh. Holz

→ Leime

→ Trocknungstechnik

→ Leimhersteller

→ Gestauchtes Holz

→ Verleimmaschinen

→ International research group on wood preservation

→ Trocknungstechnik

→ Verleimmaschinen

→ thermisCHwood (Schweizer Hersteller von therm. beh. Holz)

→ Platowood

→ Retifikation

→ Thermowood

→ Trocknungstechnik

→ Holzmodifikation in Europa

2.5	HOLZSCHUTZ.....	2
2.5.1	<i>Notwendigkeit von Schutzmaßnahmen für Holz</i>	2
2.5.2	<i>Gefährdung</i>	4
2.5.2.1	Gefährdungsklassen/Gebrauchsklassen	4
2.5.2.2	Witterungseinflüsse.....	7
2.5.2.3	Pilze	9
2.5.1.1.1	Holzverfärbende Pilze	9
2.5.1.1.2	Holzerstörende Pilze	10
2.5.2.4	Tierische Schädlinge.....	21
2.5.1.1.3	Wichtige Vertreter.....	25
2.5.3	<i>Holzschutzmassnahmen</i>	30
2.5.4	<i>Natürlicher Holzschutz</i>	31
2.5.4.1	Organisatorischer Holzschutz	32
2.5.4.2	Konstruktiver Holzschutz.....	33
2.5.4.3	Chemischer Holzschutz	34
2.5.1.1.4	Holzschutzmittel	36
2.5.1.1.5	Wirkstoffe	36
2.5.1.1.6	Einbringverfahren	37
2.5.1.1.7	Zulassung von Holzschutzmitteln	40
2.5.1.1.8	Entsorgung und Gefahrenpotential.....	41
2.5.4.4	Biologischer Holzschutz	41
2.5.4.5	Physikalischer Holzschutz.....	42
2.5.4.6	Holzmodifikation.....	43
2.5.1.1.9	Chemische Holzmodifikation	45
2.5.1.1.10	Biologische Holzmodifikation.....	46
2.5.1.1.11	Thermische Holzmodifikation	46
2.5.1.1.12	Einlagerung verschiedener Substanzen ins Holzgefüge	49
2.5.1.1.13	Einlagerung von Holz in andere Stoffe	50
2.5.4.7	Brandschutz	51
2.5.1.1.14	Klassierung des Brandverhaltens nach VKF	51
2.5.1.1.15	Feuerhemmende Schutzmittel.....	52
2.5.5	<i>Nachweis und Bekämpfung holzerstörender Pilze und Insekten</i>	53
2.5.5.1	Evaluation, Schadensnachweis	53
2.5.1.1.16	Untersuchungsmethoden im Schadensfall (Praxis).....	53
2.5.1.1.17	Nachweismethoden in der Forschung	54
2.5.5.2	Methoden zur Bekämpfung von Pilz- oder Insektenbefall	56
2.5.6	<i>Literatur zu Kapitel 2.5</i>	58

2.5 Holzschutz

2.5.1 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 2.39 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 2.40 Brennender Holzschuppen



Abbildung 2.41 Mazeration (chemisch erwirkter Schaden) an Deckenbalken
(Quelle: www.holzfragen.de)

Tabelle 2.16 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 2.16 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 einem Schutzeffekt 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 2.42 Abplatzen der Farbschicht an Fenster mangels Unterhalt

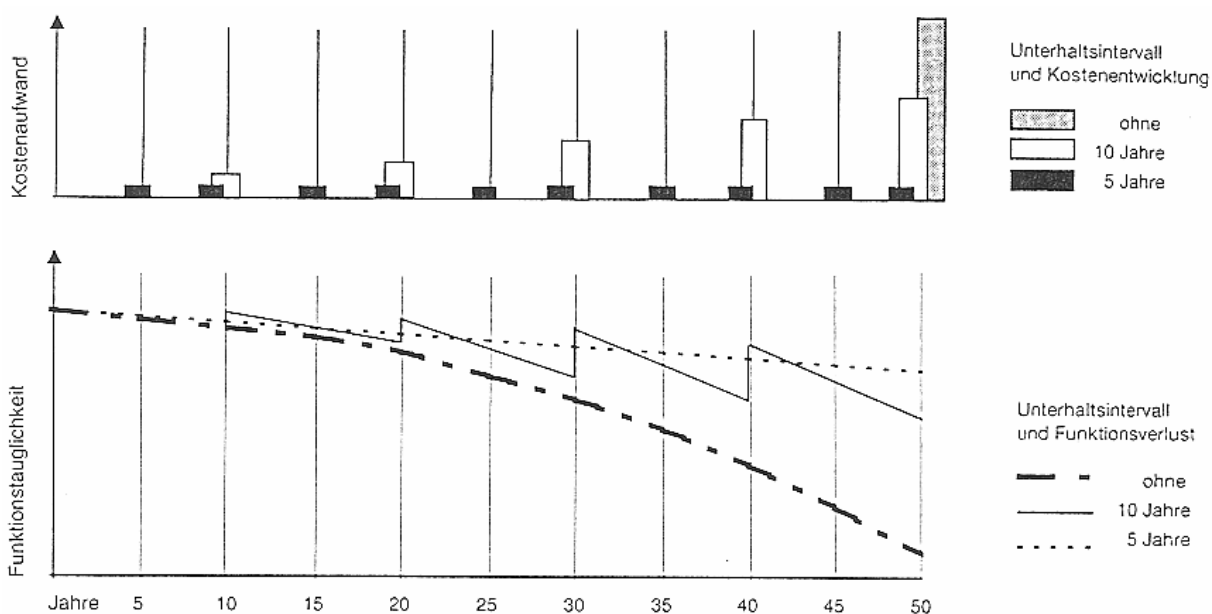


Abbildung 2.43 Entwicklung der Kosten und der Funktionalität einer unbehandelten Fassade

2.5.2 Gefährdung

2.5.2.1 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 2.17).

Tabelle 2.17 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.

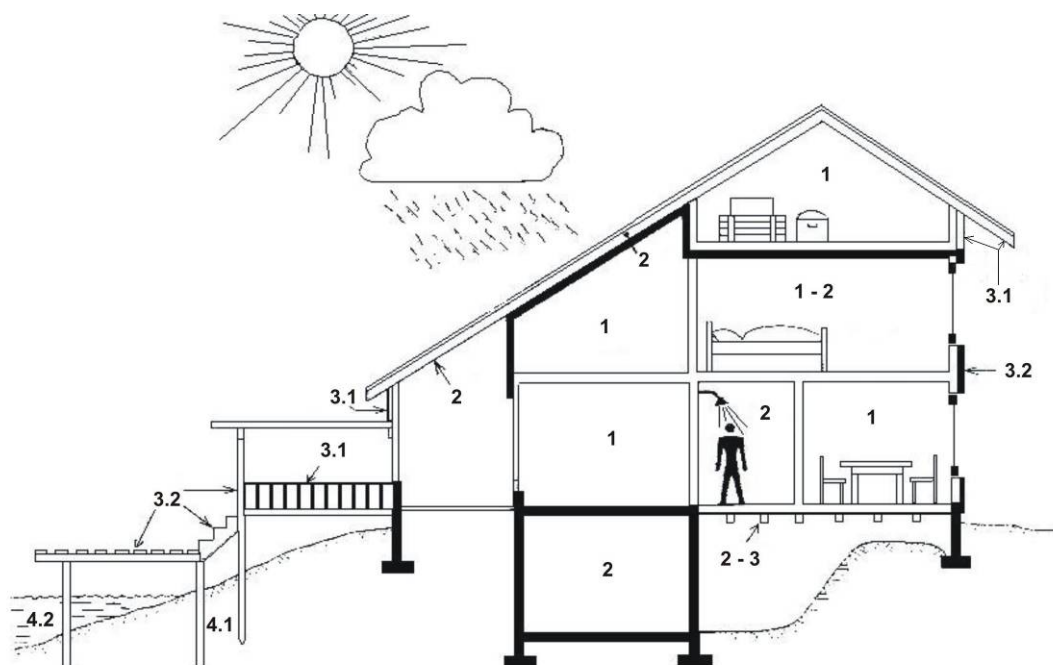


Abbildung 2.44 Beispiele für Anwendungsbereich und zugehörige Gebrauchsklassen. Die Gebrauchsklassen werden folgendermassen definiert:

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

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 2.18 Gebrauchsklassen analog prEN 335-2 (2004)

Gebrauchs- klasse	Allgemeine Gebrauchsbedingun gen	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 + teeröلتolerante Limnoria
				B Teredinidae, Limnoria + teeröلتolerante 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 verbautem 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.

2.5.2.2 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 2.45 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).

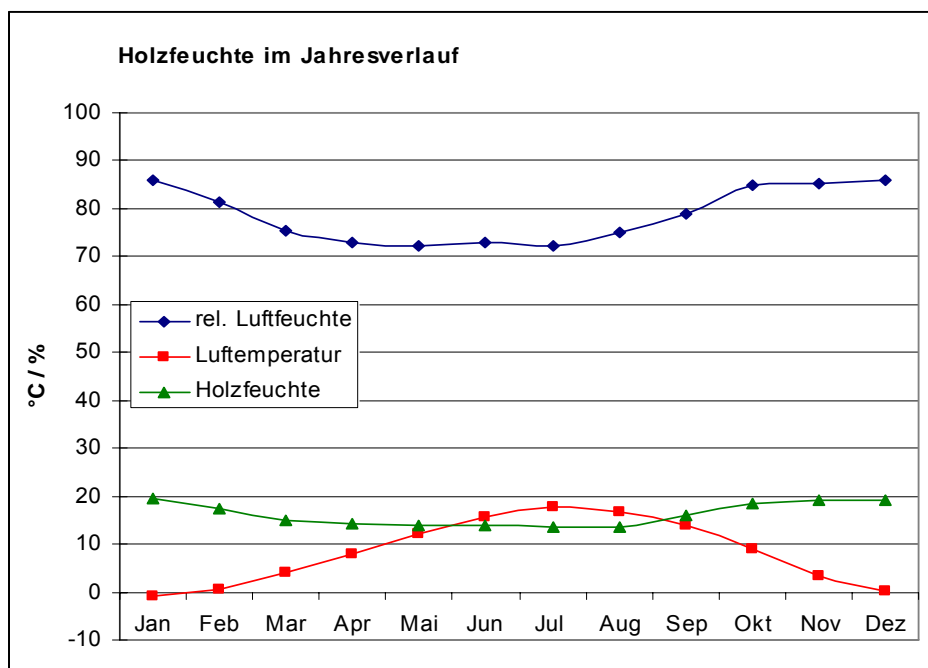


Abbildung 2.46 Holzausgleichsfeuchte von Aussenbauteilen unter dem Einfluss von relativer Luftfeuchte und Temperatur. Die Klimadaten stammen von MeteoSchweiz (Normwerte 1961-1990; Wetterstation Zürich-Kloten)

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 2.47 Braune Fassade unter Dach



Abbildung 2.48 Vergraute, dem Regen ausgesetzt Fassade

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



Abbildung 2.49 Besiedlung einer Holzfassade mit Algen (Spritzwasserbereich)

2.5.2.3 Pilze

2.5.1.1.1 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 aussereuropäische 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 2.50 Stammholzbläue



Abbildung 2.51 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 2.52 Schimmelpilze auf Spanplatte (Quelle: www.holzfragen.de)

2.5.1.1.2 Holzerstörende Pilze

2.5.1.1.1.1 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 vor-wiegend 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 2.53 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 Saftporling (*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 2.54 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 2.55 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 2.56 Weisslochfäule

2.5.1.1.2 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.

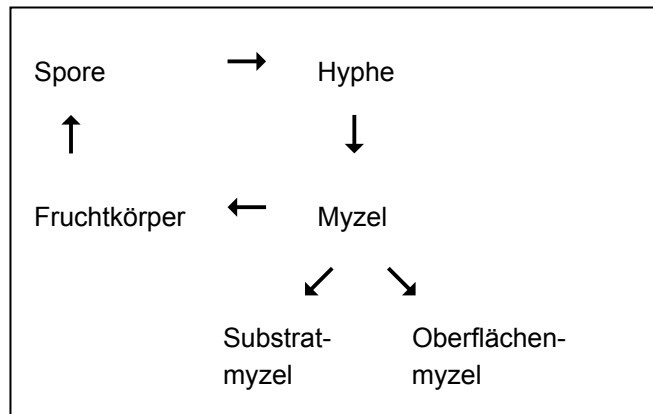


Abbildung 2.57 Entwicklungszyklus der Pilze

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. Umgebungsfeuchte); 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 2.19 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 2.58 Fruchtkörper des Schuppigen Sägeblättlings und myzel-bewachsene Holzproben (Quelle: holzfragen.de)

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

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		- ruft typische Innenfäule hervor (äusserlich bei vollständiger Innenzerstörung nichts erkennbar) - jahrelange Trockenstarre möglich



Abbildung 2.59 Schaden durch Blättlinge an Fensterholz



Abbildung 2.60 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		- häufig vergesellschaftet mit Braunem Kellerschwamm - auch an chromat- oder kupferhaltig imprägniertem Holz - Verwechslungsgefahr zum Echten Hausschwamm (Myzel) - kann lange Trockenzeiten überstehen



Abbildung 2.61 Junges Myzel des Weissen Porenschwammes (Quelle: www.bfafh.de)



Abbildung 2.62 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
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 Weisssem Porenschwamm - häufig Innenfäule erzeugend, bzw. Holzunterseiten zerstörend, während Oberseite intakt - schnelles Wachstum - Trockenstarre möglich

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



Abbildung 2.63 Myzel des Braunen Kellerschwammes (Quelle: www.pentol.ch)



Abbildung 2.64 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 2.65 Strangmyzel des Echten Hausschwammes (Quelle: www.holzfragen.de)



Abbildung 2.66 Vom E.H. durchwachsenes Mauerwerk (Quelle: www.holzfragen.de)



Abbildung 2.67 Fruchtkörper des E.H. an Deckenbalken

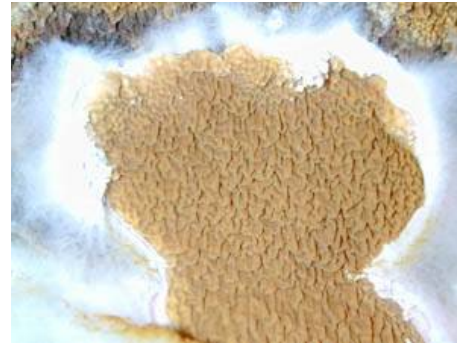


Abbildung 2.68 Vergrößerung der Fruchtschicht (Quelle: www.holzfragen.de)

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 2.69 Fruchtkörper des Schmetterlingsporlinges (Quelle: www.pentol.ch)

* Obligatorischer Prüfpilz nach EN 113 „Prüfverfahren zur Bestimmung der vorbeugenden Wirksamkeit gegen Holzerstörende 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 2.70 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 	

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



Abbildung 2.71 Fruchtkörper des Eichenporlings

(Quelle: www.holzfragen.de)



Abbildung 2.72 Myzel im Riegelanschluss eines Fachwerkbaus

(Quelle: www.holzfragen.de)

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 2.73 Dunkelfärbung und kleinteiliger Würfelbruch durch Moderfäulepilze



2.5.2.4 Tierische Schädlinge

2.5.1.1.3

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.

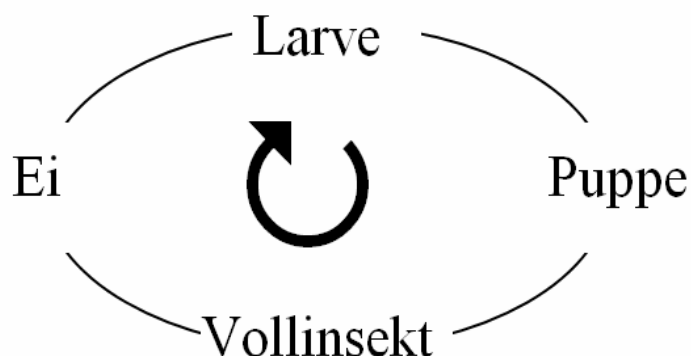


Abbildung 2.74 Entwicklungskreislauf Insekten

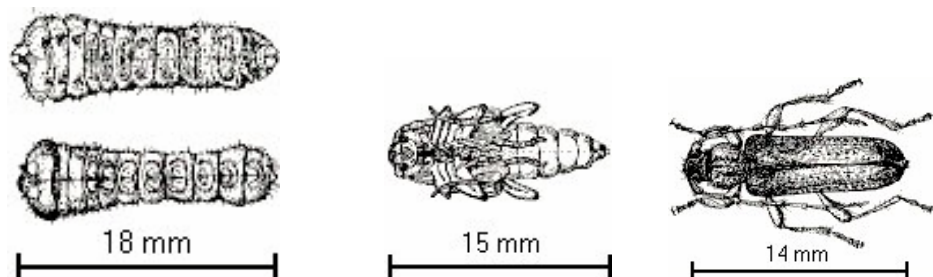


Abbildung 2.75 Veränderlicher Scheibenbock. Stadien: Larve, Puppe, Vollinsekt (Quelle: www.pentol.ch)

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 2.76 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 2.77 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.

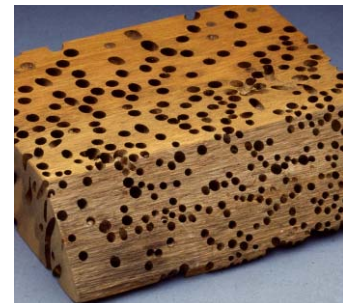


Abbildung 2.78 Frassbild der Schiffsbohrmuschel

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. Troztkopf, Gescheckter Nagekäfer). Auch einige Ameisenarten bevorzugen Holz, welches durch Pilze vorgeschädigt ist.



Abbildung 2.79 Durch Pilze und Ameisen zerstörtes Stück Holz

Tabelle 2.20 Einordnung tierischer Holzzerstörer (Quelle: www.holzfragen.de)

Befalls- biologische Einteilung	Ordnung	Familie	Art (deutsch)	Art (latein)
Frischholz- insekten	Hymenoptera (Hautflügler)	Siricidae (Holzwespen)	Riesenholzwespe	Urocerus gigas
			Stahlblaue Holzwespe	Sirex juvencus
			Blaue Fichtenholzwespe	Sirex noctilio
	Coleoptera (Käfer)	Scolytidae (Borkenkäfer)	Buchdrucker	Ips typographus
			gestreifter Nadelholzborkenkäfer	Trypodendron lineatum
			Buchennutzholzborkenkäfer	Trypodendron domesticum
			Eichennutzholzborkenkäfer	Trypodendron signatum
			gestreifter Nutzholzborkenkäfer	Xyloterus lineatus
			Ungleicher Nutzholzborkenkäfer	Xyleborus dispar
			Kiefernborke- käfer, Zwölfzäh- niger	Ips sexdentatus
			Gehöckerter Eichenholz- bohrer	Xyleborus monographus
			Kleiner Holz- bohrer	Xyleborus saxeseni
			Platypodidae (Kernholz- käfer)	Eichenkern- käfer
		Lymexylidae (Werft- käfer)	Schiffswerft- käfer	Lymexylon navale
			gewöhnlicher Werftkäfer	Hylecoetus dermestoides
		Cerambycidae (Bock- käfer)	Schneider- bock	Monochamus sartor
			Schuster- bock	Monochamus sutor
			Großer Pappel- bock	Saperda carcharias
			Fichten- bock	Tetropium castaneum
			Lärchen- bock	Tetropium gabrieli
Düster- bock	Asemum striatum			
Dunkel- brauner Hals- gruben- bock	Arhopalus rusticus			
Schwarz- brauner Hals- bock	Arhopalus ferus			
Großer Eichen- bock	Cerambyx cerdo			
Feuchtholz- insekten	Coleoptera (Käfer)	Cerambycidae (Bock- käfer)	Hausbock- käfer	Hylotrupes bajulus
			Blauer Scheiben- bock	Callidium violaceum
			Veränder- licher Scheiben- bock	Phymatodes testaceus
			Erzfarbiger Scheiben- bock	Callidium aeneum
			Mulm- bock	Ergates faber
			Rothals- oder Schmal- bock	Leptura rubra
			Rothaar- bock	Pyrrhidium sanguineum
	Tenebrionidae (Schwarz- käfer)	Genetzter Schwarz- käfer	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 Holz- zerstörer	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 Diebskäfer	Ptinus tectus	
			Kräuterdieb	Ptinus fur	

Abbildung 2.80 Wespenfrass kann die Oberflächen von Fassaden beschädigen



2.5.1.1.4 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 2.81 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 Querbinden 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 Splintholzzonen; 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 2.82 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 2.83 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); Ausschlupfloch rund 0,8 bis 2mm gross, ausgefranter Rand

Generationsdauer: normal 1 Jahr, 5-18 Monate

Flug- und Paarungszeit: April-Juni



Abbildung 2.84 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*; Riesenholzwespe -*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, Tüfelungen, 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 2.85 Festverstopfte Frassgänge in grosser Anzahl, Larve und Vollinsekt (Riesenholzwespe) (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 verbaulichem 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 2.86 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 2.87 Larven, Arbeiterin und Termitenkönigin (Quelle: www.pentol.ch)

2.5.3 Holzschutzmassnahmen

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 2.21 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.

2.5.4 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 2.22 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
Afromosia	<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
Rosskastanie	<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-/ Trauben-Eiche	<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>Milletia 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.

2.5.4.1 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 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. Scheibeböcke), 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.

2.5.4.2 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 \geq 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

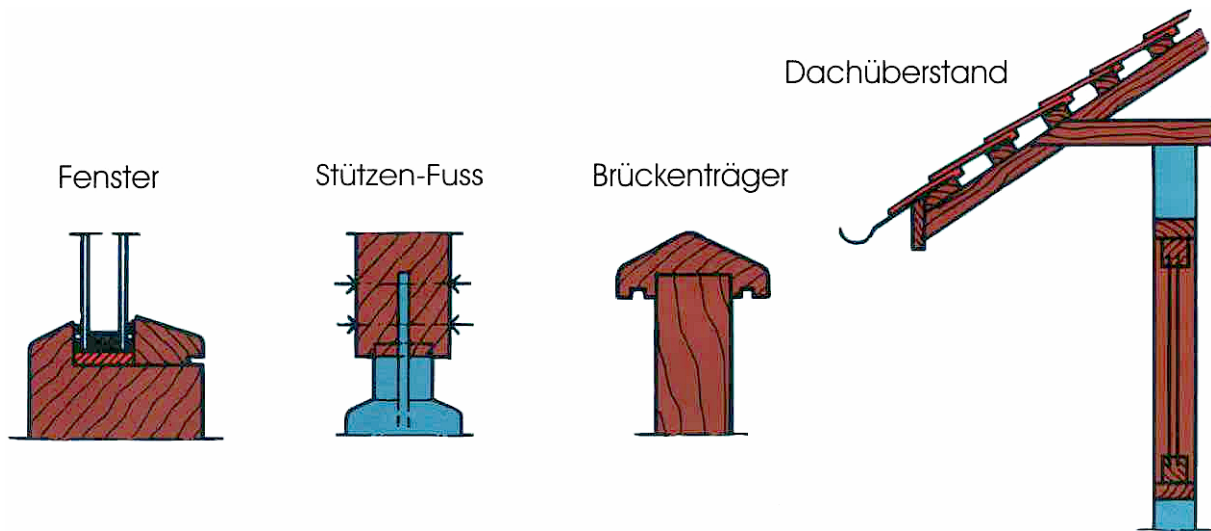


Abbildung 2.88 Beispiele für den konstruktiven Holzschutz

2.5.4.3 Chemischer Holzschutz

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.

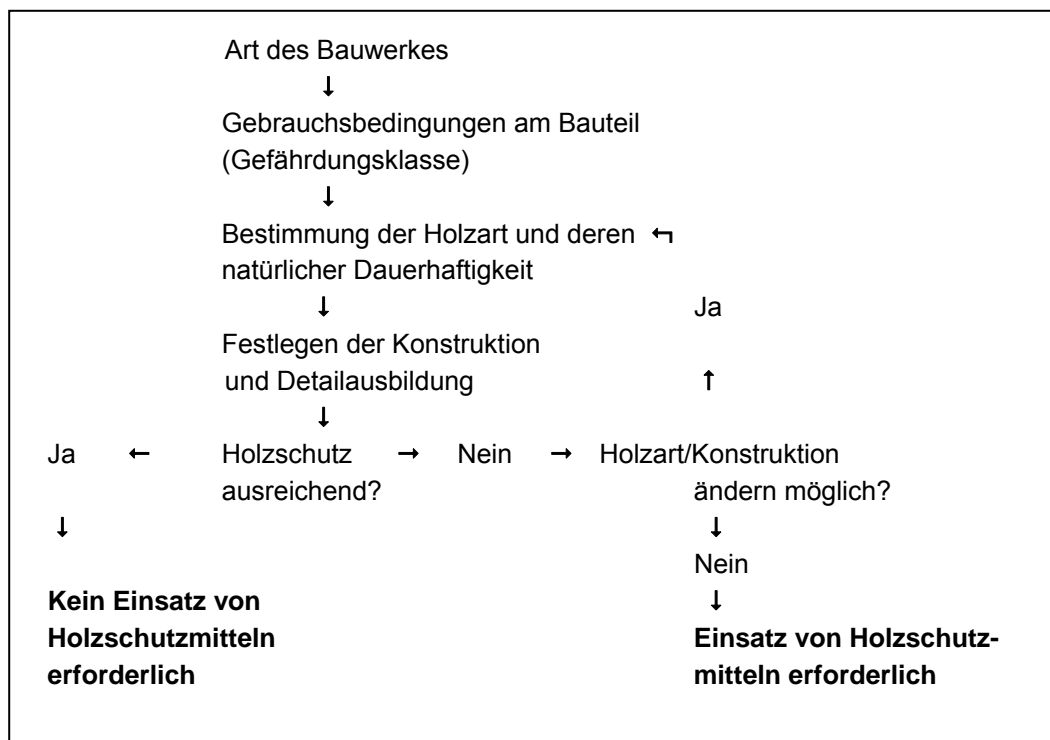


Abbildung 2.89 Entscheidung zum Einsatz von Holzschutzmitteln

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!

2.5.1.1.5 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

2.5.1.1.6 Wirkstoffe

Tabelle 2.23 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.

2.5.1.1.7 Einbringverfahren

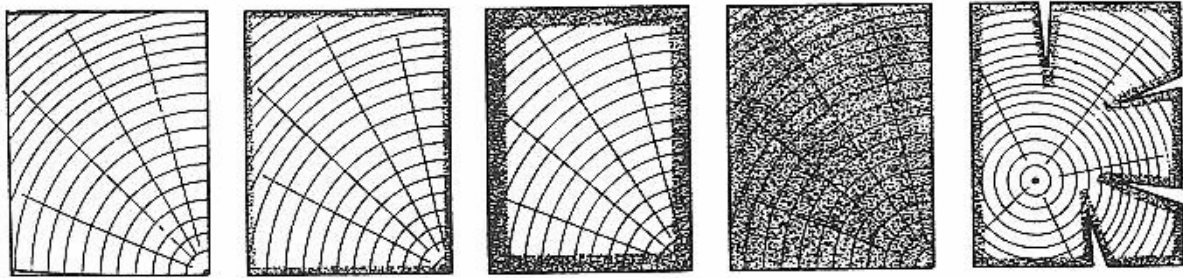
Das Eindringen der Holzschutzmittel hängt sehr stark von der Holzart ab (vgl. Tabelle 2.24). Je mehr offene Zellen vorliegen und je besser die Verbindung der einzelnen Zellen untereinander ist, desto besser dringt die Flüssigkeit in das Holz ein. Holzanatomisch bedingt, leiten Laubhölzer in Längsrichtung 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 2.24 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 2.89 Eindringtiefen der Holzschutzmittel



Abbildung 2.90 Kesseldruckimprägnierte Fichte

Es gibt eine Vielzahl möglicher Einbringverfahren für Holzschutzmittel. Abhängig vom Holzschutzmittel und der Gebrauchsklasse sind unterschiedliche Verfahren als geeignet anzusehen.

Tabelle 2.25 Übersicht über die Einbringverfahren der chemischen Holzschutzmittel; aus Müller (1993)

Nichtdruckverfahren			Druckverfahren	
Langzeitverfahren	Kurzzeitverfahren	Sonderverfahren	Niederdruckverfahren	Hochdruckverfahren
<ul style="list-style-type: none"> - Trogtränkverfahren - Diffusions-/ Osmoseverfahren 	<ul style="list-style-type: none"> - Streichen - Spritzen - Beschäumen - Tauchen - Spritztunnelverfahren - Fluten - Giessen 	<ul style="list-style-type: none"> - Bohrlochtränkung - Tränksondenverfahren - Bandagen - Patronenverfahren - Begasungsverfahren 	<ul style="list-style-type: none"> - Saftverdrängungsverfahren 	<ul style="list-style-type: none"> - 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 saffrische 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

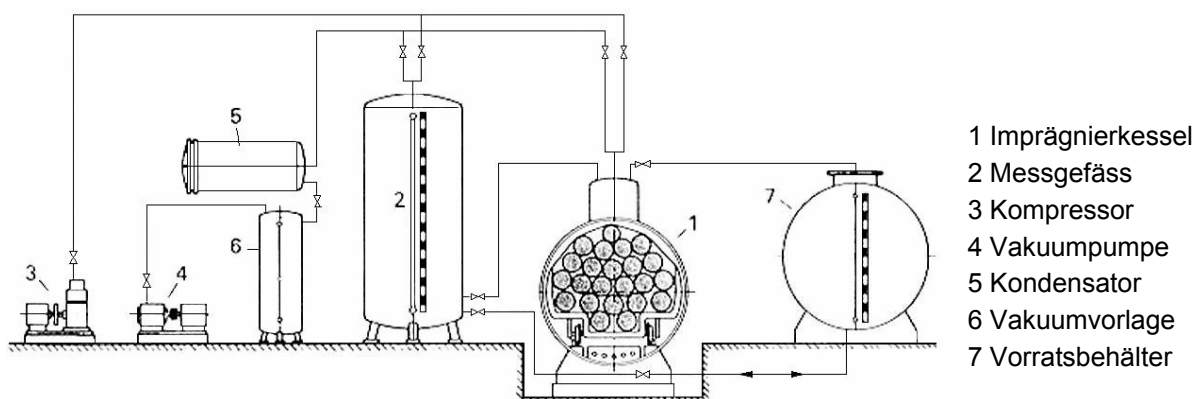


Abbildung 2.91 Anlage zur Kesseldruckimprägnierung

2.5.1.1.8 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 2.92 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 (Verordnung über den Verkehr mit Sonderabfällen) zu kennzeichnen, welcher auch bei der späteren Entsorgung von Holzschutzmittelresten und behandeltem Holz eine Rolle spielt.

2.5.1.1.9 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 2.26 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.

2.5.4.4 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 2.93 Dennoch ist das Vorhandensein typischer Räuber (Lagererzwespe - *Lariophagus distinguendus*) meist ein deutliches Indiz für das Vorhandensein eines Schädling (Gewöhnlicher Nagekäfer – *Anobium punctatum*).

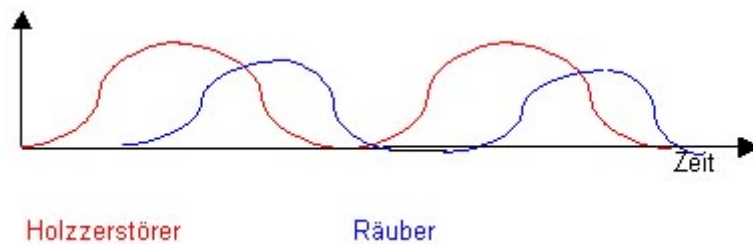


Abbildung 2.93 Prinzip der Zeitverschiebung: zuerst die Befallsentwicklung der Holzerstörer, dann folgen deren Räuber (Quelle: www.holzfragen.de)

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.

2.5.4.5 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 2.27 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 ABERLEFFekt.

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.

2.5.4.6 Holzmodifikation

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.

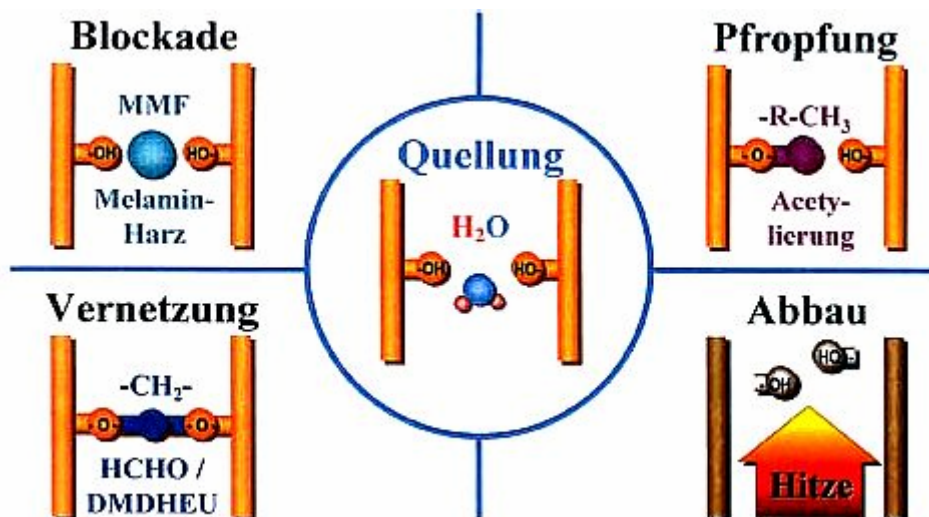


Abbildung 2.94 Wirkung verschiedener Methoden der Holzmodifikation (Quelle: www.holzfragen.de)

2.5.1.1.10 Chemische Holzmodifikation

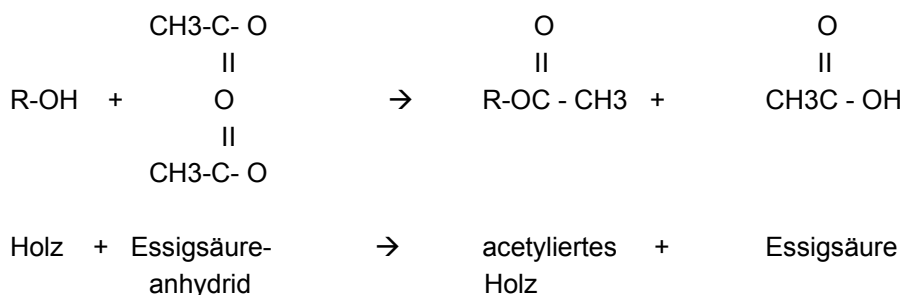
Der Begriff der chemischen Holzvergütung wird entweder für eine Wechselwirkung zwischen einer Holzkomponente und einem Reagens (die zu einer kovalenten Bindung führt) oder wenn es zu oxidativen Veränderungen holzoriginärer chemischer Gruppen durch Redox-Reaktionen kommt, verwendet.

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 2.95 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.

2.5.1.1.11 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 tränkbare 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.

2.5.1.1.12 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:

- **Wasserdampfatmosphäre** (Wasserdampfkonzentration regelbar, davon abhängige Sauerstoffkonzentration)
- **Inertgasatmosphäre** (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 Thermoholzhersteller. Dort wird das Holz im eigens entwickelten Autoklaven in Stickstoffatmosphäre vergütet.



Abbildung 2.96 Thermoholz-Anlage der Fa. Balz Holz in Langnau i.E.



Abbildung 2.97 Einsatzbeispiele für thermisch vergütetes Holz in der Schweiz (Mehrfamilienhaus, AG. Sitzreihen im Flughafen Zürich-Kloten)

2.5.1.1.13 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.

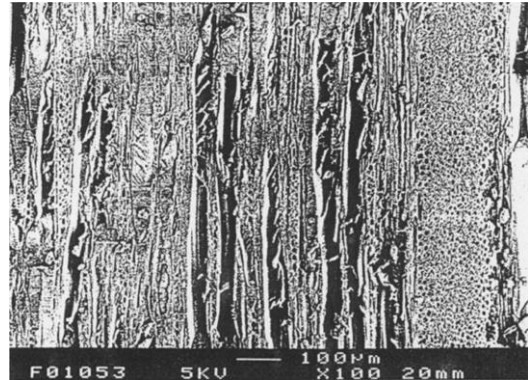


Abbildung 2.98 REM-Aufnahme. Ausgehärtetes Kunstharz in Zellumen (Quelle: Vortrag Herr Scheicher, Bauwerk Parkett)

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 Prüfsertifikat) 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 aufgetragene Mittel wasserlöslich, daher nicht für den Aussenbereich geeignet. Die Gewichtszunahme der Hölzer durch die Behandlung ist vergleichsweise hoch.



Abbildung 2.99 Versteinerte Holzprobe (Verkieselung ist eine Art der Versteinierung und daher eine Möglichkeit der Konservierung von Holz)

2.5.1.1.14 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.

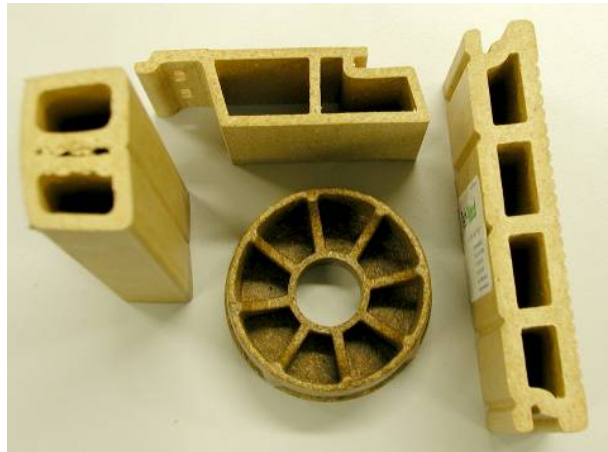


Abbildung 2.100 Verschiedene Profile aus WPC

2.5.4.7 Brandschutz

Holz ist bekanntermassen brennbar. Der Einsatz von brennbaren Materialien als Baustoff wird durch die Brandschutzvorschriften geregelt und charakterisiert.

Tabelle 2.28 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 erschwerter Wärmezufuhr in das Holzinnere
330 - 520	Zündpunkt	Holzgase entzünden sich selbst ohne Fremdzündung

2.5.1.1.15 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 2.29 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 2.30 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

2.5.1.1.16 Feuerhemmende Schutzmittel

Eine Möglichkeit, den Feuerwiderstand eines Bauteils zu erhöhen, stellt der Einsatz feuerhemmender Schutzmittel dar.

Tabelle 2.31 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

2.5.5 Nachweis und Bekämpfung holzerstörender Pilze und Insekten

2.5.5.1 Evaluation, Schadensnachweis

2.5.1.1.17 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 Kältstarre 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 Ausfluglöcher oder das Auffinden von Insekten(-teilen) oder Larven. Die Bestimmung des Schädling kann durch Begutachtung der Frassgänge, der Ausfluglöcher, 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 2.32 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.	

2.5.1.1.18 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 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 2.33 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. Nariumarsenit)	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.

2.5.5.2 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 Schwambekämpfungsmittel 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 holzerstörender Insekten kann das Heissluftverfahren eingesetzt werden. Auch für die Abtötung holzerstörender 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 Heissluftdauer 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 holzerstörender 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.

2.5.6 Literatur zu Kapitel 2.5

- 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 Werkholzschildlinge. 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 Antifouling (AF)
- www.itis.usda.gov → Datenbank, Einordnung und Bezeichnung von Pflanzen und Tieren
- www.wood.uni-goettingen.de → Forschungen im Bereich Holzmodifikation

2.6	HOLZVERGÜTUNG	2
2.6.1	<i>Chemisch</i>	2
2.6.1.1	Acetylierung	2
2.6.1.2	Phtalierung	3
2.6.1.3	Ammoniak.....	3
2.6.1.4	Polymerholz	3
2.6.2	<i>Biologisch</i>	4
2.6.2.1	Natürliche Holzschutzmittel	4
2.6.2.2	Enzymatische Modifikation.....	4
2.6.2.3	Myko-Holz	4
2.6.2.4	Enttoxifikation von Altholz	4
2.6.3	<i>Physikalisch</i>	5
2.6.3.1	Thermische Behandlung	5
2.6.3.2	Strahlentechnische Vergütung	7
2.6.4	<i>Mechanisch (Druck)</i>	8
2.6.5	<i>Verformung von Holz</i>	10

2.6 Holzvergütung

2.6.1 Chemisch

Die chemische Modifikation von Holz hatte ihren Ursprung bereits um 1930.

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.

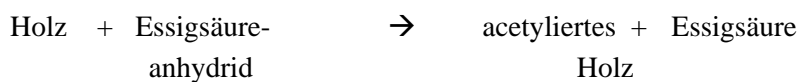
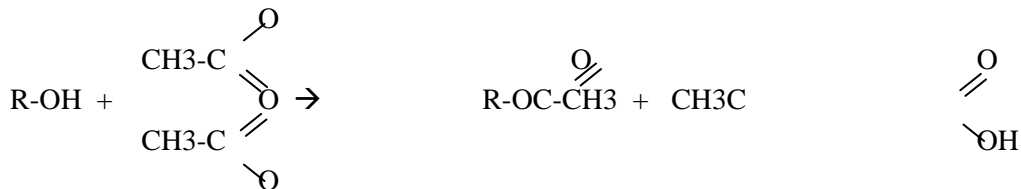
2.6.1.1 Acetylierung

(Acylierung = Acetylierung und Phtalierung; beides sind Veresterungen)

Hierbei werden die Hydroxylgruppen (R-OH) der Zellulose, der Hemizellulose oder des Lignins durch einen Säureester ersetzt. Weiters wird die innere Porenstruktur des Holzes verstopft. Damit wird die Hygroskopizität des Holzes vermindert und somit eine bessere Dimensionsstabilität erreicht (Quellen/Schwinden reduziert sich um 70 - 80%). Zudem wird der mikrobielle Abbau durch Pilze erschwert indem die funktionellen Gruppen durch die chemische Modifizierung blockiert werden.

Anders als bei der thermischen Modifikation (vgl. Thermische Behandlung) findet sich die farbliche Veränderung des behandelten Holzes nicht als angestrebtes Ziel, sondern als Nebeneffekt mancher enzymatischer und chemischer Umsetzung.

Reaktionsgleichung:



wobei R = Ligninrückstand, Polysaccharidkette oder irgendein anderes organisches Radikal

Die Bindungskräfte zwischen azetyliertem Holz und Wasser sind schwächer als beim unbehandelten Holz.

Bei richtiger Prozessführung hat das Verfahren keinen negativen Einfluss auf die Festigkeitseigenschaften (die Bruchschlagarbeit wird sogar etwas erhöht) und das Erscheinungsbild des Holzes. Die Härte wird um ca. 30% erhöht und die UV-Stabilität wird ebenfalls erhöht, wodurch die Verwitterung vermindert wird.

Das behandelte Holz enthält (wie Unbehandeltes auch) nur Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff als chemische Bausteine und bleibt damit frei von toxischen Substanzen.



Abbildung 2.101: Acetylierungs-Anlage in der Industrie

2.6.1.2 Phtalierung

Bei diesem Verfahren wirken die eingebrachten Molekülgruppen und der Verstopfungseffekt gegensätzlich. Während die innere Porenstruktur auch hier verstopft wird, wirken sich die Phthalylsäure-Gruppen (im Vergleich zu den alkoholischen Hydroxyl-Gruppen des unbehandelten Holzes) eher hydrophil aus.

Im Gegensatz zu azetyliertem Holz sind die Bindungskräfte zwischen phtalierem Holz und Wasser grösser als beim unbehandelten Holz.

2.6.1.3 Ammoniak

Die Behandlung mit Ammoniak bewirkt eine Plastifizierung (sie wird z.B. beim Biegen angewandt). Sie ist wirkungsvoller als das Dämpfen; scheinbar wirkt der Ammoniak sowohl auf das Lignin als auch auf die Zellulosebestandteile der Zellwandstruktur. Holzarten welche sich mit Dampf gut biegen lassen, können mit Ammoniak noch besser gebogen werden; selbst Hölzer, welche sich nicht für das Dampfbiegen eignen, können mit Ammoniak plastifiziert werden.

Es gibt zwei unterschiedliche Verfahren: einerseits tauchen in flüssigem Ammoniak bei Normaldruck, und andererseits Behandlung mit gasförmigem Ammoniak bei 10bar Überdruck.

Ammoniak ist aus grösseren Holzkörpern kaum mehr zu entfernen.

2.6.1.4 Polymerholz

Hier wird das Holz mit monomeren oder niedermolekularen Stoffen getränkt. Durch anschliessende Energiezufuhr härten diese eingebrachten Stoffe zu Kunststoffen aus (Polymerisation). Dabei wird eine Mischstruktur aus Holz und Kunststoff gebildet, welche dimensionsstabiler ist als unbehandeltes Holz und zudem bessere Festigkeitseigenschaften aufweist.

2.6.2 Biologisch

2.6.2.1 Natürliche Holzschutzmittel

Holzessig

Roher Holzessig entsteht (neben Holzgas und Holzteer) beim Erhitzen von Holz unter Luftabschluss und wird immer wieder als Holzschutzmittel empfohlen. Ein Nachweis einer Behandlung wurde jedoch bis heute noch nicht erbracht.

Waidpflanze

In kleinerem Stil werden in Deutschland von einer Firma eine Reihe von Holzanstrichen angeboten, welche Extrakte der Waidpflanze (*Isatis tinctoria* L.) enthalten. Diese war im Mittelalter vor allem wegen ihrer hohen Färbekraft von Bedeutung; eine Zulassung als pilz- oder insektenwidriges Mittel ist mittlerweile beantragt worden und hat Aussicht auf Erfolg.

Verkieselung

Aus den USA stammt die Methode der mineralischen Verkieselung. Flüssigkeiten mit Inhaltsstoffen aus Aluminiumoxid, Calciumoxid und Natriumcarbonat sollen die Inhaltsstoffe des Holzes für Schädlinge unkenntlich machen.

2.6.2.2 Enzymatische Modifikation

Durch technische oder natürliche Enzyme wird das Holz erweicht. Dadurch wird eine leichtere Holzbearbeitung ermöglicht. Bisheriges hauptsächliches Ziel der enzymatischen Behandlung war eine Verbesserung der Imprägnierbarkeit zu erzielen.

2.6.2.3 Myko-Holz

Die technisch-mykologische Holzauflockerung stellt einen gesteuerten Holzabbau durch spezielle Kulturpilze dar. Mit der Auflockerung verändert sich unter anderem die Dichte und Härte des Holzes. Die Durchwucherung von 0.4 - 1.2m langen Holzabschnitten (es wird vorwiegend Buche verwendet) dauert ca. 3 - 5 Monate und ergibt eine Rohdichte von etwa 0.45g/cm^3 . Durch weiteren Holzabbau kann sogar eine Rohdichte von 0.13g/cm^3 erreicht werden.

Dieses Myko-Holz wird zur Bleistiftherstellung, für vergütete Holzformen in der Glasindustrie, sowie im Modellbau eingesetzt.

2.6.2.4 Enttoxifikation von Altholz

Durch die verwendeten Verfahren kann kontaminiertes Altholz wieder der weiteren stofflichen Verwertung zu geführt werden. Studien dazu sind an der TU Dresden am laufen.

2.6.3 Physikalisch

2.6.3.1 Thermische Behandlung

Um eine thermische Holzmodifikation handelt es sich, wenn Temperaturen von deutlich $> 100^{\circ}\text{C}$ über einen gewissen Zeitraum, in einem 1 oder mehrstufigen Prozess unter einer (Inert)Gasatmosphäre gefahren werden.

Die hauptsächlich genannten Argumente für eine solche Behandlung sind:

1. Dimensionsstabilität wird erhöht
2. ökologischer Aspekt (Tropenholzalternative, keine Chemikalien)
3. Dauerhaftigkeit wird erhöht (gegenüber Pilzen)
4. Aussehen (dunklere Farbe, Holzstruktur wird hervorgehoben)

Wesentliche Parameter für die Prozessführung sind:

- Holzart
- Anfangsfeuchte
- Geometrie und Probengrösse
- Behandlungstemperatur
- Verweilzeit im Ofen
- Art der Atmosphäre
- Druck
- Präsenz eines Katalysators

Der Abbau des Holzzuckers erfolgt so, dass sie später von Fäulepilzen nicht mehr genutzt werden können. Zudem kommt es zu einer gleichmässigen Verteilung der holzeigenen Abwehrstoffe. Gegenüber Insekten weisen die behandelten Hölzer jedoch keine gesteigerte Resistenz auf.

Der Effekt der Dauerhaftigkeit hängt auch mit der verminderten Fähigkeit Wasser langfristig aufzunehmen zusammen. Der selektive Abbau der Hemizellulosen führt zu einer Reduktion der Hydroxylgruppen; dadurch wird die Hygroskopizität verkleinert und die Dimensionsstabilität erhöht.

Das Holz wird in seiner ganzen Tiefe behandelt; eine Ausnahme ist hier nur das Eindringen des Öles beim Öl-Hitze-Verfahren.

Gegenüber einem direkten Bodenkontakt sind thermisch behandelte Hölzer nicht widerstandsfähiger als unbehandelte; von einem solchen Einsatz wird allgemein abgeraten.

Grösster Schwachpunkt sämtlicher thermischer Behandlungen ist derjenige, dass das Holz fast nicht mehr für den konstruktiven Bereich verwendet werden kann. Die thermische Modifikation des Holzes führt nämlich zu einer starken Festigkeitsabnahme des Holzes; statischen Belastungen kann das behandelte Holz nicht mehr ausgesetzt werden. Durch den Entzug des (gebundenen) Wassers verliert das Holz den plasifizierenden Effekt und wird spröde.

Die Weiterverarbeitung des behandelten Holzes ist erschwert. Bei der Verleimung wird mehr Trocknungszeit gebraucht (da das Holz ja das Wasser nur sehr langsam aufnimmt) und die Gefahr des Aufspaltens beim Bohren und Nageln ist grösser.

Da Nadelhölzer eher im Aussenbereich eingesetzt werden, fällt die Behandlung stärker aus als bei Laubhölzern. Während im Aussenbereich vor allem die Wasserresistenz wichtig ist, zählt im Innenbereich (Laubhölzer) eher die Farbe und die Oberflächenqualität.

Thermisch

(Plato-Verfahren, Niederlanden; bois réifié, Frankreich; Balz Holz, Schweiz)

Bei der Retifikation wird das Holz unter einer Stickstoff-Atmosphäre der Hitze ausgesetzt. Die Behandlungsdauer (0.5 - 4h) und die Temperatur (160 - 270°C) variieren je nach Hersteller und gewünschtem Effekt. Beim Plato-Verfahren wird zudem im Prozesstank noch ein Überdruck erzeugt.

Hydrothermisch

(Thermowood, Finnland; bois perdure, Frankreich)

Das Verfahren der hydrothermischen Behandlung (auch Retifikation genannt) unterscheidet sich von obigem Verfahren dadurch, dass die Behandlung unter einer Wasserdampf-Atmosphäre erfolgt. Die Temperatur (180 - 240°C) und die Zeitdauer (24 - 46h für den ganzen Zyklus) variieren auch hier (vgl. auch Abbildung 2.102).

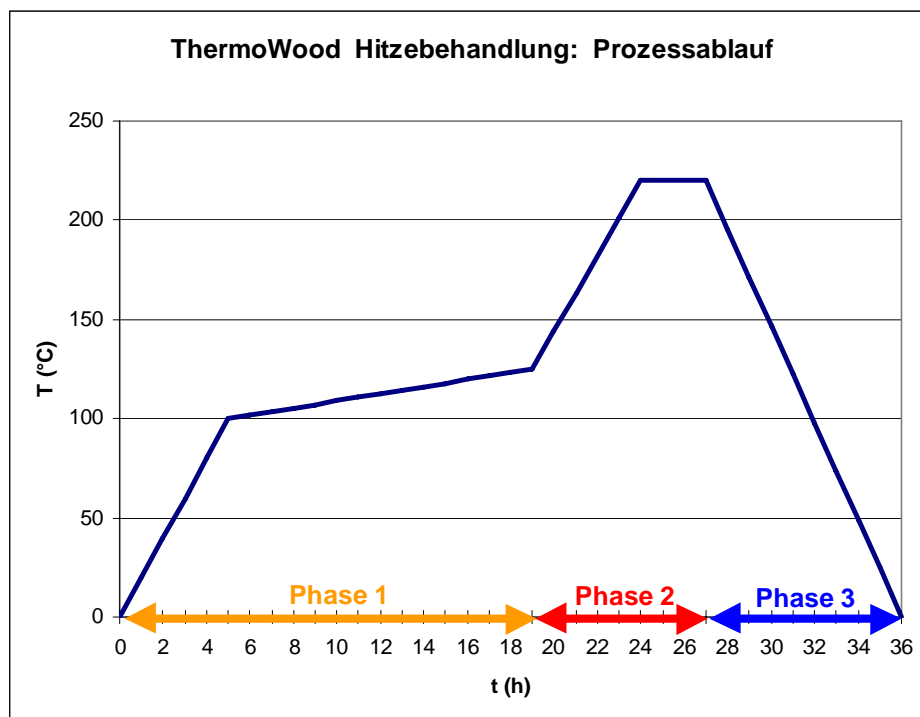


Abbildung 2.102 Prozessablauf zur Herstellung von Thermowood

Öl-thermisch

(Menz Holz, Deutschland)

Hier wird das Holz in einem Bad aus Pflanzenöl (zumeist Leinöl) während mehreren Stunden (2 - 5h) mit der gewünschten Temperatur (180 - 260°C im Holzinnern, Abbildung 2.103) erhitzt. Zusätzlich zu der chemischen Modifikation durch die Hitze dringt das Leinöl in die äusseren Zellen ein und bewirkt somit einen zusätzlichen Schutzeffekt (das Holz wird wasserabstossender).

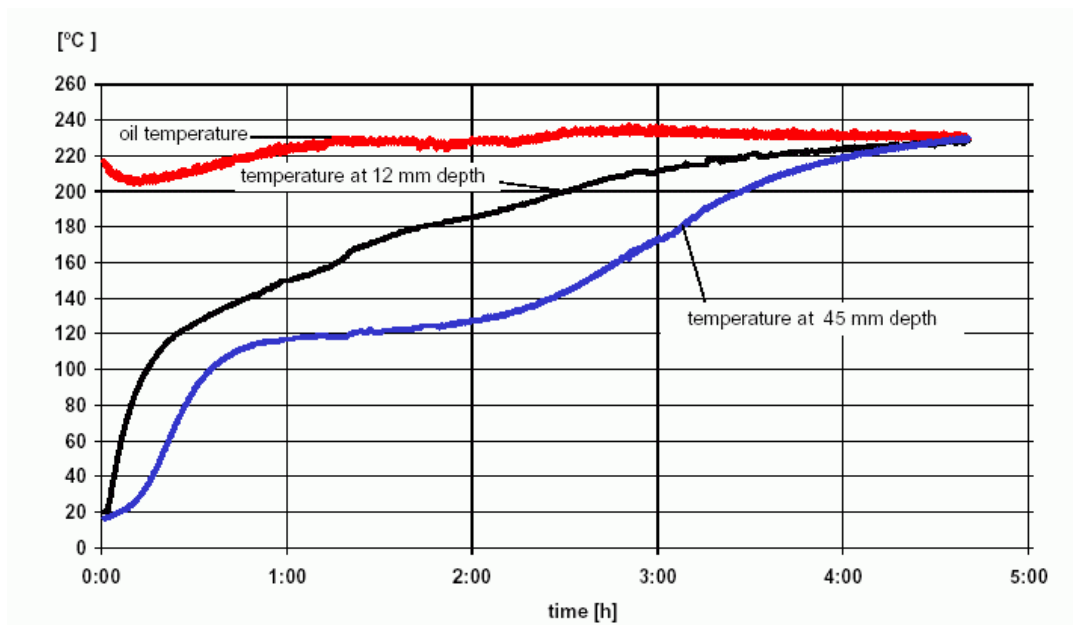


Abbildung 2.103 Temperaturverlauf bei der öl-thermischen Vergütung



Abbildung 2.104: Prozesstank der deutschen Menz Holz

2.6.3.2 Strahlentechnische Vergütung

Unbehandeltes Holz

Mit zunehmender Strahlungsdosis nimmt zuerst nur die Zugfestigkeit des Holzes ab. Dies rührt daher, dass die Zellulose stärker auf die Strahlung reagiert als das Lignin. Ab einem gewissen Strahlungsniveau zeigen aber alle Festigkeitseigenschaften fallende Tendenzen.

Polymerholz

(vgl. Kapitel 2.5.1.) Hierbei wird das Holz vorgängig mit monomeren oder niedermolekularen Stoffen getränkt und dann der Strahlung ausgesetzt. Durch diese Energiezufuhr kommt es im Holz zur Bildung von Grossmolekülen ("Kunststoffen"), welche die Festigkeitseigenschaften deutlich erhöhen.

2.6.4 Mechanisch (Druck)

Pressvollholz:

Durch den Druck wird eine Verringerung des Porenvolumens im Holz und somit eine Vergrößerung der Rohdichte erreicht (die Zellhohlräume werden mit arteigenen Zellwandsubstanzen ausgefüllt). Bei der Herstellung von Pressvollholz muss aber beachtet werden, dass keine gravierenden Gefügezerstörungen entstehen. Die Pressdrücke liegen bei $100 - 200 \text{ kp/cm}^2$ ($= \text{N/cm}^2 = 1 - 2 \text{ kg/mm}^2$), wobei das Holz vorgängig bei $150^\circ\text{C} - 200^\circ\text{C}$ und Überdruck in einer Dampfatmosphäre erweicht wird. Das Holz wird durch das Pressen nicht isotrop, sondern behält auch nach der Behandlung die anisotropen Eigenschaften.

Verwendung finden meist zerstreutporige Laubhölzer (Buche, Pappel, Ahorn und andere), nicht aber Nadelholz. Dies, da in Folge der stark unterschiedlichen Dichte und Härte ihres Früh- und Spätholzes es zu einer ungleichmässigen Verdichtung und Beschädigung des Holzgefüges kommt; zudem ist die Rückfederung der Verdichtung erheblich.

Das Ziel der Pressholzherstellung ist der Ersatz unzureichend vorhandener Mengen besonders harter und fester Holzarten für Sonderzwecke im Maschinenbau.

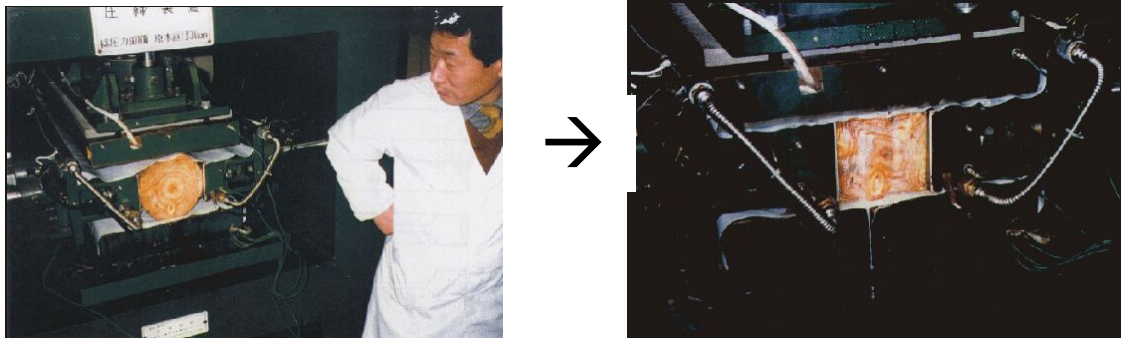


Abbildung 2.105: Herstellung eines viereckigen Baumstammes

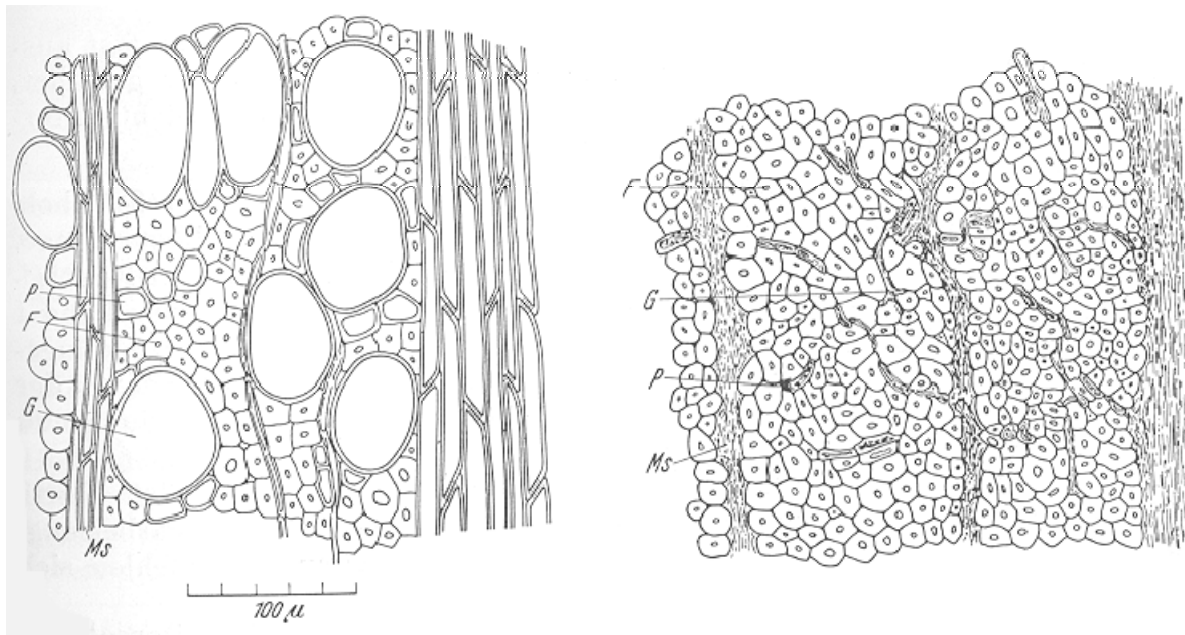


Abbildung 2.106: Blick durchs Mikroskop: links → Buchenholz; rechts → Pressholz

Stauchholz

Das Holz wird am Anfang des Herstellungsprozesses gedämpft, gekocht, oder mit Hochfrequenzwellen behandelt. Soll nicht das ganze Holzstück gebogen werden, kann auch nur ein Teilstück erwärmt werden.

Anschliessend wird der Holzkörper in Richtung der Fasern gestaucht, wodurch das Holz formbar wird. Die Pressdrücke betragen bis zu 90% der Druckfestigkeit des Holzes. Die Formbarkeit beruht auf dem Falten der Zellwände und einer Erweichung der Mittellamelle, wodurch der Faserverband gelockert wird.

Es ist bisher noch nicht gelungen, Nadelholz auf diese Weise zu biegen (vgl. vorher).

Erst nach dem Stauchen ist die Biegsamkeit erreicht, welche im kalten Zustand erfolgen kann. Das Holz muss aber nicht sofort nach dem Stauchen gebogen werden, sondern kann bis zu 6 Monate gelagert werden. Dabei ist aber zu beachten, dass die Holzfeuchtigkeit nicht unter 25% sinkt. Das Biegen erfolgt analog dem Kapitel 2.5.5.

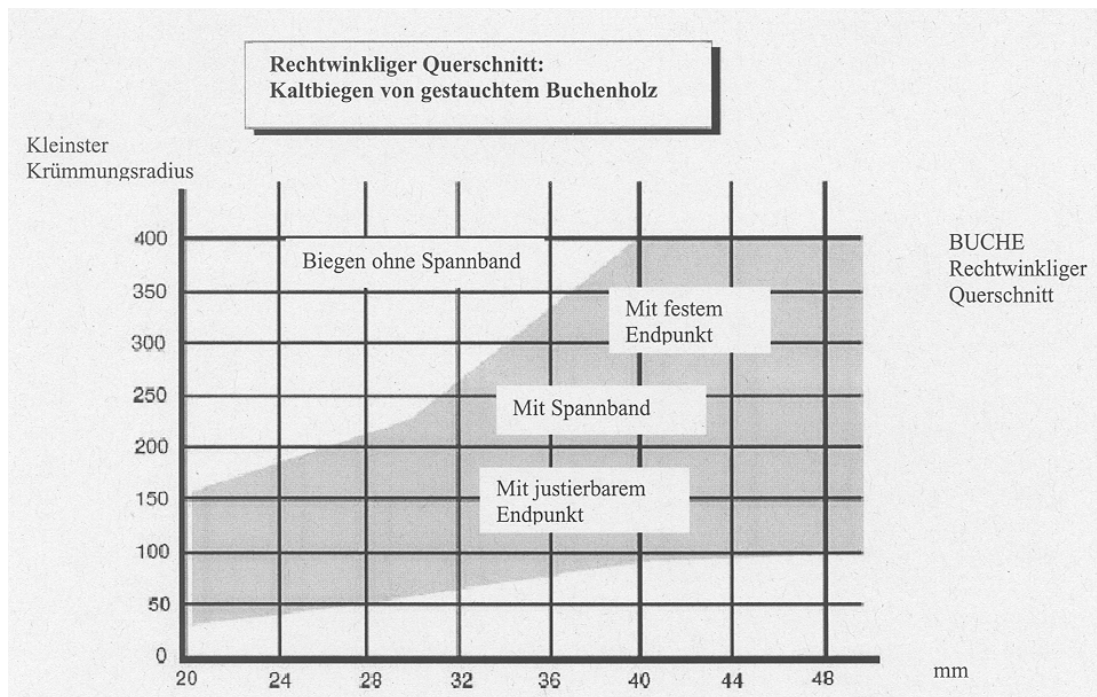


Abbildung 2.107: Diagramm der Biegebarkeit von Holz mit Biegeband (grauer Bereich) und ohne Biegeband (oberhalb grauem Bereich)

2.6.5 Verformung von Holz

Die Verformung des Holzes geschieht in 3 Prozessschritten:

- Plastifizierung
- Biegen (Umformen)
- Stabilisieren (Fixieren)

Bei der **Plastifizierung** wird das Holz entweder gedämpft, gekocht oder mit Hochfrequenzwellen behandelt, was zu einer Erweichung des Lignins in der Mittellamelle führt. Dadurch können die einzelnen Holzfasern gegeneinander verschoben werden (die sekundären Bindungen reißen, die Makromoleküle gleiten aneinander vorbei). Wird nicht das ganze Holzstück gebogen, kann auch nur ein Teilstück erwärmt werden.

"Plastisch" bedeutet, dass das Material bei äusserer Krafteinwirkung anfänglich eine elastische, also reversible Deformation erleidet, bei Erreichen einer bestimmten Spannungsgrösse, der sogenannten Fließspannung, jedoch zu fließen beginnt. Beim Nachlassen der Spannung wird nur der elastische Teil der Verformung wiedergewonnen (der sogenannte "Spring back"-Effekt).

Das **Biegen** muss erfolgen, solange das Werkstück noch warm ist. Thonet hatte 1837 entdeckt, dass es bei einem Verhältnis Biegeradius : Holzdicke von über 30 immer zu Holzbrüchen kommt. Und zwar erfolgen diese immer auf der konvexen Seite (Zugbelastung), während auf der konkaven Seite (Druckbelastung) Stauchfalten auftreten. Die Lösung des Problems bestand darin, dass Thonet die Biegung über ein Biegeband mit zwei Begrenzungen am Bandende durchführte (Abbildung 2.108). Dieses Band wird auf der Zugseite angelegt und bewirkt, dass die Dehnung auf ein geringes verringert wird und die neutrale (=spannungsfreie) Schicht von der Mitte des Werkstückes in Richtung der rissgefährdeten konvexen Oberfläche wandert. Dadurch erfährt das Werkstück im ganzen Querschnitt fast nur noch eine Stauchung.

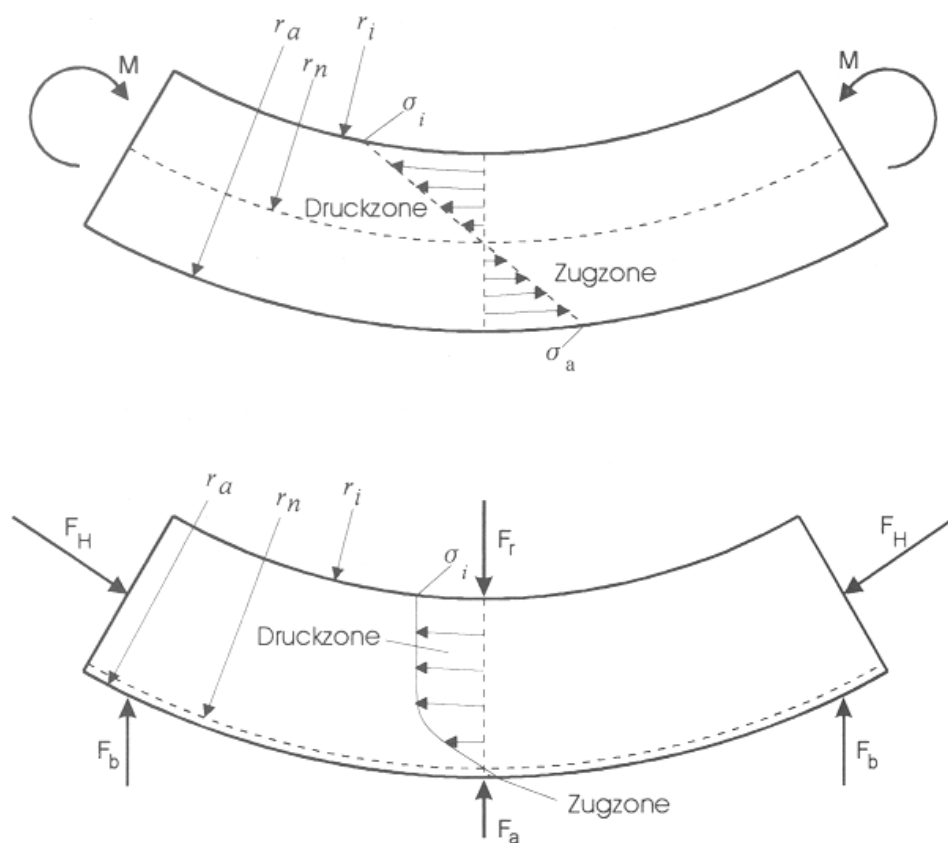


Abbildung 2.108: Wirkungsweise eines Biegebandes (unten); durch den Druck des Biegebandes (F_b) und der Anschlagstücke an den Enden des bandes (F_H) wird die neutrale Zone auf die Zugseite hin verschoben.

Fixieren

Während der Trocknung wird das Holzstück in der gewünschten Position fixiert, wodurch es schliesslich seine Form behält (die sekundären Bindungen können sich nach der Verschiebung an anderer Stelle wieder neu absättigen). Das Holz erhält zudem während der Trocknung einen Grossteil seiner ursprünglichen Festigkeit zurück. Der durchschnittliche Festigkeitsverlust beträgt 10 -15% gegenüber nicht gestauchtem Holz. Wird das Holzstück aus der Fixierung genommen, so federt es ein wenig zurück ("Spring back"-Effekt).

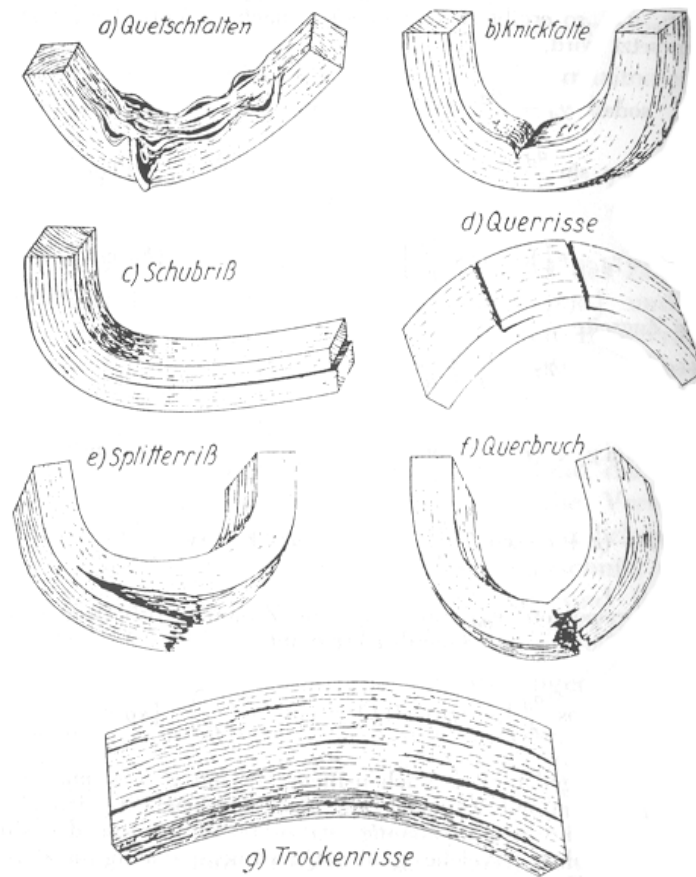


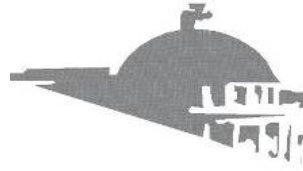
Abbildung 2.109: Biegefehler welche auftreten können



Abbildung 2.110: Möglichkeiten für das Biegen von Holz

ETH

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich



IfB

Institut für Baustoffe
Institute for Building Materials

Grundlagen der Holzbe- und Verarbeitung

II. Herstellung von Produkten aus Holz (Prozesse)

3. überarbeitete Auflage 2007

Prof. Dr.-Ing. habil. P. Niemz

Vorwort

Die Vorlesung "Grundlagen der Holzbe- und Verarbeitung - II. Herstellung von Produkten aus Holz" befasst sich hauptsächlich mit Holzwerkstoffen. Zu einem kleinen Teil werden auch andere Typen der Verarbeitung des Holzes behandelt, nämlich die Zellstoff- und Papier-Herstellung sowie die Holzkohle.

Dieses Vorlesungsskript entspricht weitgehend dem Teil „Holzwerkstoffe“ des Buches *Holzwerkstoffe und Leime*¹. Es darf ausschliesslich zum Zwecke der Lehre verwendet werden.

Das Vorlesungsskript stellt das Gerüst der Vorlesung dar. Damit es a) durch in der Vorlesung abgegebene Unterlagen ergänzt und b) nach Belieben gebunden, geheftet, eingeordnet werden kann, wird es als ungebunden und ungeheftet verkauft.

¹ Dunky M, Niemz P(2002): Holzwerkstoffe und Leime: Technologie und Einflussfaktoren. Springer Verlag.
II. Herstellung von Produkten aus Holz

Inhaltsverzeichnis Teil II

1	ÜBERSICHT ZU DEN HOLZWERKSTOFFEN	1-1
1.1	VOLLHOLZ	1-1
1.2	HOLZWERKSTOFFE	1-2
2	SCHNITTHOLZERZEUGUNG	2-2
2.5	ZIELSTELLUNG	2-2
2.6	EINSCHNITTARTEN	2-3
2.7	ARBEITSABLÄUFE IM SÄGEWERK	2-5
2.7.1	<i>Lagerung</i>	2-5
2.7.2	<i>Entrinden</i>	2-7
2.7.3	<i>Sonstige Prozessstufen</i>	2-7
2.7.4	<i>Vermessen</i>	2-8
2.7.5	<i>Ablängen</i>	2-8
2.7.6	<i>Sortieren</i>	2-9
2.7.7	<i>Einschneiden</i>	2-9
2.7.8	<i>Trocknen/Stapeln/Weiterverarbeiten</i>	2-10
2.8	HAUPTMASCHINENGRUPPEN.....	2-11
2.8.1	<i>Gattersägemaschine</i>	2-11
2.8.2	<i>Bandsägemaschinen</i>	2-13
2.8.3	<i>Profilieranlagen</i>	2-14
2.8.4	<i>Kreissägetechnik</i>	2-16
2.9	HOLZSORTIERUNG	2-18
2.10	HOLZSTAPELUNG/TROCKNUNG	2-24
2.11	LITERATUR ZU KAPITEL 2.....	2-26
3.	NUTZUNG VON HOLZNEBENPRODUKTEN	3-2
3.1	RINDENVERWERTUNG	3-2
3.1.1	<i>Rindenverbrennung</i>	3-2
3.1.2	<i>Rindenplatten</i>	3-2
3.1.3	<i>Rindenkompostierung</i>	3-2
3.1.4	<i>Rindenverwertung</i>	3-2
3.2	HARZE.....	3-11
3.2.1	<i>Definitionen</i>	3-11
3.2.2	<i>Verwendung von Naturharzen</i>	3-11
3.3	GERBSTOFFE.....	3-15
3.4	LITERATUR ZU KAPITEL 3.....	3-17

4	STRUKTURELLER AUFBAU UND WESENTLICHE EINFLUSSFAKTOREN AUF DIE EIGENSCHAFTEN AUSGEWÄHLTER HOLZWERKSTOFFE	4-1
4.1	ALLGEMEINE GESETZMÄSSIGKEITEN DER WERKSTOFFBILDUNG.....	4-1
4.2	KLEBSTOFFE.....	4-4
4.3	EINTEILUNG DER KLEBSTOFFE	4-4
4.3.1	<i>Physikalisch abbindende Klebstoffe</i>	4-5
4.3.2	<i>Chemisch reagierende Klebstoffe</i>	4-5
4.4	WERKSTOFFE AUF VOLLHOLZBASIS	4-8
4.5	WERKSTOFFE AUF FURNIERBASIS.....	4-9
4.6	WERKSTOFFE AUF SPANBASIS	4-11
4.7	WERKSTOFFE AUF FASERBASIS	4-13
4.8	VERBUNDWERKSTOFFE	4-14
4.9	ENGINEERED WOOD PRODUCTS	4-16
4.10	LITERATUR ZU KAPITEL 4.....	4-18
5	EIGENSCHAFTEN AUSGEWÄHLTER HOLZWERKSTOFFE.....	5-3
5.1	ÜBERSICHT.....	5-3
5.1.1	<i>Physikalisch- mechanische Eigenschaften</i>	5-3
5.2	PHYSIKALISCHE EIGENSCHAFTEN.....	5-4
5.2.1	<i>Verhalten gegenüber Feuchte</i>	5-4
5.2.2	<i>Rohdichte</i>	5-12
5.2.3	<i>Sonstige Eigenschaften</i>	5-14
5.3	ELASTOMECHANISCHE UND RHEOLOGISCHE EIGENSCHAFTEN	5-20
5.3.1	<i>Übersicht</i>	5-20
5.3.2	<i>Kenngrößen und deren Bestimmung</i>	5-26
5.3.3	<i>Rheologische Eigenschaften</i>	5-31
5.3.4	<i>Festigkeitseigenschaften</i>	5-37
5.3.5	<i>Literatur zu Kapitel 5</i>	5-47
6	TECHNOLOGIE DER HERSTELLUNG VON HOLZWERKSTOFFEN.....	6-1
6.1	ALLGEMEINE ENTWICKLUNGSTENDENZEN.....	6-1
6.2	TECHNOLOGIE DER FERTIGUNG VON HOLZWERKSTOFFEN	6-3
6.2.1	<i>Werkstoffe auf Vollholzbasis</i>	6-3
6.2.2	<i>Werkstoffe auf Furnierbasis (Lagenhölzer)</i>	6-7
6.2.3	<i>Werkstoffe auf Spanbasis</i>	6-11
6.2.4	<i>Werkstoffe auf Faserbasis</i>	6-35
6.2.5	<i>Verbundwerkstoffe</i>	6-47
6.3	LITERATUR ZU KAPITEL 6.....	6-50
7	EINSATZMÖGLICHKEITEN VON HOLZWERKSTOFFEN.....	7-1
7.1	LITERATUR ZU KAPITEL 7.....	7-7

8	FASERSTOFF UND PAPIER.....	1
8.1	FASERSTOFF	1
8.1.1	<i>Rohstoffe.....</i>	<i>1</i>
8.1.2	<i>Holzstoff / Holzschliff.....</i>	<i>1</i>
8.1.3	<i>Zellstoff.....</i>	<i>4</i>
8.1.4	<i>Bleiche von Faserstoffen</i>	<i>5</i>
8.2	PAPIER.....	7
8.2.1	<i>Papierherstellung</i>	<i>8</i>
8.3	LITERATUR ZU KAPITEL 8.....	12
9	HOLZKOHLE.....	9-1
9.1	BESCHREIBUNG	9-1
9.2	HERSTELLUNG.....	9-2
9.2.1	<i>Grundlagen.....</i>	<i>9-2</i>
9.2.2	<i>traditionelle Köhlerei</i>	<i>9-2</i>
9.2.3	<i>industrielle Herstellung von Holzkohle</i>	<i>9-3</i>

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.

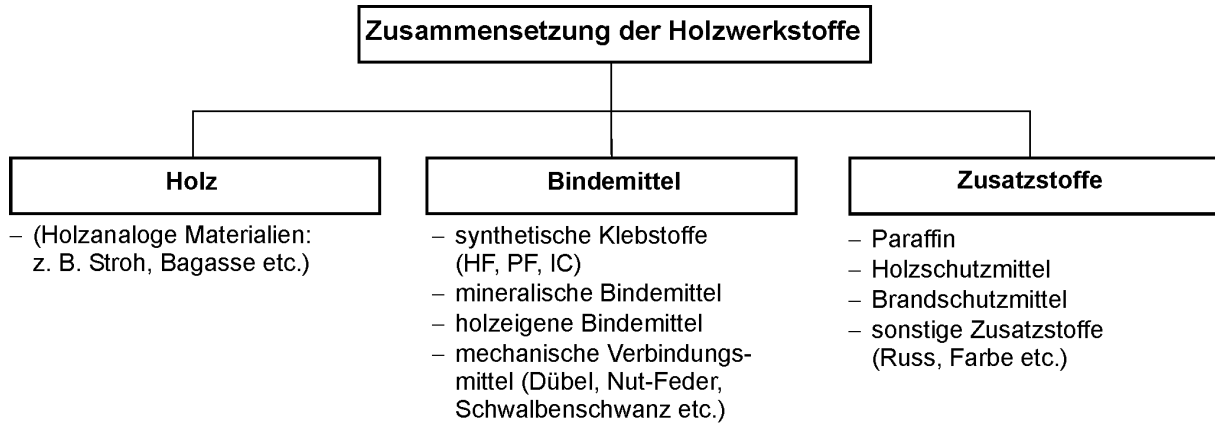


Abbildung 1.1

Zusammensetzung von Holzwerkstoffen

Tabelle 1.1 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.

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)

1.2 Holzwerkstoffe

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

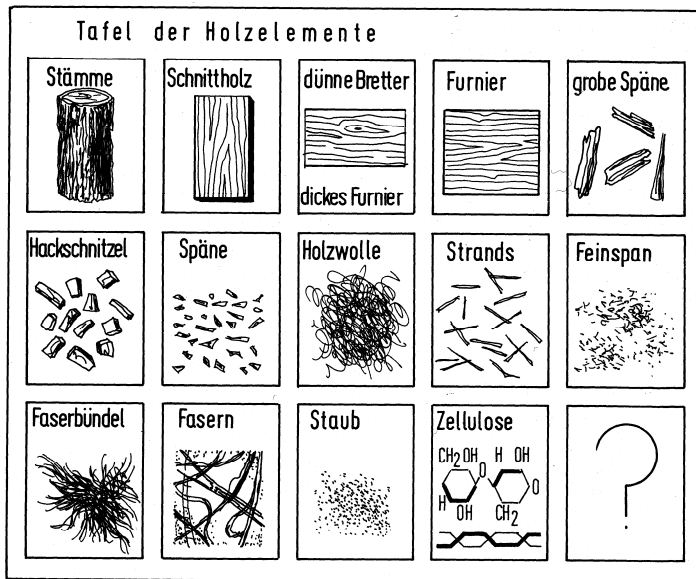


Abbildung 1.2
Strukturelemente von Holzwerkstoffen nach Marra (1972, zitiert in Paulitsch (1989))

Mit der Grösse dieser Strukturelemente ändern sich auch wesentlich die Eigenschaften des daraus gefertigten Werkstoffes (Tabelle 1.2). So verringert sich mit zunehmendem Aufschluss des Holzes die Festigkeit.

Tabelle 1.2
Einfluss der Strukturauflösung auf die Eigenschaften von Holzwerkstoffen (vom Schnittholz zur Faserplatte)

	Vollholz	Holzwerkstoff
Festigkeit		
Aufschlussgrad		
Homogenität		
Isotropie		
Energieeinsatz		
Umweltbeeinträchtigung		
Wärmedämmung		
Oberflächengüte		

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:

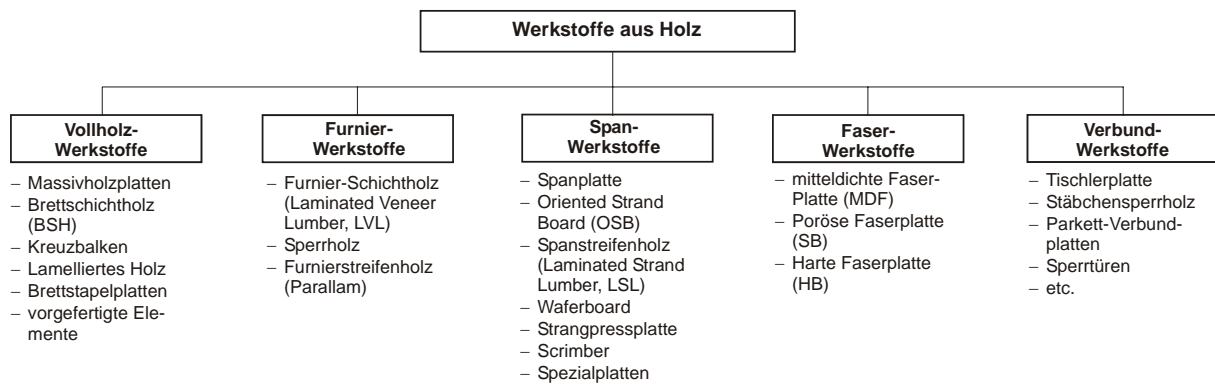


Abbildung 1.3

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)

2.	SCHNITTHOLZERZEUGUNG.....	2-2
2.1	ZIELSTELLUNG	2-2
2.2	EINSCHNITTARTEN	2-4
2.3	ARBEITSABLÄUFE IM SÄGEWERK	2-5
2.3.1	<i>Lagerung</i>	2-5
2.3.2	<i>Entrinden</i>	2-7
2.3.3	<i>Sonstige Prozessstufen</i>	2-7
2.3.4	<i>Vermessen</i>	2-8
2.3.5	<i>Ablängen</i>	2-8
2.3.6	<i>Sortieren</i>	2-9
2.3.7	<i>Einschneiden</i>	2-9
2.3.8	<i>Trocknen/Stapeln/Weiterverarbeiten</i>	2-10
2.4	HAUPTMASCHINENGRUPPEN	2-11
2.4.1	<i>Gattersägemaschine</i>	2-11
2.4.2	<i>Bandsägemaschinen</i>	2-13
2.4.3	<i>Profilieranlagen</i>	2-15
2.4.4	<i>Kreissägetechnik</i>	2-17
2.5	HOLZSORTIERUNG.....	2-18
2.6	HOLZSTAPELUNG/TROCKNUNG	2-24
2.7	LITERATUR ZU KAPITEL 2	2-26

2. Schnittholzerzeugung

2.1 Zielstellung

Im Sägewerk wird das Rundholz zu Kantholz, Schnittholz und Schwellen verarbeitet und damit auf eine dem späteren Anwendungsfall angepasste Form gebracht. Gleichzeitig erfolgt eine Wertschöpfung des Holzes, der Stoffkreislauf wird geschlossen.

Restholz (Dünnholz, Hackschnitzel, Späne) werden in der Spanplattenindustrie sowie der Zellstoffindustrie weiterverarbeitet. Ziel ist eine optimale Wertschöpfung des Holzes.

In Skandinavien, Südamerika und Australien ist die Holzproduktion im Wald auf die Schnittholzerzeugung abgestimmt. Eingeschnitten wird, wenn das Zuwachsmaximum (Volumen) erreicht wird. In Plantagen von Radiata ist dies etwa nach 20-40 Jahren der Fall. In Skandinavien wird das Holz nach etwa 60 Jahren geerntet. Geerntet werden auch grosse Flächen, so dass niedrige Kosten entstehen. In der Schweiz und auch in Deutschland wird derzeit vielfach nach grossen Durchmessern optimiert (50-100cm Durchmesser).

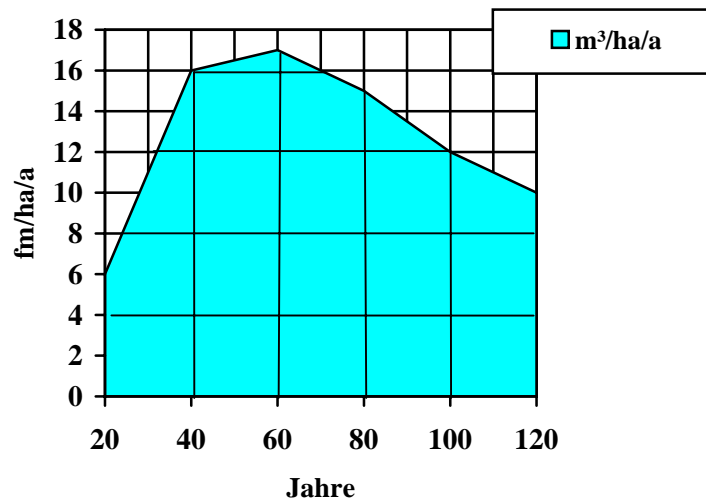


Abbildung 2.1: Zuwachs pro ha und Jahr nach Mahler

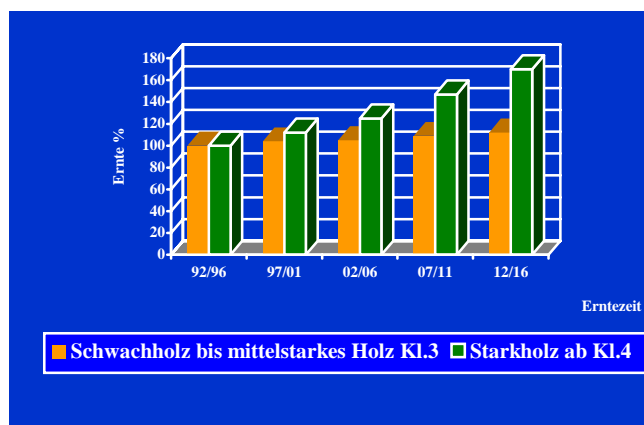


Abbildung 2.2: Entwicklung der Holzernte nach Durchmesser Kategorien in Deutschland nach Franz (Vortrag an der ETHZ 2001)

Der Wald gilt als Rücklage (Sparbüchse). Dies ist nicht zuletzt an die andere Besitzstruktur des Waldes gebunden. Bevorzugt werden von vielen Betrieben geringe Holzdurchmesser (niedrigere Preise, effektivere Einschnitstechnologien). Zudem kommt es mit zunehmendem Alter zum Absinken der Qualität (Fäule im unteren Stammbereich). Der Einschnitt mit Bandsägen ist bezogen auf den m^3 Schnittholz deutlich teurer als der mittels Gatter oder Profilerspanner. Zudem ist die maschinelle Erntetechnik für Starkholz nicht geeignet. Abbildung 2. zeigt eine Übersicht zur Sägeindustrie der Schweiz.

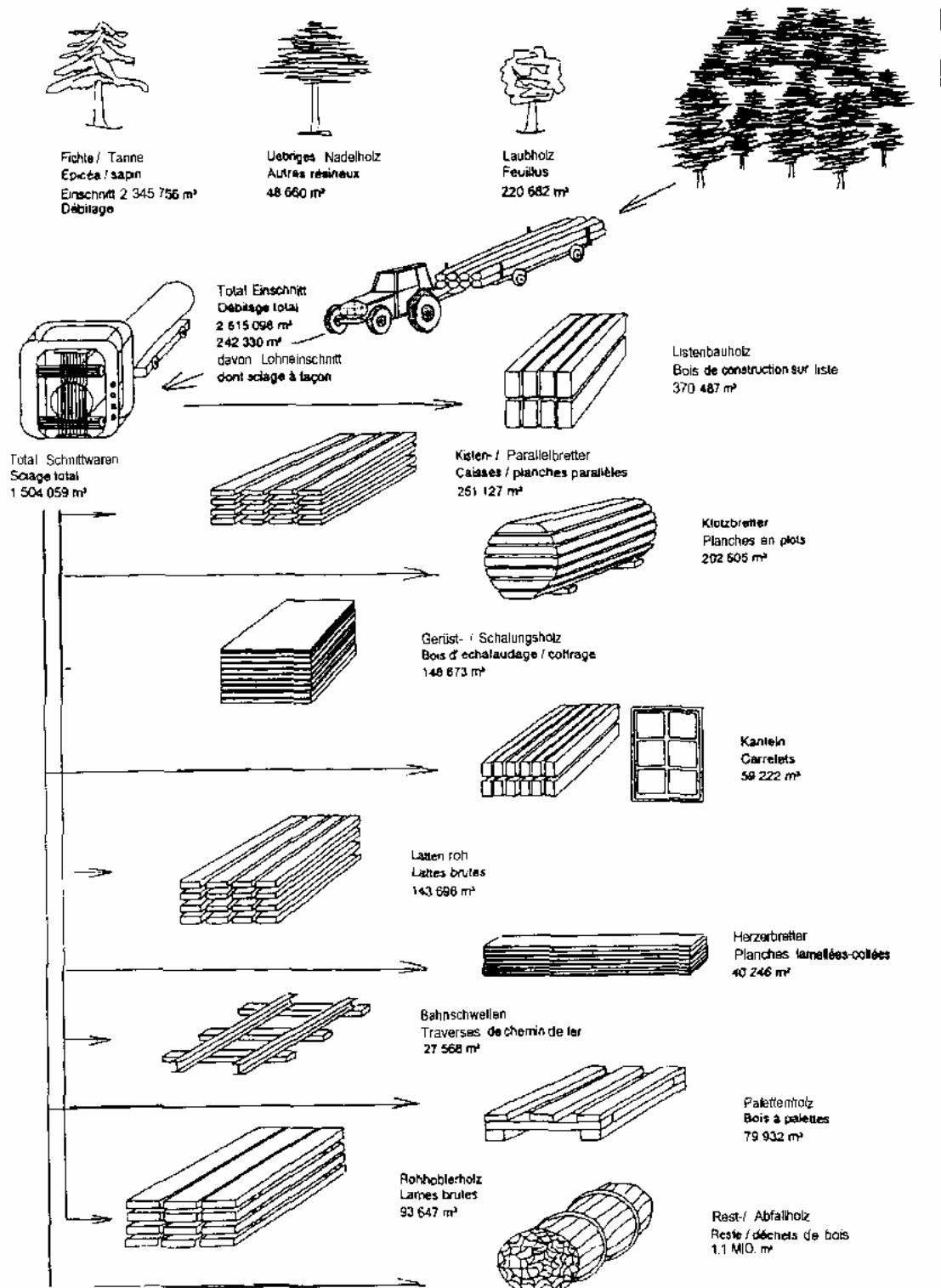


Abbildung 2.3: Sortimente der Schweizer Sägeindustrie, 1991

2.2 Einschnittarten

Abbildung 2.4 zeigt die wesentlichen Einschnittarten des Holzes. Durch den Einschnitt wird massgeblich die Holzqualität mitbestimmt. So haben Bretter mit Riftschnitt eine deutlich höhere Formstabilität und geringere Neigung zur Bildung von Trocknungsrisse als Seitenbretter mit weitgehend tangenalem Schnitt.

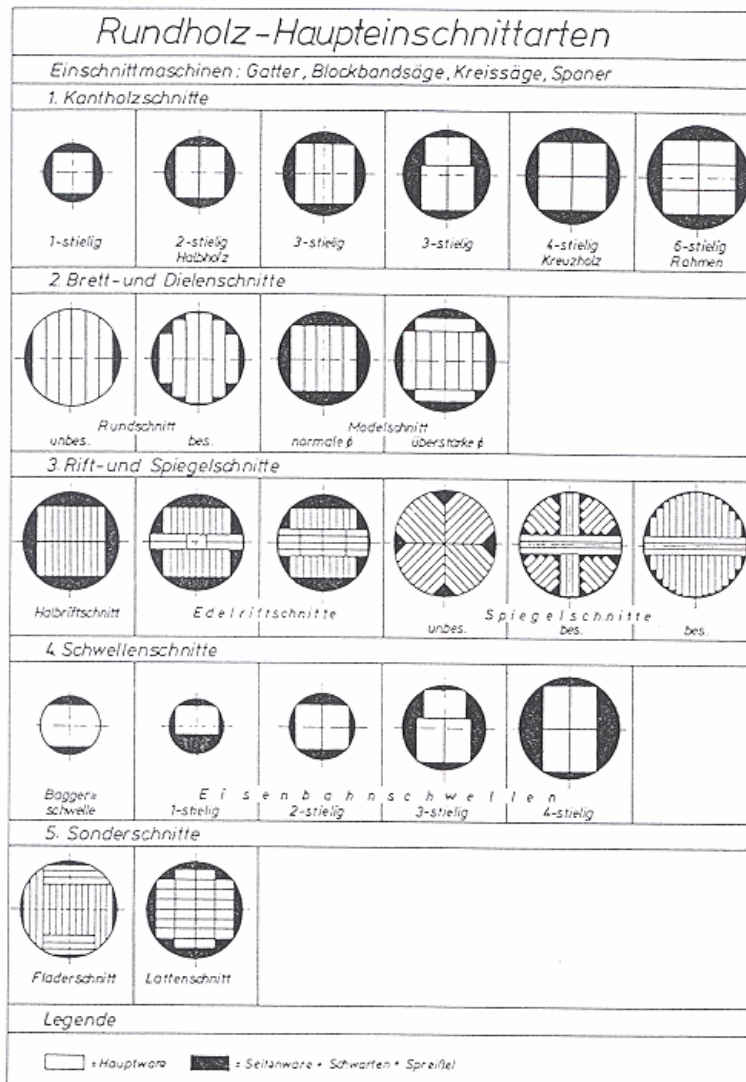


Abbildung 2.4: Übersicht zu den Einschnittarten von Rundholz

Der Holzdurchmesser beeinflusst entscheidend den Erschnitt (Ausbeute). Je grösser der Durchmesser, umso grösser ist der Erschnitt (Abbildung). Etwa 50-70% (heute eher unterer Bereich) des Rundholzes werden Schnittholz. Die Reste werden als Hackschnitzel, Schwarten und Spreissel an die Holzwerkstoffindustrie verkauft (Abbildung 2.5).

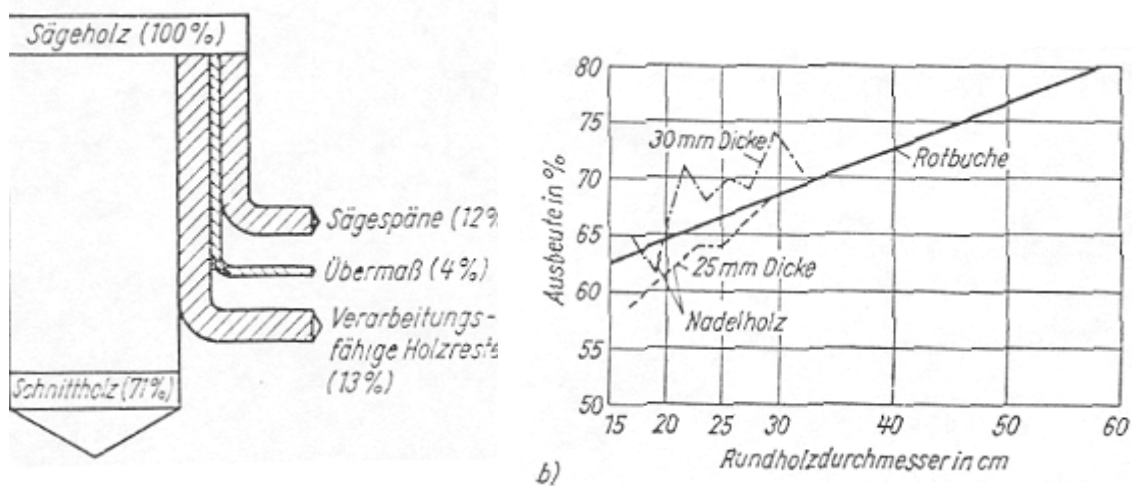


Abbildung 2.5: Holz ausnutzung im Sägewerk und Einfluss des Durchmessers auf die Ausnutzung

2.3 Arbeitsabläufe im Sägewerk

Abbildung 2.6 zeigt schematisch den Arbeitsablauf in einem Sägewerk.

Die Hauptproduktionsstufen bei der Erzeugung von Sägeholz werden nachfolgend kurz erläutert:

2.3.1 Lagerung

Die Lagerung dient der Bevorratung von Holz. Sie erfolgt vorzugsweise auf Poltern (Abbildung). Dabei ist zu beachten, dass holzverfärbende Pilze (Bläue, Rotstreifigkeit, Abbildung 2.8) auftreten können.

Die Bildung Holzverfärbender Pilze kann verhindert werden durch chemischen Holzschutz, die Wahl eines geeigneten Feuchtebereiches (z.B. Wasserlagerung, besprühen) oder der Reduzierung des Angebotes an Sauerstoff (z.B. Lagerung unter Folien, Nasslagerung, Erniedrigung der Temperatur).

Praktizierte Massnahmen sind:

- Besprühen im Sommer (Abbildung 2.8)
- Wasserlagerung
- Folienlagerung (luftdicht abgeschlossene Folien, verschweisst)

Generell ist zu beachten, dass

- Der Holzplatz sauber ist (z.B. betonierte)
- Das Holz nicht direkt auf der Erde gelagert wird

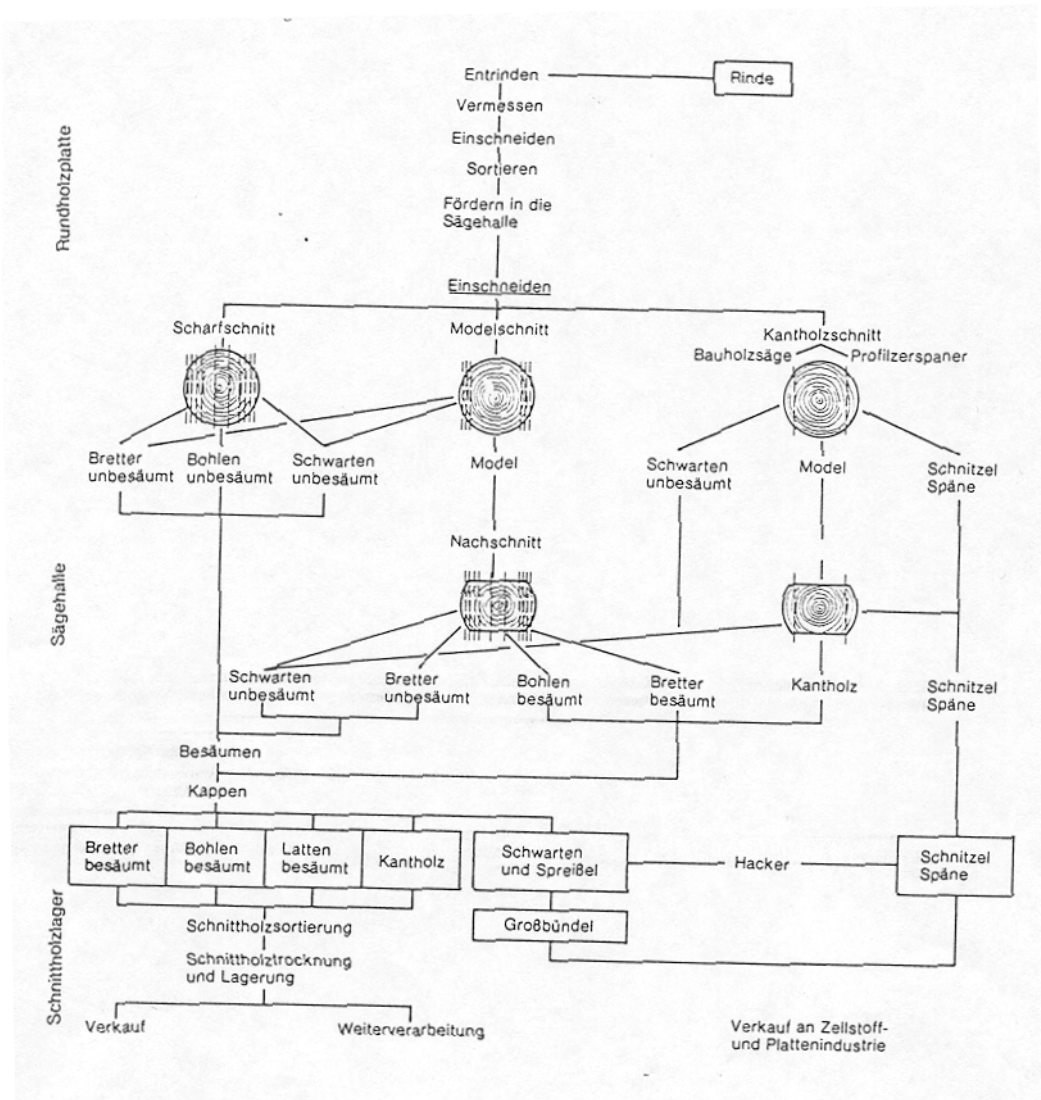


Abbildung 2.6: Arbeitsabläufe in einem Sägewerk (schematisch)

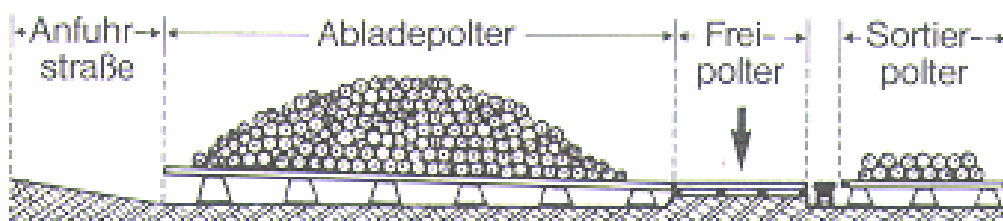


Abbildung 2.7: Rundholzpolter



Abbildung 2.8: Besprühen von Rundholz zwecks Verhinderung von Bläue



Abbildung 2.9: Verfärbung von Holz durch unsachgemässe Lagerung

2.3.2 Entrinden

Zum Entrinden werden eingesetzt:

- Fräskopfentrinder (Stamm dreht sich, mit Messerkopf wird Rinde angefräst)
- Lochrotorenrinder (um Stamm laufende Reibwerkzeuge; Abbildung)
- Trommelentrindung (in Trommel durch Reiben/Gegeneinanderschlagen der Stämme, Vorwiegend in Papierindustrie angewandt)
- auch mobile Entrindungssysteme sind im Einsatz (z.B. auf LKW montiert)

2.3.3 Sonstige Prozessstufen

Wurzelanläufe oder auch zu grosse Durchmesser werden abgefräst. Für den optimalen Einschnitt von Bedeutung ist eine richtige Stammorientierung zur Schnittrichtung. Dazu sind spezielle Vorrichtungen zum Ausrichten vorhanden. In Entwicklung sind Anlagen zur Erkennung innerer Defekte in Sägeblöcken (Logscanning) auf Basis der Computertomographie.

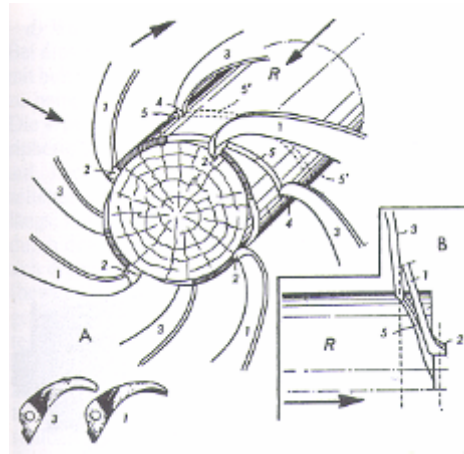


Abbildung 2.10: Entrindungsmaschinen

2.3.4 Vermessen

Das Rundholz wird mittels Messgeräten (Laser, Infrarot-Technik) in Länge, Durchmesser, Exzentrizität vermessen und danach entsprechend den vorliegenden Aufträgen nach einem Optimierungsprogramm abgelängt.



Abbildung 2.11: Rundholzmessgerät

2.3.5 Ablängen

Das Ablängen des vermessenen Holzes erfolgt mittels Kettensägen oder Kreissägen. Beim Ablängen wird unter Berücksichtigung der Krümmung des Stammes und der Holzqualität gleichzeitig eine Optimierung vorgenommen.

2.3.6 Sortieren

Insbesondere bei Gattersägewerken erfolgt eine Sortierung des Holzes nach dem Durchmesser, um beim Einschnitt gleiche Einschnittdiagramme verwenden zu können. Die Umstellzeiten beim Gatter sind erheblich. Zum Sortieren werden auch spezielle Systeme (z.B. Baljer & Zembrod) eingesetzt.



Abbildung 2.12: Sortieranlagen

2.3.7 Einschneiden

Hauptmaschinen im Sägewerk für den Einschnitt sind:

- Gatter
- Bandsäge
- Spaner
- Kreissägen

Vor dem Einschnitt werden die Stämme so gedreht, dass die Krümmung vertikal zur Bewegung des Sägeblattes liegt, um geringe Schnittverluste zu erhalten.

Zudem wird für den exakten Zuschnitt eine erneute Vermessung vollzogen, um eine optimale Ausbeute zu erhalten.

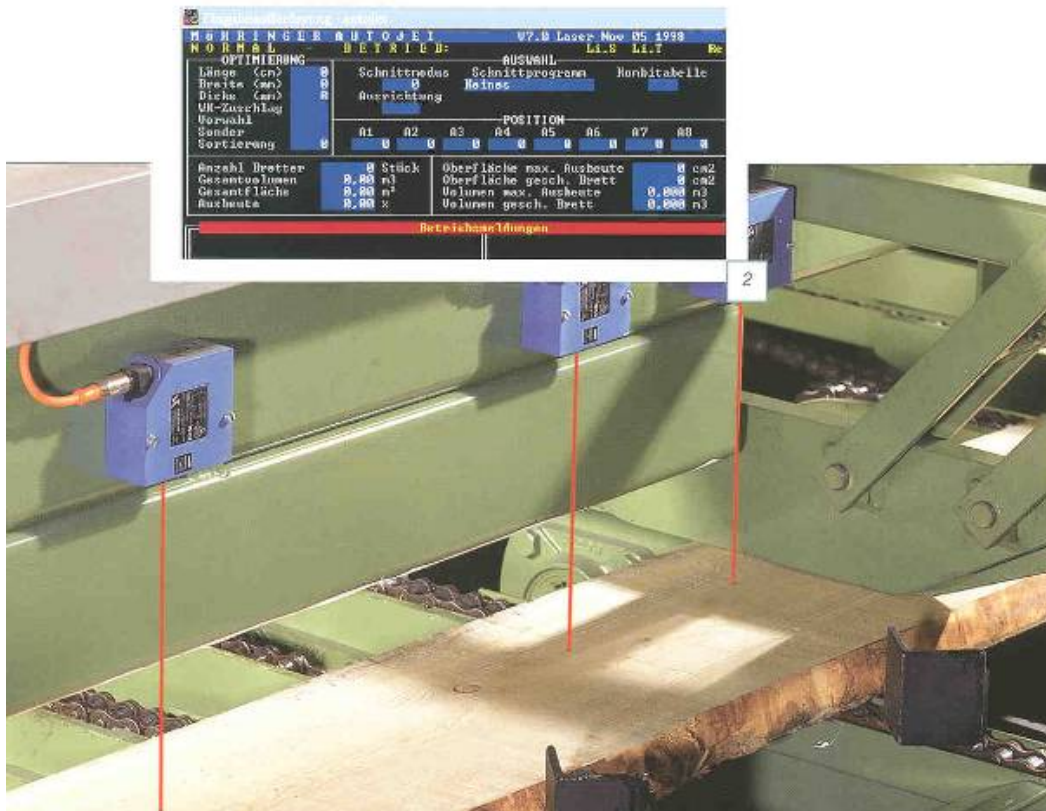


Abbildung 2.13: Laservermessung vor dem weiteren Einschnitt der Bretter

2.3.8 Trocknen/Stapeln/Weiterverarbeiten

In den Sägewerken erfolgt heute meist eine Weiterveredelung des Holzes, um die Wertschöpfung zu erhöhen. Zu diesen Stufen gehören

- Die Holz Trocknung
- Die Herstellung von Hobelware
- Sortierung
- Die Herstellung von Brettschichtholz oder verleimten Holzelementen wie Kreuzbalken
- Die Herstellung von Massivholzplatten mit teilweiser Vorfertigung von Elementen für das Bauwesen



Abbildung 2.14: Vierseitenhobelmaschine zur Bearbeitung von Vollholz (Fa. Weinig)

2.4 Hauptmaschinengruppen

2.4.1 Gattersägemaschine

Gattersägemaschinen (Vollgatter) sind Maschinen zum Zerlegen von Rundholz in Schnittmaterial. Sie arbeiten mit mehreren Sägeblättern gleichzeitig, die als Langsägen gestaltet und in einen auf- und abwärts gehenden Rahmen eingespannt sind. Beim Durchlaufen des Gatters werden alle Elemente des Stammes in einem Durchlauf aufgetrennt. Gatter werden überwiegend für Nadelholz verwendet. Einschneidbar sind Stämme bis etwa 80cm Durchmesser, die Vorschubgeschwindigkeit beträgt bis zu 20m/min, die Schnittgeschwindigkeit 5-7m/s. Teilweise wird auch das Gatter mit Spanertechnik kombiniert (wegfräsen der Seitenware). Dadurch steht besäumte Schnittware bereit. Erfolgt dies nicht, müssen die Bretter nach dem Einschneiden besäumt werden. Die Leistung eines Gatters liegt je nach Typ zwischen 6.000 bis 25.000 m³/Jahr (Rundholz).

Die Bewegung wird von einem Schubkurbeltrieb abgeleitet. Nur der Abwärtsgang des Rahmens wird zum Schneiden genutzt. Da die Geschwindigkeit der Sägeblätter sinusförmig verteilt ist, müssen für das Vorschieben des Holzes gegen die Sägeblätter besondere Steuerungssysteme verwendet werden, um eine optimale Ausnutzung des Hubes und eine optimale Standzeit der Sägeblätter zu erreichen (periodischer Vorschub, Überhang der Säge). Abbildung zeigt schematisch den Überhang des Sägeblattes. Dabei ist $\tan \alpha$ als Überhang definiert.

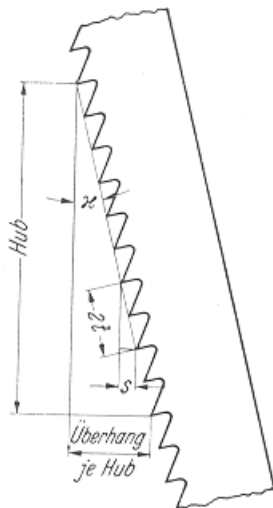


Abbildung 2.15: Überhang am Gatter

Die Sägeblätter bestehen aus Stahllegierungen. Zur Erhöhung der Standzeit der Sägeblätter wird Stellite auf die Zähne aufgebracht. Dies ist eine Legierung, die flüssig aufgetragen wird. Dabei wird das Blatt z.B. geschliffen oder gestaucht (Vermeidung der Reibung des Blattes mit dem Holz) und anschließend wird Stellite aufgeschweisst. Danach erfolgt ein nachschleifen. Auch Schränken der Zähne (diese werden abwechslungsweise nach links und rechts aus der Blattebene gebogen) oder ein spezieller Stelliteauftrag an der Zahnbrust ist möglich, um die Reibung Sägeblatt/Holz zu vermeiden.

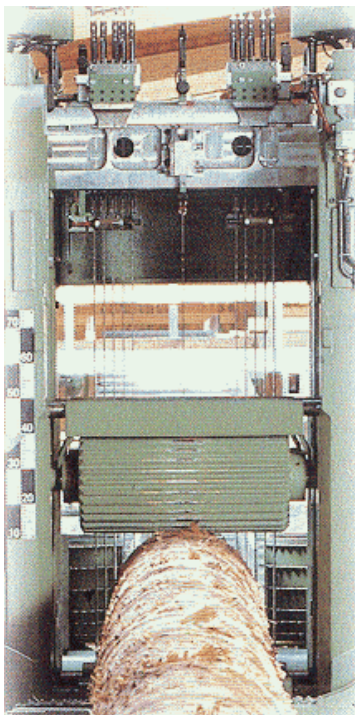


Abbildung 2.16: Gatter

Gattersägemaschine erfordern ein Vorsortieren des Holzes nach dem Durchmesser, da die Zeiten für das Umstellen der Sägeblätter erheblich sind (Abbildung 2.16). Es gibt heute aber auch bereits Möglichkeiten einer motorischen Verstellung der Sägeblätter.

Die Schnittfugenbreite hat einen sehr grossen Einfluss auf das Ergebnis der Sägerei (Ausbeute). So beträgt bei einer Sägeblattdicke von 1,8 mm und 0,7 mm Schrank der Sägespananteil 12,58%, bei 2,2 mm Sägeblattdicke und 0,8 mm Schrank der Sägespananteil 14,84% (Gfeller 2000).

2.4.2 Bandsägemaschinen

Eingesetzt werden Blockbandsägen (schwere Sägen mit 180 bis 300mm Blattbreite) und Trennbandsägen (etwas leichtere Ausführung, Einsatz teilweise für Nadelholz). Die Schnittfugenbreite ist bei Bandsägen deutlich geringer als bei Gattersägemaschinen.

Der Rollendurchmesser kann bis über 2m betragen. Die Schnittgeschwindigkeit beträgt bis 60m/s und darüber.

Die Vorschubgeschwindigkeit beträgt bis zu 200m/min und darüber.

Je nach Aufbau sind Stämme bis zu 3 m Durchmesser und darüber einschneidbar. Geschnitten werden kann:

- Im Vorlauf des Sägeblockes
- Im Vor- und Rücklauf (beidseitig gezahnte Sägeblätter)
- Durch mehrere gegenüberliegende oder hintereinander angeordnete Einheiten (dadurch Erhöhung der Leistung der Anlage), im Tandemschnitt wird auch Nadelholz eingeschnitten.

Blockbandsägen werden für grosse Durchmesser und individuellen Einschnitt genutzt (Verstellung je Schnitt möglich). Eingeschnitten werden insbesondere Laubhölzer, Nadelholz grosser Dicke (Starkholz) aber auch dünnere Durchmesser bis 60 cm mit Trennbandsägen und entsprechender Anordnung der Sägen. Die Schnittfugenbreite beträgt ca. 3mm.

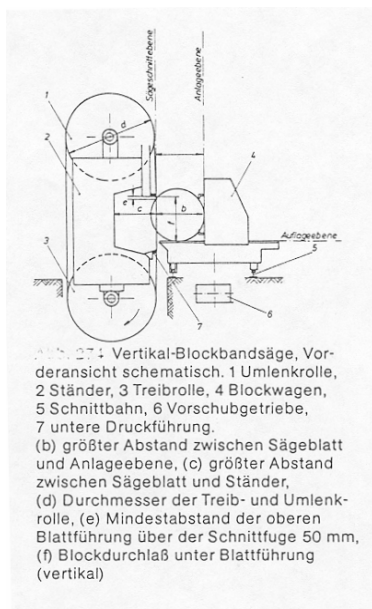


Abbildung 2.17: Schematischer Aufbau einer Blockbandsäge

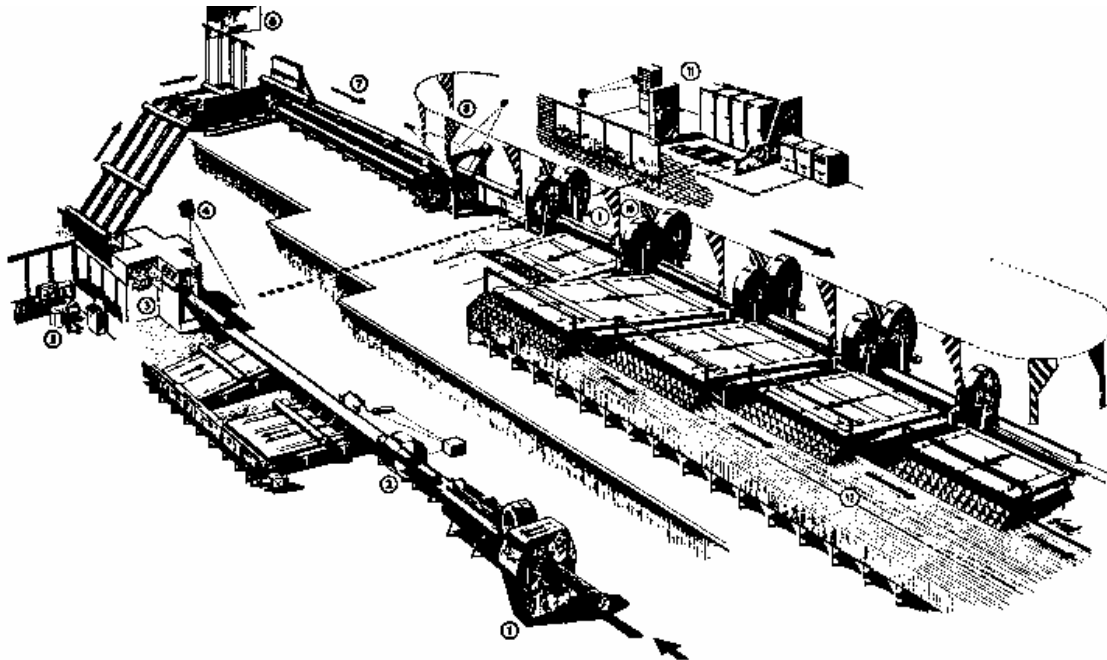

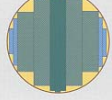
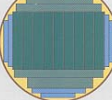







Abbildung 2.18: Anordnung mehrerer Blockbandsägen zum Einschnitt von Nadelholz

Schnittbild	D = 40 cm	D = 50 cm	D = 60 cm
Ausstattung	 1)	 2)	 3)
 EBB V	100% ⁴⁾	100%	100%
 EBB V+S	123%	117%	119%
 EBB V/R+S	154%	142%	148%
 Tandem EBB V+S	177%	184%	214%
 Tandem EBB V/R+S	192%	207%	269%

1) nur Vorschnitt 3) Vorschnitt und Nachschnitt
2) nur Vorschnitt 4) Die Vergleichszahlen resultieren aus Berechnungen

Abbildung 2.19: Möglichkeiten der Ausstattung von Blockbandsägen (einfacher Einschnitt, kombiniert mit Profiliertechnik, Profiliertechnik und Schnitt bei Vor- und Rücklauf des Spannweges, Tandemschnitt)

2.4.3 Profilieranlagen

Bei Profilieranlagen (Profilterspanern) wird die Seitenware abgefräst. Daraus werden Hackschnitzel, teilweise auch Strands für OSB gefertigt. Im Gegensatz zu Schwarten und Spreisseln fallen keine sperrigen Holzreste an. Die Hackschnitzel werden für die Spanplattenindustrie, die MDF oder die Zellstoffherstellung verwendet. Kanthölzer können direkt in einem Arbeitsgang erzeugt werden.

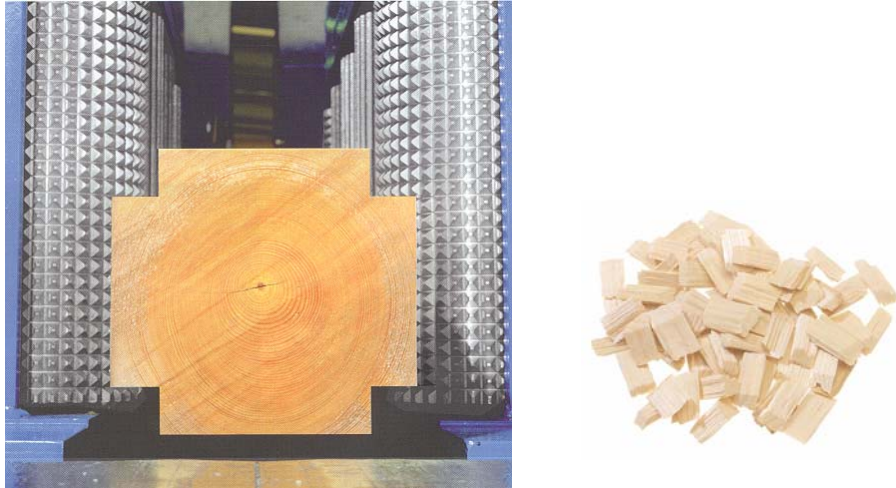


Abbildung 2.20: Profiliertechnik (Seitenware wird zu Hackschnitzeln verarbeitet)

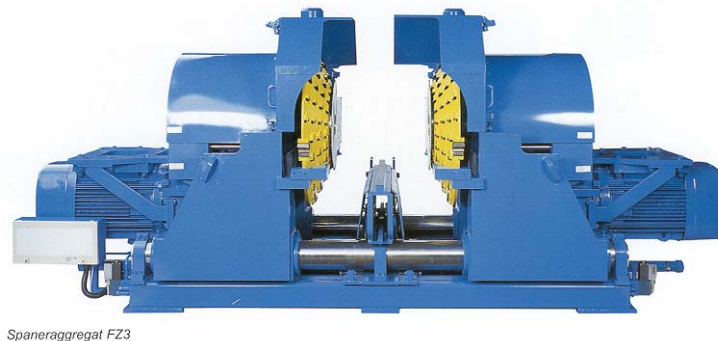


Abbildung 2.21: Profilieranlage

Sollen Bretter erzeugt werden, so sind den Profilieranlagen Reduzierkreissägen, Bandsägen oder auch Gatter nachgeschaltet. Die Hackschnitzelgröße bestimmt die Vorschubgeschwindigkeit des Zerspaners. Die Vorschubgeschwindigkeit beträgt bis zu 200m/min. Auch gewisse Profile können mit dieser Technik direkt erzeugt werden. Abbildung 2.22 zeigt den schematischen Aufbau einer Spaneranlage.

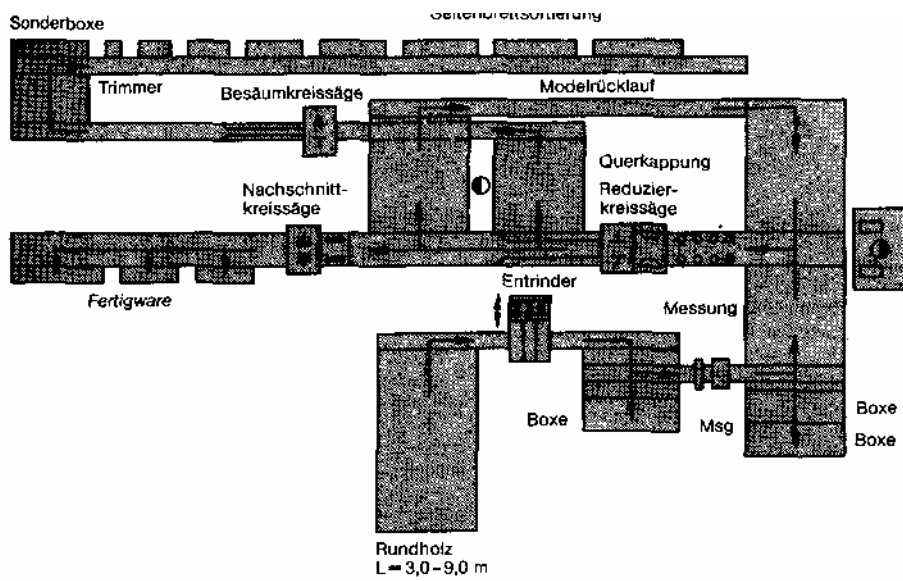


Abbildung 2.22: Schematischer Aufbau einer Profileranlage

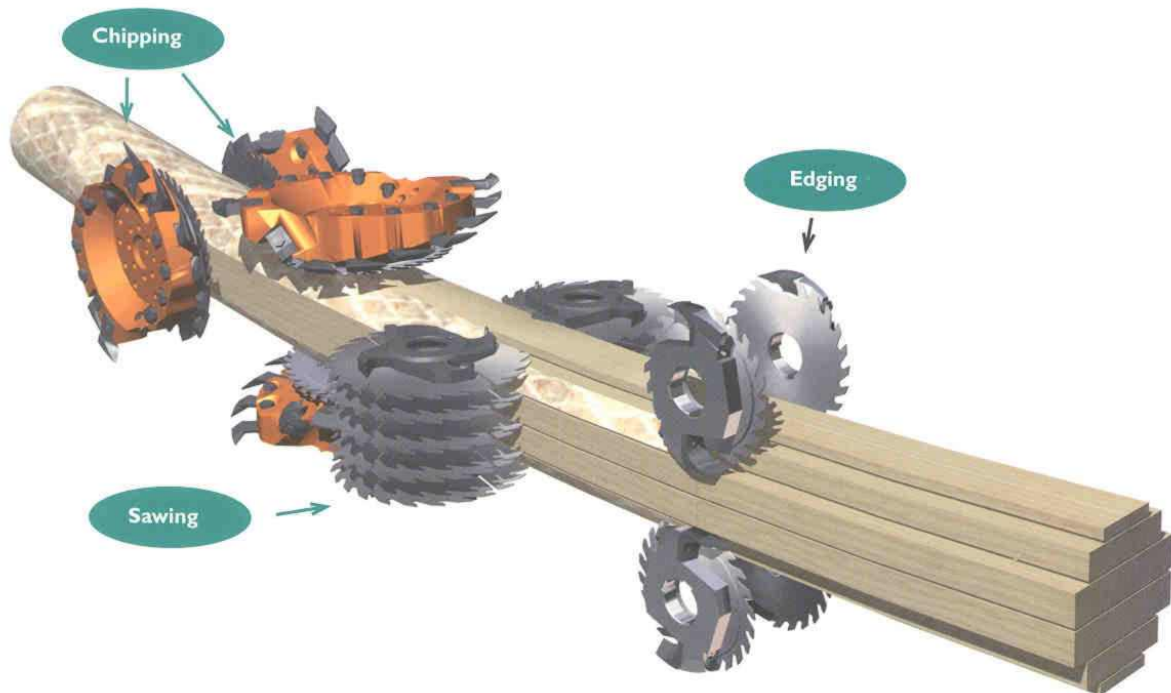


Abbildung 2.23: Profilerspaner mit nachgeschalteten Kreissägen

2.4.4 Kreissägetechnik

Es gibt verschiedene Ausführungen von Kreissägemaschinen. So gibt es sogenannte Bauholzkreissägen mit einem oder zwei Sägeblättern. Das Sägewerk kann dabei mit Modelrückführung oder mit 2 Sägeaggregaten ausgestattet sein. Die Einschnittleistung beträgt bis zu 50.000m³/Jahr. Als Hauptmaschine haben Kreissägen geringe Bedeutung.

Sie werden heute primär zum Nachschnitt in Schwachholzlinien eingesetzt. Meist werden heute Doppelwellenkreissägen (Blatt von oben und unten) zum Nachschnitt in Profilieranlagen eingesetzt (vgl. Abbildung 2.24). Die Abstände der Sägeblätter sind motorisch verstellbar.

Die Kreissägetechnik hat von allen Trenntechniken die höchste Vorschubgeschwindigkeit. Sie ermöglicht sehr hohe Schnittgenauigkeit (geringe Dickentoleranzen) und hohe Oberflächengüte. Durch die Doppelwellentechnik (Schnitt von oben und unten) werden die Eingriffstiefen halbiert und damit die Schnittgenauigkeit erhöht. Mit der Kreissägetechnik kann vertikal und horizontal geschnitten werden. Der Vorschub beträgt bis 200m/min. Der maximale Stammdurchmesser beträgt etwa 750 mm. Die Sägen werden hydraulisch verstellt. Mit zunehmendem Durchmesser des Sägeblattes steigt der Schnittverlust (Schwingung des Blattes). Tabelle 2.1 zeigt zum Vergleich Schnittverluste für verschiedene Maschinen.

Tabelle 2.1: Vergleich von Kennwerten verschiedener Sägen nach Gfeller (2000)

Kenngrösse Alle Angaben in mm	Gattersäge Hub 600 mm	Doppelwellenkreissäge 2x440mm Durchmesser oder 1x600mm 200mm Schnitthöhe	Doppelwellenkreissäge 2x 500mm Durchmesser im Vorschnitt 300mm Schnitthöhe	Bandsäge 1600mm/ 1400mm Rollen- durchmesser
Blattdicke	2,2	2,2	3,4	1,5
Schrank bzw. Stauchung	2x0,8	2X0,7	2x0,7	2x0,7
Theor. Schnittfugenbreite	3,8	3,6	4,8	2,9
Praktische Schnittfugebreite	4,1	3,8	5,0	3,3
Materialverlust in %	6,1	4,4	5,6	5,9

In Übersee werden teilweise Kreissägen mit Schnittverlusten im cm-Bereich und Blattdurchmessern von ca.1 m für den Einschnitt von Laubholz eingesetzt (Abbildung 2.24).



Abbildung 2.24: Kreissägemaschine zum Rundholzeinschnitt in Chile

2.5 Holzsortierung

Die Holzsortierung erfolgt in der Schweiz nach SIA 164. Die entsprechende europäische Norm ist prEN 338. Es wird nach folgenden *Sortimenten* unterschieden:

- Schnittholz
- Rundholz
- Lamellen für Brettschichtholz

Sortiermerkmale sind:

Jahrringe, Reaktionsholz, Schrägfasrigkeit, Äste, Überwallungen, Splint- und Kernholz, Harztaschen, Dichte, Holzfeuchte, Pilzbefall, Insektenbefall, mechanische Schädigungen, Risse und Verformungen. Diese Kriterien sind im Einzelnen definiert. Nach SIA gelten folgende Festigkeitsklassen:

- Festigkeitsklasse I (FKI), Holz mit höherer Festigkeit
- Festigkeitsklasse II (FKII), Holz mit normaler Festigkeit (übliches Bauholz)
- Festigkeitsklasse III (FKIII), Holz von geringerer Festigkeit (übliches Bauholz)

Zusätzlich ist eine Klasse Null für mit Ultraschall sortiertes Holz mit erhöhter Festigkeit definiert. Die Festigkeitsklassen geben die zulässigen Spannungen an (vgl.

Tabelle 2.2).

Tabelle 2.2: Festigkeitsklassen nach SIA

Grundwerte für zulässige Spannungen parallel zur Faser für Schnittholz			
	FKI	FKII	FKIII
Biegung	12	10	7
Druck	10	8,5	6
Zug	10	8,5	Nicht zulässig

4.25 1 **Schnittholz**

Sortierkriterien für Schnittholz

Hierin bedeuten:

z : zulässig

nz : nicht zulässig

zA : zulässig im Ausmass bis zum grössten erlaubten Astdurchmesser

s : spezielle Vereinbarungen vorbehalten, normalerweise keine Einschränkungen

Bezeichnung	s. Ziffer	Festigkeitsklassen		
		I	II	III
Wuchsmerkmale	4 22 1			
Jahrring:	4 22 11			
- mittlere Breite $j > 4$ mm		nz	z	z
- sprunghafter Wechsel der Breite		nz	nz	z
Reaktionsholz:	4 22 12			
- max. Anteil am Querschnitt in %		5	10	20
Schrägfaserigkeit: max. Faserneigung a/l	4 22 13	1/15	1/8	1/5
Äste:	4 22 14			
- Kanthölzer und Latten				
- Einzeläste $q_{l,max}$		1/6	1/4	1/3
- Astansammlung Q_{max}		1/3	1/2	2/3
- Bretter				
- Einzeläste $q_{l,max}$		1/5	1/3	1/2
- Astansammlungen Q_{max}		1/3	1/2	2/3
Überwallung	4 22 15	zA	zA	zA
Splint (bei Föhre, Lärche, Douglasie, Eiche):	4 22 16			
- bei vor der Witterung geschützten Bauteilen siehe 2 21 2, Tabelle 1		z	z	z
- bei übrigen Bauteilen nur bei Imprägnierung gemäss 2 22 5		z	z	z
Harztaschen: max. Dicke d in mm	4 22 17	5	6	7
Harzstellen	4 22 18	nz	nz	nz
Darrdichte, Feuchtdichte, Holzfeuchte	4 22 2	s	s	s
Biologische Schädigungen	4 22 3			
Pilzbefall:	4 22 32			
- holzerstörender Pilzbefall		nz	nz	nz
- Bläue		zA/s	zA/s	z
- nagelharte rote Streifen		nz	s	z
Insektenbefall:	4 22 33			
- einzelne Austrittslöcher bis $\varnothing 5$ mm, falls Gewähr besteht, dass keine weitere Zerstörung erfolgt		nz	z	z
Mechanische Schädigungen	4 22 4	nz	nz	nz

Bezeichnung	s. Ziffer	Festigkeitsklassen		
		I	II	III
Risse und maximale Verformungen ¹⁾	4 22 5			
Risse:	4 22 51			
- Innenrisse, Querrisse, Schälrisse		nz	nz	nz
Verformungen von Schnittholz beim Einbau:	4 22 52			
- Krümmung f_{max}/l		1/350	1/250	1/150
- Verwölbung f_{max}/b		2/100	3/100	4/100
Verformungen von Kantholz beim Einbau:				
- Verwindung f_{max}/b pro Meter Länge		1/100	1/50	z
Schnittarten	4 22 6			
Mark:				
- markdurchschnittenes Stück		nz	z	z
- Markstück		nz	nz ²⁾	nz ²⁾
Baumkante:	4 22 64			
- auf 1 Kante d_{max}/b		0	1/5	1/3
- auf 2 Kanten d_{max}/b		0	1/8	1/5
- auf 4 Kanten d_{max}/b		0	0	1/8
Querschnittsabmessungen	4 23			
maximal zulässige Massabweichungen:	4 23 1			
- Unterschreitung der Höhe bzw. Breite in Prozent, jedoch höchstens mm		1	2	3
- Überschreitung der Höhe bzw. Breite in Prozent, jedoch höchstens mm		2	5	5
		2	3	4
		2	5	5

¹⁾ siehe auch 5 11 2

²⁾ Markstücke sind für Bauteile zugelassen, deren Schub- oder Scherbeanspruchung die Hälfte der zugelassenen Werte nicht überschreitet.

Abbildung 2.2: Schnittholz-Sortierung nach SIA 164

Zunehmend an Bedeutung für grössere Werke gewinnt die maschinelle Sortierung. Im Einsatz sind dabei:

- Geräte auf Ultraschallbasis (Sylvatest, in Deutschland noch nicht zugelassen)
- Geräte nach dem stressgrading Prinzip (Biegebelastung, zusätzlich Messung von Ästen mit Röntgenstrahlen) (EUROGRECOMAT, Fa. GreCon, vgl. Abbildung 2.6).
- Eigenfrequenzmessung (Grade Master, Fa. Dimter)

Nach EN 338 sind dabei Festigkeit, Steifigkeit und auch die Dichte wichtige Sortierparameter. Da optische Kriterien wie Jahrringbreite und Astanteil mit den mechanischen Eigenschaften korrelieren, kann auch aus diesen Parametern auf die Festigkeit geschlossen werden. So werden Anlagen getestet, die Jahrringbreite und den Astanteil erkennen und mit den mechanischen Eigenschaften korrelieren.



Abbildung 2.26: EuroGrecomat (Fa. GreCon)

Tabelle 2.3: Sortierklassen nach EN 338

	Pappel und Nadelholz									Laubholz					
Festigkeit in N/mm ²	C14	C16	C18	C22	C24	C27	C30	C35	C40	D30	D35	D40	D50	D60	D70
Biegung, f _m k	14	16	18	22	24	27	30	35	40	30	35	40	50	60	70
Zug parallel, f _{t0k}	8	10	11	13	14	16	18	21	24	18	21	24	30	36	42
Zug senkrecht, f _{t90k}	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,9
Druck parallel, f _{c0k}	16	17	18	20	21	22	23	25	26	23	25	26	29	32	29
Druck Senkrecht, f _{t90k}	4,3	4,6	4,8	5,1	5,3	5,6	5,7	6,0	6,3	8,0	8,4	8,8	9,7	10,5	13,5
Scheren, f _v	1,7	1,8	2,0	2,4	2,5	2,8	3,0	3,4	3,8	3,0	3,4	3,8	4,6	5,3	6,0
Steifigkeit in N/mm ²															
E-Modul Parallel (Mittelw)	7000	8000	9000	10.000	11.000	12.000	12.000	13.000	14.000	10.000	10.000	11.000	14.000	17.000	20.000
E-Modul Parallel (5%)	4700	5400	6000	6700	7400	8000	8000	8700	9400	8000	8700	9400	11.800	14.300	16.800
Schubmodul (Mittelw)	440	500	560	630	690	750	750	810	810	600	650	700	880	1060	1250

Mittlere Dichte in kg/m ³	290	370	380	410	420	450	460	480	500	640	670	700	780	840	1040
--------------------------------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------

f_{mk} charakteristische Werte für Biegefestigkeit

f_{t0k} charakteristische Werte für Zugfestigkeit parallel

f_{t90k} charakt. Mittelwert des E-Moduls

f_{c0k} charakt. Wert Druckfestigkeit paralle

2.6 Holzstapelung/Trocknung

Nach dem Einschneiden wird Sägeholz im Sägewerk heute meist getrocknet. Vor dem Trocknen erfolgt ein manuelles oder auch maschinelles Stapeln des Holzes. Abbildung 2.27 zeigt eine maschinelle Stapelanlage für Schnittholz (Fa. Balz, Langnau i.E./CH)



Abbildung 2.27: Stapelanlage, Fa. Balz, Langnau i.E./CH

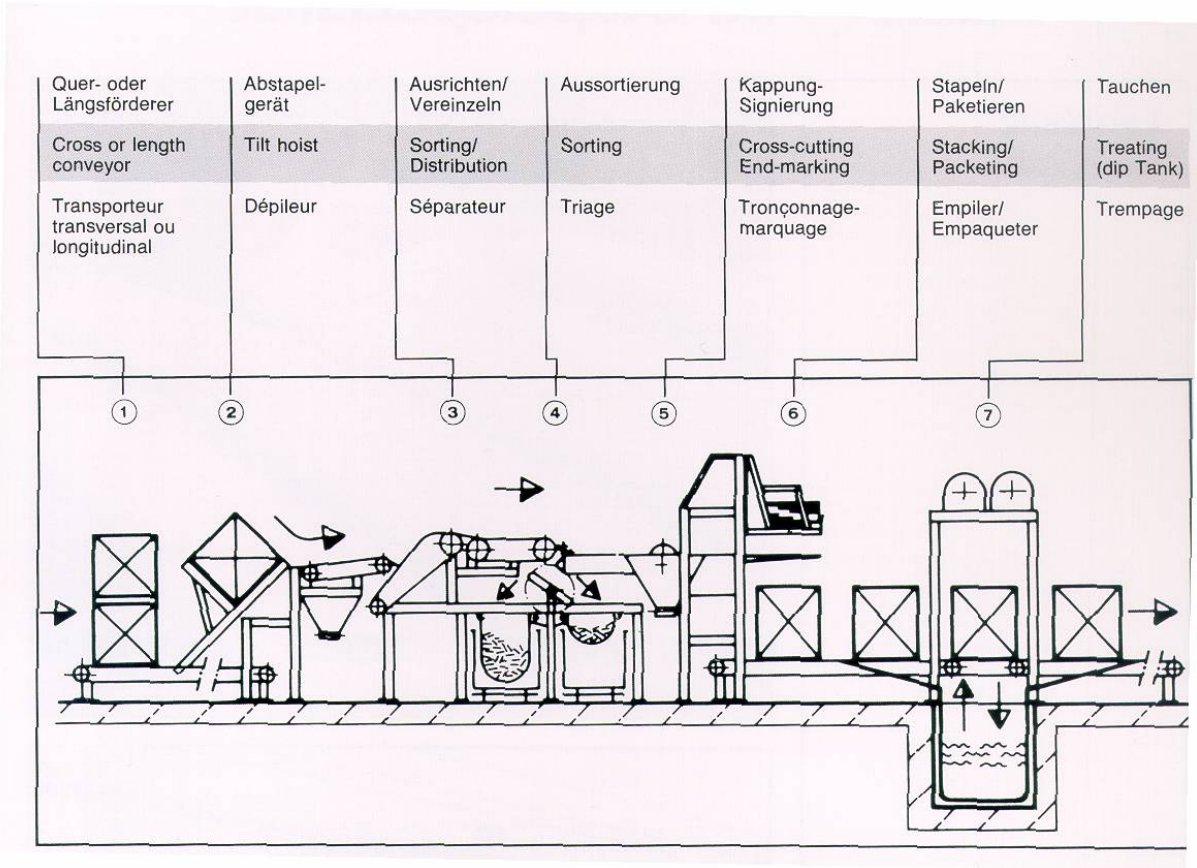


Abbildung 2.3: Ablauf der Sortierung und Stapelung, Fa. Balz

2.7 Literatur zu Kapitel 2

- Autorenkollektiv (1969):** Taschenbuch der Holztechnologie. Fachbuchverlag, Leipzig.
- Autorenkollektiv (1975):** Werkstoffe aus Holz. Fachbuchverlag, Leipzig.
- Autorenkollektiv (1984):** Holzbearbeitung. Fachbuchverlag, Leipzig.
- Autorenkollektiv (1990):** Holzlexikon. DRW-Verlag, Stuttgart.
- Autorenkollektiv (1990):** Lexikon der Holztechnik. 4. Aufl. Fachbuchverlag, Leipzig.
- Baldwin, R. F. (1981):** Plywood Manufacturing Practices. Miller Freeman, San Francisco.
- Dunky, M.; Niemz, P. (2002):** Holzwerkstoffe und Leime. Springer Verlag.
- Fronius, K (1989):** Arbeiten und Anlagen im Sägewerk; Band.2 Spaner, Kreissägen, Bandsägen. DRW-Verlag, Stuttgart.
- Fronius, K (1992):** Arbeiten und Anlagen im Sägewerk; Band.3: Gatter, Nebenmaschinengruppen, Schnitt- und Restholzbehandlung. DRW-Verlag, Stuttgart.
- Kollmann F (1955):** Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe (Bd. 2). Springer Verlag, Berlin
- Kollmann, F.; Coté, W.; Kuenzi, E.; Stamm, A. (1975):** Principels of Wood Science and Technology. (Bd.1). Springer Verlag, Berlin.
- Lampert, H. (1966):** Faserplatten. Fachbuchverlag, Leipzig.
- Lohmann, U. (1998):** Holz-Handbuch. DRW-Verlag, Stuttgart.
- Lohmann, U. (2001):** Holz Handbuch. DRW-Verlag, Stuttgart.
- Niemz, P. (1999):** Physik des Holzes und der Holzwerkstoffe. DRW-Verlag, Stuttgart.
- Sell, J. (XXXX):** Eigenschaften und Kenngrößen von Holzarten. Baufachverlag, Zürich.

www.bz-world.com	Holzbearbeitungsanlagen (für Sägewerke)
www.etienne.de	Holzbearbeitungsanlagen (für Schreinerei + Hobby)
www.ewd.de	Holzbearbeitungsanlagen (für Sägewerke)
www.grecon.de	Messanlagen
www.hewsaw.com	Sägehersteller
www.moehringer.com	Holzbearbeitungsanlagen (für Sägewerke)
www.pallmann-online.de/seiten/holz/frame_holz.html	Zerkleinerungsmaschinen

3.	NUTZUNG VON HOLZNEBENPRODUKTEN	3-2
3.1	RINDENVERWERTUNG.....	3-2
3.1.1	<i>Rindenverbrennung</i>	3-2
3.1.2	<i>Rindenplatten</i>	3-2
3.1.3	<i>Rindenkompostierung</i>	3-2
3.1.4	<i>Rindenverwertung</i>	3-2
3.1.4.1	Nutzungsgesichtspunkte und Verwertungsmöglichkeiten	3-2
3.1.4.2	Substanzgewinnung	3-3
3.1.4.3	Bastfasergewinnung.....	3-3
3.1.4.4	Korkgewinnung	3-4
3.1.4.5	Energiegewinnung	3-6
3.1.4.6	Garten- und Landschaftsbau	3-8
3.1.4.7	Biotechnik.....	3-9
3.1.4.8	Sonstige Verwendungen von Rindenprodukten.....	3-9
3.2	HARZE	3-11
3.2.1	<i>Definitionen</i>	3-11
3.2.2	<i>Verwendung von Naturharzen</i>	3-11
3.2.2.1	Kolophonium.....	3-12
3.2.2.2	Dammar	3-14
3.3	GERBSTOFFE	3-15
3.4	LITERATUR ZU KAPITEL 3	3-17

3. Nutzung von Holznebenprodukten

3.1 Rindenverwertung

(aus Teil 6 ‚Rindenkunde und Rindenverwertung‘ im Skript Holzkunde II)

Weltweit werden jährlich rund 3.4 Mrd. fm Rundholz genutzt¹, wovon 50-60% als Brennholz. Wenn man von einem durchschnittlichen Rindenanteil von 10% ausgeht, fallen vom nicht als Brennholz verwendeten Rundholz jährlich weltweit etwa 140-170 Mio. fm Rinde an.

3.1.1 Rindenverbrennung

Relativ niedriger Heizwert (ca. 2500 kcal/kg bei 50%igem Trockengewicht)

Probleme: Rinde fällt im allgemeinen nass an und enthält Verunreinigungen (Sand, Steine und Erde), die zu einer starken Verschlackung der Verbrennungsanlagen führen (→ hohe Wartungskosten).

3.1.2 Rindenplatten

Herstellung analog den Spanplatten, jedoch aus Rinde. Die Biegefestigkeit beträgt nur ca. 25 – 30% im Vergleich zu Holzspanplatten.

3.1.3 Rindenkompostierung

- Als Torfersatz
- Als Zugabe zu Schlämmen aus der Papierfabrikation, zu Grünabfällen und Gülle
- Als Rindenmulch

3.1.4 Rindenverwertung

3.1.4.1 Nutzungsgesichtspunkte und Verwertungsmöglichkeiten

Die Rinde wird heute generell aus zwei Gründen genutzt:

- Das Vorhandensein eines besonderen Bedarfs nach einem speziellen Rohstoff z.B. Kork, Bast und Extraktstoffe oder
- Das konzentrierte Anfallen grosser Mengen von Rinden bei der Holzverarbeitung.

Im ersten Fall wird das technische Verfahren auf den Erhalt der hochwertigen Rinde ausgerichtet, im zweiten Fall fällt die Rinde als Nebenprodukt in Massen an. Eine Nutzung des (Neben-) Produktes Rinde ist aber durchaus sinnvoll, da der Anteil der Rinde am Stammholz durchschnittlich 10 – 12% beträgt und heute aus Kostengründen vorwiegend in Sägewerken und nicht mehr im Wald entrindet wird. Bei Werkentrindung sind die Gewinnungs- und Transportkosten der Rinde durch das Holz

¹ Gemäss FAO-Statistik für das Jahr 1999

bereits bezahlt worden. Die Verwertung der so gewonnenen Rinde hängt von der lokal anfallenden Menge ab (da Transporte kaum kostendeckend sind) und wird durch die physikalischen und chemischen Eigenschaften der anfallenden Rinde mitbestimmt. Die wichtigsten Verwertungsmöglichkeiten werden im Folgenden beschrieben (siehe auch Abbildung 3.1). Für eine spezifische Extraktstoffgewinnung oder Korkgewinnung ist diese grosse Rindenmenge allerdings weniger geeignet, da meist ein Gemisch von verschiedenen Baumrinden anfällt.

Auf die verschiedenen Möglichkeiten der Entrindungstechnik kann hier nicht eingegangen werden. Es soll aber darauf hingewiesen werden, dass während der Dauer der intensivsten Teilungstätigkeit (Mai bis August) das Kambium aufgrund seiner feinen, undifferenzierten Zellwänden eine Zone mit geringem mechanischem Widerstand darstellt. In dieser Zeit – Lohzeit – ist eine leichte Trennung der Rinde vom Holz möglich, die sogenannte „Lohschälung“. Danach steigen die Entrindungswiderstände mit sinkender Aktivität des Kambiums wieder an und erreichen Ende September und über den Winter ihre Höchstwerte. Die technologisch erwünschte, völlig saubere Trennung von Rinde und Holz ist während dieser Zeit kaum zu erreichen.

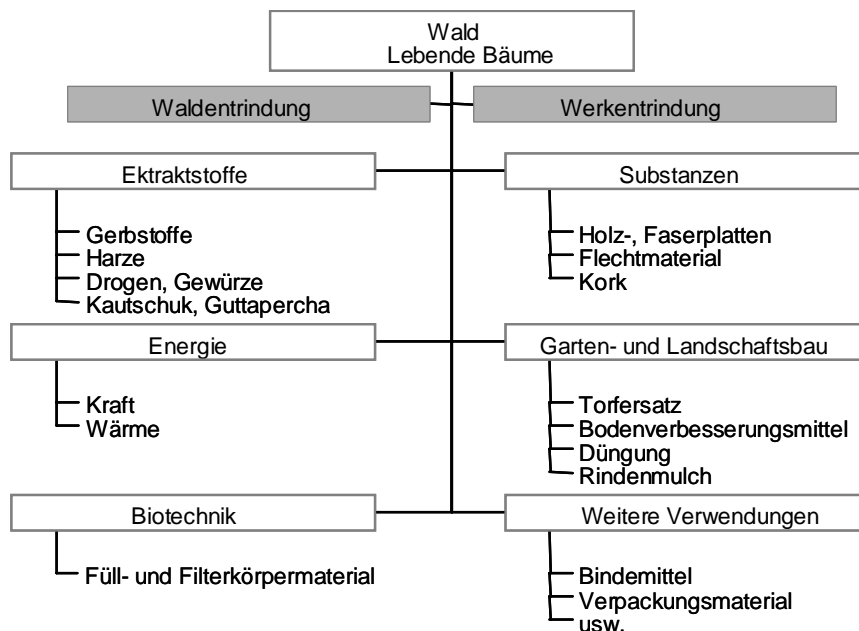


Abbildung 3.1: Möglichkeiten der Rindenverwertung

3.1.4.2 Substanzgewinnung

Heute sind drei Kategorien von Rindensubstanzen von industrieller Bedeutung:

- die Bastfasern und Fasersklereiden,
- der Kork und
- die Zellinhaltsstoffe

3.1.4.3 Bastfasergewinnung

Die Rinde als Teil der Industriereststoffe wird in Form von Hackschnitzeln für die Faserplattenherstellung verwendet. Faserreiche und langfasrige Holzarten werden dabei bevorzugt. Heute findet aber auch die Buche etc. eine Verwendung. Es werden Wärme- und

Schallisolationsplatten, aber auch Mitteldichte Faserplatten (sogenannte MDF) hergestellt. Die Festigkeiten dieser Platten sind geringer als diejenigen aus reinem Holz. Versuche zeigten, das Holzfaserplatten rund 30% Fichtenrinde beigemischt werden kann, ohne dass die technologischen Eigenschaften wie Biegefestigkeit, Wasseraufnahme und Quellung wesentlich beeinträchtigt werden.

Für die Spanplattenherstellung und die Zellulosegewinnung ist die Rinde einheimischer Baumarten hingegen aus technologischen und ästhetischen Gründen weniger geeignet. Die langen Bastfasern einiger tropischer Baumarten werden dagegen für die Herstellung von Packpapier, Papier für Scheckhefte und Banknoten (*Wickstroemia ovata*), Papiere und Dekorfolien (*Broussonetia*, *Ficus*) verwendet.

Die Bastfasern werden aufgrund ihrer vorzüglichen Festigkeitseigenschaften auch als Flechtmaterial für die Herstellung von Körben und Matten und in der Polsterei verwendet. Genutzt wurden früher vor allem die Rinde 20- bis 60-jähriger Linden und Korbweiden, seltener Föhren- und Weidenrinden. Heute finden die Rinden vieler Tropenbäume eine Verwendung. Wirtschaftliche Bedeutung haben heute zudem die Bastfasern von Kräutern, wie Lein (*Linum usitatissimum*), Hanf (*Cannabis sativa*), Kenaf (*Hibiscus spp.*) und Jute (*Corchorus spp.*).

3.1.4.4 Korkgewinnung

Der Kork besteht aus parenchymatischen Zellen mit suberinisierten und zum Teil verholzten Zellwänden. Kork ist leicht (0.24g/cm^3), weich, dauerhaft, leicht bearbeitbar, undurchlässig für Gase und Flüssigkeiten und wirkt isolierend (geringe Leitfähigkeit für Wärme und Elektrizität). Suberin ist mit 58 % der Hauptbestandteil des Korkes, gefolgt von Zellulose 22 %, Lignin 12 % und Wasser 5 %.

Die wichtigsten korkliefernden Baumarten sind in Südeuropa die Korkeiche (*Quercus suber*), in Ostasien der Korkbaum (*Phellodendron amurense*), in Mitteleuropa in geringerer Ausmasse die Schwarzpappel (*Populus nigra*) und als Korkersatzarten in den Tropen *Erythrina suberosa* und *Euphorbia nivulia*.

Man unterscheidet zwischen dem Primärkork (männlichen Kork) und dem sekundär erzeugten Wundkork (weiblicher Kork, Reproduktionskork). Die Korkschicht des Primärkorkes beginnt sich bei *Quercus suber* im 4. Jahr zu bilden und hat nach ungefähr 10 Jahren eine Dicke von ca. 15 mm erreicht. Dieser männliche Kork ist rissig, brüchig und voller Löcher. Nach seiner Entfernung unter Schonung des aktiven Phellogens, bildet dieses eine weichere und regelmässige neue Korkschicht aus, den Reproduktionskork (Abbildung 3.2 und Abbildung 3.3).

Jährlich werden schätzungsweise weltweit rund 500 000 Tonnen Kork gewonnen, ungefähr die Hälfte davon in Portugal. Der Reproduktionskork wird verwendet für Flaschenkork, Schuhsohlen, Stossdämpfer, Rettungsgürtel und Fischernetze. Zunehmende Bedeutung hat die vielfältige Korkverwendung in der Souvenir-Industrie. Aus geringwertigem Kork (vorallem Primärkork) und aus den Abfällen bei der Verarbeitung des Reproduktionskorkes wird Korkschrott gemahlen, der mit Bindemitteln zu Akustikplatten, Fussbodenbelägen (z.B. Linoleum), Dichtungen und Isolationsmaterial gepresst wird (sogenannter Presskork).

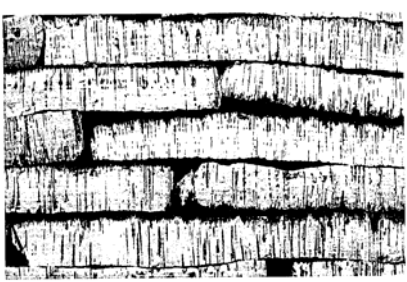


Abbildung 3.2: Sekundär erzeugter Wundkork der Korkeiche (*Quercus suber*). (Quelle: Vaucher 1997 – 1998)

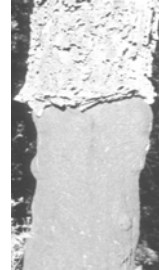


Abbildung 3.3: Korkeiche (*Quercus suber*) nach der Wundkorkentnahme. (Foto: Sammlung H. Bosshard)

3.1.4.5 Energiegewinnung

Die anfallende Rinde bei der Werkentrindung wird heute meistens in den Werken selber zur Wärme- und oder Energiegewinnung verwendet (Stichwort Kraft-Wärme-Koppelung).

Der Heizwert der absolut trockenen Rinde beträgt zwischen 17 000 - 23 000 kJ/kg (Tabelle 3.1). Der Heizwert des absolut trockenen Holzes beträgt vergleichsweise Werte zwischen 17 500 - 19 200 kJ/kg. Die artspezifischen Unterschiede im Heizwert sind durch die verschiedenen Fasergehalte zu erklären. Der effektive Heizwert der Rinde hängt sehr stark von der Feuchtigkeit ab (Abbildung 3.4), da Wasser nur unter Energieverbrauch verbrannt werden kann (2510 kJ = 600kcal sind erforderlich um 1 kg Wasser zu verdampfen). In der Praxis wird bei Trockenentrindung mit einem Rindenwassergehalt von 35 – 65 % gerechnet und bei Nassentrindung mit über 85%. Damit überhaupt ein Energiegewinn bei der Verbrennung erzielt werden kann, wird die Rinde zerkleinert (3 cm) und vorgetrocknet. Oft erfolgt die Vortrocknung direkt vor dem Verbrennungsprozess (bei Verbrennungsanlagen mit Vorkesseln, Unterschubfeuerungen, Schrägrostöfen und dem Polzenith-System z.B. durch Rauchgas aus der eigentlichen Verbrennung). Der effektive Heizwert kann approximativ nach der folgenden Formel berechnet werden:

$$H_{\text{effektiv}} = \frac{H_{\text{atro}} \times (100 - F) - 2510 \times F}{100}$$

H_{effektiv} = effektiver Heizwert [kJ/kg]

H_{atro} = Heizwert der absolut trockenen Rinde [kJ/kg]

F = Rindenfeuchtigkeit [%]

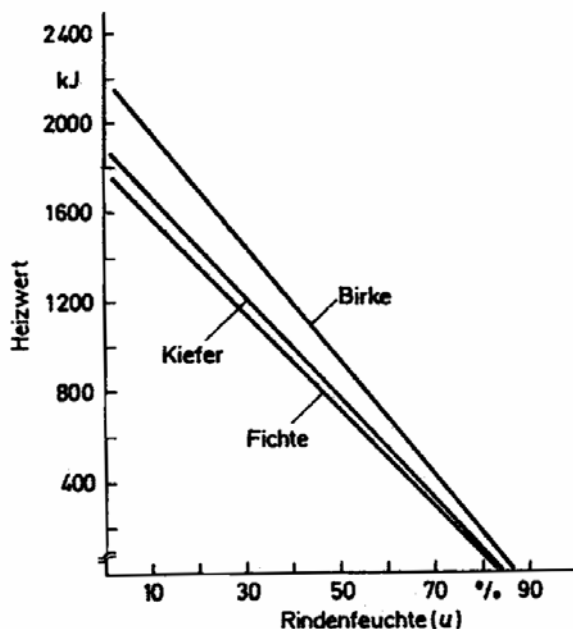


Abbildung 3.4: Heizwert von Rinde in Abhängigkeit von der Feuchte. (Quelle: Mette & Korell 1989)

Eine andere Möglichkeit ist das Brikettieren von Rinde, wobei Pressen und Trocknen in einem Arbeitsgang zusammengefasst werden können (Tabellen hierzu siehe Mette & Korell 1989, S. 104f).

Der Aschegehalt der Rinde ist aufgrund der verschiedenen Inhaltsstoffe sehr hoch und beträgt in Gewichtsprozent der absolut trockenen Rinde 0,6 - 2,5 % für die Nadelholzarten und gar nur 1,5 - 10,7 % für die Laubholzarten (Tabelle 3.1). Bei Holz beträgt der Aschegehalt vergleichsweise nur Werte zwischen 0.1 – 1.5 %. Der hohe Aschegehalt der Rinde bereitet, zusammen mit den Rückständen von Erde, Sand und Steinen aus dem Wald, technische Schwierigkeiten bei der Energiegewinnung, weil die mineralischen Bestandteile zu Verschlackung und Rostbildung führen und die Sauerstoffzufuhr hemmen.

Neben der direkten Verbrennung von Rinde und Rindenbriketts wird Energie auch über die Pyrolyse (Herstellung von Aktivkohle) gewonnen.

Tabelle 3.1: Heizwert der Rinde in absolut trockenem Zustand, Aschegehalt und Raumdichtezahl der Rinde für einige ausgewählte Nutzholzarten (Quellen: Fournier & Goulet 1970, Sell & Schnell 1988, Mette & Korell 1989 und Wagenführ 1996)

Art	Heizwert der Aschegehalt		Rohdichte R ₁₂ [kg/m ³]	Raumdichtezahl [kg/m ³]	
	Rinde [kJ/kg]	[%]		Bast	Borke
<i>Abies alba</i>	19 080	2.6	460 - 470		
<i>Larix decidua</i>	19 240 – 19 800	1.2	325 - 380		
<i>Picea abies</i>	17 840 – 18 930	3.3	310 – 400		(420)
<i>Pinus silvestris</i>	20 160	1.5	300 – 490		(340)
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	21 030 – 22 750		310		500
<i>Tsuga canadensis</i>	21 800	1.6			400 - 540
<i>Acer pseudoplatanus</i>			530 - 740		
<i>Acer rubrum</i>	18 750			750	
<i>Acer saccharum</i>	18 060	6.3		670	470
<i>Alnus glutinosa</i>			426 - 440		
<i>Alnus rubra</i>	19 600	6.0			
<i>Betula alleghaniensis</i>	22 250	1.7			530
<i>Betula verrucosa</i>			562 - 770		
<i>Carpinus betulus</i>					
<i>Fagus sylvatica</i>	16 560 – 17 620	7.2	579 - 920		710
<i>Fraxinus excelsior</i>			457		
<i>Platanus occidentalis</i>	18 400	5.8			
<i>Populus tremula</i>			590		400
<i>Populus tremuloides</i>	20 750	4.0	480	400	490
<i>Quercus alba</i>	17 400	10.7		760	630
<i>Quercus robur</i>	18780		423 - 530		
<i>Salix nigra</i>	17 900	6.0	650		
<i>Tilia sp.</i>			342 - 610		
<i>Ulmus americana</i>	17 250	9.5		400	390
<i>Ulmus glabra</i>			400 - 630		

3.1.4.6 Garten- und Landschaftsbau

Die Rinde findet hier folgende Verwendungszwecke:

- Rinde ist ökologisch weniger bedenklich als Torf, da sie ein nachwachsender Sekundärrohstoff ist, der bei der Holzverwertung in relativ grossen Mengen anfällt. Die Rinde wird deshalb als Torfersatz verwendet. Die Elementzusammensetzung von Rinde und Weisstorf ist vergleichbar (Tabelle 3.2), allerdings ist aufgrund des ungünstigen C : N – Verhältnisses ein Zusatz an N erforderlich.

Tabelle 3.2: Elementare Zusammensetzung von Rinde und Torf. (Quelle Mette & Korell 1980)

Bestandteile	Fichtenrinde [%] atro	Weisstorf [%] atro
Organische Masse	96.1	97.0
C	40.4	55.0
N	0.41	0.25
P	0.04	0.03
K	0.18	0.05
Ca	0.99	0.36
PH - Wert	5.0 – 6.2	3.5

- In der Rinde sind die Nährstoffe überwiegend in organischen Bindungen festgelegt (Kohlenstoff-Stickstoffverhältnis von rund 35 : 1, im Boden dagegen 2 : 1) und sind damit für die Pflanze in einer nicht verfügbaren Form vorhanden. Durch den biologischen Abbau (Bakterien) werden die Nährstoffe mineralisiert und dadurch für die Pflanzen verfügbar gemacht. Durch Zugabe von Stoffen (z.B. das Enzym Tannase) und nachfolgender Kompostierung (Fermentation) erfolgt dieser biologische Abbau und das Stickstoffverhältnis wird stabilisiert. In 4 bis 6 Wochen entsteht so ein Bodenverbesserungsmittel (auch Kompost, Rindenumus, Rindenerde genannt).
- Das physikochemische Verfahren zur Umwandlung von Rinde in Humus nach Ufheil, arbeitet dagegen nicht mit Mikroorganismen, sondern mit der Hydrolysewirkung (chemische Spaltung) des überhitzten, trockenen Wasserdampfes und einer ausreichend hohen Temperatur (90 – 200° C). In ungefähr 40 Minuten entsteht auf diese Weise eine schwarze Kulturerde (Humofor), die durch Erde in echten, natürlichen Humus umgeformt werden kann.
- Die Zugabe unbehandelter Rinde bewirkt im Boden eine Verbesserung der physikalischen Bodeneigenschaften (Bodenstruktur), die besonders bei verdichteten Böden nützlich sein kann. Die Rinde dient hier als Bodenauflockerungsmittel und nicht als Dünger.
- Rindenmulch ist zerkleinerte, unfermentierte Rinde und dient als Bodenabdeckungsmaterial, indem die biozide Wirkung der phytotoxischen Rindeninhaltsstoffe ein Überwachsen mit Unkräutern vermindert, die Bodenerosion verkleinert wird, die Verdunstung herabgesetzt wird und die aufliegende Rinde gleichzeitig für die allenfalls etablierte Pflanze einen Frostschutz darstellt. Zusätzlich verbessert Rindenmulch die Tragfähigkeit von Böden. So können z.B. Spazierwege gestaltet werden oder Eisenbahntrassees frostunempfindlicher gemacht werden.
- Die Rinde wird aufgrund der hohen Absorptionsfähigkeit auch als Streumittel eingesetzt (z.B. in Geflügelfarmen).

- Auf der Basis von fermentierter Rinde, unter Beimischung anderer substratfähiger Stoffe (z.B. Torf, Ton) mit oder ohne Nährstoffzusätzen, wird Rindenkultursubstrat hergestellt, welches für die Topf- und Containerkultur von Zierpflanzen und Gehölzen eingesetzt werden kann. Rinde wird auch direkt in Form von Rindenballen als Wurzelgrund für z.B. Orchideen in Blumenzuchtbetrieben verwendet.

Beim Einsatz von Rinde im Garten- und Landschaftsbau ist generell der Fremdstoffeintrag, die Nährstoffproblematik, die Azidität der Rinde, sowie der Abbauprozess der verschiedenen Rindenarten noch Gegenstand intensiver Forschung.

3.1.4.7 Biotechnik

Aufgrund der Oberflächenstrukturen und den Bindungseffekten mit den spezifischen Rinden-Inhaltsstoffen (wie Phenole) besitzt die Rinde die Fähigkeit zur Adsorption von verschiedenen Stoffen. Sie wirkt als Puffer, indem Nährstoffe (wie z.B. Stickstoff) temporär gespeichert werden und so kann eine Schadstoffbelastungen abgefedert werden.

Die Rinde wird auch als Trägermaterial, d.h. als Nährsubstrat und Aufwuchsfläche für zersetzende Mikroorganismen (wie Bakterien und Pilze) eingesetzt. Hier spielt neben der hohen Adsorptionsfähigkeit der grosse Porenraum (70 bis 90 %) eine wichtige Rolle (Durchlüftung und Wasserzirkulation).

Heute werden Rindenprodukte als Füll- und Filtermaterial verwendet bei:

- der biologischen Reinigung und Sanierung kontaminierter Böden.
- der biologischen Abgas- und Abluftreinigung, z.B. als Geruchfilterstoff in biologischen Toiletten oder als Biofilter beim Abbau von flüchtigen Lösungsmittelbestandteilen.
- der biologischen Filterung der Gülle. Die stickstoffarme, aber ansonsten nährstoffangereicherte Rinde dient anschliessend als Ackerdünger und das Ablaufwasser („gereinigte Gülle“) zur Bewässerung.
- der Abwasserbehandlung und
- bei weiteren Anwendungen in der chemischen Industrie. Die Forschung im Einsatzbereich Zusatz-, Füll- oder Trägerstoff ist im Moment vor allem aus ökologischen Gründen sehr aktuell. So wird z.B. ein Einsatz der Rinde zur biologischen Entfernung von Nitrat aus Trinkwasser diskutiert oder pulverisiertes Rindenmehl als Trägerstoffe für chemische Stäubemittel zur Schädlingsbekämpfung eingesetzt.

3.1.4.8 Sonstige Verwendungen von Rindenprodukten

Die Rinde findet zusätzlich folgende Verwendungszwecke:

- In mineralischer Verbindung mit Zement, Gips oder Magnesit wird Rinde als Bindemittel verwendet. Allerdings ist ein Einsatz von Abbindebeschleunigern wie Calciumchlorid und Natronwasserglas notwendig.
- Fraktionierte Rinde (z.B. Produkte wie Silvacon) werden als Additive und Extenders in der Plastikindustrie verwendet.
- Die Biogasgewinnung aus nass entrindeter Rinde könnte in Zukunft eine Alternative zur Verbrennung werden.
- Aus Rinden (z. B. Birkenrinde) wird dekoratives Verpackungsmaterial hergestellt.

- Die Birkenrinde (*Betula alba*, *B. pendula*) wird in Skandinavien zur Isolierung von begrünten Flachdächern genutzt.
- Die Indianer des Amazonas konstruieren aus der Rinde Kanus (Abbildung 3.5).

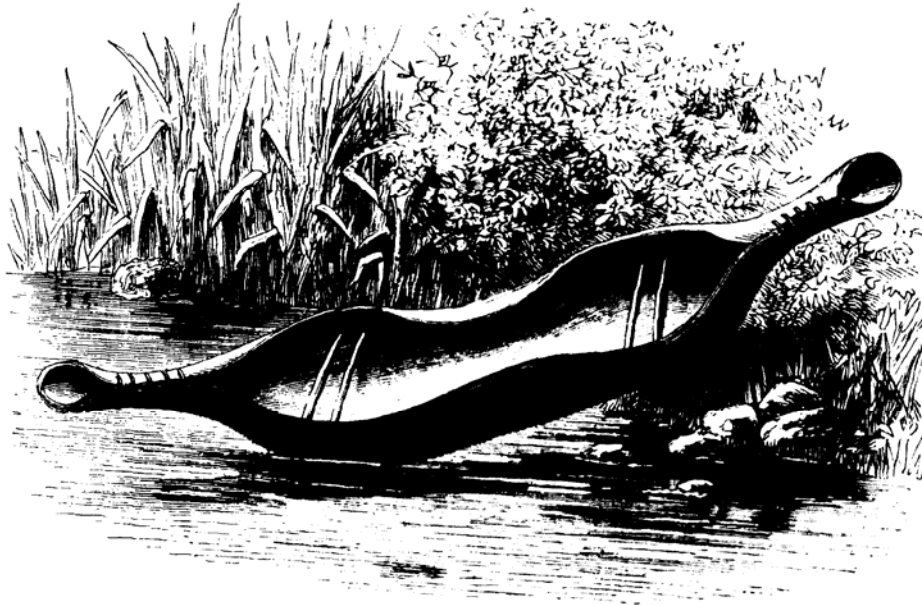


Abbildung 3.5: Kanu der Caripuna Indianer aus der Region des Madeira – Flusses am Amazonas.
(Quelle: Sandved et al. 1993)

3.2 Harze

3.2.1 Definitionen

Harz (allgemein): Sammelbegriff für feste, harte bis weiche Produkte, die amorph sind und keinen Schmelzpunkt, sondern einen mehr oder weniger breiten Erweichungsgrad haben. Sie haben glasartigen Charakter und sind im festen Zustand meist spröde (nach Jordan und Hinterwaldner 1994). Unterschieden wird zwischen Kunstharzen (synthetischer Ursprung) und Naturharzen (meist pflanzlicher Ursprung, ausser Schellack (tierischer Ursprung)). Bei den Naturharzen wird zwischen dem Balsam und dem eigentlichen Harz unterschieden:

Balsame: Die natürlich vorkommenden Lösungen von Harzen in den begleitenden ätherischen Ölen (z.B. Kiefern Balsam (Kiefern Terpentin), Oregon Balsam, Kanadabalsam², Peru³- und Tolubalsam⁴, Lärchenterpentin⁵ (Venetianer Terpentin), Copaivabalsam).

Eigentliche Harze: Die nach Verdunstung oder Autoxydation der ätherischen Öle entstehenden, harten Harze. Sie werden nach ihrem Handelswert in Edelharze (Myrrhe⁶, Olibanum⁷ usw.) und gemeine Harze (z.B. Kolophonium) eingeteilt. Eine Zwischenstellung nehmen gewisse Lackharze wie Kopale, Dammar und Bernstein ein.

3.2.2 Verwendung von Naturharzen

Industriell: 0.9 Mio. Tonnen/Jahr (gemäss Angaben TU Wien)

Natürliche Harze bzw. Derivate werden für Lacke, Druckfarben, Klebstoffe, Beschichtungsmassen oder als Hilfsmittel bei der Papierverleimung eingesetzt. Weiter als Koagulieremittel⁸ (z.B. Balsamharz, Schellack): Natürliche Harze sind besonders gut für ein Koagulatsrecycling geeignet.

Für die industrielle Nutzung wird vor allem Kiefernharz (Kolophonium) verwendet. Dammar, ein asiatisches Laubbaumharz, findet heute noch Verwendung in der Naturfarben-Industrie. Diese beiden Harze werden nachfolgend genauer beschrieben.

² Stammt von der Balsamtanne (*Abies balsamea*) und besitzt einen ähnlichen Brechungsindex wie Glas. Verwendung: Optischer Kitt, Einbettung mikroskopischer Präparate.

³ Dunkle, zähviskose Flüssigkeit mit vanilleartigem Geruch, wird hauptsächlich von *Myroxylon balsamum* var. *pereirae* gewonnen. Verwendung: Kosmetikindustrie, Behandlung von Krätze.

⁴ Dickflüssiger, beim Lagern aushärtender Balsam aus *Myroxylon balsamum* (tropisches Südamerika) mit hohem Zimtgehalt. Verwendung: Kosmetikindustrie, Bestandteil von Kaugummi und Hustensirup.

⁵ Balsam aus *Larix europea*. Verwendung: Kosmetikindustrie und spezielle Lacke.

⁶ Aus *Commiphora* spp., Äthiopien.

⁷ = Weihrauch: Aus *Boswellia* spp., Arabien, Somalia.

⁸ Bei der Lackierung versteht man unter Koagulierung die Abscheidung von sogenanntem Lackoverspray aus dem Umlaufwasser von Lackieranlagen. In der Regel funktioniert dies nur unter Zuhilfenahme von chemischen Hilfsstoffen, den Koagulieremitteln.

3.2.2.1 Kolophonium

Kolophonium⁹ ist die Bezeichnung für die Gruppe der Kiefernharze. Das Harz wird hauptsächlich aus folgenden Pinusarten gewonnen:

- P. pinaster* (Frankreich, Spanien, Portugal)
- P. halepensis* (Griechenland)
- P. silvestris* (Mittel- und Osteuropa)
- P. palustris* und *P. elliotii* (USA)
- P. oocarpa*, *P. montezuma* u.a. (Mexiko)
- P. longifolia* (China, Indien)

Gewinnung

Es werden drei Technologien zur Gewinnung von Kolophonium angewendet:

- Lebendharzung → Balsamharz
- Extraktion von Nadelholzstubben → Wurzelharz
- Verarbeitung von Tallöl (Nebenprodukt der Sulfatzellstoffherstellung) → Tallharz.

Balsamharz (Baumharz): Der Balsam (Terpentin) wird am lebenden Baum durch Verletzung der Rinde und Auffangen der austretenden Flüssigkeit in meist metallenen Sammelbehältern gewonnen. Durch Behandlung der Wunde mit 50%-iger Schwefelsäure (Reizmittelharzung) kann die Ausbeute um mehr als 100% gesteigert werden. Der Balsam enthält als wesentliche Bestandteile das Kolophonium und das Terpentinöl, in welchem das Harz gelöst ist. Die Trennung der beiden Bestandteile erfolgt durch Destillation (Abbildung 3.6).

Wurzelharz: Da das Wurzelholz der Kiefern wesentlich harzreicher ist als das Stammholz, wird das Harz durch Extraktion von Wurzelholz (Stubben), das zuerst zerspannt wird, gewonnen (Abbildung 3.6). Die hellen Wurzelharze besitzen ähnliche, wenn auch nicht gleiche Eigenschaften wie die Balsamharze. Die Herstellung ist jedoch wegen des geringeren Arbeitsaufwandes preisgünstiger.

Tallharz: Die Tallharze bilden etwa die Hälfte des rohen Tallöls, das aus der Sulfatseife gewonnen wird, die bei der Herstellung des Sulfatzellstoffes als Nebenprodukt anfällt. Tallöl besteht aus ca. 40-55% Fettsäuren, 30-50% Harzsäuren und 7-11% Unverseifbarem. Je nach Zusammensetzung der Fettsäuren kann eine optimale Trennung von den Harzsäuren Schwierigkeiten bereiten. Durch ständige Verbesserung bei der Herstellung der Tallharze ist ihre Qualität inzwischen mit denjenigen der Balsam- und Wurzelharze vergleichbar. Wegen dem hohen Arbeitsaufwand bei der Gewinnung der Balsamharze und dem Rückgang des Rohstoffes für die Wurzelharze, werden die Tallharze immer mehr an Bedeutung gewinnen.

Verwendung:

- In der Papierindustrie zum Leimen des Rohpapiers
- Als Ausgangsmaterial in der Lackindustrie
- Als Emulgator bei der Herstellung synthetischer Kautschuke
- Als Bestandteil von Klebstoffen

⁹ Der Name stammt aus der Antike und hat seinen Ursprung in der kleinasiatischen Stadt Colophon. Das Kiefernharz wurde damals vor allem für das Kalfatern der hölzernen Schiffe verwendet.

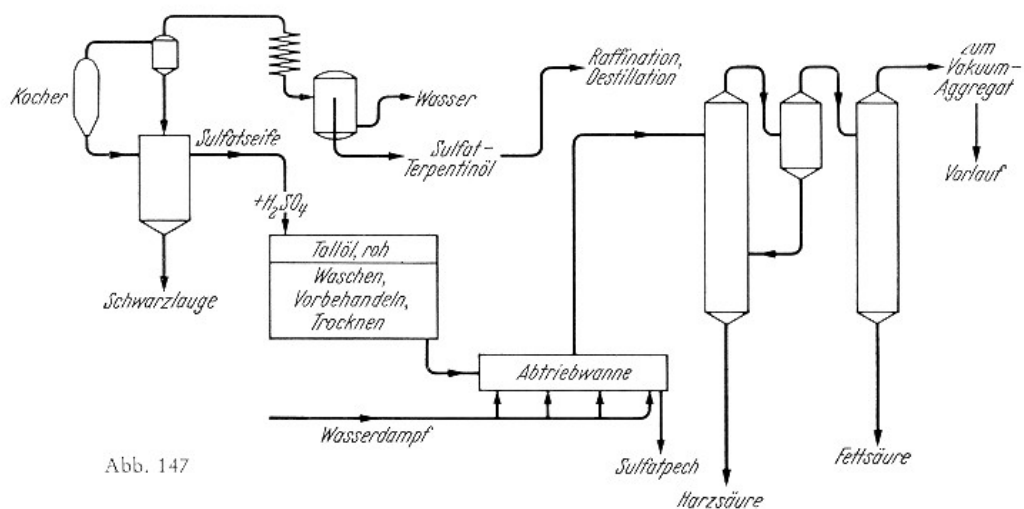
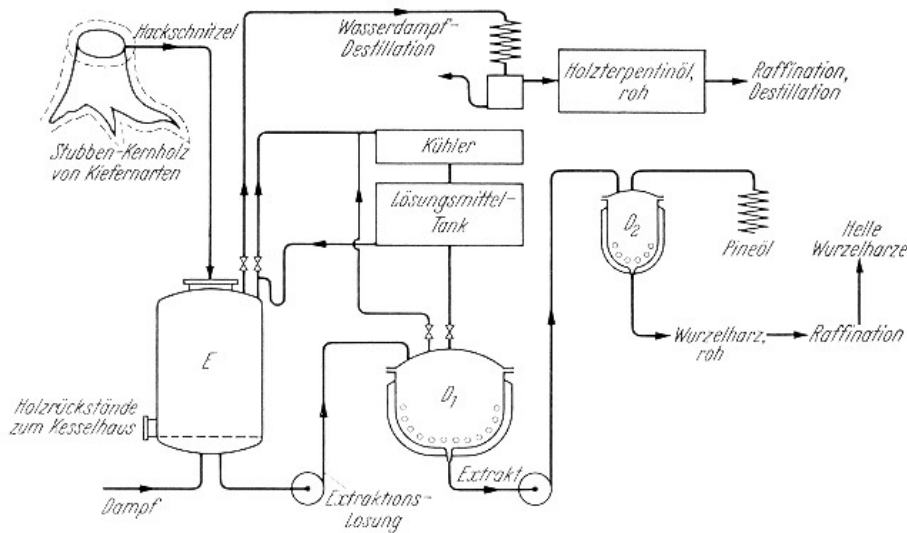
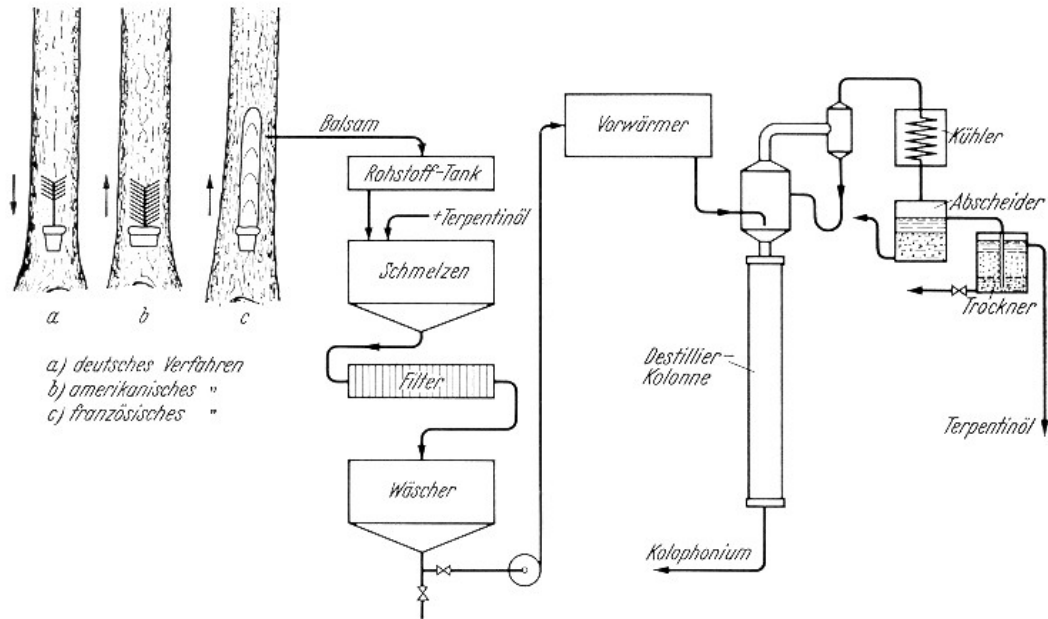


Abb. 147

Abbildung 3.6: Gewinnung und Aufbereitung von Balsamharz, Wurzelharz und Tallöl (in Sandermann 1963)

3.2.2.2 Dammar

Harze von Laubbäumen aus der Familie der *Dipterocarpaceen* (*Shorea*-, *Hopea*- und *Balanocarpus*-Arten), die vor allem in Indonesien, Malaysia und Thailand vorkommen.

Gewinnung:

Lebendharzung: Sammeln des Harzes direkt am Stamm (Dammar tropft zu gewissen Jahreszeiten direkt vom Baum) oder durch Einhacken von kleinen Höhlungen in den Stamm, was die Harzproduktion erhöht. Ein Baum liefert in seinem Leben um die 310 – 375 kg. Durch die Lebendharzung wird das wertvolle, von Verunreinigungen freie, weisse Dammar gewonnen.

Heute werden Harzbäume zum Teil in der Agroforesterie (z.B. Sumatra) genutzt.

Rezent-fossil: Harzmassen von abgestorbenen Bäumen oder aus deren Wurzelzone lagern direkt unter der Erdoberfläche. Sie machen einen beträchtlichen Teil der Exportmasse aus.

Fossil: Das Dammar lagert in 2 – 30 cm dicken Schichten oder Inseln in älteren Alluvialablagerungen. Durch Hochwasser wird rezent-fossiles und fossiles Dammar zu Tage gefördert und kann in der trockenen Jahreszeit auf Sandbänken eingesammelt werden. Wegen seiner Verunreinigungen durch Erde, was eine braune bis schwarze Farbe zur Folge hat, ist es weniger wertvoll.

Verwendung:

Dammar spielte durch seine helle Farbe lange Zeit eine herausragende Rolle in der Farben- und Lackindustrie (hochglänzende Lackierungen). Durch das Aufkommen der Kunstharzindustrie in der Mitte des 20. Jhds. (Zweiter Weltkrieg) wurde es stark zurückgedrängt. Heute hat es noch eine Nischenfunktion in der Naturfarben-Industrie als Bindemittel in Holzlasuren und -lacken, Lasurfarben, Vorstreichfarben, Weisslack und Innenputz, Spachtelmassen, Wandfarben, Abtönfarben, Hartöl sowie Heizkörperlacken.

3.3 Gerbstoffe

Definition (nach Nuhn 1997): Als Gerbstoffe werden anorganische und organische Verbindungen bezeichnet, die tierische Häute gerben, also in Leder verwandeln können. Die Wirkung beruht auf einer Denaturierung der Proteine.

Bei den organischen Gerbstoffen können zwei Gruppen unterschieden werden:

- Kondensierte Gerbstoffe: Catechingerbstoffe oder Proanthocyanidine. Sie leiten sich vom Flavanderivat Catechin ab.
- Hydrolysierbare Gerbstoffe (Gallotannine). Leiten sich von der Gallussäure ab.

Gerbstoffe kommen vor allem in Pinidae und Magnoliophytinae (Familien Rosaceae, Fagaceae, Salicaceae, Polygonaceae, Fabaceae, Ericaceae, Anacardiaceae) vor.

(Nach Nultsch 1991) Durch Oxidation gehen die Gerbstoffe in die rotbraunen Phlobaphene über, die vielen Borken die dunkle Farbe verleihen. Am bekanntesten ist das Tannin.

Nutzung:

Die Gerbstoffgewinnung erfolgt vor allem aus Rinden tropischer und subtropischer Baumarten wie Mimosa (*Acacia* sp.: Brasilien, Südafrika und Zimbabwe), *Pinus radiata* (Neuseeland, Australien, Chile) und Mangroven (*Rhizophora* sp. und *Burquiera* sp.: Malaysia) sowie dem Holz von Quebracho (*Sinopsis* sp.: Argentinien).

Die Gerbstoffe dienen als

- Bindemittel in Holzwerkstoffen (Sperrholz, Spanplatten und MDF)
- Gerbmittel
- Metallkomplexbildner (Chelatbildner)
- Flockungsmittel

Tannine als Bindemittel in Holzwerkstoffen haben den Vorteil, aus erneuerbaren Rohstoffen gewonnen zu werden (synthetische organische Bindemittel werden aus Erdöl oder Erdgas hergestellt). Um dieselbe Festigkeit wie bei synthetischen organischen Bindemitteln zu erhalten, ist jedoch Formaldehyd als Katalysator zu verwenden, was zu einem hohen Formaldehydabgabepotential führt. Aufgrund neuerer Forschungsarbeit besteht jedoch die Möglichkeit, die Formaldehydabgabe stark zu reduzieren (Schmidt 2000).

Tabelle 3.3: Gerbstoffgehalt einiger Baumarten (aus Prasetya 1992)

Baumart	Baumteil	Gerbstoffgehalt (%)
Birke (<i>Betula</i> sp.)	Rinde	10-15
Douglasie (<i>Pseudotsuga</i> sp.)	Rinde	5-25
Eiche (<i>Quercus robur</i> L.)	Rinde	5-17
Eukalyptus (<i>Eucalyptus</i> sp.)	Rinde	13-54
Fichte (<i>Picea abies</i> Karst.)	Rinde	6-17
Hemlock (<i>Tsuga</i> sp.)	Rinde	10-16
Lärche (<i>Larix</i> sp.)	Rinde	5-25
Malleto (<i>Eucalyptus occidentalis</i> Endl.)	Rinde	38-48
Mangrove (<i>Rhizophora</i> sp. und <i>Burquieria</i> sp.)	Rinde	22-48
Mimosa (<i>Acacia</i> sp.)	Rinde	22-48
Kiefer (<i>Pinus</i> sp.)	Rinde	6-25
Eiche (<i>Quercus</i> sp.)	Holz	6-7
Kastanie (<i>Castanea</i> sp.)	Holz	6-15
Quebracho (<i>Sinopsis</i> sp.)	Holz	14-26

3.4 Literatur zu Kapitel 3

- Bosshard, H.H. (1984):** *Zur Biologie, Physik und Chemie des Holzes*. Holzkunde, Band 2. Birkhäuser Verlag, Basel.
- Burmester, A. & Kieslich, W. (1985):** Veränderung des Extraktgehalts von Eichenrinde im Jahresverlauf. *Holz als Roh- und Werkstoff* 43: 350.
- Burmester, A. & Kieslich, W. (1986):** Beitrag zur Kenntnis der chemischen Eigenschaften europäischer Baumrinden. *Holz als Roh- und Werkstoff* 44: 419 – 422.
- Burmester A. (1987):** Einfluss von Extraktstoffänderungen auf den Feuchtigkeitsgehalt von Baumrinden. *Holz als Roh- und Werkstoff* 45: 11 – 13.
- Buse, B. (1981):** Energiegewinnung aus Rinde, Teil 1 und 2. *Holz-Zentralblatt*, 107, 22: 351 – 352, 23: 371 – 373.
- Dietz, P. (1975):** Dichte und Rindengehalt von Industrieholz. *Holz als Roh- und Werkstoff* 33: 135 – 141.
- Fournier, F. et Goulet, M. (1970):** *Propriétés physico-mécaniques de l'écorce: Une étude bibliographique*. Département d'Exploitation et Utilisation des Bois, Université Laval, Note de Recherches No. 7» Québec. 44pp.
- Jordan, R. und Hinterwaldner, R. (1994):** Klebharze: Naturharze – Kohlenwasserstoffharze - Harzdispersionen – Phenolharze. Hinterwaldner Verlag, München. 161 S.
- Koehler, F. (1992):** *Drogen und Naturstoffe, Grundlagen und Praxis der chemischen Analyse*. Springer Verlag, Berlin.
- Kramers, U. (1967):** Die Nutzung der Rinde. *Holzforschung und Holzverwertung* 19, 1: 1 – 4.
- Maesel, M.A. (2002):** Dammar – Katzenaugen aus dem Fernen Osten. *Holz-Zentralblatt* 71:868-869
- Mette, H.J. & Korell, U. (1989):** *Richtzahlen und Tabellen für die Forstwirtschaft*. VEB, Berlin.
- Mombächler, R. (1988):** *Holz-Lexikon*. 3. Auflage. DRW-Verlag, Stuttgart. 2 Bände.
- Nicolaie, V. (1985):** *Die ökologische Bedeutung verschiedener Rindentypen bei Bäumen*. Dissertation Universität Marburg/Lahn.
- Nuhn, P. (1997):** *Naturstoffchemie. Mikrobielle, pflanzliche und tierische Naturstoffe*. 3. Auflage. S. Hirzel Verlag, Stuttgart. 766 S.
- Nultsch, W. (1991):** *Allgemeine Botanik*. 9. Auflage. Georg Thieme Verlag, Stuttgart. 560 S.
- Parameswaran, N. (1971):** Über die Struktur der tropischen Baumrinde und ihrer Verwertungsmöglichkeiten. Sonderdruck aus *Forstarchiv* 41, 10: 193 – 198.
- Prasetya, B. (1992):** Beiträge zum Verhalten extraktstoffreicher Rinden, am Beispiel der Fichtenrinde, in chemisch-technologischen Prozessen. Dissertation Universität Göttingen. 260 S.
- Roth-Kleyer, S. (1995):** Einsatz von Rindenprodukten im Garten- und Landschaftsbau. *Das Gartenamt* 1: 55 – 58.
- Sachse, H. (1965):** Bau und Eigenschaften der Rinde und ihre derzeitigen Nutzungs- und Verwertungsarten. *Forstarchiv* 36, 2: 25 – 32.
- Sandermann, W. (1960):** *Naturharze, Terpentinöl, Tallöl*. Springer-Verlag, Berlin-Göttingen-Heidelberg. 483 S.
- Sandermann, W. (1963):** *Chemische Holzverwertung*. Bayerischer Landwirtschaftsverlag GmbH, München. 306 S.
- Schmidt, H. (2000):** Zur Herstellung von emissionsarmen tanningebundenen Spanplatten – Stand der Kenntnisse und eigene Untersuchungen. Dissertation Universität Göttingen. 121 S.

- Schalk, P. (1993):** *Einsatz von Rindenfilterkörpern zur biologischen Güllebehandlung*. Dissertation Freiburger Bodenkundliche Abhandlungen, Freiburg im Breisgau.
- Sell, J. & Schnell, G. (1988):** Der Heizwert von Holz und seine Einflussfaktoren, Literaturlauswertung und Zusatzuntersuchungen. EMPA, *IP HOLZ*, Report Nr. 115/18: 1- 24.
- Steinmann, P. (1982):** Einsatzmöglichkeiten von Holzabfällen und Rinde für energetische Zwecke. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 133, 5: 429 – 435.
- Zimmermann, J.D. (1981):** Physikochemische Umwandlung von Rinde in Humus. *Holz-Zentralblatt*, 107, 40: 653.
- Zöttel, W. (1989):** Wachstum aus Abfall, Rinde und ihre ökonomische Aufbereitung zu nützlichen Produkten. *Holz aktuell* 7: 84 – 93.

www.adama.de/kluthe/koagul-roh.shtml
otech7.tuwien.ac.at/nwr_sk_d.html

4 STRUKTURELLER AUFBAU UND WESENTLICHE EINFLUSSFAKTOREN AUF DIE EIGENSCHAFTEN AUSGEWÄHLTER HOLZWERKSTOFFE 4-1

4.1	ALLGEMEINE GESETZMÄSSIGKEITEN DER WERKSTOFFBILDUNG	4-1
	Querkontraktion	4-1
	Festigkeiten	4-1
4.2	KLEBSTOFFE	4-4
4.3	EINTEILUNG DER KLEBSTOFFE	4-4
4.3.1	<i>Physikalisch abbindende Klebstoffe</i>	4-5
4.3.2	<i>Chemisch reagierende Klebstoffe</i>	4-5
4.3.2.1	Polyaddition.....	4-5
	Polyurethane	4-5
	Isocyanate	4-5
4.3.2.2	Polykondensation	4-6
	Harnstoffharze.....	4-6
	Melaminharze	4-6
	Phenolharze.....	4-6
	Resorzinharze.....	4-7
4.3.2.3	Formaldehyd.....	4-7
4.4	WERKSTOFFE AUF VOLLHOLZBASIS.....	4-8
4.5	WERKSTOFFE AUF FURNIERBASIS	4-9
4.6	WERKSTOFFE AUF SPANBASIS.....	4-11
4.7	WERKSTOFFE AUF FASERBASIS	4-13
4.8	VERBUNDWERKSTOFFE	4-14
4.9	ENGINEERED WOOD PRODUCTS	4-16
	Furnierschichtholz (Laminated Veneer Lumber, LVL)	4-16
	Furnierstreifenholz (Parallel Strand Lumber; PSL; Parallam).....	4-16
	Spanstreifenholz (Laminated Strand Lumber; LSL).....	4-16
	Scrimber	4-17
	Verbundsysteme.....	4-17
4.10	LITERATUR ZU KAPITEL 4	4-18

4 Struktureller Aufbau und wesentliche Einflussfaktoren auf die Eigenschaften ausgewählter Holzwerkstoffe

4.1 Allgemeine Gesetzmässigkeiten der Werkstoffbildung

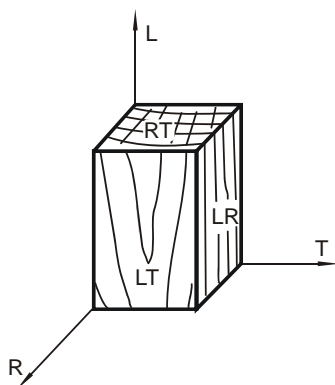
Bei allen Holzwerkstoffen erfolgt zunächst eine Auflösung der Struktur des nativen Holzes in Strukturelemente und eine auf den jeweiligen Einsatzfall orientierte Neuordnung. Nachfolgend werden einige wichtige Grundlagen zur Strukturbildung, die für alle Werkstoffe gelten, zusammengestellt.

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, Riftschnitt

Abbildung 4.1

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 4.2), 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 4.3, Abbildung 4.4), Geometrie der Keilzinken, insbesondere deren Flankenwinkel); bei Keilzinkenverbindungen wird deren Festigkeit primär durch den Flankenneigungswinkel (nicht durch die Länge der Zinken) bestimmt (Abbildung 4.5)
- Ausbildung eines Dichte-/Festigkeitsprofils über den Querschnitt (Sandwich- Prinzip von Verbundwerkstoffen oder auch Spanplatten und MDF (Abbildung 4.6); 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)

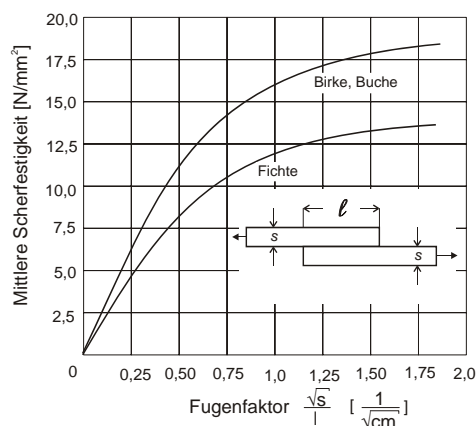


Abbildung 4.2

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

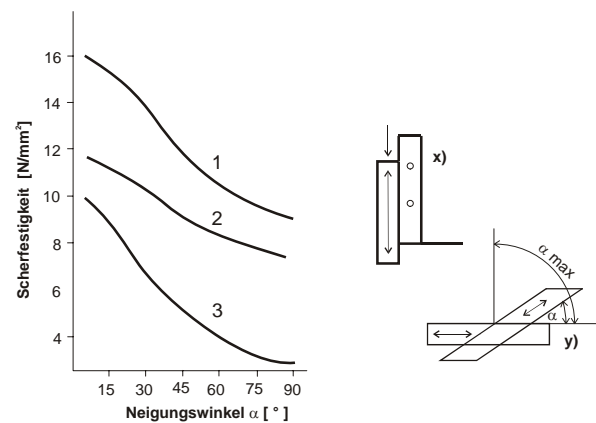


Abbildung 4.3

Scherfestigkeit von Holzverbindungen in Abhängigkeit vom Neigungswinkel der Fasern (Zeppenfeld 1991)

1 – Rotbuche; 2 – Eiche 3 – Kiefer

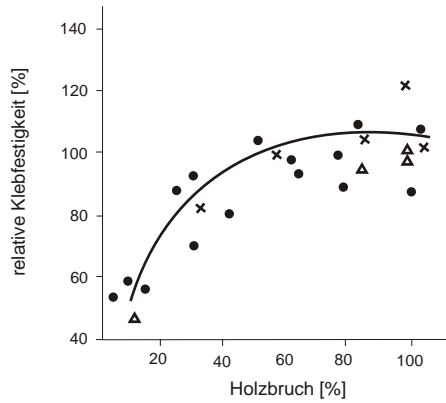


Abbildung 4.4
Beziehungen zwischen dem Anteil an Holzbruch und der relativen Fugenfestigkeit (Zeppenfeld 1991)

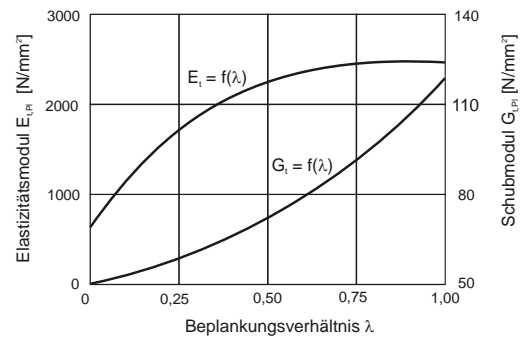


Abbildung 4.6
Einfluss des Beplankungsgrades auf den Biege-E-Modul und den Schubmodul einer dreischichtigen Spanplatte, Kennwerte um Kriechverformung abgemindert (Niemz 1982)

$E_{\text{Deckschicht}}: 2500 \text{ N/mm}^2$ $G_{\text{Deckschicht}}: 120 \text{ N/mm}^2$
 $E_{\text{Mittellage}}: 700 \text{ N/mm}^2$ $G_{\text{Mittellage}}: 40 \text{ N/mm}^2$

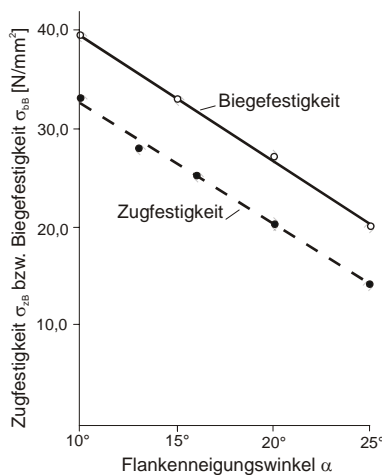


Abbildung 4.5
Zug- und Biegefestigkeit von Keilzinkenverbindungen (Kiefer) in Abhängigkeit vom Flankenneigungswinkel

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:

$$E_{Pl} = E_{De} \left[1 - \left(1 - \frac{E_{Mi}}{E_{De}} \right) \cdot (1 - \lambda)^3 \right] \quad (\text{Gl. 4.1})$$

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

λ	Beplankungsgrad	a_{Pl}	Dicke der Platte
E_{Pl}	E-Modul der Platte	a_{De}	Dicke der Deckschicht
E_{De}	E-Modul der Deckschicht		
E_{Mi}	E-Modul der Mittelschicht		

4.2 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

4.3 Einteilung der Klebstoffe

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

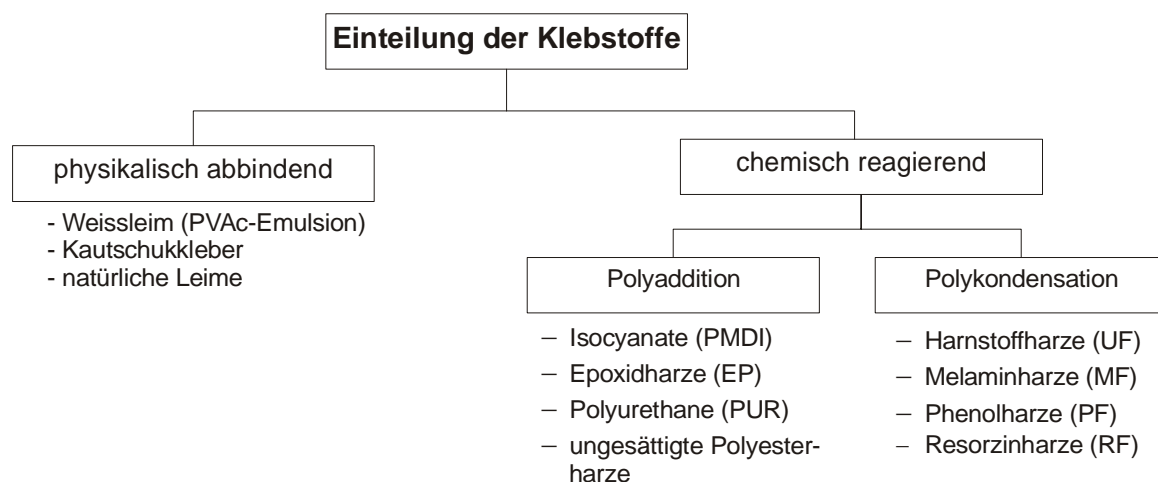


Abbildung 4.7

Einteilung der Klebstoffe

4.3.1 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).

4.3.2 Chemisch reagierende Klebstoffe

4.3.2.1 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 (Polymethylendiisocyanat) 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.

4.3.2.2 Polykondensation

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

4.3.2.3 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.

4.4 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 4.8 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 4.9)
- **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.

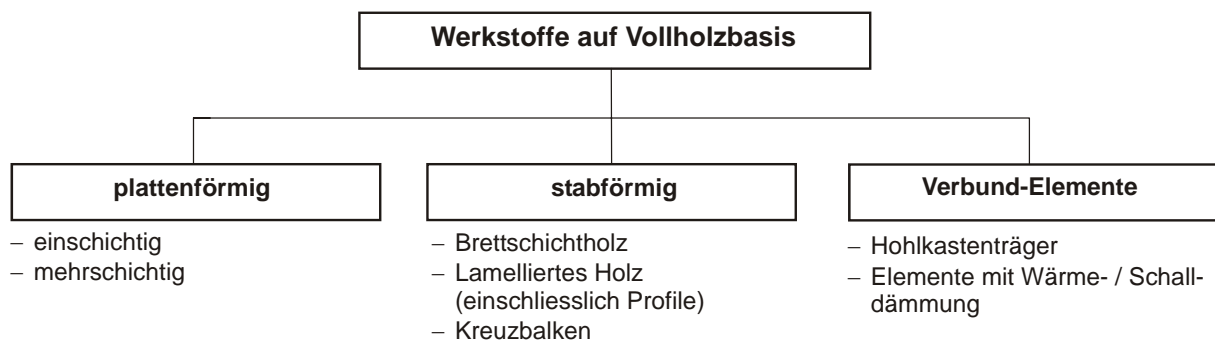


Abbildung 4.8

Einteilung von Werkstoffen auf Vollholzbasis

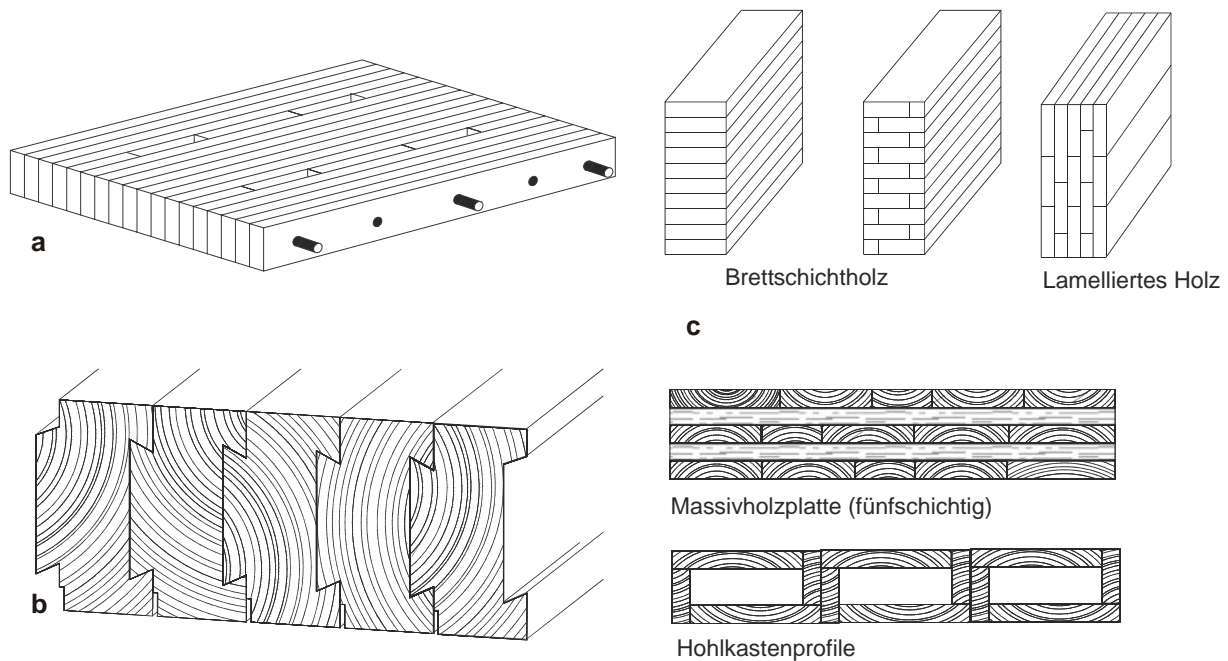


Abbildung 4.9

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 Längsverbindung** der Elemente (stumpfer Stoss, Keilzinkung)
- der **Schichtenaufbau** (z.B. Verhältnis der Dicke der Decklage zur Dicke der Mittellagen bei Massivholzplatten, vgl. Gl. 4.1, die Orientierung der Lagen bei Massivholzplatten)
- die **Schnitttrichtung** der Lagen (bei Massivholzplatten kann durch Riftschnitt = stehende Jahresringe, die Formbeständigkeit der Platten deutlich erhöht werden, da das Quell-/Schwindmaß radial deutlich geringer ist als tangential)
- **technologische Parameter** wie Pressdruck und Klebstoffanteil

4.5 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 4.10 zeigt eine Einteilung der Werkstoffe auf Furnierbasis, Abbildung 4.11 typische Strukturmodelle.

Die Eigenschaften können durch Furnierdicke (Aufbaufaktor), Dichte und Leimgehalt wesentlich beeinflusst werden (Abbildung 4.12). Sperrholz wird für Spezialzwecke auch in grossen Dicken gefertigt.

Neben dem konventionellen Sperrholz werden hochverdichtete und kunstharzimpregnierte Sperrhölzer für den Formenbau hergestellt und Spezialprodukte wie Ski- und Snowboard-Kerne sowie Formteile aus Sperrholz für die Möbelindustrie und den Fahrzeugbau gefertigt.

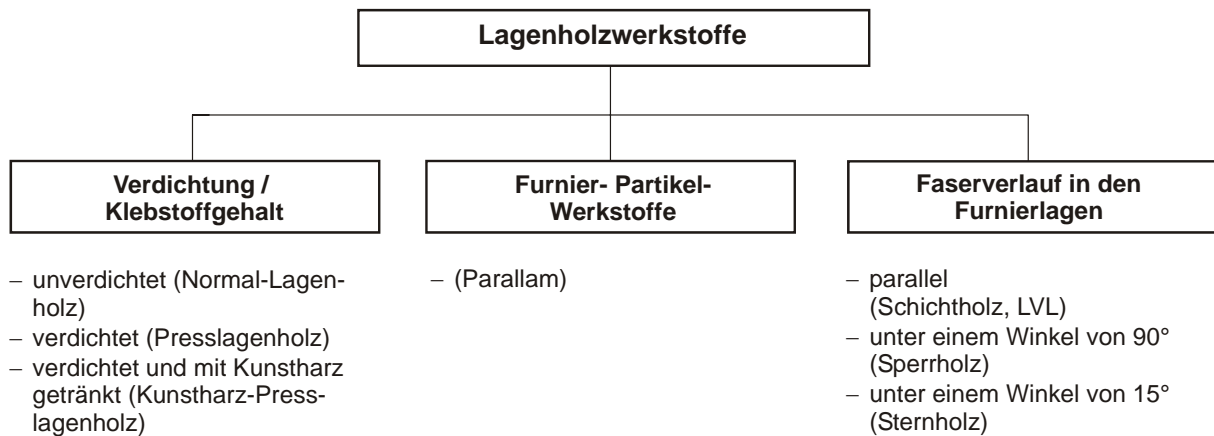


Abbildung 4.10

Einteilung von Werkstoffen auf Furnierbasis (Niemz 1993)

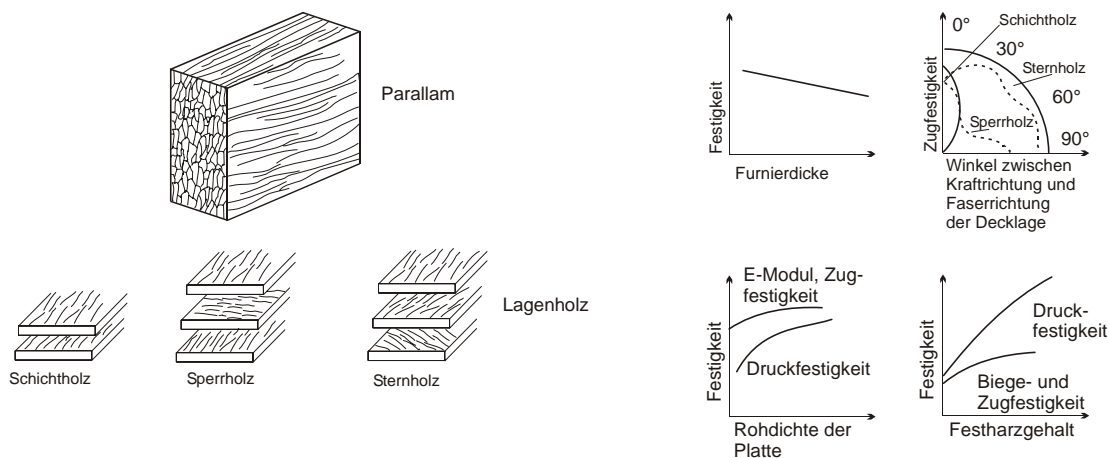


Abbildung 4.11

Strukturmodelle von Furnierwerkstoffen.

Abbildung 4.12

Wesentliche Einflussfaktoren auf die Eigenschaften von Lagenholz (Niemz 1993)

4.6 Werkstoffe auf Spanbasis

Werkstoffe auf Spanbasis sind heute der weltweit dominierende Holzwerkstoff. Abbildung 4.13 zeigt eine Übersicht, Abbildung 4.14 ein Strukturmodell dieser Werkstoffe, Abbildung 4.15 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)

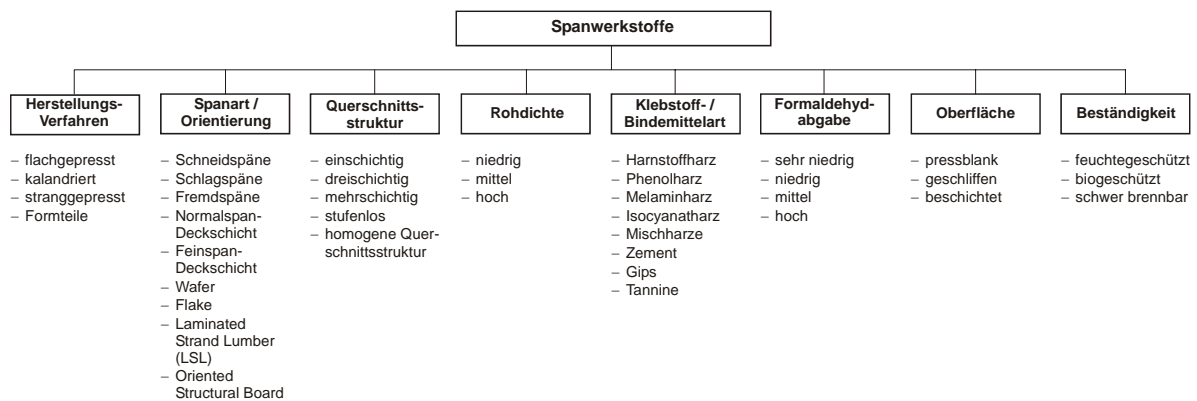
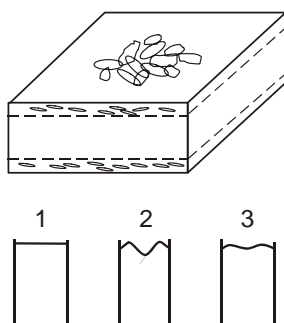


Abbildung 4.13

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 4.14

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.

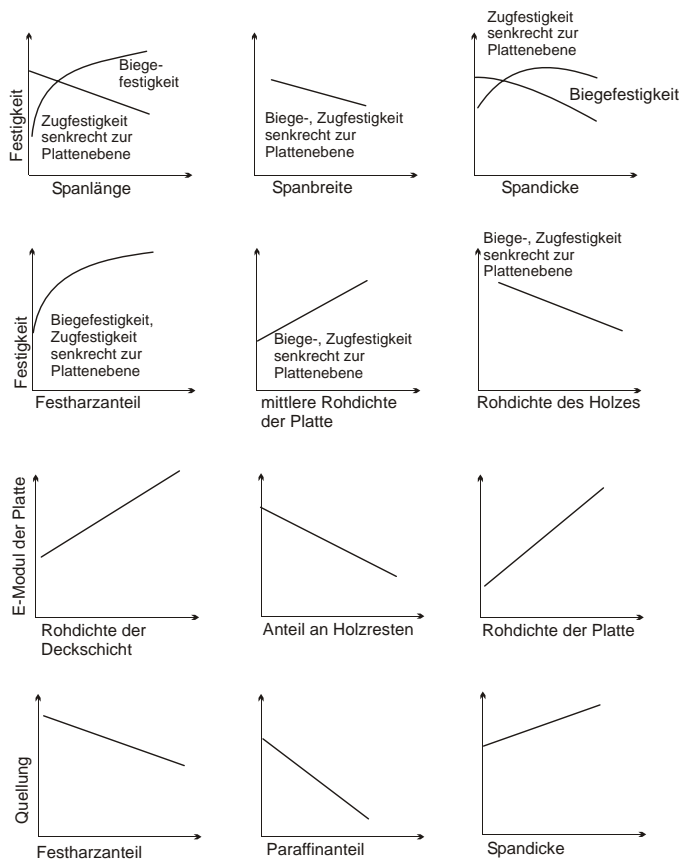


Abbildung 4.15

Wesentliche Einflussfaktoren auf die Eigenschaften von Spanplatten (Niemz 1993)

4.7 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)

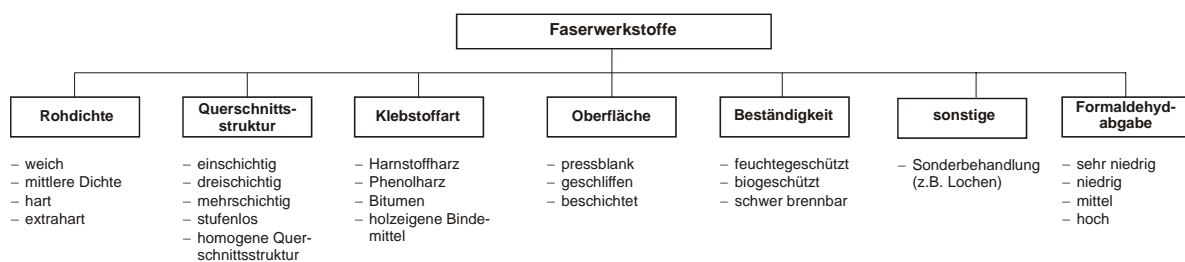
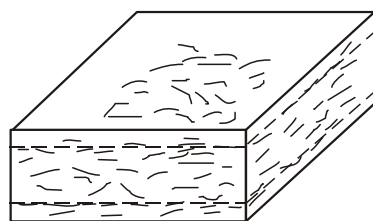


Abbildung 4.16

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

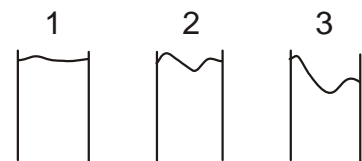


Abbildung 4.17

Strukturmodell von Faserplatten, typische Rohdichteprofile

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/m^3 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/m^3) 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/m^3)
- Leicht (600 kg/m^3)
- Standard (725 kg/m^3)

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.

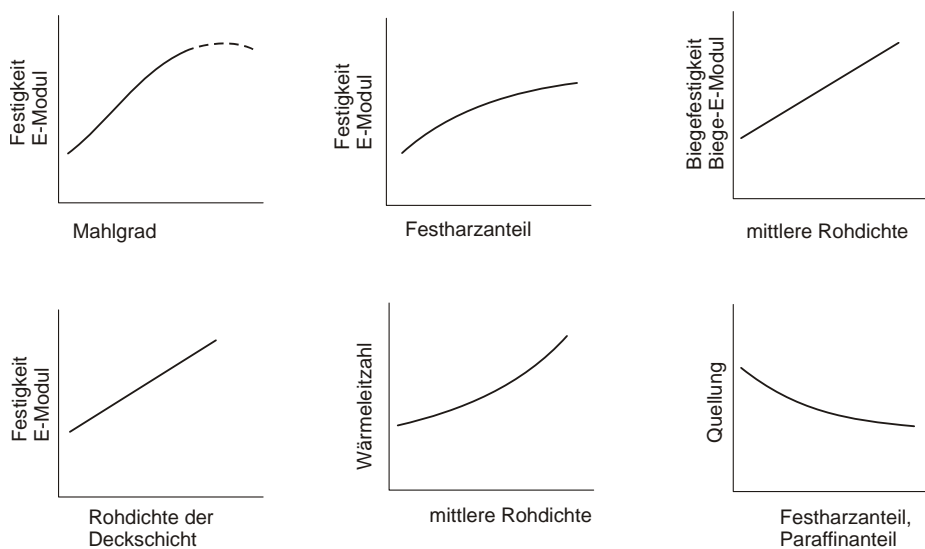


Abbildung 4.18

Wesentliche Einflussfaktoren auf die Eigenschaften von Faserplatten (Niemz 1993)

4.8 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 4.19 zeigt eine Einteilung von Verbundwerkstoffen, Abbildung 4.20 Strukturmodelle, Abbildung 4.21 wesentliche Einflussfaktoren auf die Eigenschaften der Verbundwerkstoffe.

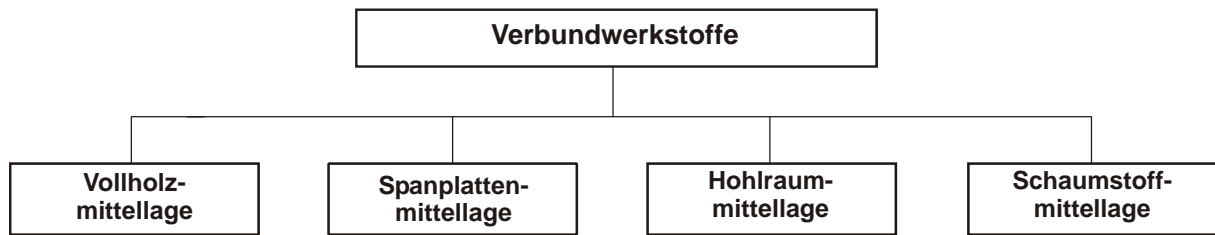


Abbildung 4.19
Einteilung von Verbundwerkstoffen

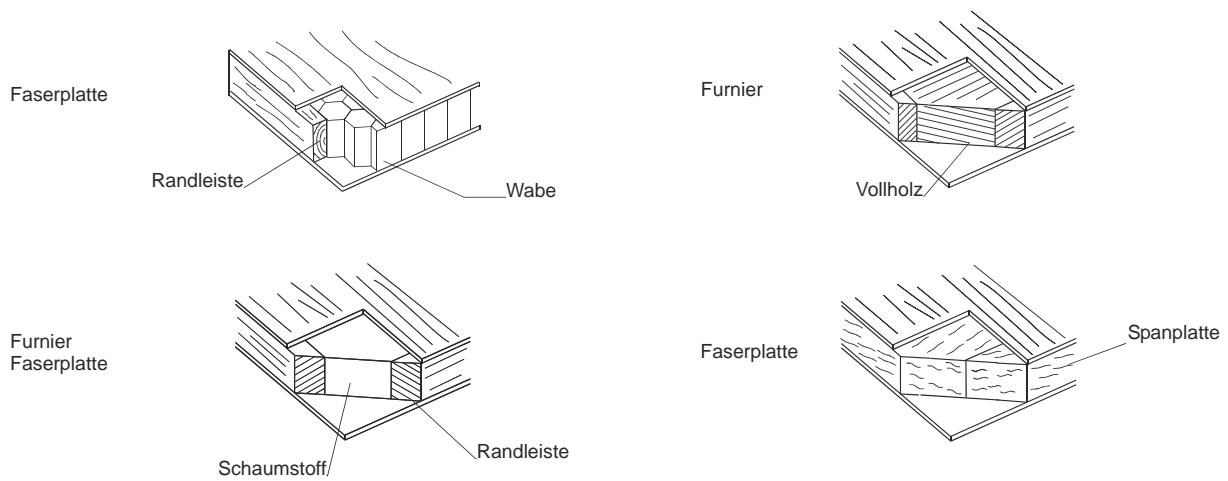


Abbildung 4.20
Strukturmodelle von Verbundwerkstoffen (verschiedene Kombinationen von Deck- und Mittellagen).

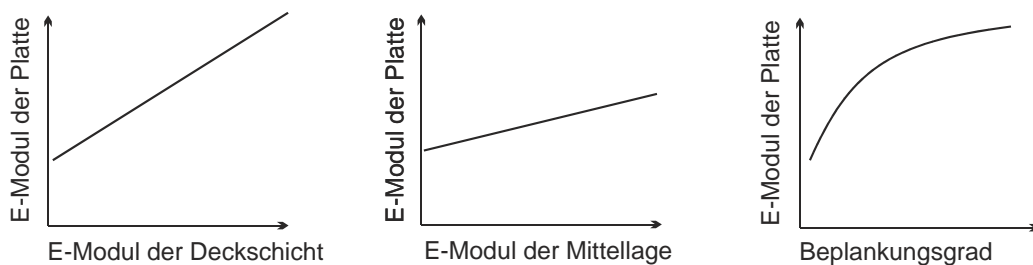


Abbildung 4.21
Wesentliche Einflussfaktoren auf die Eigenschaften von Verbundwerkstoffen

4.9 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 4.1 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 4.1

Typische Strukturmerkmale von Engineered Wood Products (Niemz 1999)

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

4.10 Literatur zu Kapitel 4

- 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.

5	EIGENSCHAFTEN AUSGEWÄHLTER HOLZWERKSTOFFE	5-2
5.1	ÜBERSICHT	5-2
5.1.1	<i>Physikalisch- mechanische Eigenschaften</i>	5-2
5.2	PHYSIKALISCHE EIGENSCHAFTEN	5-3
5.2.1	<i>Verhalten gegenüber Feuchte</i>	5-3
	Feuchtegehalt.....	5-3
	Messverfahren zur Bestimmung des Feuchtegehaltes	5-4
	Sorptionsverhalten	5-4
5.2.1.1	Wasseraufnahme durch Kapillarkräfte	5-7
5.2.1.2	Quellen und Schwinden.....	5-7
5.2.1.3	Einfluss der Holzfeuchte	5-9
	Formbeständigkeit	5-9
	mechanisch-physikalische Eigenschaften.....	5-10
5.2.2	<i>Rohdichte</i>	5-11
	Grundlagen	5-11
	Einfluss von Rohdichte und Rohdichteprofil.....	5-12
5.2.3	<i>Sonstige Eigenschaften</i>	5-13
5.2.3.1	Thermische Eigenschaften.....	5-13
5.2.3.2	Elektrische Eigenschaften	5-15
5.2.3.3	Oberflächeneigenschaften	5-15
5.2.3.4	Akustische Eigenschaften von Holzwerkstoffen	5-17
5.2.3.5	Alterung und Beständigkeit.....	5-19
5.3	ELASTOMECHANISCHE UND RHEOLOGISCHE EIGENSCHAFTEN.....	5-19
5.3.1	<i>Übersicht</i>	5-19
5.3.2	<i>Kenngrößen und deren Bestimmung</i>	5-25
5.3.2.1	E- Modul.....	5-25
5.3.2.2	Schubmodul (G)	5-26
5.3.2.3	Poisson'sche Konstanten	5-29
5.3.3	<i>Rheologische Eigenschaften</i>	5-30
5.3.3.1	Kriechen	5-30
5.3.3.2	Einflussfaktoren.....	5-31
	Allgemeine Grundlagen.....	5-31
	Spannungsrelaxation.....	5-33
	Dauerstandfestigkeit	5-35
5.3.4	<i>Festigkeitseigenschaften</i>	5-36
5.3.4.1	Zugfestigkeit.....	5-38
5.3.4.2	Druckfestigkeit	5-39
5.3.4.3	Biegefestigkeit.....	5-40
5.3.4.4	Scherfestigkeit.....	5-43
5.3.4.5	Auszieh Widerstand von Nägeln und Schrauben	5-44
5.3.4.6	Härte	5-44
5.3.5	<i>Literatur zu Kapitel 5</i>	5-46

5 Eigenschaften ausgewählter Holzwerkstoffe

5.1 Übersicht

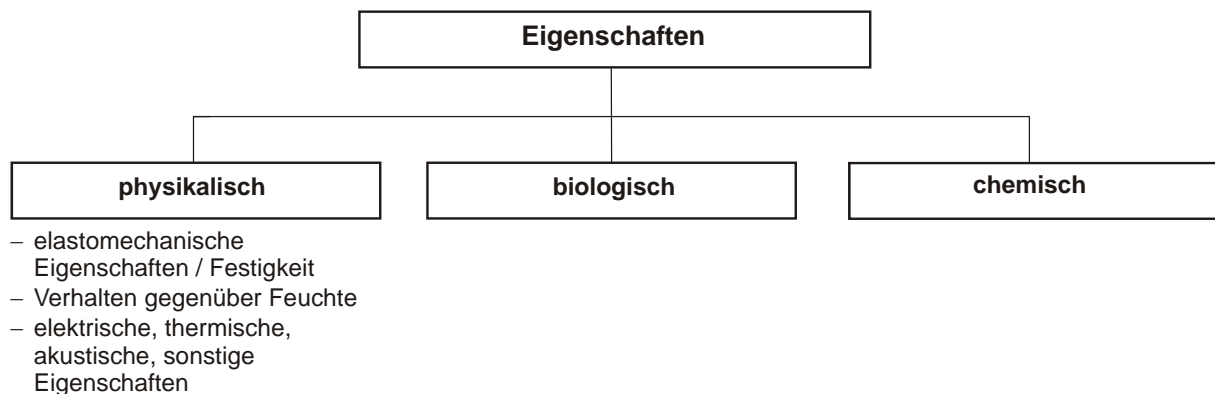


Abbildung 5.1

Einteilung der Eigenschaften von Holzwerkstoffen

5.1.1 Physikalisch- mechanische Eigenschaften

Zu dieser Gruppe zählen (Niemz 1993):

Physikalische Eigenschaften

- Verhalten gegenüber Feuchte (Holzfeuchte, Diffusion, Quellen und Schwinden)
- Dichte
- Thermische Eigenschaften (Wärmeleitfähigkeit, Brandverhalten)
- Elektrische Eigenschaften
- Akustische Eigenschaften
- Elastomechanische Eigenschaften
- Elastomechanische (E- Modul, Schubmodul, Poissonsche Konstanten und Festigkeitseigenschaften der Holzwerkstoffe, wie z.B. Zug-, Druck-, Biege- und Scherfestigkeit) und
- 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 Holzinhaltstoffe 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).

Einflussfaktoren auf die Eigenschaften

Alle Eigenschaften des Holzes werden beeinflusst durch:

- den strukturellen Aufbau
- die Umweltbedingungen (insbesondere Feuchte und Temperatur)
- die Vorgeschichte (z.B. mechanische oder klimatische Vorbeanspruchung, Schädigung durch Pilze oder Insekten).

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

Die an kleinen, fehlerfreien Proben bestimmten Eigenschaften sind meist nicht direkt auf Bauteile übertragbar. So hat z.B. die Bauteilgrösse einen deutlichen Einfluss auf die Festigkeit (vgl. Abschn. 5.3, Gl. 5.6), aber auch auf das Quell- und Schwindverhalten und die Gleichgewichtsfeuchte. Bei grossen Abmessungen, wie z.B. bei Brettschichtholz, wird bei Klimawechsel die dem Klima entsprechende Gleichgewichtsfeuchte meist nur in den Randzonen erreicht. Dadurch ist die Quellung der Bauteile deutlich geringer als jene kleiner Proben bei Erreichen der Gleichgewichtsfeuchte über dem Probenquerschnitt (**Abbildung 5.2**). Im Ergebnis eines sich über dem Holzquerschnitt einstellenden Feuchteprofils entstehen Spannungen, die beim Überschreiten der Festigkeit zu Rissen führen. Auch der Einfluss solcher Feuchtigkeitsschwankungen auf die Festigkeit ist geringer als bei kleinen Proben, bei denen die Gleichgewichtsfeuchte erreicht wurde.

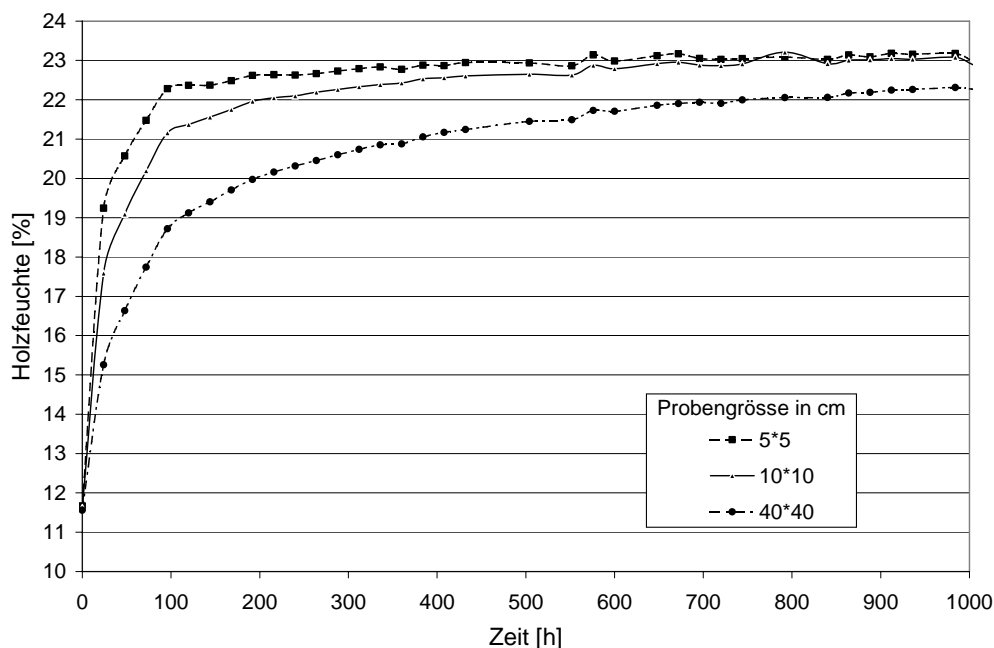


Abbildung 5.2

Einfluss der Probengrösse und der Zeit auf die mittlere Holzfeuchte einer dreischichtigen Massivholzplatte (60 mm dick) bei Lagerung im Normklima (20°C und 65% relative Luftfeuchte).

5.2 Physikalische Eigenschaften

5.2.1 Verhalten gegenüber Feuchte

Feuchtegehalt

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

$$u = \frac{m_u - m_{dtr}}{m_{dtr}} * 100 (\%) \quad (Gl. 5.1)$$

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

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 Exikkator abgekühlt, und die Masse im darrtrockenen Zustand ermittelt. Der Feuchtegehalt wird nach Gl. 5.1 berechnet.

Weitere Methoden sind (Niemz 1993)

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

Sorptionsverhalten

Holzwerkstoffe sind wie Vollholz poröse Materialien. Sie nehmen daher Wasser aus der Luft durch Sorption und - oberhalb des Fasersättigungsbereiches- tropfbar flüssiges Wasser durch Kapillarkräfte auf. Zwischen der Holzfeuchte und der relativen Luftfeuchte stellt sich eine materialspezifische Gleichgewichtsfeuchte ein. Ist das Mikrosystem maximal mit Wasser gefüllt, sprechen wir vom Fasersättigungspunkt.

Im Bereich der Kapillarkondensation (etwa ab 65% relativer Luftfeuchte) kommt es dabei zu einer deutlichen Differenzierung im Sorptionsverhalten verschiedener Werkstoffe (Abbildung 5.4).

Da Holzwerkstoffe meist Kleb- und Zusatzstoffe enthalten, wird die Feuchteaufnahme massgeblich durch diese mit beeinflusst. So ist beispielsweise die Gleichgewichtsfeuchte phenolharzverleimter Werkstoffe höher als die harnstoffharzverleimter (bedingt durch das hygroskopische Verhalten des im Phenolharz enthaltenen Alkalis).

Abbildung 5.3 zeigt typische Sorptionsisothermen von Holz und Holzwerkstoffen. Bei PF-gebundenen Holzwerkstoffen steigt oberhalb von 65% rel. Luftfeuchte die Gleichgewichtsfeuchte deutlich stärker an als bei UF gebundenen, bei MDF ist sie in diesem Bereich meist etwas niedriger als bei Spanplatten (vergleiche Abbildung 5.4 (Popper, Niemz and Eberle 2001)).

Tabelle 5.1

Feuchtegehalt von Holzwerkstoffen für Bauzwecke (Zusammenstellung der Angaben verschiedener Autoren)

Material	Holzfeuchte in %
Sperrholz	5 -15
Flachpressspanplatten	9 ± 4
Strangpressplatten	9 ± 4
Hartfaserplatten	5 ± 3
MDF	9 ± 4
Fichte (bei 20°C/65% r.L.)	12
Brettschichtholz (Feuchte ab Werk)	10 ± 2

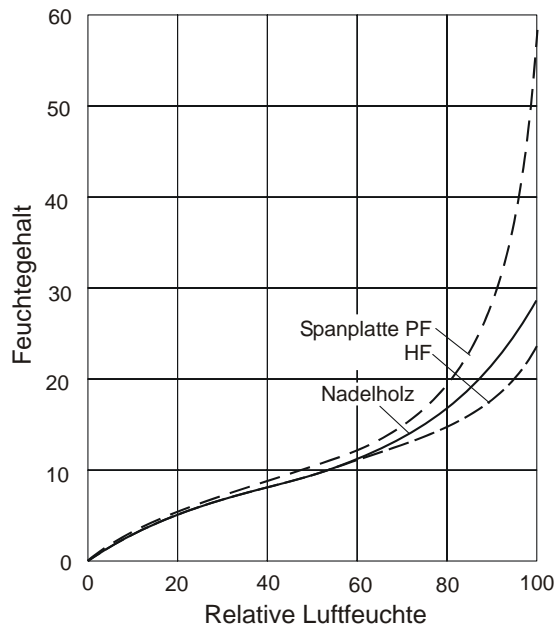


Abbildung 5.3
Sorptionsverhalten von Vollholz und Spanplatten (Niemz 1993)

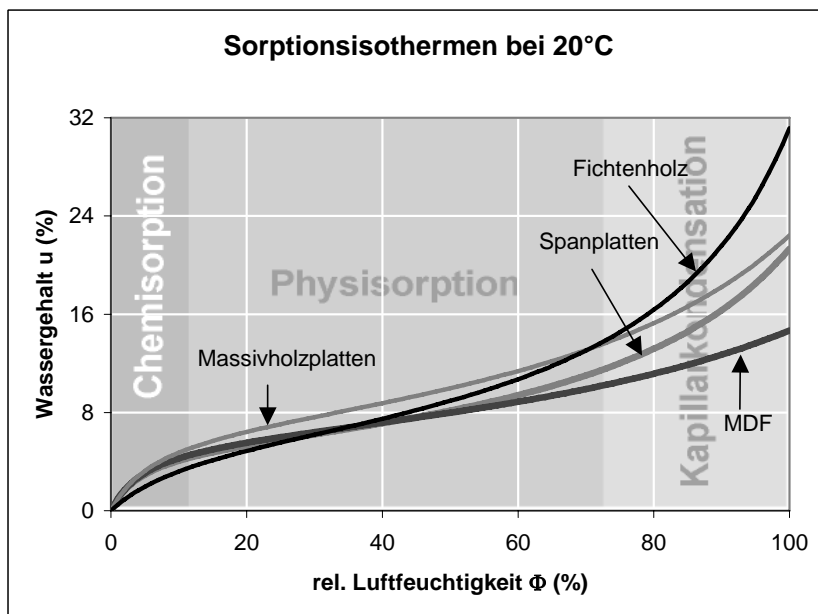


Abbildung 5.4
Sorptionsverhalten von HF gebundenen Spanplatten, MDF und Massivholzplatten bei 20°C.

Durch thermische oder hydrothermische Vorbehandlung kann die Gleichgewichtsfeuchte des Holzes reduziert werden. Nach Burmester (Burmester 1975), führt eine Wärme - Druckbehandlung zu einer Verminderung des Hemicellulosegehaltes und dadurch zu einer verbesserten Formbeständigkeit. So wird z.B. Holz durch thermische Behandlung zwischen 180- 240 °C die Gleichgewichtsfeuchte und das Schwindverhalten um bis zu 50 % reduziert. Bei Temperaturen über 200 °C tritt dabei auch eine gewisse Verminderung der Festigkeit ein.

Auch durch Acetylierung und Phthalierung kann eine wesentliche Reduzierung der Gleichgewichtsfeuchte und eine Dimensionsstabilisierung erreicht werden. Gleichzeitig wird die

Beständigkeit gegen holzerstörende Pilze teilweise verbessert. Bei der Acetylierung wird z.B. die sorptiv aktive Oberfläche reduziert (Popper and Bariska 1972; Popper and Bariska 1973; Popper and Bariska 1975). Eine weitere Möglichkeit ist z.B. das Ausfüllen der Zellwandhohlräume (z.B. mit Polyäthylenglykol).

Thermomechanisch verdichtetes Holz hat eine etwas geringere Gleichgewichtsfeuchte als normales Vollholz. Erfolgt eine hydrothermische Vorbehandlung und Verdichtung, wird die Gleichgewichtsfeuchte gegenüber normalem Holz deutlich reduziert (Navi und Grirardet 2000).

Unterhalb des Fasersättigungsbereiches erfolgt der Feuchtetransport im Holz durch Diffusion. Diffusion tritt z.B. auch in Baukonstruktionen bei Differenzen in der relativen Luftfeuchtigkeit zwischen zwei Seiten eines Elementes auf. Kenngröße ist die Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl (nach DIN 4108 T4). Diese steigt deutlich mit abnehmender Holzfeuchte und zunehmender Rohdichte (Tabelle 5.2, Tabelle 5.3). Leimfugen oder Oberflächenbeschichtungen können zu einem Feuchtetau führen. Bei Massivholzplatten ist ein Einfluss der Anzahl der Schichten vorhanden, die Diffusionswiderstandszahl steigt mit zunehmender Anzahl an Schichten.

Tabelle 5.2

Diffusionswiderstand verschiedener Holzwerkstoffe (Jensen u. Kehr 1999 sowie Merz, Fischer, Brunner u. Baumberger 1997)

Werkstoff		Rohdichte in kg/m ³	Diffusionswiderstandszahl
Kiefer	Radial	470	55
	tangential	-	100
MDF		470	20
		900	50
Spanplatte		470	20
		900	360
Spanplatte aus Strands		470	65
		900	1400
Massivholzplatte			40/400
Faserdämmplatte		175	50
Hartfaserplatte		1000	120

Tabelle 5.3

Einfluss der Feuchte auf die Diffusionswiderstandszahl von Fichte (Cammerer, in Niemz 1993)

Feuchte in %	Diffusionswiderstandszahl
4	230
6	160
8	110
10	80
16	18

5.2.1.1 Wasseraufnahme durch Kapillarkräfte

Holzwerkstoffe können bei Wasserlagerung oder Schlagregen auch Wasser durch Kapillarkräfte aufnehmen.

Die Geschwindigkeit der Wasseraufnahme wird dabei entscheidend beeinflusst durch:

- die Dichte des Materials (mit zunehmender Dichte sinkt die Aufnahmegeschwindigkeit)
- die Holzart (bei Massivholzplatten)
- eine vorhandene Oberflächenbeschichtung
- die Abmessungen der Bauteile (**Abbildung 5.2**).

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

Er beträgt nach eigenen Messungen:

	Fichte:	Buche:
längs	0,017	0,044
radial	0,003	0,005
tangential	0,004	0,004

Die Wasseraufnahme längs ist pro Zeiteinheit deutlich höher als radial und tangential. Diese Differenzierung gilt auch für die Feuchteaufnahme aus der Luft. Bei grossen Querschnitten, wie sie z.B. im Bauwesen (Brettschichtholz) vorkommen wird nur nach einer sehr langen Lagerdauer die Gleichgewichtsfeuchte über dem gesamten Querschnitt erreicht. Dies gilt auch für die Feuchteaufnahme bei Wasserlagerung.

Unter realen Bedingungen schwankt die Feuchte meist nur in den Randzonen stärker. Es kommt infolgedessen auch bevorzugt zur Spannungsbildung in diesen Zonen. Abbildung 5.5 zeigt die Feuchtigkeitsänderung von Fichte bei Wasseraufnahme durch Sorption und bei Wasserlagerung sowie die Feuchteänderung einer Massivholzplatte aus Fichte des Formats 1m x 1m x 0,06m in Abhängigkeit von der Zeit.

5.2.1.2 Quellen und Schwinden

Bei der Feuchteänderung kommt es innerhalb des hygroskopischen Bereiches zum Quellen (Feuchteaufnahme) bzw. Schwinden (Feuchteabgabe). Es treten Längen- und Dickenquellungen auf. Die Längenquellung von MDF ist etwas geringer als die von Spanplatten. Bei OSB in Orientierungsrichtung der Späne ist sie niedriger als senkrecht dazu. Senkrecht zur Plattenebene ist die Quellung (Dickenquellung) bei Spanplatten und MDF deutlich höher als bei Vollholz senkrecht zur Faserrichtung. Sie wird durch die Verleimungsgüte und den Anteil an Hydrophobierungsmittel bestimmt. Dies ist auf das Rückquellen der beim Pressen verdichteten Partikeln zurückzuführen („spring back“-Effekt). Dieser Effekt tritt auch bei der Befeuchtung von verdichtetem Vollholz (Pressvollholz) auf. Auch dieses Holz quillt bei Wasserlagerung stärker als unverdichtetes Holz, wenn es nicht spezifisch modifiziert wurde. Navi und Girardet (2000) geben z.B. an, dass die Quellung

senkrecht zur Faserrichtung bei Wasserlagerung auf ca. 50 % steigt (unbehandeltes Holz ca. 8 %). Bei hydrothermischer Vorbehandlung und Verdichtung betrug das Rückquellen nach Wasserlagerung dagegen nur noch ca. 11%.

Wird die Probe am Quellen/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. So markieren sich beispielsweise bei Massivholzplatten die senkrecht zu Decklage liegenden Lagen (Radial- oder Tangentialschnitt) bei Befeuchtung oder Trocknung durch das wesentlich grössere Quell- bzw. Schwindmass und eintretende plastische Verformungen. Bei extremen klimatischen (feucht/trocken) kommt es zur Rissbildung in diesen Lagen.

Neben den inneren Spannungen entstehen bei fester Einspannung der Proben auch erhebliche Quelldrücke. Ein hoher Anteil des durch die Einlagerung des Wassers in das Mikrosystem des Holzes auftretenden Quelldruckes wird durch innere Reibung und plastische Verformungen abgebaut. Der an der Gesamtprobe messbare Quelldruck ist daher deutlich niedriger als der theoretisch berechenbare. Eigene Messungen ergaben einen Quelldruck von 0,25 - 0,40 N/mm² für MDF mit 600 kg/m³. 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.

Tabelle 5.4 zeigt die differentielle Quellung (prozentuale Quellung in % / % Feuchteänderung) für ausgewählte Holzwerkstoffe.

Tabelle 5.4

Prozentuale Quellung in % / % Feuchteänderung für ausgewählte Holzwerkstoffe

Material	Quell- /Schwindmass in %/%	
	in Plattenebene/ Länge	Senkrecht zur Plattenebene/ Faserrichtung
Sperrholz	0,02	0,30
Spanplatte	Phenolharz	0,025
	Andere Harze	0,015 (0,30)
Brettschichtholz ¹⁾	0,01	0,24
MDF	(0,15..0,20)	(0,80)

() unveröffentlichte Messungen Niemz

¹⁾Gfeller (2000)

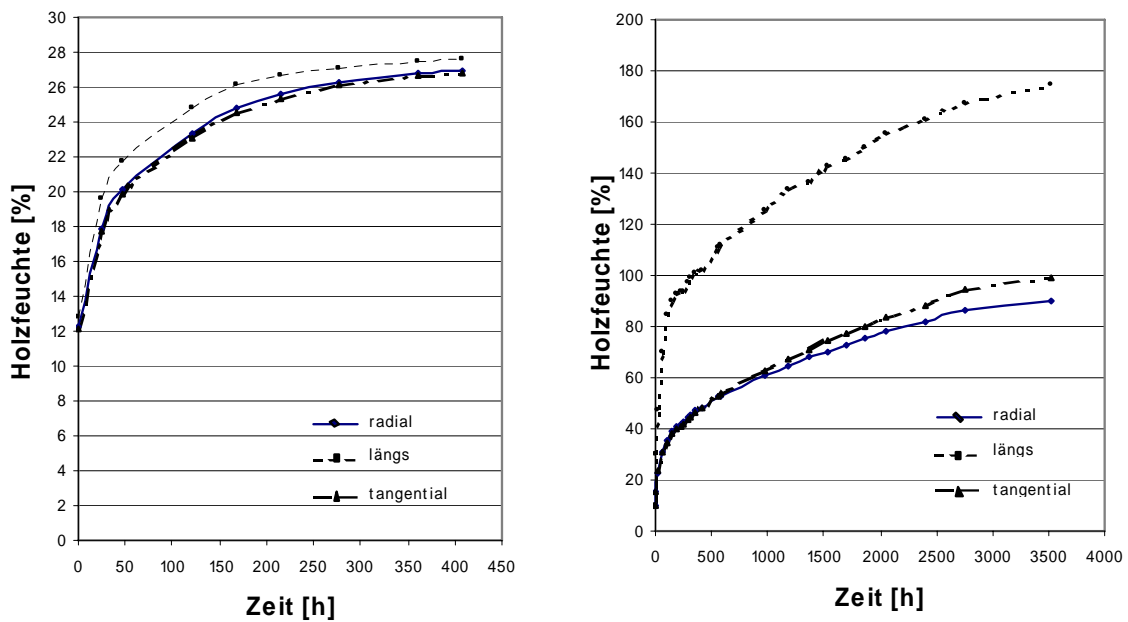


Abbildung 5.5

Feuchteänderung von Holz und Holzwerkstoffen. links: Wasseraufnahme durch Sorption bei Fichtenholz (an Würfeln von 5cm Kantenlänge, jeweils 4 Flächen isoliert) bei Lagerung im Normalklima. rechts: Wasseraufnahme durch Kapillarkräfte (Lagerung unter Wasser) bei Fichtenholz.

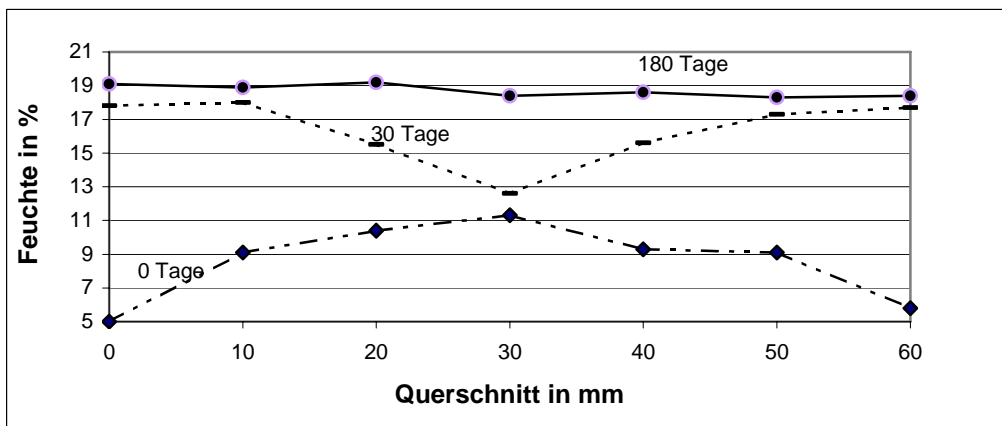


Abbildung 5.6

Feuchteänderung einer Massivholzplatte (1 m x 1 m x 0.06 m) bei Lagerung in einem Klima von 2°C und 90% relativer Luftfeuchte.

5.2.1.3 Einfluss der Holzfeuchte

Formbeständigkeit

Neben der Dicken- und Längenquellung bei Feuchteänderung kommt es bei Lagerung von Holzwerkstoffen in einem Differenzklima (z.B. die eine Seite feucht, die andere trocken) zu Spannungen und zur Verformung (Plattenverzug). Ursache ist dabei die unterschiedliche Gleichgewichtsfeuchte und damit das differenzierte Quellen der Schichten. Insbesondere bei einem

asymmetrischen Plattenaufbau (z.B. Postforming- Platten, Laminatböden, unterschiedlich beschichtete Möbelfronten) treten diese Probleme auf. Aber auch bei Spanplatten oder MDF mit einem asymmetrischen Rohdichteprofil oder Massivholzplatten mit deutlichen Differenzen in der Jahrringlage zwischen den beiden Decklagen. Die Spannungen können durch Freischneiden und Messung der Dehnung und des E- Moduls der Schichten bestimmt werden ((Niemz 1997)). Der Widerstand gegen solche klimabedingten Formänderungen wird auch als Formbeständigkeit bezeichnet. Die Formänderung bei Differenzklima wird entscheidend beeinflusst durch die

- Plattendicke
- Symmetrie des Plattenaufbaus
- Gleichgewichtsfeuchte und die Längenquellung
- Lage und Orientierung der Partikel (bei OSB und LSL)
- Faserorientierung und den Plattenaufbau bei Massivholzplatten.

MDF erwiesen sich dabei nach Untersuchungen von Jensen ((Jensen 1994), Abbildung 5.6) als deutlich formstabiler als Spanplatten, was mit der geringeren Feuchteänderung (niedrigere Gleichgewichtsfeuchte) und Längenquellung begründet wurde. Zudem erwies sich die Verformung bei MDF im Vergleich zur Spanplatte als stärker reversibel. OSB haben eine deutliche Richtungsabhängigkeit. Beschichtungen bewirken durch die reduzierte Feuchteaufnahme eine Erhöhung der Formbeständigkeit.

Rangordnung bezüglich der Formbeständigkeit, Verformung von oben nach unten zunehmend (Jensen 1994; Jensen and Krug 1999):

- MDF
- Spanplatte
- Massivholzplatte
- LSL

mechanisch-physikalische Eigenschaften

Die Holzfeuchte beeinflusst (wie bei Vollholz) alle mechanisch - physikalischen Eigenschaften. Die Festigkeit und der E-Modul steigen vom darrtrockenen Zustand bis etwa 10 % Holzfeuchte etwas an, danach kommt es zu einem deutlichen Abfall (Abbildung 5.8).

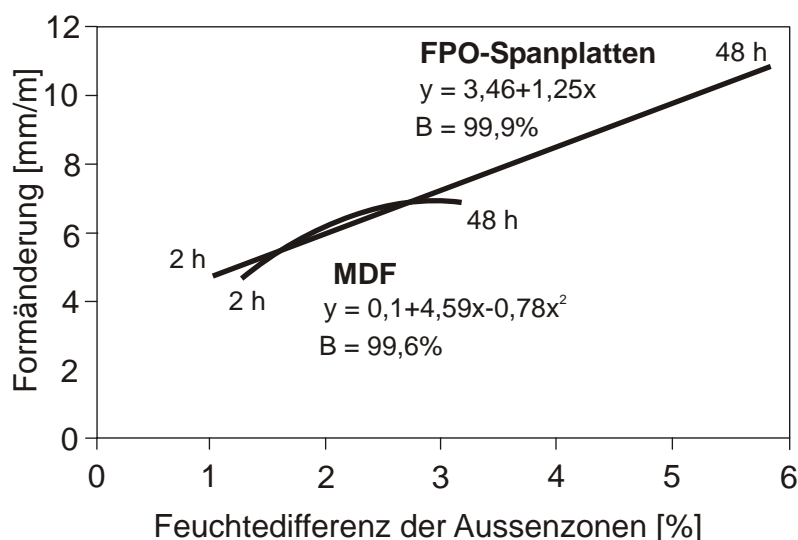


Abbildung 5.7

Formänderung von Spanplatten und MDF in Abhängigkeit von der Feuchtedifferenz der Aussenzonen (Jensen u. Kehr 1995). B: Bestimmtheitsmass.

Ferner ergeben sich folgende Auswirkungen:

- Die Wärmeleitzahl steigt mit zunehmender Holzfeuchte.
- Die Schallgeschwindigkeit fällt mit zunehmender Holzfeuchte.
- Bei Klimawechsel kann es, insbesondere bei harnstoffharzverleimten Materialien, zu einer Zerstörung der Leimfuge durch Hydrolyse oder mechanische Spannungen kommen.

Mit erhöhter Holzfeuchtigkeit steigt die Gefahr des Angriffs von Pilzen (abhängig von Pilzart und Umgebungsbedingungen).

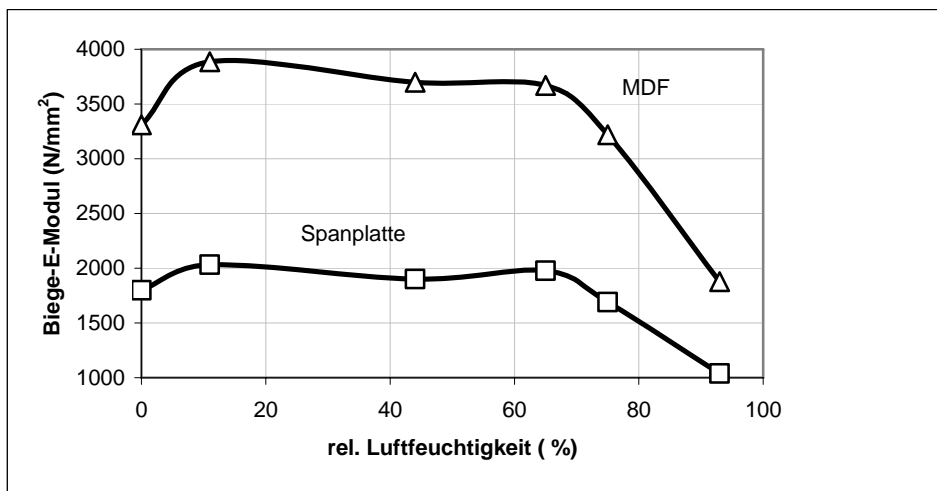


Abbildung 5.8

Einfluss der Holzfeuchte auf die Biegefestigkeit und den E-Modul von MDF und Spanplatten (UFB), Popper, Niemz und Eberle (2001).

5.2.2 Rohdichte

Grundlagen

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \text{in kg/m}^3 \quad (\text{Gl. 5.2})$$

ρ Rohdichte
 m Masse
 V Volumen

Für Span- und Faserplatten wird zu Kontrollzwecken meist die Flächendichte m_F verwendet:

$$m_F = \frac{m}{F} \quad \text{in kg/m}^2 \quad (\text{Gl. 5.3})$$

Die Rohdichte wird meist gravimetrisch bestimmt. Die Flächenmasse wird online durch Messung der Absorption von Röntgen oder γ - Strahlen (Niemz and Sander 1990; Niemz 1993) ermittelt; unter

Berücksichtigung der Dicke kann daraus die Rohdichte berechnet werden. Mit der Röntgenmethode wird durch schichtweises Durchstrahlen (Messung der Schwächung der Strahlung) auch das Rohdichteprofil senkrecht zur Plattenebene im Labor bestimmt. Bei der on - line Messung des Rohdichteprofiles wird dafür der Rückstreuungseffekt der Strahlung genutzt.

Spanplatten und MDF haben ein typisches Rohdichteprofil senkrecht zur Plattenebene, das durch Partikelstruktur, Feuchte und Presstechnik in weiten Grenzen variiert werden kann. Der Gradient von Mittelschicht- /Deckschichtrohddichte kann zwischen 1: 1,3 ... 1: 1,5 bei MDF und 1: 1,7 ... 1: 2 bei Spanplatten liegen (Autorenkollektiv 1990).

Die Rohdichte von Brettschichtholz und Sperrholz liegt im Bereich der Dichte des eingesetzten Holzes. Bei Partikelwerkstoffen kann die Rohdichte von 150 kg/m^3 bis 1050 kg/m^3 variieren. Abbildung 5.9 zeigt ein typisches Rohdichteprofil von Spanplatten.

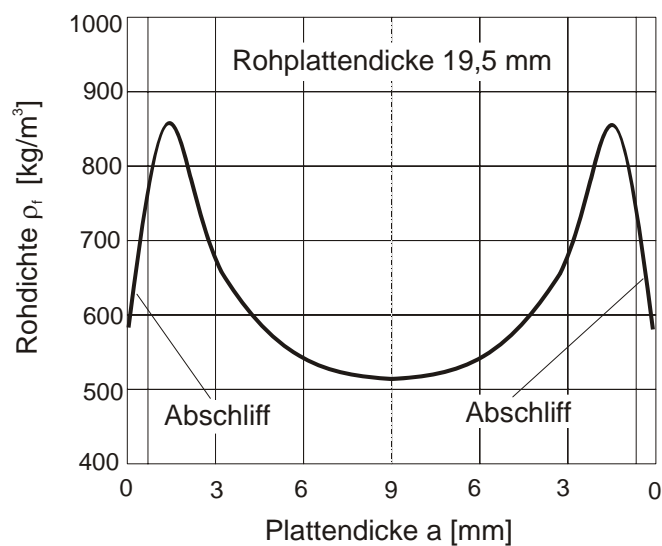


Abbildung 5.9

Typisches Rohdichteprofil senkrecht zur Plattenebene einer Spanplatte.

Einfluss von Rohdichte und Rohdichteprofil

Die Rohdichte beeinflusst alle mechanisch-physikalischen Eigenschaften. So steigen z.B. die Festigkeit und die Schallgeschwindigkeit mit Erhöhung der Dichte, die Wärmeleitfähigkeit sinkt.

Durch Erhöhung der Deckschichtrohddichte bei Holzwerkstoffen können die Biegefestigkeit und der Biege-E-Modul erhöht werden, gleichzeitig wirkt sich eine geschlossene Deckschicht positiv auf die Beschichtbarkeit aus. Für die Schmalflächenbearbeitung wird meist ein relativ homogenes Rohdichteprofil mit einer geschlossenen, nicht zu porigen Mittelschicht angestrebt. Abbildung 5.10 zeigt den Einfluss der mittleren Rohdichte auf die Biegefestigkeit von Spanplatten. Die Rohdichte ist eine der dominierenden Einflussgrößen. Mit zunehmender Rohdichte steigen alle Festigkeitseigenschaften.

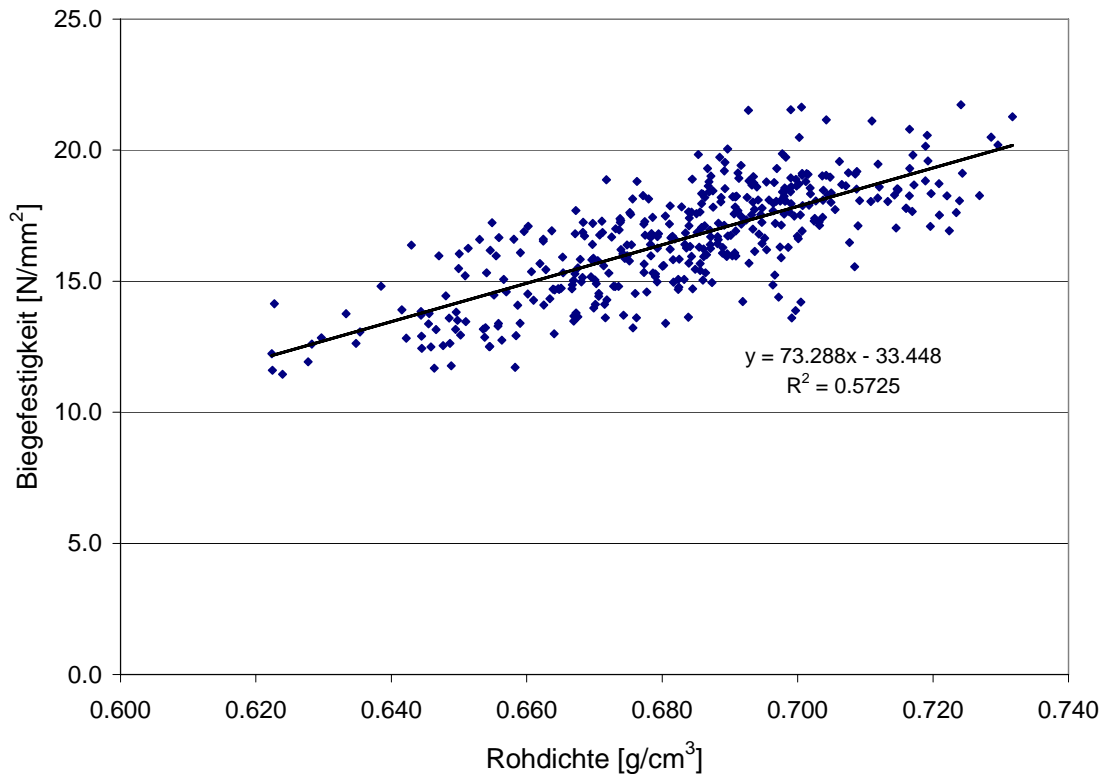


Abbildung 5.10

Einfluss der Rohdichte auf die Biegefestigkeit von Spanplatten

5.2.3 Sonstige Eigenschaften

5.2.3.1 Thermische Eigenschaften

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. Sie steigt mit zunehmender Holzfeuchte und Rohdichte.

Holz und Holzwerkstoffe sind schlechte Wärmeleiter. Faserstoff, Späne (als Schüttstoff) und vor allem Faserplatten geringer Dichte sind gut als Wärmedämmstoff geeignet und werden daher zunehmend zur Wärmeisolation eingesetzt. Tabelle 5.5 zeigt die Wärmeleitfähigkeit ausgewählter Holzwerkstoffe. Die spezifische Wärmekapazität (in kJ/kgK); ist die Wärmemenge, die erforderlich ist, um 1 kg um 1 K zu erwärmen. Diese ist bei Holz und Holzwerkstoffen vergleichsweise hoch. Dies in Verbindung mit der geringen Wärmeleitfähigkeit bringt bei der Verwendung von Holzwerkstoffen zur Wärmedämmung deutliche Vorteile im Vergleich zu Schaumstoffen oder Mineralwolle. Abbildung 5.11 zeigt den Temperaturgang durch eine Konstruktion mit Faserdämmmaterial und Mineralwolle. Die effektiven Temperaturschwankungen sind also bei Dämmmaterialien auf Holzbasis geringer. Ebenso kommt es zu einer Phasenverschiebung.

Die **Wärmeausdehnung** ist im Vergleich zur Ausdehnung durch Feuchteänderungen gering, kann aber z.B. bei Parkett durchaus eine gewisse Bedeutung haben. Sie beträgt bei Span- und Faserplatten $10\text{-}15 \times 10^{-6}$ m/mK, bei Vollholz in Abhängigkeit von der Holzart und der Faserrichtung in Faserrichtung $3,15 - 4 \times 10^{-6}$ m/mK, senkrecht zur Faserrichtung $16 - 40 \times 10^{-6}$ m/mK.

Holz und Holzwerkstoffe sind brennbar (meist Baustoffklassen B2, normal entflammbar oder B1, schwer entflammbar, z.B. Holzwoleleichtbauplatten). Zementgebundene Spanplatten und zementgebundene Platten gehören zur Baustoffklasse A2 (nicht brennbar).

Holzstäube, wie sie bei der Span-, und insbesondere bei der Faserplattenherstellung im Trockenverfahren auftreten, sind je nach Zusammensetzung des Staub- Luftgemisches hoch explosiv (Niemz 1993).

Bei Erhöhung der Temperatur von Holzwerkstoffen nimmt die Festigkeit ab (Niemz 1993). Bei relativ grossen Querschnitten (Brettschichtholz) erreicht die Temperatur im Inneren maximal 100 °C, da sich aussen eine Holzkohleschicht bildet. Nach Glos und Henrici (in (Niemz 1993)) ergeben sich folgende Eigenschaftsänderung bei 100 °C, bezogen auf 20 °C (in Klammern Daten für kleine Proben):

- Biegefestigkeit 72 % (45 %)
- Zugfestigkeit 92 % (89 %)
- Druckfestigkeit 56 % (49 %)
- Zug-E-Modul 88 % (-)

Die geringe Wärmeleitung des Holzes, die geringe Wärmeausdehnung und die Ausbildung einer Holzkohleschicht am Rand wirken sich bei grossen Querschnittsabmessungen sehr positiv auf den Feuerwiderstand aus. Bei entsprechenden Dimensionen können sich daher Holzkonstruktionen günstiger verhalten als solche aus nichtbrennbaren Baustoffen, da sich z.B. Stahl bei hohen Temperaturen stark ausdehnt und die Festigkeit verliert. Zudem werden im Inneren nur etwa 100°C erreicht, da Holz eine niedrige Wärmeleitung hat und die Holzkohleschicht als Isolation wirkt.

Tabelle 5.5

Wärmeleitzahl von Holzwerkstoffen (Richtwerte)

Material	Wärmeleitzahl in W/mK
Spanplatte	0,12-0,14
Sperrholz	0,14
Poröse Faserplatte	0,05
MDF	0,125
Zementgebundene Spanplatte	0,24-0,28
Massivholzplatte	0,12-0,14

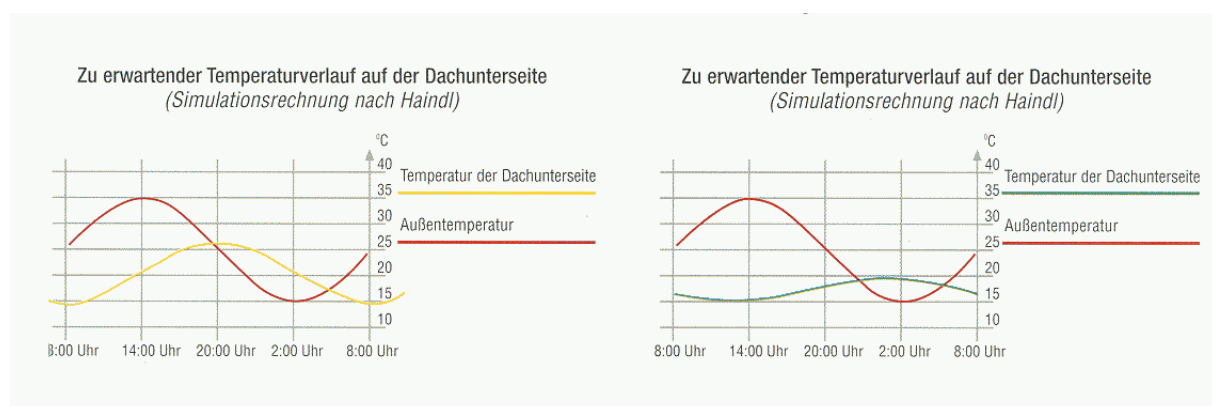


Abbildung 5.11

Temperaturgang in einer Dachkonstruktion beim Einsatz von Cellulosefasern im Vergleich zu Mineralwolle als Dämm-Material. links: 40 mm Mineralwolle; rechts: 40 mm Cellulosefasern.

5.2.3.2 Elektrische Eigenschaften

Der elektrische Widerstand und auch die dielektrischen Eigenschaften des Holzes werden bei Holzwerkstoffen genutzt zur:

- Bestimmung der **Holzfeuchte** (elektrischer Widerstand, Dielektrizitätskonstanten)
- **Vorwärmung** von Vliesen (dielektrische Eigenschaften) mit HF-Energie (Umpolarisation der Wassermoleküle im Hochfrequenz-Feld, durch die entstehende Reibung kommt es zur Erwärmung)
- Fertigung von Platten mit reduziertem elektrischen **Widerstand**; dabei wird Russ zugegeben, und der elektrische Widerstand auf $10^5 - 10^9 \Omega$ reduziert. (EN 10001T1/T2, Messspannung 100V).

Zunehmende Bedeutung gewinnt das Verhalten gegenüber elektromagnetischen Wellen, wie sie z.B. von Mobilfunkgeräten oder Rundfunksendern erzeugt werden. Die Frequenz der Wellen liegt im Bereich von 10-100 kHz bis zu 150-300 GHz. Im kHz-Bereich befinden sich Lang- und Mittelwellensender, im MHz-Bereich Kurz- und Ultrakurzwellensender, Fernsehen. Mobilfunkgeräte sind im unteren GHz-Bereich. Hochfrequente elektromagnetische Wellen verhalten sich ähnlich wie Licht, das von Materialien gespiegelt werden kann (Reflexion) oder durch diese hindurchdringt (Transmission). Beides ist abhängig von der Art und der Struktur des Materials, aber auch von der Polarisation der elektromagnetischen Welle. Pauli und Moldan (2000) führten umfangreiche Untersuchungen zum Abschirmverhalten verschiedener Baustoffe durch.

Die **Dämpfung** steigt mit der Frequenz. Dabei wurde festgestellt, dass konventionelle Leichtbauweisen (Dichte 170 kg/m^3) den hochfrequenten Wellen keinen Widerstand leisten. Eine Wand aus massivem Holz, Lehmsteinen und Dämmung aus Faserdämmplatten (400 kg/m^3) hatte eine analoge Dämmung wie eine Wand aus 160mm dicker Tanne (Blockwand).

Die Dämpfung betrug im MHz-Bereich zwischen 3-11 dB und steigt bei 10 GHz auf 38 dB. Zur Transmissionsdämpfung können Metallgewebe, metallische Beschichtungen oder auch spezielle textile Materialien (z.B. Baumwolle mit eingearbeiteten Metallfasern) verwendet werden. Durch Einarbeitung entsprechender Materialien in Holzkonstruktionen kann also die Abschirmwirkung erhöht werden.

5.2.3.3 Oberflächeneigenschaften

Kenngrößen sind hier die **Rauhigkeit** (Abbildung 5.12) und die **Welligkeit** (Abbildung 5.13). Als Richtwerte für die zulässige Rauhtiefe nach Wasserlagerung und erneuter Trocknung gibt Böhme (1980) für Frontflächen von Möbeln bei Furnierbeschichtung mit 60 - 80 μm , bei Dekorfolien mit Finisheffekt mit 40 - 60 μm an (Frontflächen). Für die Prüfung dieser Eigenschaften werden Tastschnittgeräte (optisch oder mechanisch abtastend) eingesetzt. Die wichtigsten Kenngrößen für die Oberflächeneigenschaften enthält ISO 4287/1. Die Welligkeit ist insbesondere an polierten Fronten deutlich erkennbar (grosswellige Dickenschwankungen). Sie wird z.B. hervorgerufen durch Dichteschwankungen und Schwankungen im Quell- und Schwindverhalten.

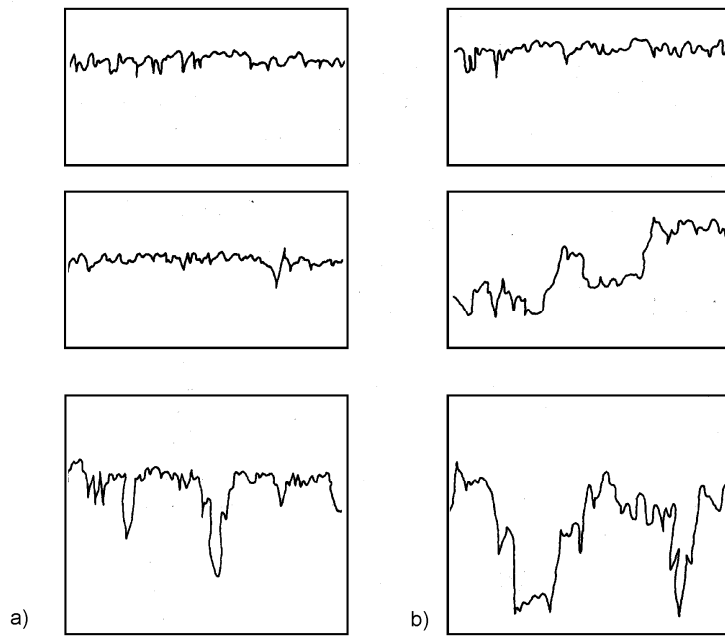


Abbildung 5.12
Rauigkeit verschiedener Spanplatten im trockenen (a) und nassen (b) Zustand (Boehme 1980).

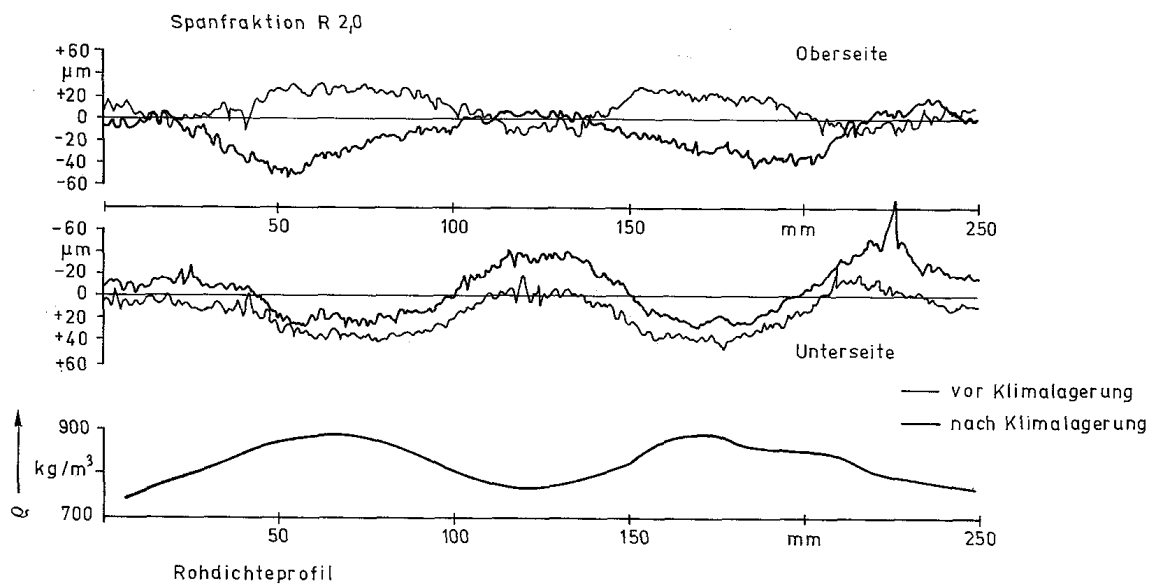


Abbildung 5.13
Einfluss von Rohdichteschwankungen auf die Welligkeit von Spanplatten (Devantier and Niemz 1989).

5.2.3.4 Akustische Eigenschaften von Holzwerkstoffen

Kenngrossen sind hier

- Schallgeschwindigkeit
- Schallabsorption
- Schalldämmung

Die **Schallgeschwindigkeit** kann zur Ermittlung des dynamischen E-Moduls benutzt werden. Dabei gilt stark vereinfacht:

$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (\text{Gl.5.4})$$

$$E = v^2 \cdot \rho$$

E	dynamischer E-Modul (N/mm ²)
v	Schallgeschwindigkeit (m/s)
ρ	Rohdichte

Untersuchungen dazu führten u. a. Grundström, Niemz und Kucera (1999) sowie Burmester (1968) durch. Es konnte eine straffe Korrelation zwischen Schallgeschwindigkeit und E - Modul sowie Querkzugfestigkeit festgestellt werden. Die Güte der Korrelation schwankt je nach Plattenstruktur, wobei sehr grosse Unterschiede im Korrelationskoeffizienten existieren.

Umfangreiche Untersuchungen zur Nutzung von Schallgeschwindigkeit und Eigenfrequenz für die Bestimmung der Eigenschaften von Holzwerkstoffen wurden u. a. von Kruse (1997) und Schulte (1997) durchgeführt.

Zur Bestimmung von Plattenreissern wird bei der Herstellung von Holzwerkstoffen die Schallschwächung beim Übergang Luft - Festkörper industriell genutzt. Ist ein Riss in der Platte vorhanden, so tritt die Schallschwächung zweifach auf (Niemz and Sander 1990; Niemz 1993). Das Verhältnis der am Empfänger ankommenden Schallenergie beträgt daher zwischen einer fehlerfreien und einer fehlerhaften Platte etwa 10:1.

Abbildung 5.14 zeigt die Korrelation zwischen dem aus der Schallgeschwindigkeit berechneten E-Modul und dem nach DIN am Biegestab bestimmten.

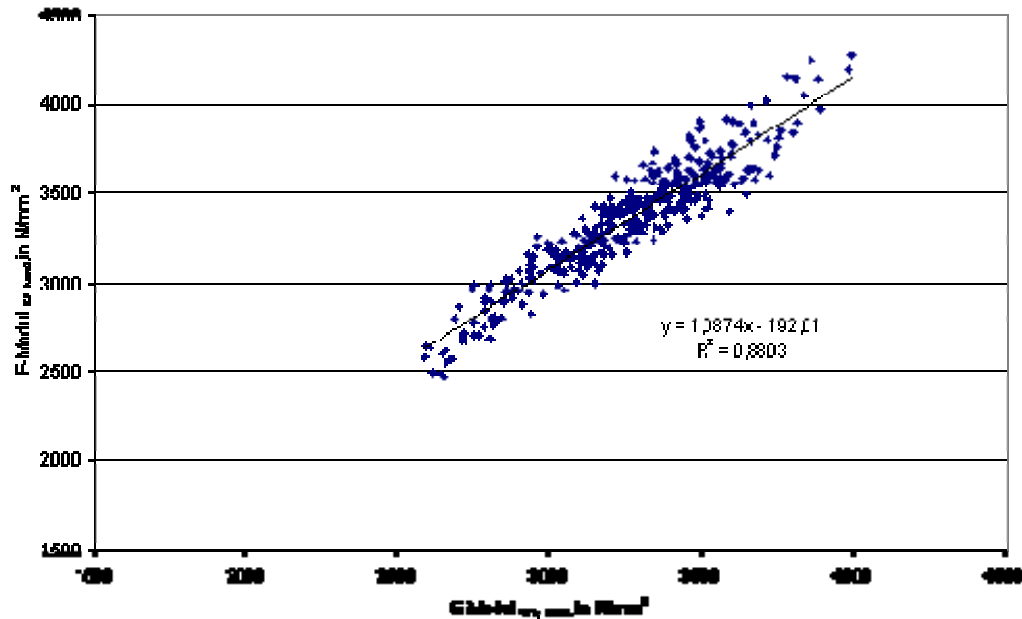


Abbildung 5.14

Korrelation zwischen dem aus der Schallgeschwindigkeit berechneten E-Modul und dem nach DIN am Biegestab bestimmten E-Modul für Spanplatten.

Für die **Schallgeschwindigkeit** von Holzwerkstoffen gelten folgende Richtwerte:

- Spanplatte: in Plattenebene ca. 2000 - 2500 m/s, senkrecht zur Plattenebene ca. 500 - 600 m/s
- MDF: ca. 2500 m/s in Plattenebene
- Sperrholz: ca. 4000 m/s in Plattenebene
- Massivholzplatten: 4000-5000 m/s in Plattenebene

Die Werte sind stark abhängig von der Struktur und variieren in einem breiten Bereich.

Der Schallabsorptionsgrad (Verhältnis der nicht reflektierten zur auftreffenden Schalleistung) liegt bei Spanplatten bei 30 %, bei Vollholz (Kiefer) bei 10-11 %, bei Hartfaserplatten bei 5-8 %, bei Faserplatten niedriger Dichte bei 20-30 %. Er kann durch Lochen und Schlitzfenster auf 60-80 % erhöht werden.

Der dynamische E-Modul kann auch aus der Eigenfrequenz einer zum Schwingen angeregten Probe bestimmt werden.

Für die Eigenschwingung gilt bei Biegeschwingungen erster Ordnung:

$$E = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot l^4 \cdot f^2 \cdot \rho}{m_n^4 \cdot i^2} \cdot \left(1 + \frac{i^2}{l^2} \cdot K_1\right) \cdot 10^{-9} \quad (\text{Gl. 5.5})$$

E	E-Modul in N/mm ²
ρ	Rohdichte in kg/m ³
l	Stablänge in mm
K ₁	Konstante (abhängig von der Ordnung der Schwingung)
m _n	Konstante (abhängig von der Ordnung der Schwingung)

Dabei gilt für Biegeschwingungen 1. Ordnung:

K_1	= 49,8
m_n^4	= 500,6
f	Eigenfrequenz in s^{-1}
i	Trägheitsradius; $i^2 = h^2/12$ (h in mm) in mm^2
h	Probendicke in mm

5.2.3.5 Alterung und Beständigkeit

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, die Oberfläche vergraut. Zusätzlich kommt es durch Schimmelpilze (Bläue- bzw. Vergrauungspilze) zu Farbveränderungen, die Oberfläche färbt sich grau bis schwarz (Sell, Richter and Fischer 2001). Risse treten bei Überschreiten der Querkzugfestigkeit oder der Bruchdehnung auf. Holzwerkstoffe werden zunehmend auch für Fassaden eingesetzt. Sell (1999) gibt dabei folgende Richtwerte für die Einsetzbarkeit als Fassade an:

- nicht anwendbar: einschichtige Massivholzplatten, Spanplatten mit synthetischen Klebstoffen, LVL
- anwendbar mit Schutz der Schmalflächen: dreischichtige Massivholzplatten
- anwendbar bei Schutz von Schmal- und Breitflächen: Sperrholz, Faserplatten.

Zu beachten ist auch das Quellverhalten. Bei Massivholzplatten kommt es insbesondere bei breiten Lamellen und tangential liegenden Jahrringen (z.B. Seitenbretter) zu Rissen. Die Risse sind in Tangentialrichtung stärker ausgeprägt und länger als in Radialrichtung. Teilweise werden daher Platten mit stehenden Jahrringen in den Randzonen verwendet. Aber auch die Längenquellung ist durch Ausgleichsfugen zu berücksichtigen.

5.3 Elastomechanische und rheologische Eigenschaften

5.3.1 Übersicht

Die elastomechanischen und rheologischen Eigenschaften von Holzwerkstoffen werden unterteilt in:

- Elastische Eigenschaften (E - Modul, Schubmodul, Poissonsche Konstanten)
- Festigkeitseigenschaften

Bedingt durch den orthotropen Aufbau des Holzes (unterschiedliche Eigenschaften in den Hauptschnittrichtungen längs, radial, tangential) sind, je nach Auflösungsgrad der Struktur des nativen Holzes und der Struktur des daraus gefertigten Holzwerkstoffes auch die Eigenschaften von Holzwerkstoffen mehr oder weniger orthotrop. Bei Furnierschichtholz, Massivholzplatten und auch bei OSB ist ein deutlicher Einfluss in der Orientierung der Decklagen zur Belastungsrichtung vorhanden. Senkrecht zur Faserrichtung (Probenlängsachse) belastete Lagen (z.B. Mittellagen bei Massivholzplatten, querliegende Lagen bei LVL) haben wir deutlich niedrigere Festigkeitseigenschaften als in Faserrichtung belastete Lagen. Werkstoffe auf Vollholzbasis (Brettschichtholz, Massivholzplatten) sind aus diesem Grunde empfindlich gegen Schub und gegen Zug senkrecht zur Faser.

Bei konventionellen Span- und Faserplatten sind herstellungsbedingt in Fertigungsrichtung etwa um 10 % höhere mechanische Eigenschaften und eine niedrigere Quellung vorhanden als senkrecht dazu.

Dies ist auf eine gewisse Partikelorientierung beim Streuvorgang zurückzuführen. Abbildung 5.15 zeigt die Hauptrichtungen der Belastung bei Holzwerkstoffen. Infolge des viskoelastischen Charakters von Holzwerkstoffen sind alle Eigenschaften zusätzlich zeitabhängig. Dies gilt sowohl für die Kenngrößen des elastischen Verhaltens (E - Modul, Schubmodul) als auch für die Festigkeit (z.B. Biege-, Zug-, Druckfestigkeit).

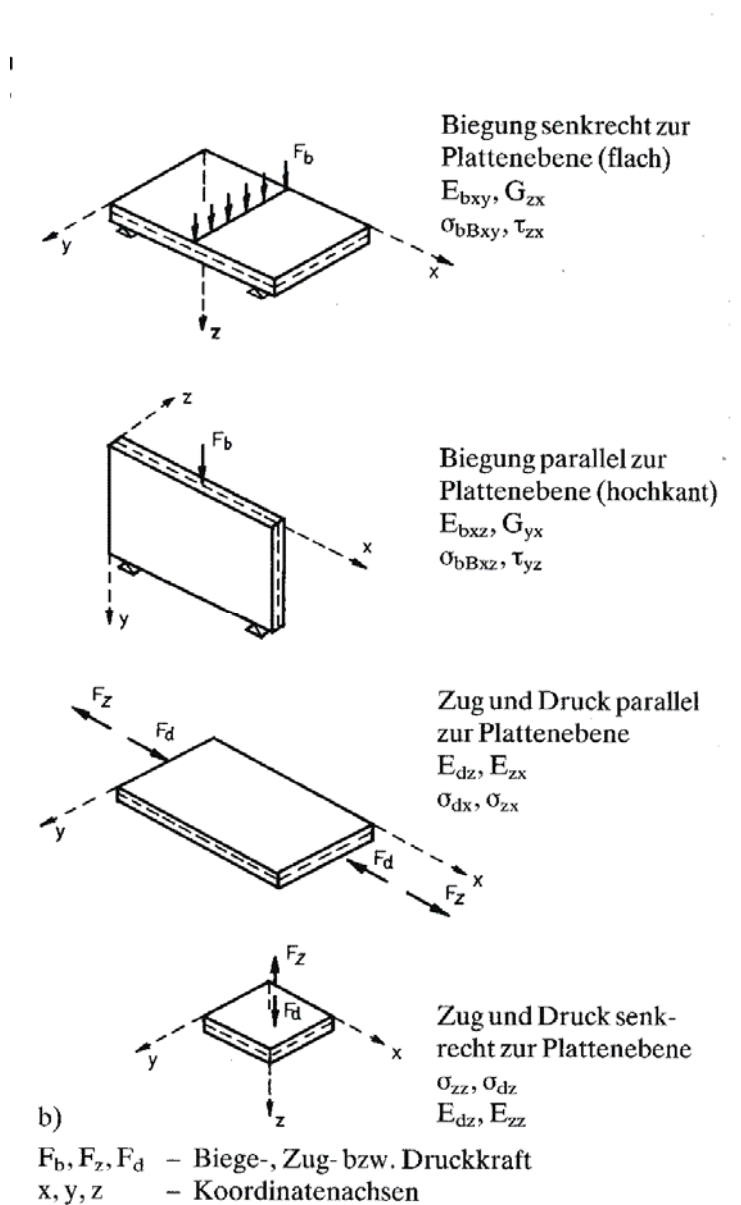


Abbildung 5.15
 Belastungsrichtungen bei Holzwerkstoffen (Niemz 1993)

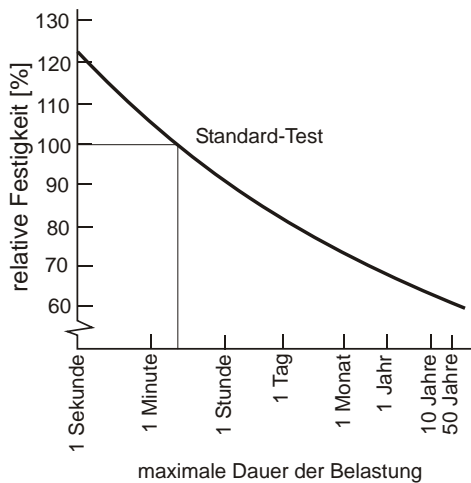


Abbildung 5.16

Einfluss der Dauer der Lasteinwirkung auf die Eigenschaften (Bodig and Jayne 1993)

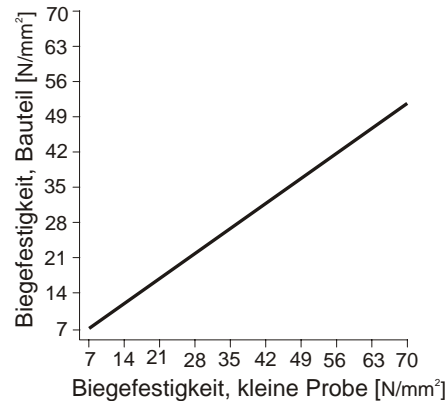


Abbildung 5.17

Beziehungen zwischen dem E-Modul kleiner Proben und dem E-Modul grosser Proben für Spanplatten (Dobbin, in (Niemz 1993))

In Abhängigkeit von der Geschwindigkeit der Lasteinwirkung wird zwischen statischer und dynamischer Beanspruchung unterschieden. Der Zeiteinfluss ist auch bei allen klassischen mechanischen Prüfungen vorhanden (Abbildung 5.16). Daher ist die Zeitdauer bis zum Bruch genormt (z.B. nach EN 310 bei der Biegeprüfung 60 s ± 30 s).

Zusätzlich werden alle mechanischen Eigenschaften durch folgende Parameter beeinflusst:

- Holzfeuchte (mit zunehmender Holzfeuchte, etwa oberhalb von 5-8 %, sinkt die Festigkeit, vergl. Abbildung 5.8)
- Temperatur (die Festigkeit sinkt mit steigender Temperatur)
- mechanische oder klimatische Vorbeanspruchungen (z.B. bei Lagerung im Wechselklima)
- Bauteilgrösse (Abbildung 5.17)

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

$$\frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^m \cong \left(\frac{l_1}{l_2}\right)^{ml} \cdot \left(\frac{b_1}{b_2}\right)^{mb} \cdot \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^{md} \quad (Gl. 5.6)$$

Für die 10 %-Fraktile gilt beispielsweise:

V Volumen des Prüfkörpers
 σ vorhandene Spannungen
 l, b, d Länge, Breite, Dicke des Prüfkörpers
 Es gilt z.B.
 m_l = 0,15
 m_b = 0,10

Bei Bauholz sinkt die Festigkeit mit zunehmender Länge der Proben (Burger and Glos 1996). Da breitere Proben weniger Äste haben, steigt die Festigkeit mit zunehmender Breite.

Nach Weibull (Theorie des schwächsten Kettengliedes) ergibt sich:

$$\frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{1/k} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^m \quad (Gl. 5.7)$$

σ vorhandene Spannungen
 k Formparameter der Weibull-Verteilung
 m Exponent

Gehri (1995) gibt für Furnierschichtholz für den Einfluss der Höhe für m einen Wert von 0,2 an. Für Spanplatten ermittelte Böhme (2000) folgende Eigenschaftsänderungen bei mittelgrossen Proben gegenüber kleinen Proben:

- Verringerung der Biegefestigkeit um 10 %
- Erhöhung des Biege-E-Moduls 11-12 %
- Verringerung der Zugfestigkeit um 1 %
- Erhöhung der Druckfestigkeit um 18 %
- Reduzierung der Scherfestigkeit parallel zur Plattenebene um 28 %
- Reduzierung der Scherfestigkeit senkrecht zur Plattenebene um 4 %

Nachfolgend werden, weitgehend materialunabhängig, die Grundlagen der Bestimmung der mechanischen Eigenschaften von Holzwerkstoffen vorgestellt. In den Anlagen ist eine Übersicht zu den wesentlichen geltenden Normen enthalten.

Für Holzwerkstoffe im konstruktiven Einsatz sind in Deutschland bauaufsichtliche Zulassungen vom Institut für Bautechnik, Berlin erforderlich.

Dabei gelten dann herstellerepezifische Daten (siehe auch Tabellen in den Anlagen), die über den in den Normen fixierten Mindestwerten liegen.

Elastizitätsgesetz/ Spannungs-Dehnungs-Diagramm

Die Elastizität ist die Eigenschaft fester Körper, eine durch äussere Kräfte bewirkte Verformung wieder rückgängig zu machen. Geht diese Verformung nach Entlastung vollständig, so spricht man von einem ideal elastischen Körper. Zwischen Spannung und Dehnung besteht bei ideal elastischen Körpern ein linearer Zusammenhang (Hookesches Gesetz). Abbildung 5.18 zeigt das Spannungs-Dehnungsdiagramm.

Für die Dehnung gilt bei Normalspannungen:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \quad (Gl. 5.8)$$

ε Dehnung
 Δl Längenänderung
 l Anfangslänge

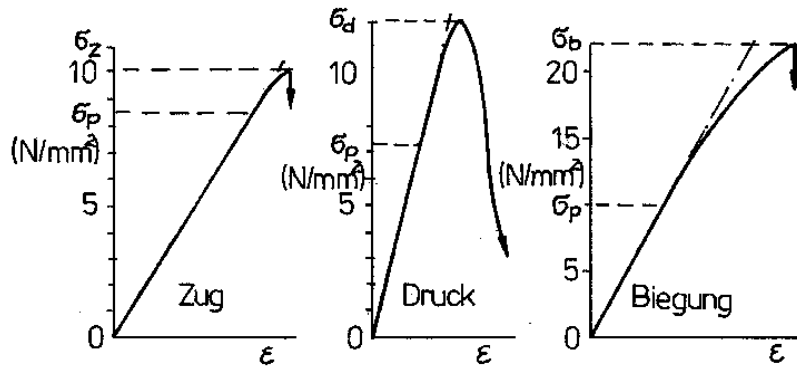


Abbildung 5.18
Spannungs-Dehnungs-Diagramm einer Spanplatte (nach Plath (Niemz 1993))

Innerhalb des Hookschen Bereiches gilt (Hooksches Gesetz):

$$\sigma = \epsilon \cdot E \quad (Gl. 5.9-1)$$

σ - Spannung (N/mm²)

ϵ - Dehnung (%)

E - Elastizitätsmodul (N/mm²)

Strenggenommen gilt nach der Theorie der orthotropen Elastizität das verallgemeinerte Hooksche Gesetz. Abbildung 5.19 zeigt die Koordinatenachsen.

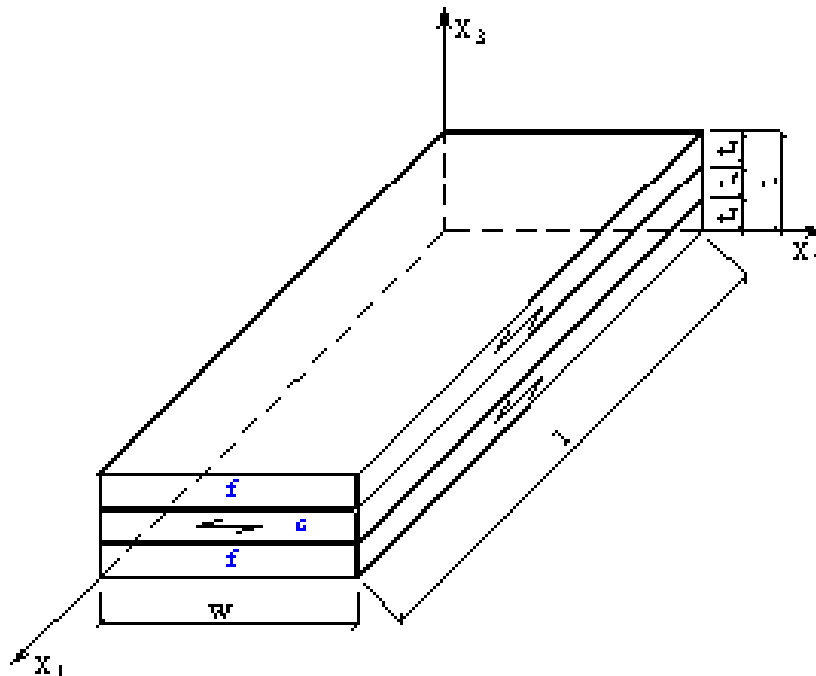


Abbildung 5.19

Zuordnung der Koordinatenachsen (häufig gilt für die Indizes auch: $x_1 \triangleq x$ = in Herstellungsrichtung oder in Faserrichtung der Decklagen; $x_2 \triangleq y$ = senkrecht zur Herstellungsrichtung oder zur Faserrichtung der Decklagen; $x_3 \triangleq z$ = senkrecht zur Plattenebene)

Für orthotrope Körper gilt:

$$\begin{bmatrix} \gamma_1 \\ \gamma_2 \\ \gamma_3 \\ \gamma_{23} \\ \gamma_{13} \\ \gamma_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} & 0 & 0 & 0 \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} & 0 & 0 & 0 \\ S_{31} & S_{32} & S_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & S_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & S_{55} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & S_{66} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \tau_{23} \\ \tau_{13} \\ \tau_{12} \end{bmatrix} \quad (\text{Gl. 5.9-2})$$

oder allgemein

$$\varepsilon = S \cdot \sigma \quad (\text{Gl. 5.9-3})$$

γ - Scherungen
 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

Dabei gilt:

Für die E- und G- Moduli:

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

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

Für die Dehnungszahlen:

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

μ - Poissonsche Konstante

G- Schubmodul

Es gibt also 3 E- Moduli, 3 Schubmoduli und 6 Poissonsche Konstanten (davon sind 3 voneinander unabhängig).

Unter Verwendung des Nachgiebigkeitstensors folgt in Voigtscher Matrix-Schreibweise:

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \dots \\ \gamma_{23} \\ \gamma_{13} \\ \gamma_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{E_1} & -\frac{\mu_{21}}{E_2} & -\frac{\mu_{31}}{E_3} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\mu_{12}}{E_1} & \frac{1}{E_2} & -\frac{\mu_{32}}{E_3} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\mu_{13}}{E_1} & -\frac{\mu_{23}}{E_2} & \frac{1}{E_3} & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{23}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{13}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{12}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \dots \\ \tau_{23} \\ \tau_{13} \\ \tau_{12} \end{bmatrix} \quad (Gl.5.9-4)$$

Für die Poissonschen Konstanten gilt:

$$\mu_k = \frac{s_{12} + s_{13} + s_{23}}{s_{11} + s_{22} + s_{33}} < 0,5 \quad (Gl. 5.9-5).$$

Die Proportionalitätsgrenze liegt für Spanplatten unter Zugbelastung bei 90 %, unter Druck bei 70 %, unter Biegung bei 40% der Bruchlast. Es handelt sich hierbei um Richtwerte, abhängig von der Struktur und der Holzfeuchte (Niemz 1993).

Bei Holzwerkstoffen kann die Dehnung in der äusseren Randzone nach Gl. 5.9-6 bestimmt werden. Es gilt:

$$\varepsilon = \frac{6 * d * f_{\max}}{l_s^2} * 100(\%) \quad (Gl. 5.9-6)$$

ε - Randfaserdehnung

f_{\max} - maximale Durchbiegung

l_s - Stützweite

d - Plattendicke

5.3.2 Kenngrössen und deren Bestimmung

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

5.3.2.1 E- Modul

Der Elastizitätsmodul wird bei Normalspannungen (Zug, Druck) aus der Gleichung 5.9-1 (Abbildung 5.20) nach dem Hookeschen Gesetz bestimmt. Die Kraft muss dabei unterhalb der Proportionalitätsgrenze liegen. Häufig wird er durch Biegebelastung (Drei- oder Vierpunkt) ermittelt. Bei Dreipunktbelastung ist der bestimmte E - Modul vom Verhältnis Stützweite zu Dicke abhängig. Er steigt mit zunehmendem Verhältnis Stützweite/Dicke bis etwa 15 - 20 an. Bei geringerem Verhältnis treten starke Schubverformungen auf.

Die E- Moduli können auch durch Messung der Schallgeschwindigkeit (Gl. 5.4) oder der Eigenfrequenz (Gl. 5.5) bestimmt werden; diese Werte sind meist etwas höher als die im statischen

Versuch ermittelten. Bei geschichteten Holzwerkstoffen treten stärkere Abweichungen auf, da diese Gleichung strenggenommen nur für homogene Werkstoffe gültig ist (vgl. 5.2.3.4).

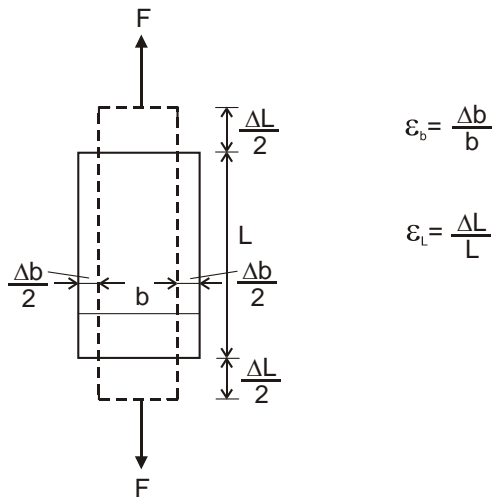


Abbildung 5.20

Zugbelastung einer Probe: Querkontraktion. ϵ_b : Querdehnung; ϵ_L : Längsdehnung.

5.3.2.2 Schubmodul (G)

Wirkt ein Kräftepaar analog Abbildung 5.21a, 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. Bei Holzwerkstoffen tritt dies zum Teil bei extremen Unterschieden in der Festigkeit von Deck- und Mittelschicht auf. Aber auch bei Sperrholz und bei Massivholzplatten kommt es bei kurzen Stützweiten zum sogenannten Rollschub in den Lagen mit senkrecht zur Probenlängsachse liegenden Lagen (Aufreten von Rollschub in der RT-Ebene durch Abgleiten der Jahrringe an der Grenze Früh-Spätholz; siehe Abbildung 5.22). Auch bei Brettschichtholz kann es zu Schubbrüchen kommen.

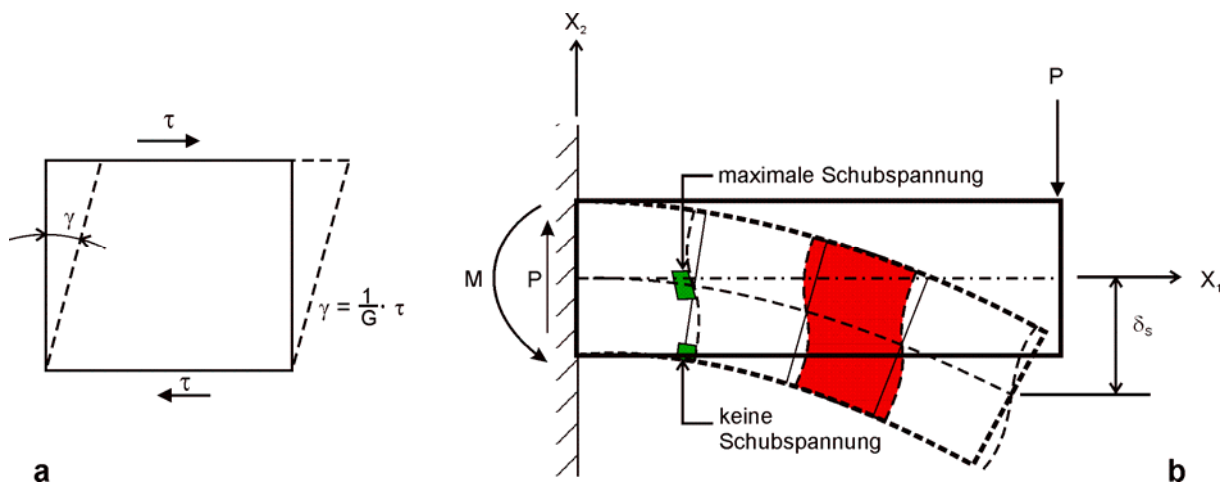


Abbildung 5.21

Prinzip der Schubverformung. a Schubwürfel, b Schubspannung in einem einseitig eingespannten Biegebalken (Bodig and Jayne 1993)

Die Bestimmung des Schubmoduls kann an Schubwürfeln (Abbildung 5.21a), aber auch z.B. am Biegestab bei einseitiger Einspannung (Abbildung 5.21b), oder bei Dreipunktbiegung durch Reduzierung der Stützweite und Berechnung nach Timoshenko erfolgen. Dabei gilt:

$$f_{ges} = f_B + f_S \quad (Gl. 5.10)$$

$$f_{ges} = \frac{F \cdot l^3}{48E \cdot I} + \frac{3}{10} \cdot \frac{F \cdot l_s}{G \cdot A}$$

f_B	Kraft aus Biegung
f_S	Kraft aus Schub
G	Schubmodul (N/mm ²)
F	Kraft (N)
l_s	Stützweite (mm)
I	Trägheitsmoment
E	E-Modul bei reiner Biegung (N/mm ²)
A	Probenquerschnitt

Die bei Dreipunktbiegung ermittelte Durchbiegung beinhaltet auch Querkräfte. Sie setzt sich daher stets aus den beiden Komponenten reine Biegung und Schub zusammen. Somit ist dieser E-Modul abhängig vom Verhältnis Stützweite zu Dicke. Durch Variation dieses Verhältnisses können über eine Bestimmung des komplexen E-Moduls (Biegung und Schubanteil) die beiden Komponenten Schubmodul und E - Modul bei reiner Biegung erfasst werden.

Bodig und Jayne (1993) geben für den Schubeinfluss auf den Biege-E-Modul folgende Beziehung für verschiedene Belastungsfälle an:

$$\frac{E_{komplex}}{E} = \frac{(l/h)^2}{(l/h)^2 + C} \quad (Gl. 5.11)$$

$E_{komplex}$	E-Modul unter Berücksichtigung des Schubanteils
E	E- Modul bei reiner Biegung
l/h	Verhältnis Stützweite zu Dicke der Probe
C	Belastungsabhängige Konstante

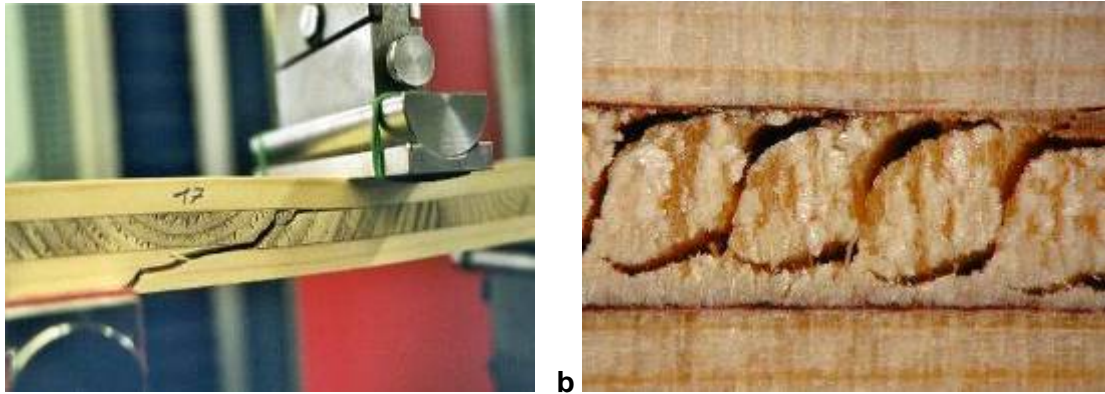
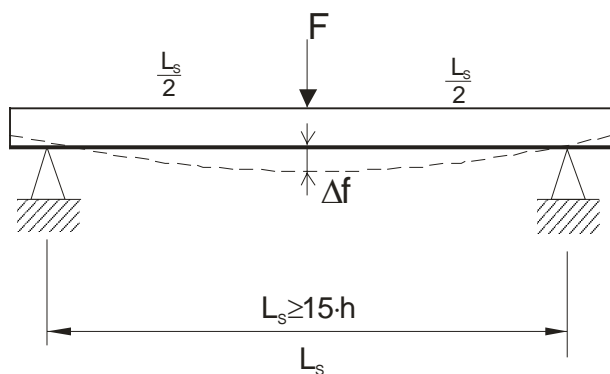


Abbildung 5.22

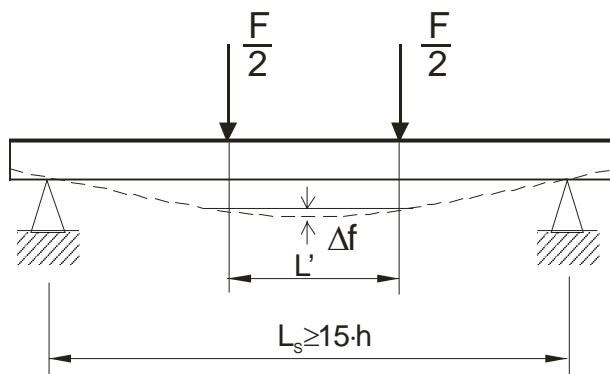
Versagen von Holzwerkstoffen durch Schubspannungen senkrecht zur Faserrichtung (Rollschub in RT-Ebene, rolling shear). **a** Massivholzplatte bei Dreipunkt-Biegung **b** Furnierschichtholz (Kerto)

Dreipunktbelastung



$$E = \frac{L_s^3}{4 \cdot b \cdot h^3} \cdot \frac{\Delta F}{\Delta f}$$

Vierpunktbelastung



$$E = \frac{2 \cdot L^3 - 3 \cdot L \cdot L'^2 + L'^3}{8 \cdot b \cdot h^3} \cdot \frac{\Delta F}{\Delta f}$$

Abbildung 5.23

Bestimmung des Biege-E-Moduls bei Dreipunkt- (mit Schubverformung) und Vierpunktbelastung, Durchbiegungsmessung im querkraftfreien Bereich (Niemz 1993)

Tabelle 5.6

Ausgewählte Kenngrößen von Holzwerkstoffen (Fa. Siempelkamp u. a.)

Eigenschaft	Span- platte	MDF	OSB (Europa)	LVL	LSL	Massiv- holzplatte	PSL
Rohdichte [kg/m ³]	680-700	760-790	660-700	660-700	650	450	660
E- Modul [N/mm ²]	2600- 3200	4000- 4500	-	-	12000	-	14000- 15500
- parallel ¹⁾	-	-	7000	13000- 16000	-	5000-7000	-
- senkrecht ¹⁾	-	-	1850	-	-	1000-3000	-
Biegefestigkeit [N/mm ²]	20-22	33-38	-	-	-	-	-
- parallel ¹⁾	-	-	36	-	-	30-50	60-65
- senkrecht ¹⁾	-	-	20-25	-	-	10-30	-
Schubmodul [N/mm ²]	-	-	-	-	-	-	-
- flach	100-180	100-200	ca. 300	ca. 500	-	ca. 200	700-800
- hockkant	1000- 1500	600-1000	1100	ca. 500	ca.230 0	600-700	-

¹⁾Biegung jeweils senkrecht zur Plattenebene, parallel = in Herstellungsrichtung (Faserrichtung der Decklagen, Orientierungsrichtung der Partikeln), senkrecht = Faserrichtung senkrecht zur Herstellungsrichtung (Faserrichtung der Decklagen, Orientierungsrichtung der Partikeln)

5.3.2.3 Poisson'sche Konstanten

Bei Belastung kommt es zu einer Formänderung in und senkrecht zur Lastrichtung der Probe. Bei Druck wird eine Probe kürzer und breiter, bei Zugbelastung länger und schmaler. Dabei gilt:

$$\frac{\Delta b}{b} = -\mu \cdot \frac{\Delta l}{l} \quad (Gl. 5.12)$$

$$\mu = \frac{\varepsilon_{quer}}{\varepsilon_{längs}}$$

- μ Poissonsche Konstante (-)
- ε Dehnung (%)
- l, Δl Länge der Probe, Längenänderung
- b, Δb Breite der Probe, Breitenänderung

Die elastomechanischen Eigenschaften variieren in Abhängigkeit von der Struktur in einem weiten Bereich.

Tabelle 5.6 zeigt einige orientierende Kennwerte (nach Siempelkamp u.a.).

5.3.3 Rheologische Eigenschaften

Holzwerkstoffe sind viskoelastische Materialien. Alle Eigenschaften sind also zeitabhängig. Es wird unterschieden zwischen:

- Kriechen
- Spannungsrelaxation und
- Dauerstandfestigkeit.

5.3.3.1 Kriechen

Wird eine Probe durch eine konstante Last beansprucht, so steigt die Formänderung mit der Zeit an. Dabei treten folgende Phasen auf:

- Primärkriechen
- Sekundärkriechen
- Tertiärkriechen.

In der Primärphase steigt die Kriechverformung zunächst stetig an, es kommt zu einem Ausrichten/Verstrecken der Moleküle (Niemz 1993) und zu ersten Mikrobrüchen. 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 (Abbildung 5.24).

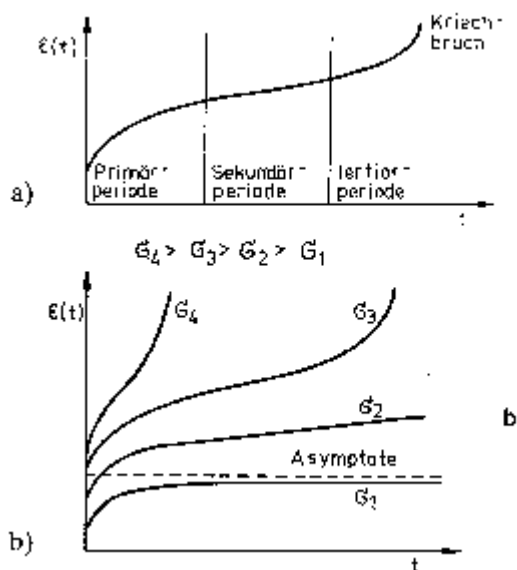


Abbildung 5.24

Phasen der Kriechverformung (Niemz 1993)

Kenngrosse für die Kriechverformung ist der Kriechfaktor oder die Kriechzahl. Dabei gilt:

$$F = \frac{f_t}{f_0} \quad (Gl. 5.13)$$
$$\varphi = \frac{f_t - f_0}{f_0}$$

F- Kriechfaktor
 φ - Kriechzahl
 f_t - zeitabhängige Durchbiegung
 f_0 -elastische Durchbiegung

5.3.3.2 Einflussfaktoren

Allgemeine Grundlagen

Bei Holzwerkstoffen wird die Struktur des nativen Holzes weitgehend aufgelöst, das Material dadurch homogenisiert. Die Kriechverformung von Vollholz wird sehr stark durch den Faser - Lastwinkel beeinflusst. Nach Untersuchungen von Niemz (1982) wird senkrecht zur Faserrichtung etwa die 8-fache Kriechzahl erreicht wie parallel zur Faserrichtung. Dadurch ist z.B. bei Massivholzplatten, OSB und LVL ein deutlicher Einfluss der Orientierungsrichtung der Decklagen vorhanden. Erfolgt die Krafteinleitung senkrecht zur Faserrichtung, ist die Kriechverformung also deutlich höher als bei paralleler Krafteinleitung. Mit zunehmendem Aufschluss der Struktur des Holzes steigt daher die Kriechverformung an. Folgende Rangordnung ergibt sich bezüglich der Grösse der Kriechverformung (von oben nach unten zunehmend):

- Vollholz
- Schichtholz / LVL/ Parallam
- Sperrholz /Massivholzplatte
- OSB
- Spanplatte
- MDF / Faserplatte.

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

Mit zunehmender Holzfeuchte steigt die Kriechverformung im Konstantklima deutlich an. Im Wechselklima (wechselnde Luftfeuchtigkeit trocken/feucht) kommt es zur Überlagerung des Quellverhaltens und damit entstehender Spannungen/Dehnungen und des Kriechens. Dieser Effekt wird auch als mechanosorptives Kriechen bezeichnet. Dadurch kann die Kriechverformung z.B. bei Vollholz und teilweise bei Massivholzplatten (Decklagen parallel zur Probenlängsachse), bei

Biegebelastung

- 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 (Hanhijarvi 1995).

Bei grossen Querschnitten kommt es nur in den Randzonen zur Feuchteänderung, was sich auf die Kriechverformung auswirkt.

Bei **Zugbelastung** steigt die Dehnung der Probe in der Adsorptionsphase (Probe quillt und wird durch den Kriechvorgang länger). In der Desorptionsphase wird die Probe durch das Schwinden kürzer und

das Kriechen länger. Die Gesamtverformung steigt bei mittlerer Last in der Befeuchtungsphase und sinkt in der Trocknungsphase. Die Abnahme in der Desorptionsphase ist niedriger als der Anstieg in der Adsorptionsphase (Hanhijarvi 1995).

Bei **Druckbelastung** steigt die Kriechverformung in der Trocknungsphase (Probe schwindet und kriecht, wird also kürzer); in der Befeuchtungsphase wird sie durch das Quellen länger und das Kriechen kürzer.

Der Gesamteffekt ist also analog der Zugbelastung, die Verformung erfolgt aber in umgekehrter Richtung (Hanhijarvi 1995).

Die gesamte Kriechverformung bei Klimawechsel (Hüllkurve von Adsorption und Desorption) steigt dagegen kontinuierlich mit der Zeit an. Analoge Effekte treten bei der Spannungsrelaxation auf. Bei Vollholz, Brett-schichtholz und Sperrholz ist die Kriechverformung im Wechselklima höher als im Konstantklima. Bei Spanplatten ist im allgemeinen die Kriechverformung im Konstantklima höher als im Wechselklima (gleiche Sorptionsmaxima vorausgesetzt).

Die Gesamtverformung setzt sich aus:

- elastischer Verformung
- elastischer Nachwirkung und
- plastischer Verformung; (diese bleibt nach Entlastung vorhanden, Abbildung 5.25)

zusammen.

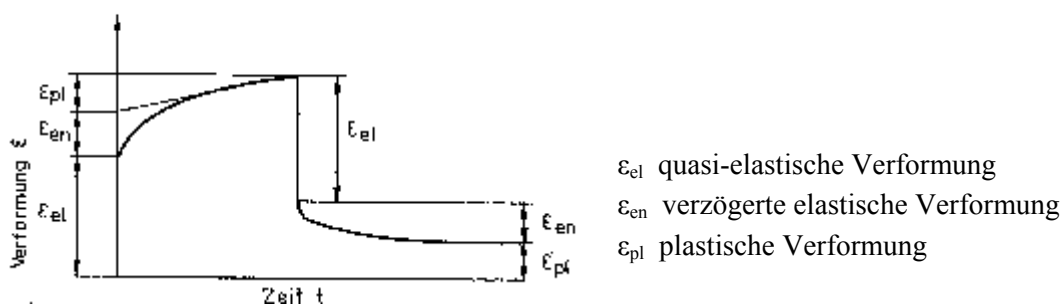


Abbildung 5.25

Komponenten der Kriechverformung

An der plastischen Verformung sind auch Mikrobrüche beteiligt. Sie steigt mit zunehmender Feuchte. Spanplatten haben im Gegensatz zu Vollholz und Sperrholz im feuchten Konstantklima eine höhere Kriechverformung als im Wechselklima (bei gleichen Sorptionsmaxima).

Der Klebstoff wirkt sich deutlich auf das Kriechverhalten aus. Bei PF-Harzen wirkt sich deren hygroskopisches Verhalten deutlich auf die Kriechverformung aus (Das im PF vorhandene Alkali ist hygroskopisch). Harnstoffharz kriecht weniger als Phenolharz oder Isocyanat; PVA-Klebstoffe neigen sehr stark zum Kriechen.

Die Kriechverformung steigt über Jahre hinweg an.

Eine Erhöhung der Last bewirkt einen Anstieg der Kriechverformung. Eine zusammenfassende Darstellung enthalten Gressel (1972) und Niemz (1993).

Tabelle 5.7 zeigt orientierende Richtwerte für die Kriechverformung nach 140 Tagen Belastung. Diese Kennwerte erhöhen sich bei zusätzlicher Klimabelastung analog Tabelle 5.8.

Tabelle 5.7

Kriechzahlen von Holzwerkstoffen im Normalklima (20°C/65% rel. Luftfeuchte)

Werkstoff	Kriechzahl
Vollholz in Faserrichtung	0,1-0,3
Senkrecht zur Faserrichtung	0,8-1,3-1,6
Spanplatten	0,4-0,6
MDF	0,4-0,6
Hartfaserplatten	0,5-0,7
Massivholzplatte (einschichtig)	0,20
Massivholzplatte (dreischichtig)	0,25-0,30
Sperrholz	0,3-0,5

Tabelle 5.8

Korrekturfaktoren für den Klimaeinfluss auf die Kriechverformung.

Klima	Vollholz	Spanplatte	Massivholzplatte
Konstantklima	Korrekturfaktor		
50% r.L.	1	1	1
60% r.L.	1,2-1,3	1,4-1,5	k.A. ¹⁾
70% r.L.	1,4-1,5	2,0-2,5	k.A.
80% r.L.	1,8-2,0	3,0-4,0	k.A.
Natürliches Wechselklima			
Freibewitterung	3,0-4,0	4,0-10,0	4,0- 10,0
im geschlossenen Raum	1,4-1,6	2,0-3,0	2,0-2,5

¹⁾k.A.: keine Angaben, Schätzwert etwa Mittelwert zwischen Spanplatte und Vollholz

Durch Oberflächenbeschichtung und die damit einhergehende Reduzierung der Feuchteaufnahme 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.

Abbildung 5.26 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 (Abbildung 5.27). Die Spannung reduziert sich bei vorgespanntem Brett-schichtholz nach 70 Tagen wie folgt (Popper, Gehri and Eberle 1999):

- im Normalklima bei 65 % r.L. 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 and 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 %.

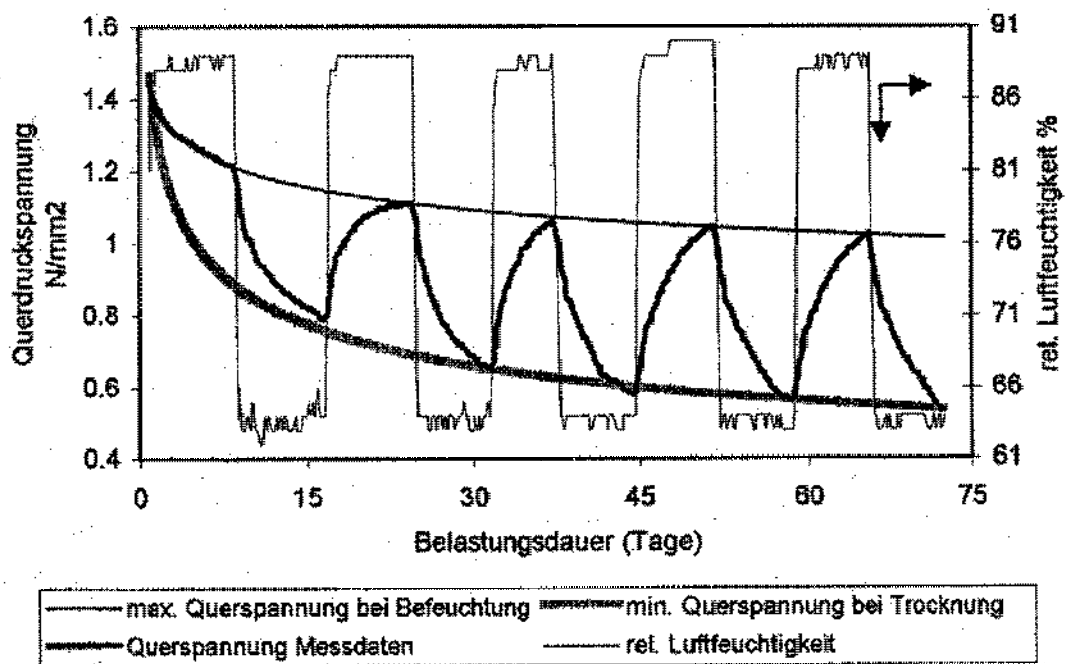


Abbildung 5.26

Spannungs- und Feuchteverlauf in Abhängigkeit von der Zeit bei Brettschichtholz (Popper, Gehri et al. 1999)

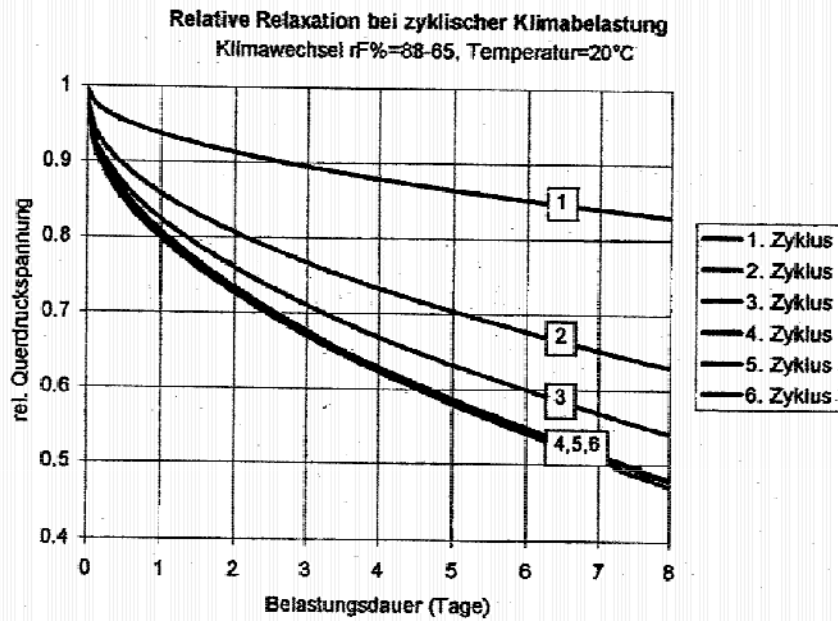


Abbildung 5.27
Relaxation von Brettschichtholz bei konstanter und zyklischer Klimabeanspruchung (Popper, Gehri et al. 1999)

Dauerstandfestigkeit

Die Dauerstandfestigkeit ist die Spannung, mit der ein Werkstoff bei unendlich langer Belastungsdauer 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 (Abbildung 5.28).

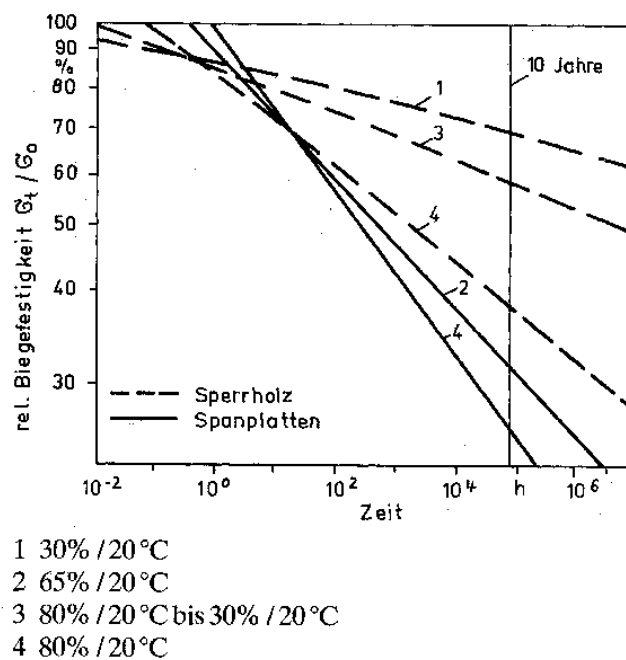


Abbildung 5.28
Dauerstandfestigkeit von Holz (Steller and Lexa 1986)

5.3.4 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)
- dynamischer Festigkeit (schlagartige Krafteinwirkung oder wechselnde Belastung)

Nach der Richtung der Krafteinleitung wird ferner unterteilt in

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

Da Holzwerkstoffe eine erhebliche Streuung der Eigenschaften aufweisen, wird in der Praxis mit **Sicherheitszugaben** gearbeitet. Im Bauwesen wird meist die 5%Fraktile (charakteristischer Wert) verwendet. Unter Voraussetzung normal verteilter Werte, berechnen sich diese folgendermassen:

• unteres 5 %-Quantil: $L^q_{5\%} = x - s \cdot t$ (Gl. 5.14)

• oberes 5 %-Quantil: $U^q_{5\%} = x + s \cdot t$ (Gl. 5.15)

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
Angaben zur Berechnung charakteristischer Kennwerte für Holzwerkstoffe enthält DIN EN 1058.

Die Holzeigenschaften (für Bauholz) sind wie folgt verteilt:

Tabelle 5.9

Verteilungsmodelle zur Beschreibung der Holzeigenschaften

Merkmal	Verteilungsmodell
Holzfeuchte	Normalverteilung
Dichte	Normalverteilung
E-Modul	Normalverteilung
Schallgeschwindigkeit	Normalverteilung
Festigkeit	Log-Normalverteilung (2- parametrisch)
Volumeneinfluss	Weibull - Verteilung

Für den Variationskoeffizienten der Eigenschaften gelten bei Zugbelastung folgende Richtwerte (Niemz 1993):

- fehlerfreies Holz 20 %
- visuell sortiertes Holz 40 %
- Sperrholz 18 %
- Spanplatte (OSB) 12 %
- MDF 8 %

Der erforderliche Stichprobenumfang für wissenschaftliche Untersuchungen berechnet sich zu:

$$n_{\min} = \frac{v^2 \cdot t^2}{p_{\mu}^2} \quad (\text{Gl. 5.16})$$

n_{\min} Mindestanzahl der Prüfkörper

v Variationskoeffizient

t errechneter Kennwert für den Vergleich mit der t- Verteilung; für statistische Sicherheit (S = 95 %) gilt $t = 2$

p_{μ} relativer Vertrauensbereich des Mittelwertes in %

Die zulässigen Spannungen werden aus den charakteristischen Werten (5 %- Fraktile) berechnet. Dabei werden die charakteristischen Werte durch einen Sicherheitsbeiwert γ abgemindert. Für diesen gilt (IHD Holzwerkstoff- Kolloquium 1999)

- für Massivholzplatten $\gamma = 2,5$
- für etablierte Holzwerkstoffe $\gamma = 2,0$
- für neuartige Werkstoffe $\gamma = 5$

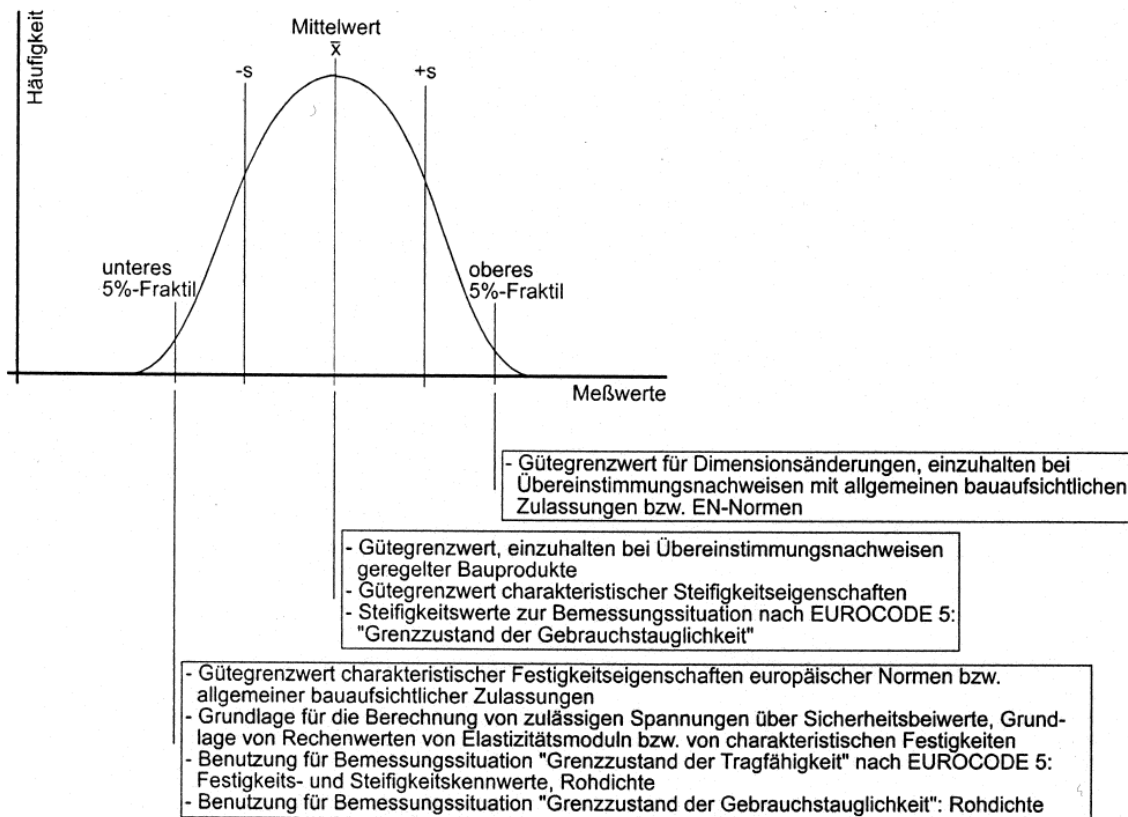


Abbildung 5.29

Mittelwerte und 5% Fraktile (Tobisch in IHD-Holzwerkstoff-Kolloquium 1999)

5.3.4.1 Zugfestigkeit

Die Zugfestigkeit berechnet sich nach Gl. 5.17 zu:

$$\sigma_{zB} = \frac{F_{\max}}{A} \quad (\text{Gl. 5.17})$$

F_{\max} Bruchkraft
 A Querschnittsfläche der Probe (Länge * Breite)
 σ_{zB} Zugfestigkeit in N/mm^2

Bei Holzwerkstoffen wird die Zugfestigkeit in (z. B. ASTM D 1037-72a, DIN 52377 für Sperrholz, Abbildung 5.30a) und insbesondere senkrecht zur Plattenebene (z. B. bei Spanplatten, MDF, Abbildung 5.30b) geprüft. Bei Prüfung der Zugfestigkeit in Plattenebene sind so genannte Schulterstäbe (mit Verjüngung, d.h. Sollbruchstelle in Probenmitte) zu verwenden (Abbildung 5.30a).

Die Zugfestigkeit senkrecht zur Plattenebene wird bei Span- und Faserplatten durch Verleimung der Probe zwischen 2 Klötzen geprüft (z. B. DIN 52365, Abbildung 5.30b). Zur Prüfung feuchtebeständiger Verklebungen (V100) wird die Quersugfestigkeit nach Lagerung im kochenden Wasser geprüft (DIN 68763). Dazu werden die mit zwei Jochen (z. B. Holz, Aluminium) verklebten Proben bei $20 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ in Wasser gelagert, das in 1-2 Stunden auf $100 \text{ }^\circ\text{C}$ erhitzt wird. Danach erfolgt

die eigentliche 2 stündige Lagerung im kochenden Wasser. Dann werden die Proben in Wasser bei $20\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ eine Stunde abgekühlt und anschliessend im feuchten Zustand geprüft.

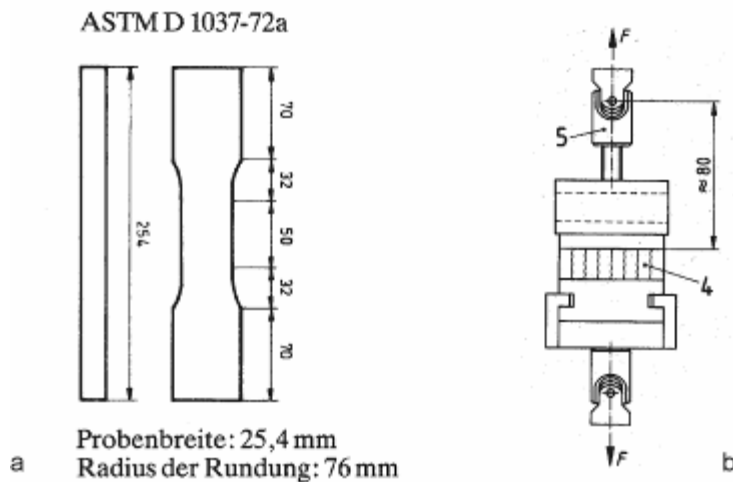


Abbildung 5.30

Prüfkörper zur Ermittlung der Zugfestigkeit (Niemz 1993). **a** in Plattenebene, **b** senkrecht zur Plattenebene: 4 – Prüfkörper 5 – kardanische Aufhängung

Die Zugfestigkeit wird, bedingt durch die Anisotropie der Eigenschaften des Vollholzes, wesentlich durch die Orientierung der Strukturelemente beeinflusst. Sind diese in Belastungsrichtung orientiert (z.B. bei Furnierschichtholz in Richtung der Lagen, bei OSB in Orientierungsrichtung der Späne), wird eine deutlich höhere Festigkeit erreicht als senkrecht dazu. Senkrecht zur Plattenebene ist die Festigkeit deutlich geringer als parallel dazu. Schulte (Schulte 1997) ermittelte für Spanplatten einen Wert von $0,44 - 0,68\text{ N/mm}^2$, bei MDF von $0,47-0,99\text{ N/mm}^2$.

Die Querkzugfestigkeit korreliert straff mit der Scherfestigkeit parallel zur Plattenebene.

5.3.4.2 Druckfestigkeit

Die Druckfestigkeit (σ_{dB}) berechnet sich analog Gl. 5.17. Bei Druckbelastung ist zwischen der Belastung in und senkrecht zur Plattenebene (Pressrichtung) zu unterscheiden. Bei Druck senkrecht zur Plattenebene wird meist die Spannung bei einer bestimmten Verdichtung/Zusammendrückung (z.B. 5 %) geprüft, da sich Holzwerkstoffe und Holz stark zusammendrücken lassen und kein eigentlicher Bruch entsteht.

Die Druckfestigkeit senkrecht zur Plattenebene liegt bei Werkstoffen auf Partikelbasis (Spanplatte, MDF, Parallam) über der von Vollholz (insbesondere Nadelholz). Die Ursache liegt in der höheren Rohdichte der Holzwerkstoffe im Vergleich zum Nadelholz. Bei pressvergütetem Sperrholz können extrem hohe Druckfestigkeiten erreicht werden. Parallam wird im Holzbau teilweise zur Übertragung von Druckkräften senkrecht zur Faser verwendet, da die Druckfestigkeit bei Vollholz sehr gering ist. Bei der Beschichtung von Spanplatten mit Kunstharzlaminate kommt es durch die geringe Druckfestigkeit zu Dickenänderungen. Auch bei Faserdämmplatten ist eine Mindestdruckfestigkeit aus verarbeitungstechnischer Sicht erforderlich.

5.3.4.3 Biegefestigkeit

Die Biegefestigkeit berechnet sich nach Gl. 5.18 zu:

$$\sigma_{bB} = \frac{M_b}{W_b} \quad (\text{Gl. 5.18})$$

M_b Biegemoment
 W_b Widerstandsmoment
 σ_{bB} Biegefestigkeit in N/mm^2

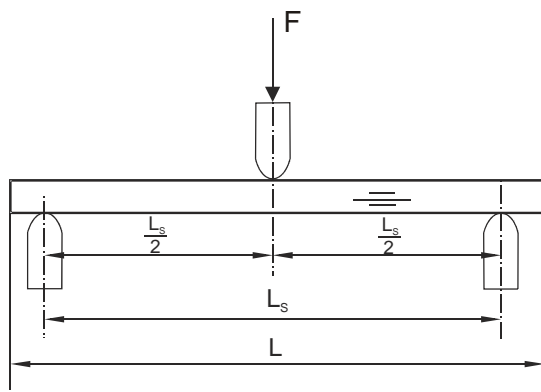
Die gebräuchlichsten Belastungsfälle sind der Dreipunkt - Versuch (Träger auf 2 Stützen mit mittiger Einzellast) und der Vierpunkt-Versuch (Träger auf 2 Stützen und Krafteinleitung über 2 Kräfte, Abbildung 5.31a). Bei Biegung treten Zug- und Druckspannungen in den Randzonen auf. Je nach Belastungsfall sind bei Vorhandensein von Querkraften Schubspannungen vorhanden, die in der neutralen Faser das Maximum erreichen (Abbildung 5.31b).

Tabelle 5.10

Festigkeitseigenschaften ausgewählter Holzwerkstoffe

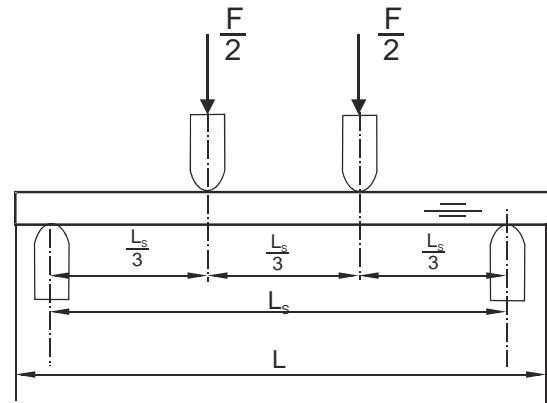
	Spanplatte	MDF	Kunstharz- vergütetes Presslagenholz	Sperrholz	Vollholz (Fichte)	Massivholzplatte
Rohdichte in kg/m^3	700	750	1360 - 1370	500 - 600	450	450
Zugfestigkeit in N/mm^2	8-10	22.8	130 - 210	30 - 60	80	15-30
Druckfestigkeit in Plattenebene in N/mm^2	8-16	23.3	150 - 320	20 - 40	40	18-30
Biegefestigkeit in N/mm^2	15-25	34.5	170 - 260	30 - 60	68	35-70

Dreipunktbelastung



$$\text{a} \quad \sigma_{bB} = \frac{3 \cdot F_{\max} \cdot L_S}{2 \cdot b \cdot a}$$

Vierpunktbelastung



$$\sigma_{bB} = \frac{2 \cdot F_{\max} \cdot L_S}{b \cdot a}$$

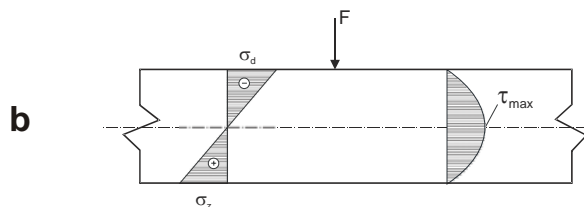


Abbildung 5.31

Biegung im Drei- und Vierpunkt-Biegeversuch. a Belastungsschemata b Normal- und Schubspannungsverteilung über der Probendicke (im Bereich der Querkräfte, z.B. in Plattenmitte bei Dreipunktbiegung), τ – Schubspannung, σ_z – Zugspannung, σ_d – Druckspannung.

Bei der Vierpunktbelastung ist der mittlere Bereich zwischen den beiden Kräften schubspannungsfrei. Schubspannungen treten dort nur in den Randbereichen zwischen Auflager und Krafteintrag 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 / Dicke abhängig. Da bei Holzpartikelwerkstoffen (Spanplatten, MDF) die Druckfestigkeit grösser oder gleich der Zugfestigkeit ist, kommt es hier nicht zu einer Verschiebung der Spannungs-Nulllinie wie bei Vollholz (siehe Abbildung 5.32).

Bei Holzpartikelwerkstoffen kommt es beim Bruch zu plastischen Verformungen (Verschiebung der Partikel, Niemz 1993). Beim Bruch selbst kann von einem ideal plastischen Verhalten ausgegangen werden. Erste Brucherscheinungen sind bereits bei einem Belastungsgrad von 20 % der Bruchlast nachweisbar (Niemz 1993). Bei Spanplatten ist die Biegefestigkeit deutlich höher als die Zug- und Druckfestigkeit.

Folgende Verhältnisse wurden ermittelt:

- Biegefestigkeit: Zugfestigkeit in Plattenebene = 1,7 - 2,0 : 1
- Biegefestigkeit: Druckfestigkeit in Plattenebene = 1,3 - 1,5 : 1

Bei durch Schichten aufgebauten Holzwerkstoffen wie LVL, Sperrholz und Massivholzplatten kommt es durch die stark unterschiedlichen Schichteigenschaften parallel und senkrecht zur Faser zu der in Abbildung 5.32b dargestellten Spannungsverteilung.

Bei Massivholzplatten und LVL kann es in den senkrecht zur Faserrichtung belasteten Lagen zum Schubbruch kommen (vgl. Abbildung 5.22). Teilweise kommt dies auch bei Spanplatten und MDF mit unzureichender Querkzugfestigkeit vor.

Der Anteil der Schubverformung steigt bei Reduzierung der Stützweite. Ebenso kommt es teilweise zum Zugbruch der Keilzinkenverbindung oder des Holzes (Abbildung 5.33).

Im Biegeversuch ist im Spannungs-Dehnungsdiagramm auch deutlich der Bruch der Lagen zu erkennen (Abbildung 5.34). Der Bruch der Lagen kann durch Schallemissionsanalyse erfasst werden.

Auch bei Spanplatten und MDF kommt es teilweise zum Schubbruch, wenn die Querkzugfestigkeit / Scherfestigkeit zu gering ist.

Bei geschichteten Holzwerkstoffen (Lagenhölzer, Massivholzplatten) werden E-Modul und Biegefestigkeit massgeblich durch den E-Modul und die Festigkeit der Decklagen beeinflusst. Der Bruch tritt häufig (insbesondere bei kleinen Stützweiten und relativ schubweicher Mittellage) durch Schubbruch auf (z.B. bei Massivholzplatten).

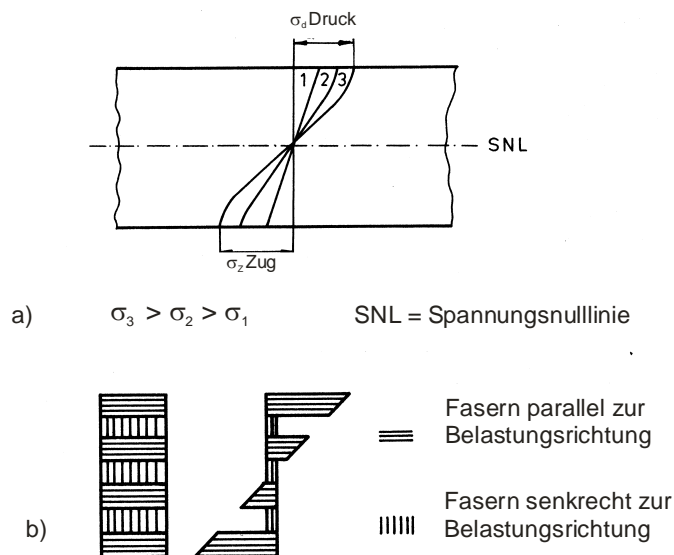


Abbildung 5.32

Spannungs- und Dehnungsverteilung über der Plattendicke bei Biegung von Holzwerkstoffen. a Dehnungsverteilung bei Spanplatten, b Spannungsverteilung bei geschichteten Holzwerkstoffen (Lagenhölzer, Massivholzplatten)



Abbildung 5.33

Typische Bruchbilder bei einer Massivholzplatte.

5.3.4.4 Scherfestigkeit

Die Scherfestigkeit ist der Widerstand, den ein Körper einer Verschiebung zweier aneinander liegender Flächen entgegensetzt. Bei Scherbelastung wirken zwei gegenläufig angreifende Kräfte (Abbildung 5.34). Die Scherfestigkeit parallel zur Plattenebene korreliert mit der Querkzugfestigkeit. Schulte (1997) z.B. ermittelte für Spanplatten und MDF eine Scherfestigkeit von 1,13 - 3,91 N/mm². Der Mittelwert aller geprüften Möbelspanplatten lag bei 1,63 N/mm², bei MDF bei 2,5 N/mm². Die Bruchposition lag bei Spanplatten zwischen 10-90%, bei MDF zwischen 15 - 85% der Plattendicke.

Die Scherfestigkeit berechnet sich nach Gl. 5.19 zu:

$$\sigma_{\text{scher}} = \frac{F_{\text{max}}}{a \cdot b} \quad (\text{Gl. 5.19})$$

σ_{scher}	Scherfestigkeit in N/mm ²
F_{max}	Bruchlast
a, b	Querschnittsabmessungen

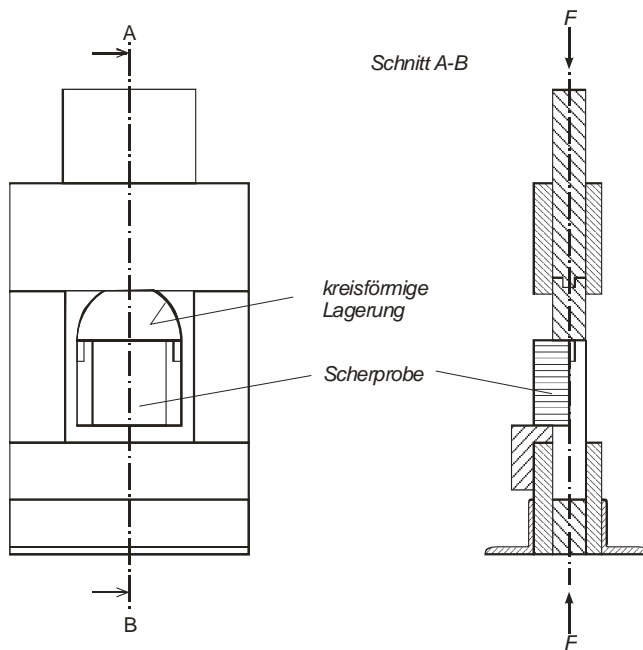


Abbildung 5.34

Prinzip zur Bestimmung der Scherfestigkeit (DIN 52367)

Die Scherfestigkeit korreliert mit dem Schubmodul parallel zur Plattenebene, ebenso wie die Zugfestigkeit senkrecht zur Plattenebene.

5.3.4.5 Auszieh Widerstand von Nägeln und Schrauben

Der Schrauben- bzw. Nagel auszieh Widerstand ist die Kraft, die zum Herausziehen einer Schraube oder eines Nagels aus dem Holz unter definierten Bedingungen (Vorbohren, Einschraub- oder Einschlagtiefe) erforderlich ist. Wichtige Einflussgrößen sind u. a. die Rohdichte, das Rohdichteprofil senkrecht zur Plattenebene, die Verbindungsmittelart. Der Schraubenauszieh Widerstand korreliert mit der Querkzugfestigkeit bei Spanplatten und MDF.

5.3.4.6 Härte

Die Härte ist der Widerstand, den Holz dem Eindringen eines härteren Materials entgegensetzt. Die am häufigsten benutzte Methode ist die Prüfung nach Brinell. Dabei wird eine Stahlkugel (z.B. 2,5 oder 10 mm Durchmesser) mit einer materialabhängigen, konstanten Kraft belastet und der Durchmesser des Kugeleindrucks nach Entlastung bestimmt. Moderne Messverfahren erlauben es, durch Messung der Kraft und der Eindringtiefe die Brinellhärte zu berechnen (Stübi and Niemz 2000). Die Härte berechnet sich wie folgt:

- unter Verwendung des Durchmessers des Eindrucks

$$HB = \frac{2F}{\pi * D \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)} \quad (Gl. 5.20)$$

- unter Verwendung der Eindrucktiefe

$$HB = \frac{F}{D * \pi * h} \quad (Gl. 5.21)$$

HB	Härte nach Brinell (N/mm ²)
F	Kraft (N)
D	Kugeldurchmesser (mm)
d	Kalottendurchmesser (mm)
h	Eindringtiefe (mm)

Bei Holzwerkstoffen beeinflusst auch das Rohdichteprofil senkrecht zur Plattenebene die gemessene Härte. Tabelle 5.11 zeigt einige Größenordnungen bezüglich Brinell-Härte.

Tabelle 5.11

Brinellhärte von HDF-Platten und Laminatböden (Sonderegger und Niemz 2001)

Material	Platten- dicke in mm	Rohdichte in kg/m ³	H _B in N/mm ² bei F _p = 500 N	H _B in N/mm ² bei F _p = 750 N	H _B in N/mm ² bei F _p = 1000 N
HDF unbeschichtet (Nadelholz)	6,5	821...836...857 v = 1,2 %	34,8...48,9...63,7 v = 12,1 %	38,4...47,4...59,3 v = 10,4 %	37,1...47,8...65,6 v = 10,1 %
HDF unbeschichtet (Nadelholz)	7,5	802...821...835 v = 1,3 %	37,9...49,0...67,3 v = 13,2 %	36,9...47,2...60,2 v = 11,0 %	35,6...46,3...56,1 v = 8,4 %
MDF unbeschichtet (Buche)	18	780...800...807 v = 1,0 %	50,8...62,6...74,3 v = 8,7 %	50,1...61,5...76,0 v = 8,8 %	51,9...60,7...75,5 v = 8,5 %
HDF laminiert (glatt)	7	901...917...927 v = 0,9 %	51,5...71,3...98,4 v = 12,8 %	53,1...69,2...96,5 v = 12,4 %	52,2...67,6...86,8 v = 10,7 %
Spanplatte laminiert	7	851...857...872 v = 0,8 %	32,3...40,3...51,0 v = 9,2 %	29,2...36,0...43,6 v = 8,4 %	30,9...35,0...39,5 v = 6,0 %

F_p - Prüfkraft

5.3.5 Literatur zu Kapitel 5

- Autorenkollektiv (1990). Lexikon der Holztechnik. Fachbuchverlag, Leipzig.
- Bodig, J. and A. Jayne (1993). Mechanics of wood and wood composites. Krieger, Florida.
- Boehme, C. (1980). Industrielle Oberflächenbehandlung von plattenförmigen Holzwerkstoffen. Fachbuchverlag, Leipzig.
- Burger, N. and P. Glos (1996). "Einfluss der Holzabmessungen auf die Zugfestigkeit von Bauschnittholz." Holz als Roh und Werkstoff **54**: 333-340.
- Burmester, A. (1968). "Untersuchungen über den Zusammenhang zwischen Schallgeschwindigkeit und Rohdichte, Querzug- sowie Biegefestigkeit von Spanplatten." Holz als Roh und Werkstoff **26**: 113-117.
- Burmester, A. (1975). "Zur Dimensionsstabilisierung von Holz." Holz als Roh und Werkstoff **33**: 335.
- Devantier, B. and P. Niemz (1989). "Determination of structural factors influencing surface irregularities of particleboards." Holz als Roh und Werkstoff **47**(1): 21-26.
- Gehri, E. (1995). "Holztragwerke: Entwurfs- und Konstruktionslösungen." Lignatec.
- Gressel, P. (1972). "Long-term bending behaviour of wood-based materials in relation to climate and loading. I. Previous investigations, testing plan, test methods." Holz als Roh und Werkstoff **30**(7): 259-266.
- Gressel, P. (1972). "Long-term bending behaviour of wood-based materials in relation to climate and loading. II. Test results in dependence on the creep parameters." Holz als Roh und Werkstoff **30**(9): 347-355.
- Gressel, P. (1972). "Long-term bending behaviour of wood-based materials in relation to climate and loading. III. Discussion of results." Holz als Roh und Werkstoff **30**(12): 479-488.
- Grundström, F., Niemz, P., Kucera, L.J. (1999). "Schalluntersuchungen an Spanplatten. Bestimmung der Platteneigenschaften durch eine Kombination aus Schallgeschwindigkeit und Eigenfrequenz." Holz-Zentralblatt: **124** 1734,1736.
- Hanhijarvi, A. (1995). Modelling of creep deformation mechanisms in wood. VTT Publications. 1995, No. 231, 143 pp.; 107 ref. Espoo; Finland, Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus (Technical Research Centre of Finland).
- Jensen, U. (1994). Ermittlungen und Vergleich des Stehvermögens von MDF und Spanplatten. mobil Oil Holzwerkstoff Symposium, Bad Wildungen.
- Jensen, U. and D. Krug (1999). "Vergleich von Holzwerkstoffen für den Bau." Holz Zentralblatt: 30-32.
- Kruse, K. (1997). Entwicklung eines Verfahrens der berührungslosen Ermittlung von Schallgeschwindigkeiten zur Bestimmung mechanischer Eigenschaften an Holzwerkstoffplatten und dessen Integration in die Prozesskontrolle. Diss., Univ. Hamburg.
- Lehmann, E., Vontobel, P., Niemz, P. et al. (2000). The method of neutron radiography and its use for wood properties analysis. Proceedings, Wood and Wood Fiber Composites, Stuttgart 13.-15.4.2000.
- Navi, P. Girardet, F. (2000). Effects of Thermo-Hydromechanical Treatment on the Structure and Properties of Wood. Holzprodukte im statischen Einsatz.
- Niemz, P. (1982). "Set of equations for the approximation of the behaviour of creep curves under static long-duration bending load." Holzindustrie **35**(1): 11-12.

- Niemz, P. (1993). Physik des Holzes und der Holzwerkstoffe. DRW-Verlag Weinbrenner GmbH & Co., Leinfelden- Echterdingen.
- Niemz, P. (1997). "Determination of internal stresses in wood and wood-based materials." Holz Zentralblatt **123**(5): 84,86.
- Niemz, P. and D. Sander (1990). Prozessmesstechnik in der Holzindustrie. Fachbuchverlag, Leipzig.
- Pauli, P. and D. Moldan (2000). Reduzierung hochfrequenter Strahlung im Bauwesen. Universität der Bundeswehr, Neubiberg.
- Popper, R. and M. Bariska (1972). "Acylation of wood. I. Water vapour sorption properties." Holz als Roh und Werkstoff **30**(8): 289-294.
- Popper, R. and M. Bariska (1973). "Acylation of wood. II. Thermodynamics of water vapour sorption." Holz als Roh und Werkstoff **31**(2): 65-70.
- Popper, R. and M. Bariska (1975). "Acylation of wood. III. Swelling and shrinkage behaviour." Holz als Roh und Werkstoff **33**(11): 415-419.
- Popper, R., E. Gehri, et al. (1998). "Lateral reinforcement of lumber panels with wooden bars. Compulsive strain due to moisture content." Drevarsky Vyskum **43**(1): 27-36.
- Popper, R., E. Gehri, et al. (1999). "Mechanosorptive properties of reinforced glue laminated beams: relaxation in function of cyclic weathering." Drevarsky Vyskum **44**(1): 1-11.
- Popper, R., P. Niemz, et al. (2001). "Festigkeits- und Feuchteverformänderungen entlang der Sorptionsisotherme." Holzforschung und Holzverwertung(1): 16-18.
- Schulte, M. (1997). Zerstörungsfreie Prüfung elastomechanischer Eigenschaften von Holzwerkstoffplatten durch Auswertung des Eigenschwingungsverhaltens und Vergleich mit zerstörenden Prüfmethode. Diss., Universität Hamburg.
- Sell, J. (1999). Coatings of wood based panels. 2. Europäisches Holzwerkstoffsymposium, Hannover.
- Sell, J., S. Richter, et al. (2001). Oberflächenschutz von Holzfassaden. Lignatec. Zürich.
- Steller, S. and J. Lexa (1986). "The problem of the durability of wood and wood-based materials." Holztechnologie **27**(6): 303-305, 336.
- Stübi, T. and P. Niemz (2000). "Neues Messgerät zur Bestimmung der Härte." Holz Zentralblatt **125**: 1524,1526.

6	TECHNOLOGIE DER HERSTELLUNG VON HOLZWERKSTOFFEN.....	6-1
6.1	ALLGEMEINE ENTWICKLUNGSTENDENZEN.....	6-1
6.2	TECHNOLOGIE DER FERTIGUNG VON HOLZWERKSTOFFEN	6-3
6.2.1	<i>Werkstoffe auf Vollholzbasis</i>	6-3
6.2.1.1	Brettschichtholz.....	6-3
6.2.1.2	Massivholzplatten.....	6-4
6.2.2	<i>Werkstoffe auf Furnierbasis (Lagenhölzer)</i>	6-7
6.2.2.1	Technologische Grundoperationen	6-7
	Rundholzlagerung	6-7
	Dämpfen	6-7
	Zuschnitt	6-8
	Schälen.....	6-8
	Trocknen	6-9
	Beleimen	6-9
	Zusammenlegen	6-9
	Verpressen	6-9
6.2.2.2	Fertigungsablauf	6-9
6.2.3	<i>Werkstoffe auf Spanbasis</i>	6-11
6.2.3.1	Technologische Grundoperationen	6-11
	Allgemeine Grundlagen	6-11
	Rohstoffe.....	6-11
	Zerspanung.....	6-13
	Trocknung.....	6-17
	Sortieren der Späne	6-20
	Beleimen	6-21
	Streuung	6-23
	Pressen	6-24
6.2.3.2	Fertigungsablauf	6-29
6.2.3.3	spezielle Holzspanwerkstoffe	6-29
	Spanformteile.....	6-29
	Anorganisch gebundene Holzwerkstoffe	6-29
	Waferboard / Scrimber.....	6-30
	OSB / LSL	6-30
6.2.4	<i>Werkstoffe auf Faserbasis</i>	6-35
6.2.4.1	Technologische Grundoperationen	6-35
	Allgemeine Grundlagen	6-35
	Rohstoffe.....	6-36
	Zerfasern	6-38
	Nassverfahren	6-40
	Trockenverfahren (MDF- Technologie).....	6-42
6.2.4.2	Fertigungsablauf	6-45
6.2.4.3	Sonderverfahren	6-46
6.2.5	<i>Verbundwerkstoffe</i>	6-47
6.2.5.1	Technologische Grundoperationen	6-47
	Herstellung der Lagen.....	6-47
	Klebstoffe	6-49
6.2.5.2	Fertigungsablauf.....	6-49
6.3	LITERATUR ZU KAPITEL 6	6-50

6 Technologie der Herstellung von Holzwerkstoffen

6.1 Allgemeine Entwicklungstendenzen

Die Holzwerkstoffindustrie ist innerhalb der Holzindustrie einer der am weitesten entwickelten und automatisierten Bereiche. So hat eine kostenoptimale Spanplattenanlage heute eine Kapazität von ca. 1000 - 2000 m³/Tag und darüber.

Abbildung 6.1 zeigt den Arbeitseingang in der EU 1996 für verschiedene Bereiche. Es ist deutlich zu erkennen, dass bezüglich des Arbeitseinganges die Möbel-, die Bauelemente- und die Holzwerkstoffindustrie dominieren. Innerhalb der Holzwerkstoffe kommt den Spanplatten eine führende Rolle zu (Abbildung 6.2).

Der generelle Trend geht zur Diversifizierung und zur Fertigung von Produkten mit hoher Wertschöpfung. Dabei gewinnen MDF, OSB und insbesondere auch Werkstoffe auf Massivholzbasis sowie Dämmstoffe auf Basis von Holzfasern auf Grund ökologischer Anforderungen an Bedeutung. Nachfolgende Übersicht zeigt die Wertschöpfung für verschiedene Produkte, Tabelle 6.1 zeigt die Produktion und Wertschöpfung für ausgewählte Produkte.

Insbesondere im Bereich der Massivholzplatten und der Spezialplatten liegt ein grosses Entwicklungspotential.

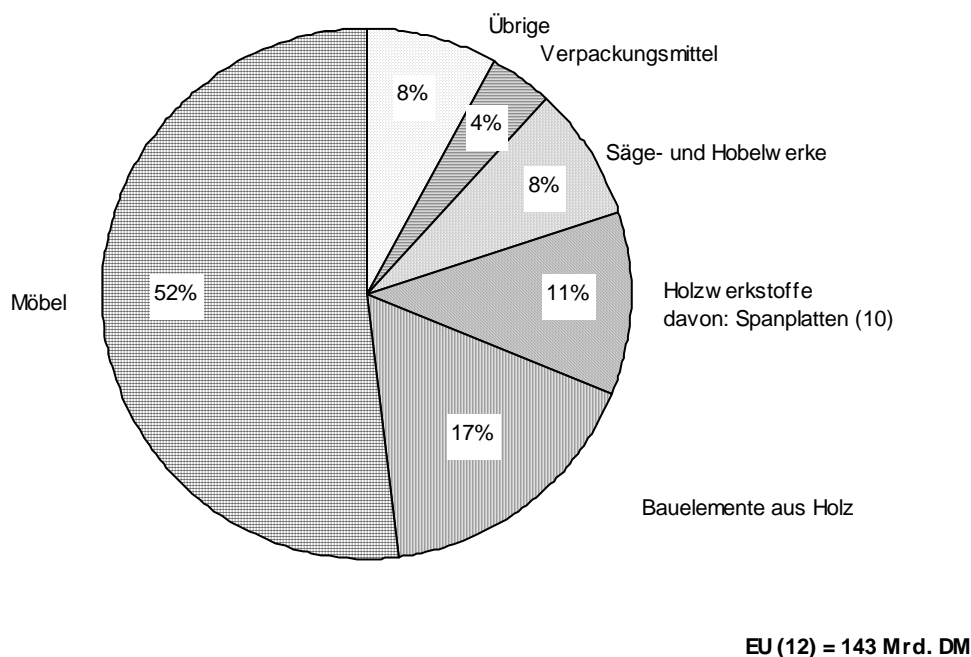


Abbildung 6.1

Arbeitseingang der Holzindustrie der EU 1996 (Deppe and Ernst 2000)

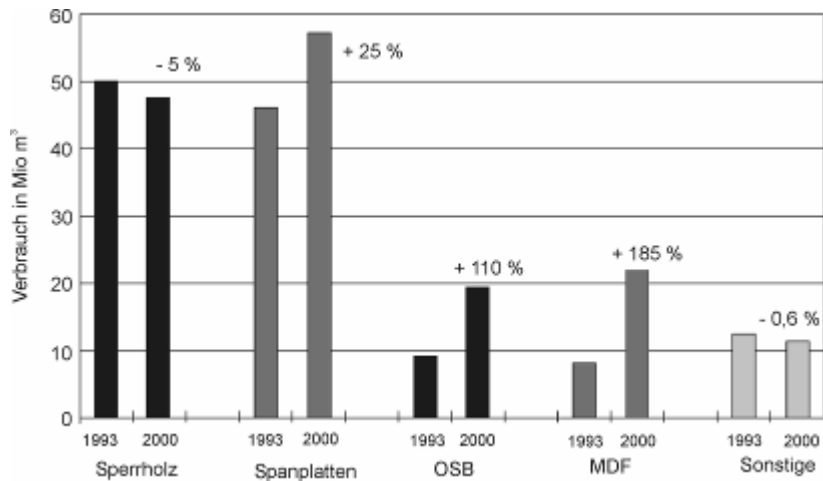


Abbildung 6.2
Holzwerkstoffproduktion in Europa (Deppe and Ernst 2000)

Tabelle 6.1
Holzausnutzung für verschiedene Holzwerkstoffe (Fa. Siempelkamp)

Material	Holzausnutzung in %
Sägeholz	40- 50
Sperrholz	50- 60
Spanplatte (mit Rinde)	88- 93
OSB	80- 85
MDF	87- 90
LSL	80- 85

Ursachen für die zunehmende Bedeutung der Holzwerkstoffproduktion sind auch

- die relativ hohe Holzausnutzung
- die Möglichkeit der Verwertung von Holzresten, insbesondere bei Spanplatten
- die Möglichkeit, die Eigenschaften in weiten Bereichen zu variieren sowie vollholzanaloge Eigenschaften zu erreichen.

6.2 Technologie der Fertigung von Holzwerkstoffen

6.2.1 Werkstoffe auf Vollholzbasis

6.2.1.1 *Brettschichtholz*

Als Ausgangsrohstoff dienen getrocknete Bretter (Feuchte ca. $10 \pm 2\%$). Diese werden teilweise nach der Festigkeit sortiert (z.B. nach EN 338 nach den Klassen C 14, C 18, C 22, C 24, C 27 für Nadelholz oder D 50, D 60, D 70 für Laubholz) und gehobelt. Anschliessend wird durch Keilzinkung eine Längsverbinding der Bretter vorgenommen. Die Grösse und die Orientierung der Keilzinken kann variieren. Als Klebstoff werden PVA- Leime, PUR und PF- Harze eingesetzt. Die verklebten Lamellen werden dann abgelängt und gehobelt. Das Brettschichtholz wird unter Verwendung der genannten Klebstoffe in

- Vertikalpressen
- Horizontalpressen oder
- Formpressen
-

verklebt. Der Aufbau wird zweckmässigerweise so vorgenommen, dass in den hochbeanspruchten Randzonen die festeren Lamellen eingesetzt werden. Der Druck wird mechanisch oder hydraulisch aufgebracht. Wird bei Raumtemperatur gepresst, beträgt die Presszeit 4 bis 8 Stunden.

Nach einer ähnlichen Technologie werden lamellierte Profile (z. B. für Fensterkanteln, Kreuzbalken) hergestellt.

Generell ist bei der Verklebung von Lamellen zu statisch beanspruchten Elementen zu berücksichtigen, dass ein Versatz der Klebfugen der Längsverbinding (Keilzinkung) erfolgt (vgl. Abb. 4.3, 4.4).

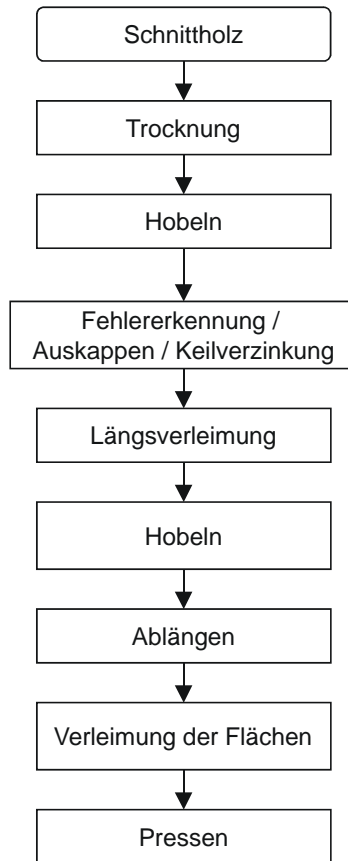


Abbildung 6.3

Technologischer Ablauf der Fertigung von Brettschichtholz (BSH)

6.2.1.2 *Massivholzplatten*

Massivholzplatten werden nach 2 grundsätzlichen Methoden hergestellt:

- Blockverfahren
- Durchlaufverfahren

Beim **Blockverfahren** (Abbildung 6.5) werden analog der Fertigung der Mittellagen von Tischlerplatten (Stäbchenspertholz) zunächst Bretter in Blockpressen verklebt (Abbildung 6.4). Abbildung 6.5 zeigt den technologischen Ablauf beim Blockverfahren.

Anschliessend werden diese Blöcke parallel zur Pressrichtung mit Bandsägen oder Dünnschnittgattern aufgetrennt. Die Brettdicke entspricht dann der Breite der Lagen. Bei Verwendung von Seitenbrettern erhält man dadurch weitgehend stehende Jahrringe in den Lagen und sehr schmale (2-3cm breit) Lagen. Dadurch wird die Formbeständigkeit erhöht.

Die Lagen werden in Etagenpressen zu Platten verpresst, danach formatiert und geschliffen. Als Klebstoffe kommen je nach klimatischen Anforderungen Harnstoffharze, PUR, PVA oder auch Melaminharze zum Einsatz.

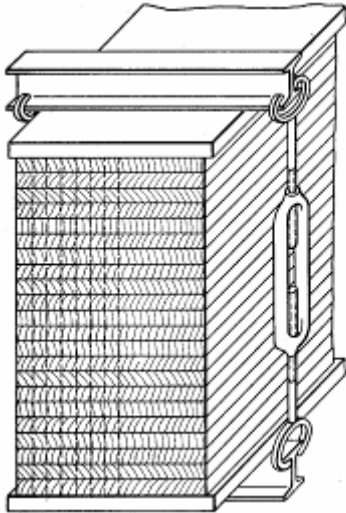


Abbildung 6.4

Blockpresse

Beim **Durchlaufverfahren** (Abbildung 6.6) werden einzelne Bretter an den Schmalflächen beleimt, dann unter Einwirkung von Druck und Wärme (teilweise mit Hochfrequenzpressen) verklebt und abgelängt. Die Verklebung kann kontinuierlich oder taktweise erfolgen. Je nach Presstechnik werden anschliessend die Lagen teilweise geschliffen (Dickenkalibrierung zwecks Vermeidung des Absatzes an den Stossfugen) oder auch ungeschliffen (bei exaktem Fügen der Bretter) mit den Mittellagen verklebt. Dazu setzt man Etagenpressen, teilweise auch Vakuumpressen ein. Der Pressdruck beträgt 4 -10 bar, bei Vakuumpressen maximal 1 bar. Dann werden die Platten formatiert und geschliffen. Zur Erhöhung der Formbeständigkeit wenden einzelne Hersteller folgende Massnahmen an:

- Verwendung stehender Jahrringe (Sortierung, Riftschnitt oder Einsatz von Seitenware und Blockverleimung)
- Auftrennen einer dickeren Platte in 2 Decklagen
- Schlitzen der Mittellage (senkrecht zur Plattenebene)

Teilweise werden die Lamellen keilverzinkt, um die erforderliche Länge zu erhalten.

Vielfach werden auch Bauelemente grösserer Dicke als Hohlkastensystem gefertigt. Dabei werden teilweise die Hohlräume mit Sand zur Schalldämmung oder mit Fasermaterial zwecks Wärmedämmung verfüllt. Das Verpressen solcher Elemente (bis zu 50 cm dick und mehr) erfolgt durch Etagenpressen oder Vakuumpressen. Bei letzterem Verfahren wird eine Kunststoffmatte aufgelegt und durch Vakuum der Pressdruck aufgebracht.

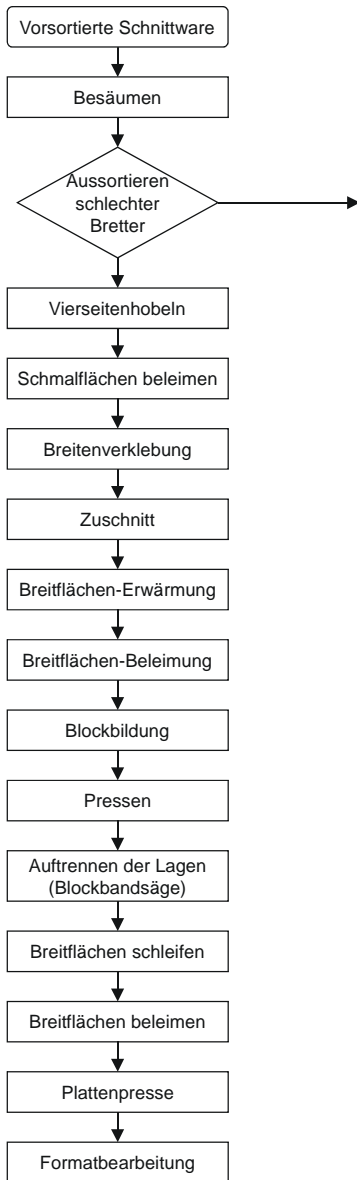


Abbildung 6.5
Technologischer Ablauf beim Blockverfahren

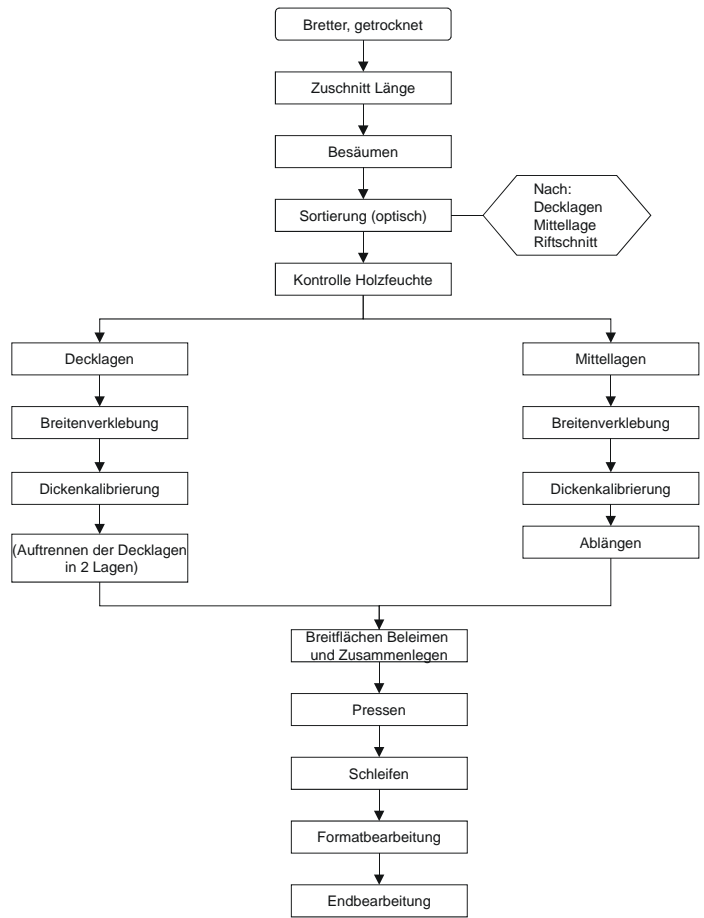


Abbildung 6.6
Technologischer Ablauf beim Durchlaufverfahren

6.2.2 Werkstoffe auf Furnierbasis (Lagenhölzer)

6.2.2.1 Technologische Grundoperationen

Als Basismaterial für die Herstellung von Lagenhölzern dient das Schäl furnier. Als Rohstoffe werden eingesetzt:

- Nadelhölzer (z. B. Fichte, Radiata Pine, Lärche)
- Laubhölzer hoher Dichte (z. B. Buche) für Baufurniersperrholz, Laubhölzer niedriger Dichte (z. B. Pappel) für Ski- oder Snowboardkerne.

Rundholzlagerung

Die Rundholzlagerung dient dem Ausgleich von Lieferschwankungen. Insbesondere in warmen Jahreszeiten muss das Holz z.B. durch Berieselung geschützt werden, um Rissbildung und Pilzbefall zu vermeiden.

Dämpfen

Das Dämpfen erfüllt im wesentlichen folgende Funktionen:

- Plastifizierung des Holzes, um eine gute Qualität des Schäl furniers zu erreichen
- Abbau innerer Spannungen
- Ausgleich von Farbveränderungen.

Der Furnierblock muss durch den Dämpfprozess im Inneren erwärmt und plastifiziert werden (Abbildung 6.8).

Es gibt zwei grundsätzliche Dämpfverfahren:

- Direktes Dämpfen: Dabei wird entölter Wasserdampf unmittelbar in die Dämpfgruben eingeleitet (Abbildung 6.7a)
- Indirektes Dämpfen: Dabei wird das in der Dämpfkammer befindliche Wasserbad über einem Heizsystem erhitzt und dadurch das über dem Wasserbad gestapelte Holz erwärmt (Abbildung 6.7b).

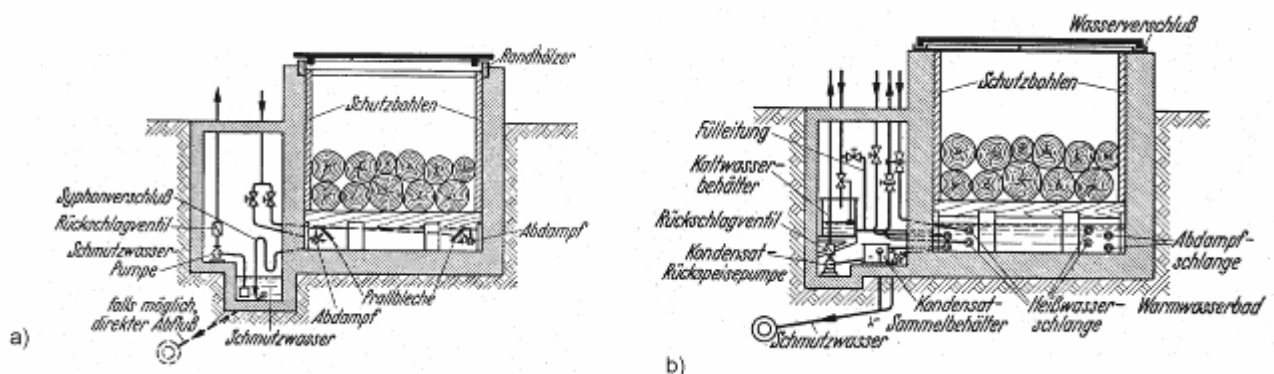


Abbildung 6.7

Verfahren zum Dämpfen von Furnierblöcken. a direktes Dämpfen, b indirektes Dämpfen

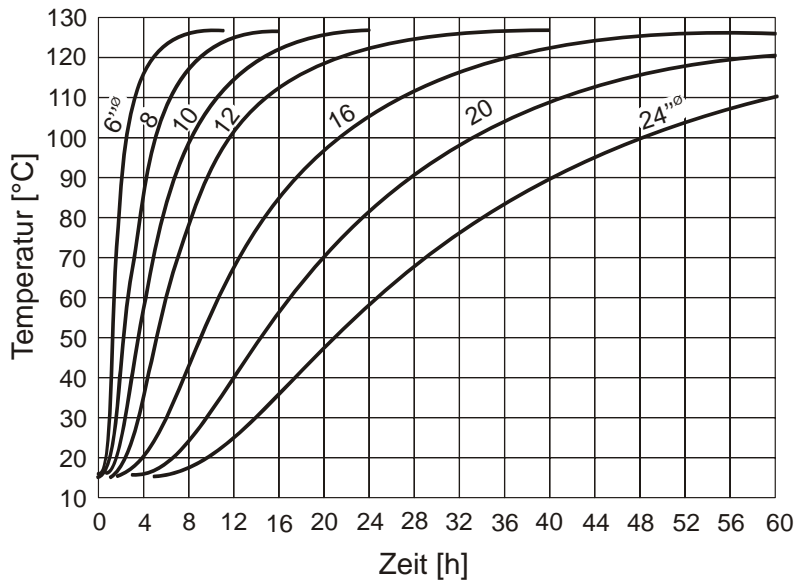


Abbildung 6.8

Temperaturverlauf beim Dämpfen eines Furnierblockes bei variablem Stammdurchmesser in Zoll (Kollmann 1962).

Zuschnitt

Nach dem Dämpfen werden die Blöcke abgelängt, um den schälfähigen Teil des Holzes herauszutrennen.

Schälen

Beim Schälen wird ein endloses Furnierband erzeugt. Abbildung 6.9 zeigt den Aufbau einer Schälmaschine. Die Qualität des Furniers wird wesentlich durch die Winkel am Messer beeinflusst. Das Vorspalten des Holzes wird über die Druckleiste vermindert.

Die Furnierdicke beträgt bis zu einigen mm. Das Furnier wird in bestimmten Abständen abgelängt und Fehler herausgeschnitten (ausgeklippt).

Bei Tischlerplatten (Stäbchenspertholz) erfolgt die Herstellung der Mittellagen nach dem Blockverfahren (6.2.1.2).

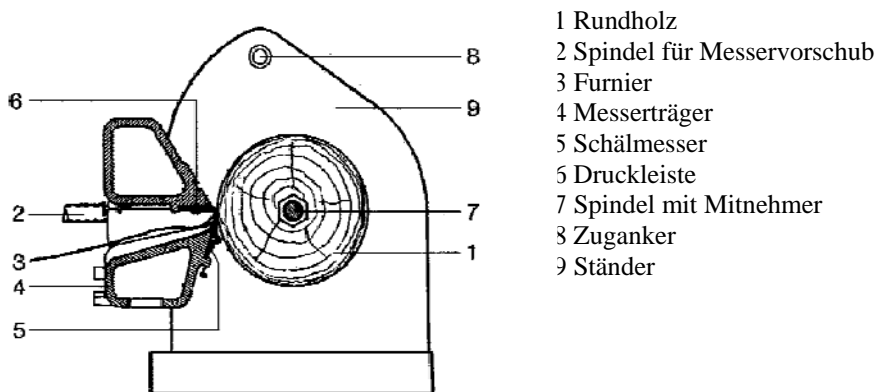


Abbildung 6.9

Aufbau einer Schälmaschine (Fa. Keller).

Trocknen

Das Furnier wird auf 8-12 % Holzfeuchte getrocknet. Dies erfolgt in Durchlauf Trocknern, wobei das Furnier entweder auf Bändern (Bandtrockner) oder Rollen gefördert wird.

Beleimen

Mittels Leimauftragwalzen werden die Furniere beleimt. Teilweise erfolgt ein Beleimen der Schmalflächen.

Zusammenlegen

Je nach dem herzustellenden Material (Schichtholz, weitgehend faserparallele Lagen; Sperrholz, Lagen abwechselnd senkrecht zueinander orientiert) erfolgt ein Zusammenlegen der Furniere. Bei LVL werden die Lagen zum Teil geschäftet, um eine höhere Festigkeit zu erreichen.

Verpressen

Nach dem Zusammenlegen werden die Lagen zunächst (meist kalt) vorverpresst. Zum Pressen werden Einetagenpressen, Mehretagenpressen und für LVL auch kontinuierliche Pressen eingesetzt. Formteile (Formsperrholz) werden in speziell gefertigten Pressgesenken hergestellt. Die Formen werden schrittweise optimiert. Der Pressdruck beträgt etwa 30 bar (Soiné 1995).

Folgende spezifische Pressdrücke werden verwendet:

Tabelle 6.2

Spezifischer Pressdruck und Temperatur bei der Sperrholz-Herstellung (Autorenkollektiv 1975)

Holzart	Weichholz	Hartholz
Spezifischer Pressdruck	8 -12 bar	12 -18 bar
Klebstoff	Harnstoffharz	Phenolharz
Temperatur	90- 110 °C	135- 165 °C

Durch Erhöhung des Pressdruckes kann verdichtetes Lagenholz gefertigt werden (Dichte bis zu 1300 kg/m³, bei Kunstharzpresslagenholz bis 1400 kg/m³). Bei Presslagenholz beträgt der spezifische Pressdruck 80 – 200 bar, bei kunstharzvergütetem Presslagenholz 100 – 250 bar.

6.2.2.2 Fertigungsablauf

Die folgenden Abbildungen zeigen den technologischen Ablauf der Herstellung von Furnier (Abbildung 6.10), Sperrholz (Abbildung 6.11), Furnierschichtholz (**L**aminated **V**eneer **L**umber (LVL), Abbildung 6.12) und Furnierstreifenholz (**P**arallel **S**trand **L**umber, (PSL oder Parallam), Abbildung 6.13). Bei LVL erfolgt teilweise eine Sortierung der Lagen mit Ultraschall nach der Festigkeit. Die Lagen werden auch geschäftet, um eine hohe Festigkeit zu erreichen.

Bei Parallam wird das getrocknete Furnier in Streifen geschnitten, mit PF- Harz beleimt (Eintauchen, Festharzanteil 5 - 6 %), zusammengelegt und verpresst. Die Streifen müssen dabei ebenso wie bei LVL so angeordnet werden, dass die Stösse versetzt sind, um eine Schwächung zu verhindern. Danach werden mittels Bandsägen die gewünschten Elemente herausgeschnitten.

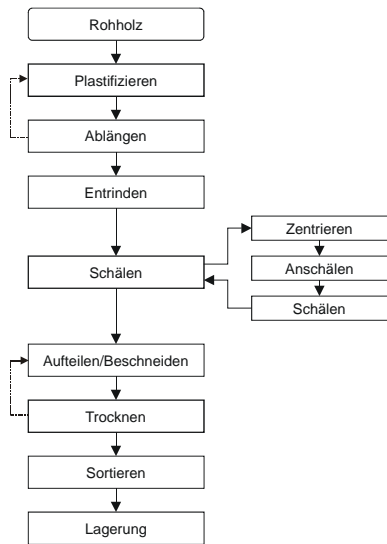


Abbildung 6.10
Technologischer Ablauf der Herstellung von Schäl furnier

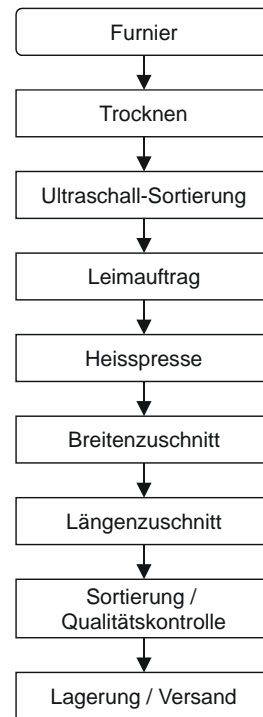


Abbildung 6.12
Technologischer Ablauf der Herstellung von LVL

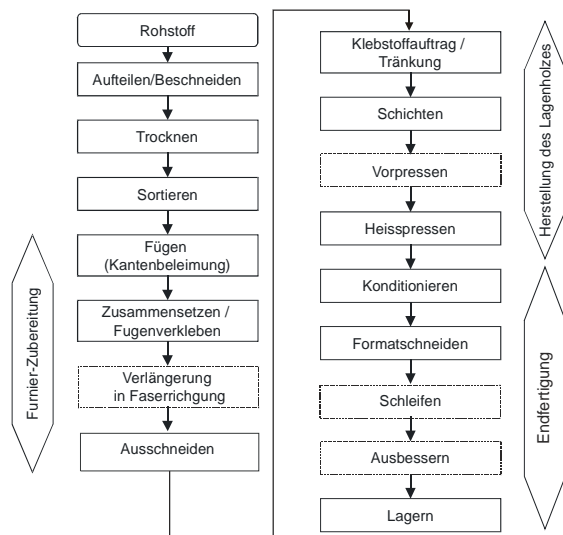


Abbildung 6.11
Technologischer Ablauf der Herstellung von Sperrholz

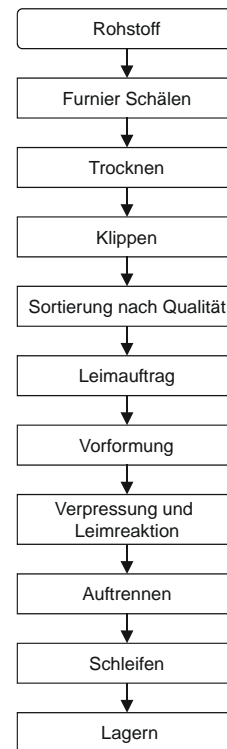


Abbildung 6.13
Technologischer Ablauf der Herstellung von Parallam

6.2.3 Werkstoffe auf Spanbasis

6.2.3.1 Technologische Grundoperationen

Allgemeine Grundlagen

Als Basismaterial für Holzwerkstoffe auf Spanbasis dienen Partikel unterschiedlicher Grösse. Diese reicht von 300 mm bei Laminated Strand Lumber (LSL) bis zu einigen Zehntel mm bei Spanplatten mit feinspaniger Oberfläche für den Möbelbau.

Tabelle 6.3 zeigt eine Übersicht spanförmiger Partikel (zusammengestellt von Niemz).

Tabelle 6.3

Kenngrössen von Spänen (Richtwerte)

Partikelart	Spanlänge (l in mm)	Spanbreite (b in mm)	Spandicke (d in mm)	Schlankheitsgrad ($\lambda = l/d$)	Streudichte in kg/m ³
<i>Sonderwerkstoffe</i>					
Strands für LSL	300	25	0,8-1	300	50-70
Strands für OSB	40-80	4-10	0,3-0,8	50-130	30-50
Wafer	36-72	12-35	kA	45-90	40-60
Scrimber	kA				
<i>übliche Spanplatten</i>					
De-Normalspäne	5-10	-	0,2-0,3	20-50	60-120
De-Feinstspäne	3-6	-	0,1-0,25	15-40	120-180
Schleifstaub	0,4-0,6	-	-	-	160-200
Mi-Einheitsspäne	8-15	1,5-3,5	0,25-0,4	30-60	40-140
Mi-Schneidspäne	8-15	2,0-4,0	0,4-0,6	20-40	48-180
Mi-Schlagspäne	8-15	1,5-3,5	0,5-2,0	5-50	100-180
<i>Abfallspäne</i>					
Fräs-; Hobelspäne	5-15	2,5-5	0,25-0,8	5-60	50-130
Gattersägespäne	2-5	1,0-2	0,4-1	2-10	120-180

kA - keine Angaben, De- Deckschicht, Mi- Mittelschicht

Rohstoffe

Holz

Als Rohstoff werden Holz und verholzte Pflanzen (z.B. Bagasse, Stroh) eingesetzt.

Die Biegefestigkeit von Spanplatten ist bei gleicher Rohdichte um so höher, je niedriger die Rohdichte des eingesetzten Holzes ist. Der für die Erzielung einer gleichen Plattenqualität erforderliche Materialeinsatz steigt daher mit abnehmender Rohdichte des eingesetzten Holzes. Kehr (Autorenkollektiv 1969) gibt folgende Richtwerte an (Tabelle 6.4):

Tabelle 6.4

Richtwerte für die Rohdichte wichtiger Holzarten, die Eigenschaften der daraus gefertigten Spanplatten und den Holzverbrauch (Kehr in Autorenkollektiv 1975)

Holzart	Pappel	Fichte	Kiefer	Erle	Birke	Eiche	Rotbuche
Darrdichte in kg/m ³	390	430	490	490	610	650	680
pH- Wert	6,1-8,1	5,3-5,7	4,7-5,1	5,3-5,8	4,9-5,8	3,9-4,6	5,5-5,9
Biegefestigkeit in N/mm ²	27,0-32,0	27,0-30,0	29,0-32,0	25,0-29,0	23,0-27,0	19,0-23,0	18,0-22,0
Querzugfestigkeit in N/mm ²	0,30-0,60	0,55-0,65	0,60-0,75	0,65-0,85	0,50-0,85	0,50-0,70	0,80-1,10
Holzverbrauch je m ³ Spanplatte in fm	2,0-2,2	1,6-1,8	1,5-1,7	1,5-1,7	1,2-1,4	1,1-1,4	1,1-1,3

Während für OSB und LSL hochwertige Holzsortimente (Waldholz) üblich sind, gewinnt bei konventionellen Spanplatten die Verwendung von Holzresten (Späne, Spreissel, Hackschnitzel aus der Schnittholzproduktion) und Altholz (Recyclingholz) an Bedeutung. Abbildung 6.14 zeigt die Entwicklung des Holzeinsatzes für Spanplatten nach Marutzky (in Deppe u. Ernst 2000). Der erhöhte Einsatz von Recyclingholz ist auf die deutlich niedrigeren Preise zurückzuführen. Nach Rümmler (1998) betrug 1998 der Preis je Tonne für

- Waldindustrieholz 95 DM
- Industrierestholz 75 DM
- Recyclingholz 30 DM

Auch die Verwertung der im Haushaltsmüll vorhandenen Holz- und Papieranteile ist prinzipiell möglich.

Derzeit laufen erhebliche Bemühungen zur stofflichen Wiederverwertung von Gebrauchtholz (Deppe and Ernst 2000).

Folgende Verfahren zur Verwertung von Altholz sind bekannt:

1. Verfahren ohne Auflösung des Holzgefüges

- Sandberg (1963): Mit Dampf zerkleinerte Reste; 2 bis 10 bar Überdruck, während 0,5 - 4 h behandeln; nur für HF - Harze.
- Michanikl und Böhme (zitiert in Roffael 1997): Imprägnierung mit Lösung (u.a. Harnstoff), danach Dampfbehandlung; industriell eingesetzt.

2. Verfahren mit Auflösung des Holzgefüges

- Roffael und Dix (Roffael, Dix, Mayer et al. 1993): Chemische oder chemo-mechanische Behandlung von Holzstücken analog Zellstoffherstellung, Gewinnung von Fasermaterial und Ablauge (Streckmittel für Leim).

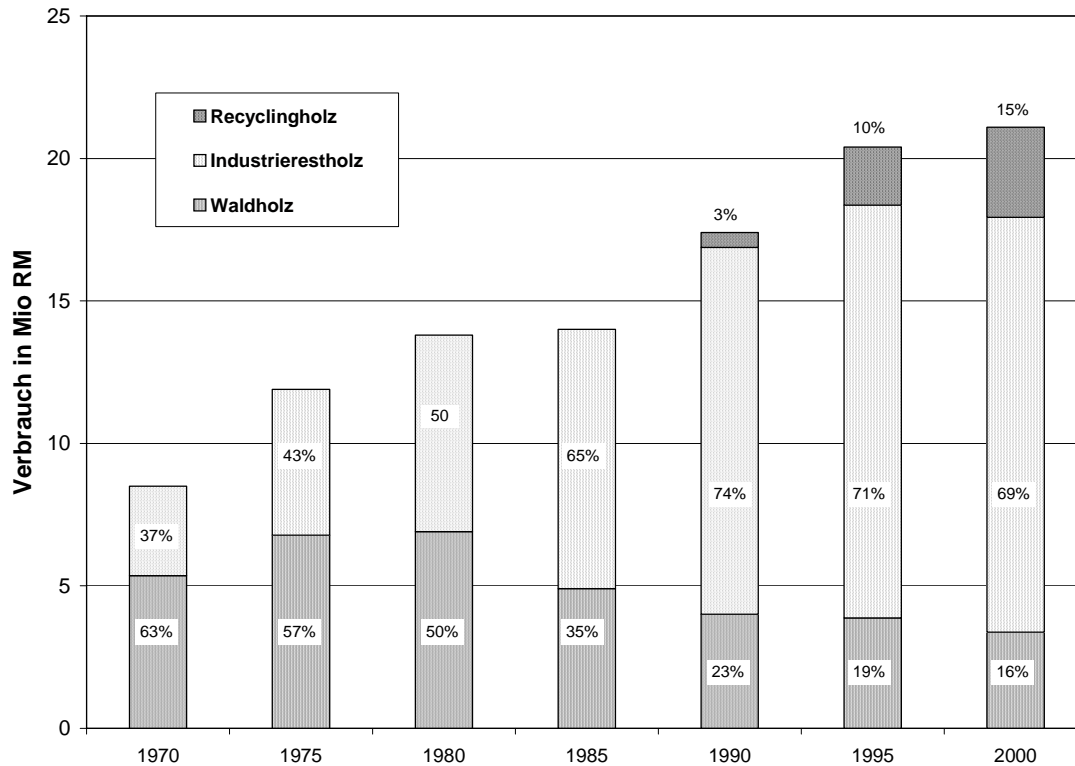


Abbildung 6.14

Entwicklung des Rohstoffeinsatzes für Spanplatten (Marutzky, in Deppe u. Ernst 2000)

Holzlagerung

Das Holz wird sortimentspezifisch (Rundholz, Schwarten und Spreissel, Hackschnitzel, Späne) gelagert. Dabei ist zu beachten, dass bei zu langer Lagerdauer mit Lagerverlusten zu rechnen ist. Zudem steigt bei trockenem Holz der erforderliche Energieaufwand für die Zerspanung. Späne werden zweckmässigerweise in überdachten Hallen oder Bunkern gelagert. Durch die trockneren Säge- oder Frässpäne der Holzbearbeitung kann Trocknungsenergie eingespart werden.

Die Rohstofflagerung dient auch dem Abbau von Zuckern im Holz bei der Herstellung von zementgebundenen Platten. Bei diesen Materialien ist auch der Fällzeitpunkt (Jahreszeit) von Bedeutung.

Bindemittel

Als Bindemittel können eingesetzt werden:

- Synthetische Klebstoffe (Phenolharz, Harnstoffharz, Isocyanat, Mischharze)
- Pflanzliche und tierische Leime (Tannine, Glutin, Stärke), wobei bisher nur Tannine eine grössere Bedeutung erlangt haben. Im Rahmen der wachsenden Bedeutung ökologischer Aspekte gewinnt jedoch die Verwendung dieser Klebstoffe zumindest forschungsseitig an Bedeutung.

Zerspanung

Die Güte der Späne beeinflusst entscheidend die Qualität der Spanplatten (siehe Tabelle 6.6).

Dies gilt sowohl für die Festigkeit als auch für die Oberflächenqualität. Für eine hohe Biegefestigkeit müssen Späne mit einem grossen Schlankheitsgrad (Verhältnis Länge/Dicke), für eine hohe

Querzugfestigkeit eher kubische Späne und für eine hohe Oberflächenqualität sehr dünne Späne eingesetzt werden. Abbildung 6.15 zeigt eine Klassifizierung der Partikeln.

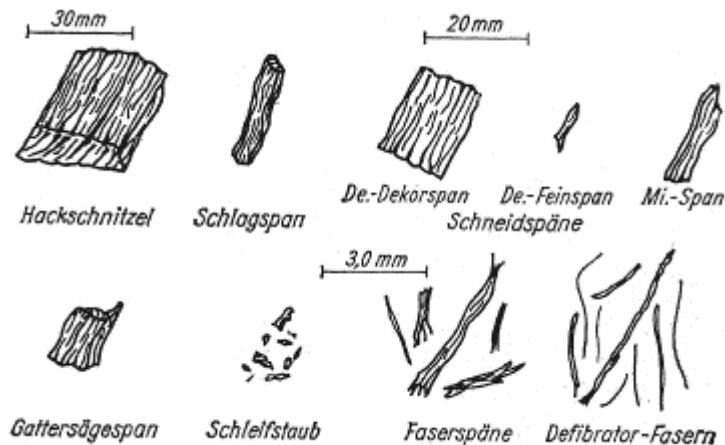


Abbildung 6.15

Klassifizierung von Partikeln (Kehr, in Autorenkollektiv 1975)

Zur Zerspanung werden eingesetzt:

- Bei **Rundholz** (Schichtholz), Langholz, Schwarten und Spreisseln als Ausgangsmaterial
 1. Messerwellenzerspaner (es wird abgelängtes Holz der Messerwelle zugeführt, z. B. 2 m lang; siehe Abbildung 6.16b)
 2. Messerscheibenzerspaner (es wird abgelängtes Rundholz einer Messerscheibe zugeführt, siehe Abbildung 6.16a; Bedeutung heute nur noch für Spezialprodukte, z. B. auch für LSL)
 3. Messerkopfzerspaner (für Langholz, Schwarten und Spreissel); dabei fräst entweder der bewegliche Messerkopf abschnittsweise das Holz oder der mit Holz beladene Trog wird auf den feststehenden Messerkopf abgesenkt. Es erfolgt jeweils eine abschnittsweise Zerspanung; wird kurzes Holz eingesetzt, entstehen z. B. bei Strands für OSB relativ viele kurze Späne
- Bei **Hackschnitzeln**: Messerringzerspaner (Abbildung 6.17, und 6.18), das vorherige Hacken erfolgt mit Messerscheiben oder Messerwellenhackern (Abbildung 6.19)

Zur Nachzerkleinerung werden Mühlen, z. B. Hammermühlen, Schlagkreuzmühlen (Abbildung 6.20), Zahnscheibenmühlen oder Refiner verwendet.

Altholz wird in der Regel zunächst durch Brecher vorzerkleinert und mit Prallhammermühlen nachzerkleinert. Danach werden Fremdstoffe über Sichter und Metallabscheider ausgeschieden. Abbildung 6.21 zeigt einen Walzenbrecher.

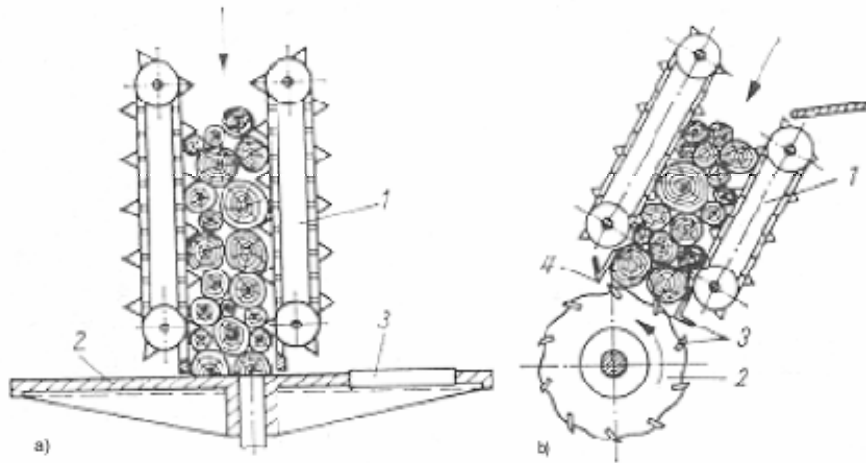


Abbildung 6.16

Zerspaner. a Messerscheibenzerspaner: 1 Zuführungseinrichtung, 2 Messerscheibe, 3 Messer. b Wellenzerspaner: 1 Zuführungseinrichtung, 2 Messerwelle, 3 Messer, 4 Gegenmesser (Autorenkollektiv 1975)

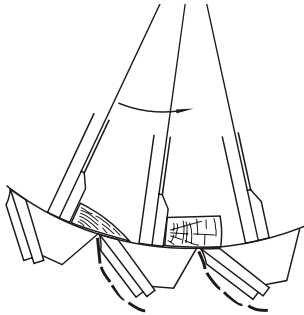


Abbildung 6.17

Messerringzerspaner schematische Darstellung

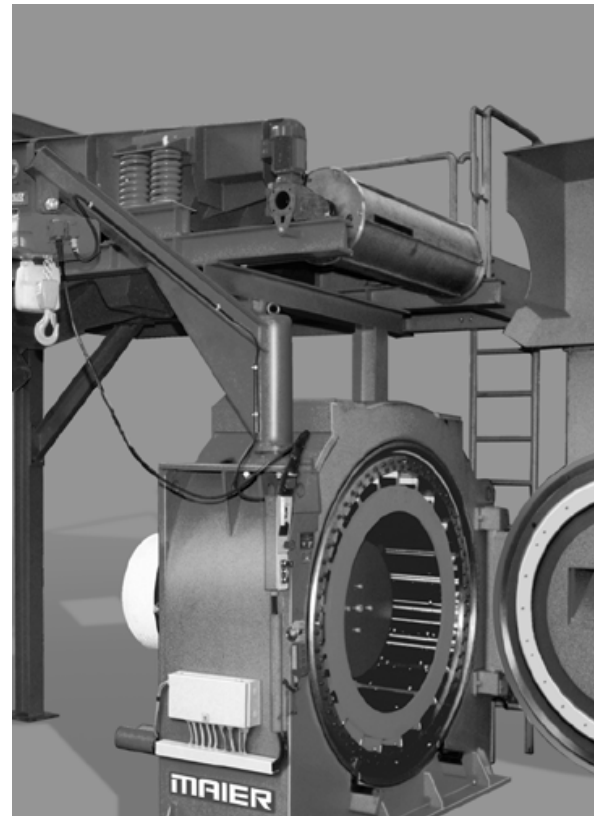


Abbildung 6.18

Foto eines Messerringzerspaners

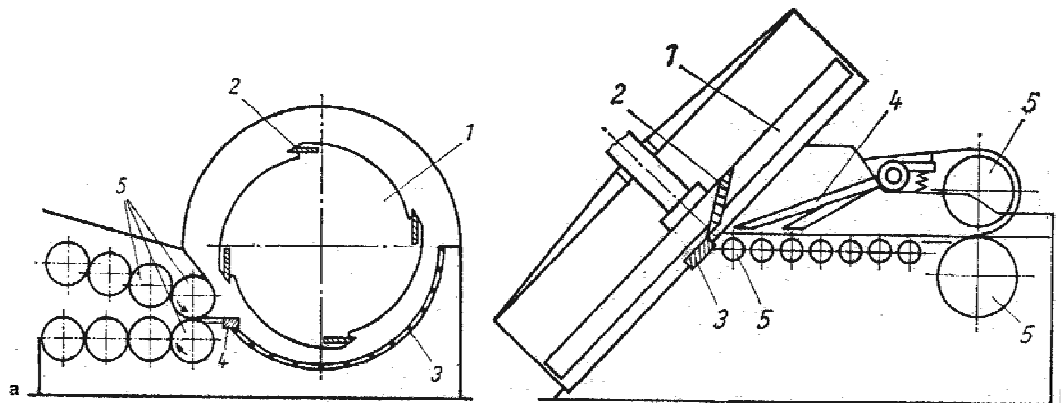


Abbildung 6.19

Hacker. **a** Zylinderhacker: 1 Rotor, 2 Hackmesser, 3, Nachzerkleinerungsrost, 4 Gegenmesser, 5 Einzugschwalzen.
b Scheibenhacker: 1 Messerscheibe, 2 Hackmesser, 3 Gegenmesser, 4 Niederhalter, 5 Einzugschwalzen
 (Autorenkollektiv 1990)

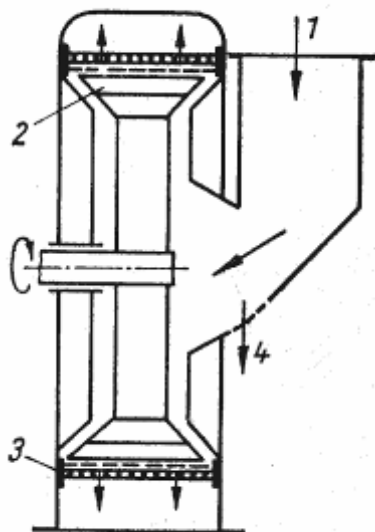


Abbildung 6.20

Schlagkreuzmühle (Bauart Condux). Wichtigste Aggregate: 1 Materialzugabe, 2 Schlagkreuz, 3 Siebkorb mit Reibelementen, 4 Abscheidung von Fremdkörpern

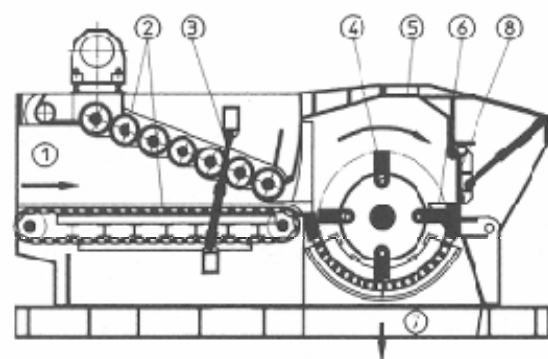


Abbildung 6.21

Walzenbrecher (Bauart Pallmann). Wichtigste Aggregate: 1 Förderrichtung, 2 Einzugseinrichtung, 4 Rotor

Trocknung

Bei der Trocknung werden die Späne auf die für die Verklebung erforderliche Sollfeuchte gebracht. Diese wird durch den Klebstoff und die gewählte Verfahrenstechnologie mit beeinflusst. Als Richtwerte gelten (Kehr, in Autorenkollektiv 1969):

- für die Decklagen 1 - 8 %
- für die Mittellagen ca. 4 - 6 %

Abbildung 6.22 zeigt den erforderlichen Energieverbrauch für die Trocknung pro kg verdunstetes Wasser in Abhängigkeit von der Anfangs- und der Endfeuchte der Späne.

Die Holzfeuchte nach der Trocknung beeinflusst auch die Festigkeit der daraus gefertigten Platten.

Wir unterscheiden folgende Trocknertypen (Abbildung 6.24):

- Stromtrockner (z. B. für MDF eingesetzt)
- Düsenrohr Trockner, direkt beheizt, derzeit kaum noch eingesetzt
- Zug - Trommeltrockner
- Röhren - Trommeltrockner, indirekt beheizt

OSB- Späne müssen sehr schonend getrocknet werden (relativ geringe Durchlaufgeschwindigkeit), um eine Nachzerkleinerung durch den Transport zu vermeiden. Abb. 6.28 zeigt eine Übersicht zu verschiedenen Trocknertypen.

Trockner werden mit umfangreichen Abgasreinigungsanlagen betrieben, um Staub- und Geruchsemissionen zu reduzieren. Üblich sind (nach Gfeller 2000):

- Zyklonenstaubung (in der Regel nicht genügend)
- Nasswaschanlagen (keine ausreichende Entfernung von Aerosolen)
- Gewebefilter (nur bei indirekt beheizten Trocknern)
- Elektronassfilter.

Auch geschlossene Systeme im Umluftbetrieb (ecoDry-System) sind im Einsatz.

Bedingt durch die hohen Temperaturen besteht Brand- und Explosionsgefahr. Entsprechende Messsysteme (z. B. Funkenerkennung) sind daher erforderlich.

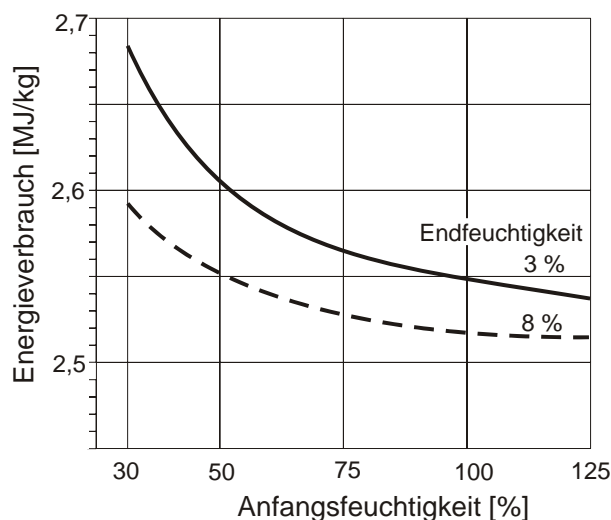
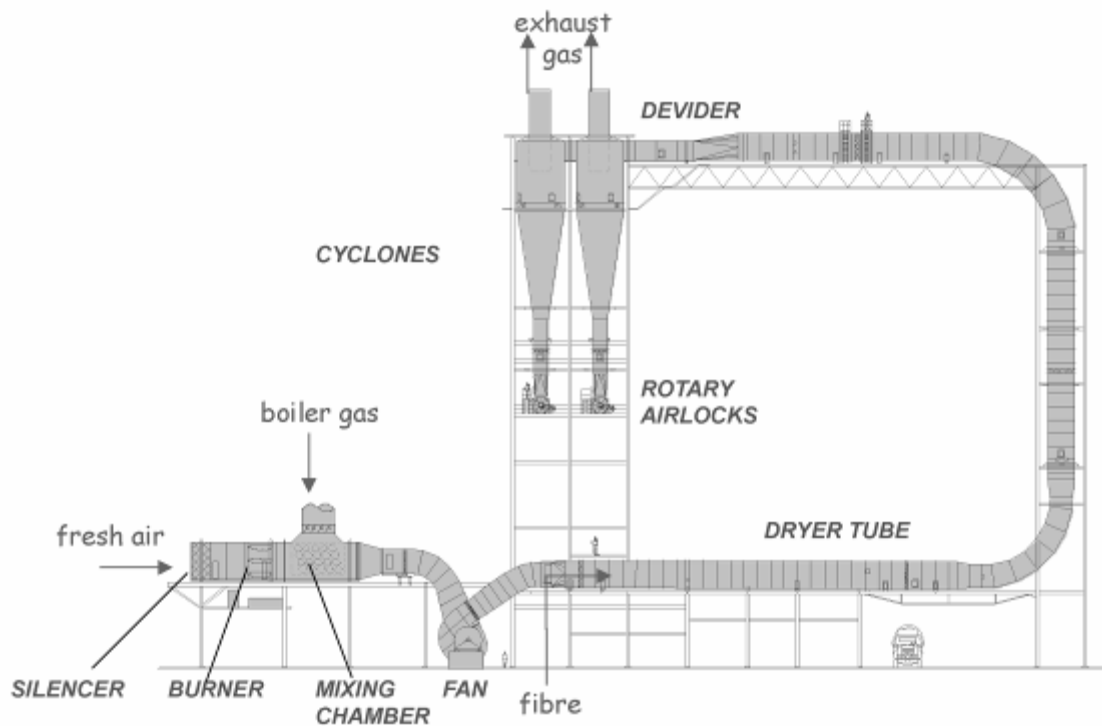


Abbildung 6.22

Energieverbrauch je kg Wasserverdunstung bei der Spantrocknung in Abhängigkeit von der Anfangs- und der Endfeuchte (May in Gfeller (2000))



a



b

Abbildung 6.23

Stromtrockner für MDF (Fa. Büttner). **a** Prinzipskizze, **b** Ansicht

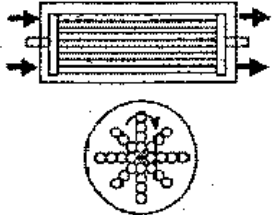
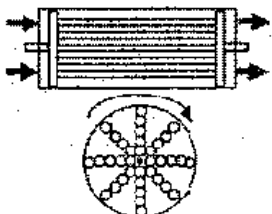
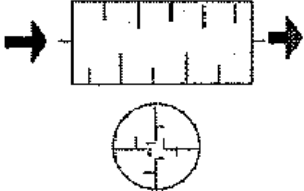
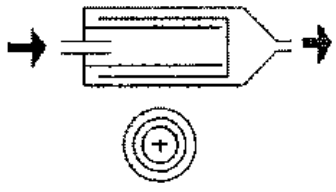
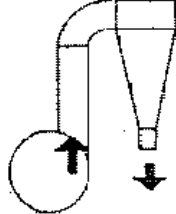
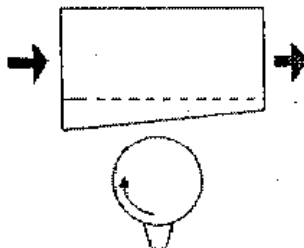
Trocknertyp	Schema	Temp.-bereich	Verweilzeit	Verdampfungsleistung
Rohrbündel-trockner		bis 200 °C	bis 30 min	1-9 t/h
Röhrentrommel-trockner		bis 160 °C	k.A.	10-18 t/h
Einwegtrommel-trockner		bis 400 °C	20-30 min	bis 40 t/h
Dreiwegtrommel-trockner		bis 400 °C	5-7 min	bis 25 t/h
Stromtrockner		bis 500 °C	ca. 20 s	2-14 t/h
Düsenrohr-trockner		ca. 500 °C	0,5-3 min	bis 10 t/h

Abbildung 6.24
Übersicht zu Trocknertypen (WKI, Braunschweig)

Sortieren der Späne

Die nachfolgende Sichtung dient der Entfernung von Grob- und Feinanteilen, welche die Plattenqualität oder den Leimanteil (Feingut) beeinflussen. Abbildung 6.25 zeigt Grenzen für Grob- und Feingut nach Jensen (zitiert in Autorenkollektiv 1969).

Das Sortieren erfolgt z. B. durch Sieben (Plan- oder Wurfsiebmaschinen, Sortierung nach der Maschenweite der Siebe) oder Sichten im Luftstrom.

Beim Sichten werden die Späne durch ihre unterschiedliche Schwebegeschwindigkeit im aufsteigenden Luftstrom getrennt. Die Schwebegeschwindigkeit ergibt sich nach Rackwitz (Rackwitz 1967) zu:

$$v_s = 0,135 \cdot \sqrt{\rho \cdot d} \quad (\text{Gl.6.1})$$

v_s	Schwebegeschwindigkeit
ρ	Dichte des Spanes
d	Dicke des Spanes

Abbildung 6.26 zeigt schematisch einige Sichtverfahren.

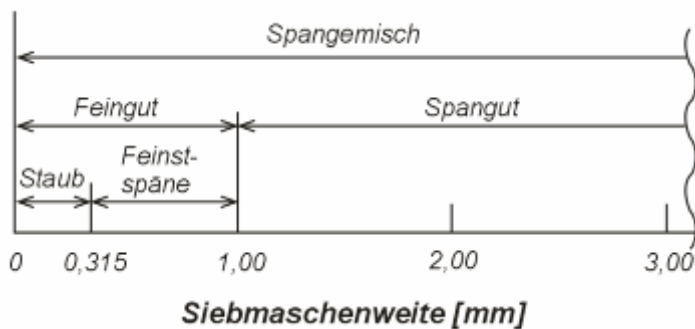


Abbildung 6.25

Staub- und Feingutgrenzen (Autorenkollektiv 1990)

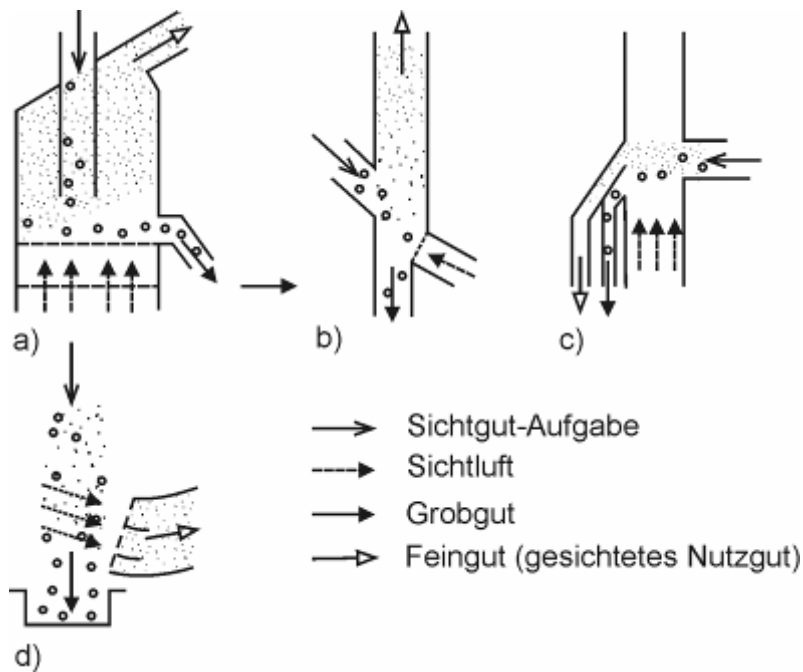


Abbildung 6.26

Sichtverfahren, schematisch (Autorenkollektiv 1990). **a** Schwebesichter, **b** Steigrohrsichter, **c** Querstromsichter, **d** Schwergutsichter

Dabei werden Grobgut oder auch mineralische Verunreinigungen ausgeschieden. Es erfolgt weitgehend eine Sortierung nach der Partikeldicke (siehe Gl. 6.1).

Siebsichtmaschinen dienen dem Ausscheiden grossflächiger Späne. Meist sind Siebe mit unterschiedlicher Maschenweite übereinander angeordnet.

Die Charakterisierung der Späne erfolgt durch Siebfractionierung (Siebkennlinien) oder durch Messung der Spangeometrie (insbesondere der Spandicke).

Bei der Siebfractionierung wird die Summenhäufigkeit des Siebdurchganges über der Maschenweite (0,1- 4 mm Maschenweite, siehe Autorenkollektiv: Lexikon der Holztechnik 1990) aufgetragen.

Beleimen

Die Beleimung umfasst die Prozessstufen:

- Herstellung der Leimflotte = Mischen von Leim, Wasser, Paraffin, Härter und Zusatzstoffen (z. B. Puffermittel, Fungizide)
- Dosierung der Leimflotte
- Dosierung der zu beleimenden Späne
- Leimauftrag und Vermischen von Spänen und Leim

Der Leim muss dabei möglichst gleichmässig auf die relativ grosse spezifische Oberfläche der Späne aufgebracht werden. Es erfolgt nur ein punkt- bzw. stellenweiser Leimauftrag. Dies wird durch Zerteilen (z. B. Sprühen) und Verteilen (Abreiben durch Reibeffekte der Partikeln untereinander) erreicht.

Die Spanoberfläche 100g darrtrockener Späne berechnet sich nach Klauditz (ohne Berücksichtigung der Randflächen) nach Gl. 6.2.

$$A_{sp} = \frac{0,2}{\rho_{dtr} \cdot d} \quad (\text{Gl. 6.2})$$

A_{sp} spezifische Oberfläche von 100g dtr. Holz in $\text{m}^2/100\text{g}$
 d Spandicke in mm
 ρ_{dtr} Darrdichte in g/cm^3

Folgende Leimauftragungsmengen gelten als Richtlinien (Tabelle 6.5a; Gfeller 2000).

Bei gleicher Festharzdosierung (Festharz bezogen auf die Masse darrtrockene Späne) sinkt mit abnehmender Spangrösse die Menge des aufgetragen Klebstoffes je m^2 Spanoberfläche. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die spezifische Oberfläche mit abnehmender Spandicke und Rohdichte des Holzes steigt (Tabelle 6.5b).

Zudem wird Feingut in Beleimmaschinen bezogen auf die Partikelmasse stark überbeleimt. So wurden z.B. bei 8 % Festharzanteil an grossen Partikeln 2- 3 % Festharz, bei kleinen bis über 40 % Festharz bestimmt.

Für die Beleimung sind folgende Systeme bekannt:

- schnell laufende Ringmischer mit Leimzugabe über Hohlwelle (Innenbeleimung, Zentrifugalprinzip)
- schnell laufende Ringmischer mit Leimzugabe von aussen (Aussenbeleimung, Versprühen über Düsen).
- Der Leim wird bei schnell laufenden Mixern durch Mischwerkzeuge gleichmässig verteilt (Wischeffekt).

Die Mischer werden gekühlt, um Verschmutzungen der Wände und Werkzeuge zu vermeiden. Langsam laufende, grossvolumige Mischer für Wafer und OSB (dabei wird der Leim pulverförmig oder flüssig zugegeben, es wird auf eine möglichst geringe Nachzerkleinerung der Partikeln orientiert).

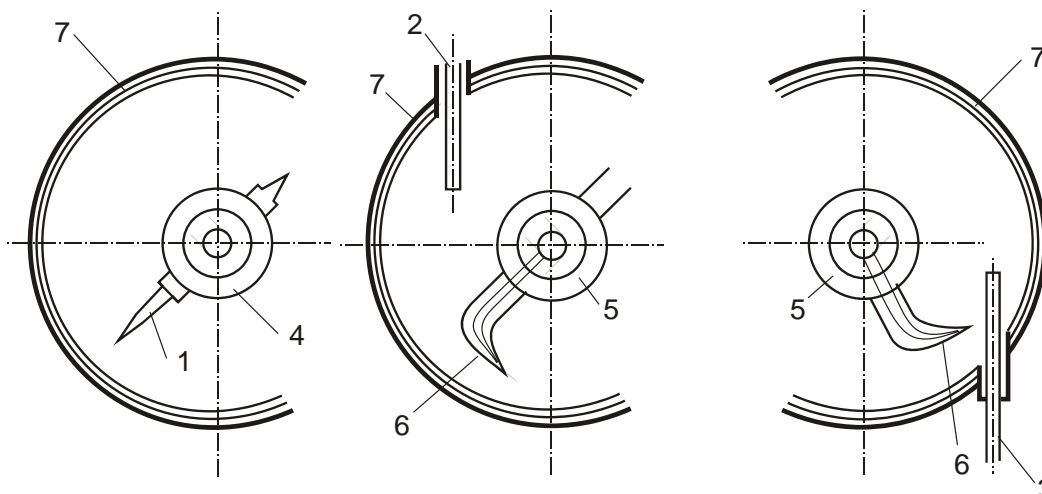


Abbildung 6.27

Beleimmaschine. Prinzipien der Aussen- und Innenbeleimung: 1 Leimzugabe von innen über Hohlwelle durch Leimschleuderröhrchen, 2 von aussen oben, 3 von aussen unten, 4 Mischwerkzeuge (nicht gekühlt), 5 Mischwerkzeuge (gekühlt), 6 gekühlte Mischwerkzeuge, 7 gekühlter Mischzylinder.

Tabelle 6.5

Leimauftragsmengen und Verteilung des Leimes auf Spänen

a Leimauftragsmengen in % Festharz bez. auf dtr. Späne (Gfeller 2000)

Typ	<u>Harnstoffharz</u>		<u>Phenolharz</u>		<u>Isocyanat</u>	
	De	Mi	De	Mi	De	Mi
V20	10-12	6-8	9-10	6-7	3-4	2-3,5
V100	-	-	9-12	7-9	6-8	5-7

b Festharzauftragsmasse in g/m² dtr. Späne in Abhängigkeit von Festharzanteil und Spandicke (Autorenkollektiv 1990)

Holzart	Festharzanteil in g/100g dtr. Späne	Festharz in g/m ²		
		bei Spandicke		
		in mm		
		0,2	0,4	0,6
Kiefer	7	3,4	6,9	10,3
	10	4,9	9,8	14,7
Rotbuche	7	4,8	9,5	14,3
	10	6,8	13,6	20,4

Streuung

Nach der Beleimung und Dosierung erfolgt das Streuen. Dabei wird die für die spätere Platte erforderliche Masse an beleimten Partikeln gleichmässig verteilt. Regelgrösse ist die Flächenmasse. Streumaschinen bestehen aus:

- Dosiervorrichtungen
- Verteilvorrichtungen
- Vorrichtungen zum Werfen (Streuen) der Späne
- Streuunterlagen (z. B. Bleche, Stahlbänder, Siebbänder, Textilbänder)

Es werden zwei grundsätzliche Prinzipien der Streuung unterschieden:

- **Wurfsichtstreuung** (z. B. Rollenstreusysteme mit speziell profilierten Walzen, um die Partikeln nach der Grösse zu separieren). Die Partikeln erhalten einen kinetischen Impuls, grössere Partikeln fallen weiter als kleinere (Abbildung 6.28. Bekannte Prinzipien sind z.B. das Walzensieb (SpiRoll von Rauma) oder strukturierte Walzen Face. C (Dieffenbacher). Auch kombinierte Wurf- und Walzensichtung (Classiformer) sind im Einsatz. Der Feinheitsgrad der Separierung wird durch die Anzahl der Wurfwalzen gesteuert.
- **Windsichtstreuung**: es erfolgt eine Separierung der Späne nach der spezifischen Oberfläche; kleine Partikeln werden vom Windstrom weiter transportiert als grosse (Abbildung 6.29).
-

Häufig werden auch kombinierte mechanisch und nach dem Windsichtverfahren arbeitende Systeme eingesetzt.

In der Mittellage werden z. T. nur Auflösewalzen eingesetzt, da hier keine separierende Streuung notwendig ist. Teilweise erfolgt eine zusätzliche Steuerung des Querprofils.

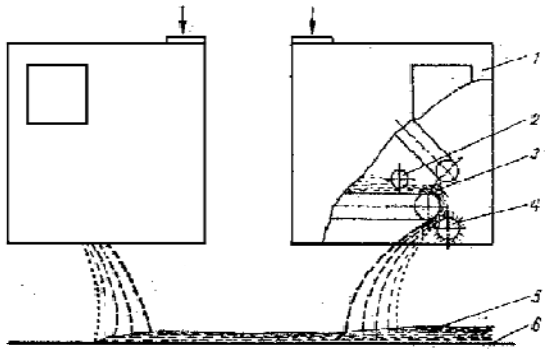


Abbildung 6.28

Prinzip der Wurfstreuung. 1 Streumaschine, 2 Egalisierwalze, 3 Abwurfbürstenwalze, 4 Streuwalze, 5 Spanvlies, 6 Formband

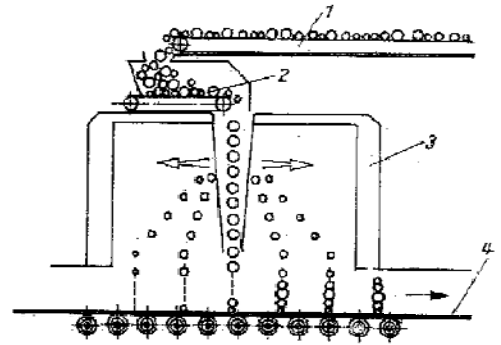


Abbildung 6.29

Windsichtstreuprinzip. 1 Spangemischzuführung, 2 Spandosierung, 3 Windstreu- und 4 Formkammer

Pressen

Beim Pressen ist zwischen Vor- und Hauptpressen (Heisspressen) zu unterscheiden. Vorpressen dienen der Erzielung einer Mindestfestigkeit des Spanvlieses und der Reduzierung der Presszeit beim Heisspressen. Sie können taktweise oder kontinuierlich arbeiten. Der spezifische Pressdruck liegt bei 10 - 35 bar. Durch den Heisspressvorgang wird das Bindemittel ausgehärtet und die Platte in ihrer Struktur fixiert. Durch Variation von Vliesfeuchte, Schliessgeschwindigkeit, der Presstemperatur und der Partikelgeometrie kann das Rohdichteprofil senkrecht zur Plattenebene und damit die Plattenqualität in weiten Bereichen variiert werden. Der Pressprozess gliedert sich in

- **Druckaufbauphase** (Schliesszeit der Presse, durch diese wird das Dichteprofil beeinflusst)
- **Druckhaltungsphase** (in der Plattenmitte muss eine Temperatur von ca. 100°C erreicht werden, um das Wasser zu verdampfen)
- **Druckentlastungsphase**, schrittweise (in Abhängigkeit vom Gegendruck, der durch das verdampfende Wasser entsteht).

Heisspressen werden ausgeführt als

- Mehretagenpressen
- Einetagenpressen und insbesondere als
- kontinuierlich arbeitende Pressen.

Kontinuierlich arbeitende Pressen erzeugen eine endlose Platte. Folgende Systeme sind im Einsatz:

- Konti-Pressen auf der Basis der Einetagenpresse mit kontinuierlichem Durchlauf der Platten
- Kalanderspressen (für dünne Platten, Abbildung 6.30)
- Strangpressen (nach dem Kreibaum-Prinzip)

Mehretagenpressen

Mehretagenpressen (Abbildung 6.31, Abbildung 6.51) werden mit Breiten bis zu 2650 mm gefertigt. Sie haben meist Simultanschliesseinrichtungen. Einige Richtwerte für die spezifische Presszeit bei 180°C Presstemperatur (nach Gfeller 2000):

- UF- und MUF- Leime: 0,18-0,22 min/mm Plattendicke
- PF- Leime: 0,20- 0,22 min/mm Plattendicke
- MDI: 0,18-0,20 min/mm Plattendicke

Diese Werte beziehen sich auf die Plattenrohdicke mit Schleifzugabe. Diese beinhaltet Dickentoleranzen der Platten und die so genannte Presshaut. Sie ist bei Mehretagenpressen immer grösser als bei Einetagen- und kontinuierlich arbeitenden Pressen und beträgt ca. 0,7-2 mm. Als Transportunterlagen dienen Bleche oder Stahlsiebe.

Einetagenpressen

Einetagenpressen werden in der Regel mit obenliegender Hydraulik ausgeführt. Die Breite beträgt bis zu 2650 mm, die Länge bis zu über 60 m. Bei 220 °C gelten nach Gfeller (2000) folgende Richtwerte für die spezifische Presszeit:

- UF- und MUF- Leime: 0,12- 0,14 min/mm Plattendicke
- PF- Leime: 0,15-0,18 min/mm Plattendicke
- MDI: 0,12-0,14 min/mm Plattendicke
-

Die Schleifzugaben sind wesentlich geringer (30-50 %) als bei Mehretagenpressen, da die Dicke über die Ansteuerung der einzelnen Presszylinder gesteuert werden kann.

Kontinuierlich arbeitende Pressen (CPS- Presssystem)

Diese sind heute in neuen Anlagen am häufigsten im Einsatz. Sie ermöglichen sehr geringe Dickentoleranzen. Die Produktivität hängt ab von der Heizzeit, die zur Aushärtung des Leimes erforderlich ist. Um eine hohe Produktivität zu erreichen, benötigt man eine möglichst lange Presse. So beträgt die Pressenlänge je nach Kapazität derzeit 38 bis 45 m (für OSB auch über 60 m). Bei dünnen MDF beträgt die Länge 15-25 m. Das Prinzip beruht darauf, dass das Vlies auf einer Transportunterlage in die Presse eingeführt wird und durch Pressplatten ein Druck auf die sich durch die Presse bewegende Pressunterlage ausgeübt wird. Die Wärme wird von den Pressplatten über die Transportunterlage auf das Vlies übertragen. Die Pressen unterteilen sich in den Hochdruckbereich, den Kalibrierbereich und die Entgasung. Die Kraft wird über einzeln ansteuerbare Presszylinder eingebracht. Das Rohdichteprofil ist mit diesen Anlagen in einem weiten Bereich variabel.

Es gibt verschiedene Systeme, denen das Prinzip endloser Stahlbänder, die auf stationären Pressplatten abgestützt sind, gemeinsam ist. Unterschiedlich gelöst ist die Verminderung der Reibung zwischen Stahlbändern und Pressplatten und der Abbau thermisch bedingter Spannungen in den Pressen. Bekannt sind die Systeme

- **Hydrodyn-Verfahren** (zur Wärmeübertragung und als Gleitmittel dient ein Ölfilm, nur wenig eingesetzt)
- **Kettenausführung** (durchlaufende Stahlbänder und Abstützung über kalibrierte Stahlstangen) (Abbildung 6.34)

Die Fa. Metso setzt das küsters press[®]-System mit Rückkühlung im zweiten Drittel der Presse ein (Abbildung 6.32). Dabei werden Heiz- und Kühlzone getrennt. Kontinuierliche Pressen ermöglichen die geringsten Dickenschwankungen, sie dominieren heute in modernen Anlagen.

Vorteile sind u. a. (Beck und Bluthardt 2001):

- 10- 20 % Kapazitätssteigerung
- geringere Gefahr von Plattenreissern
- einstellbare Plattenfeuchte, verbesserte Weiterverarbeitung
- Reduzierung des Energieverbrauches (bis zu 40 %)
- Reduzierung der Formaldehydemission der Presse
- geringere Brandgefahr

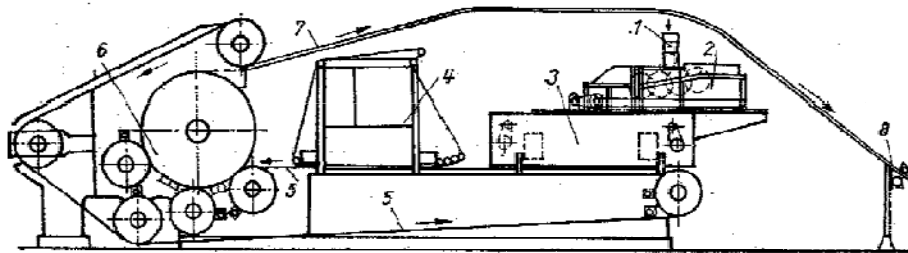


Abbildung 6.30

Kalanderpresse (Fa. Bison). 1 Zufuhr beleimter Partikeln, 2 Dosierbunker, 3 Vliesbildung nach Windsichtstreuverfahren, 4 Hochfrequenzvorwärmung, 5 Stahlband, 6 Walzenpresse, 7 Überführung der fertigen Platte, 8 Besäumsäge

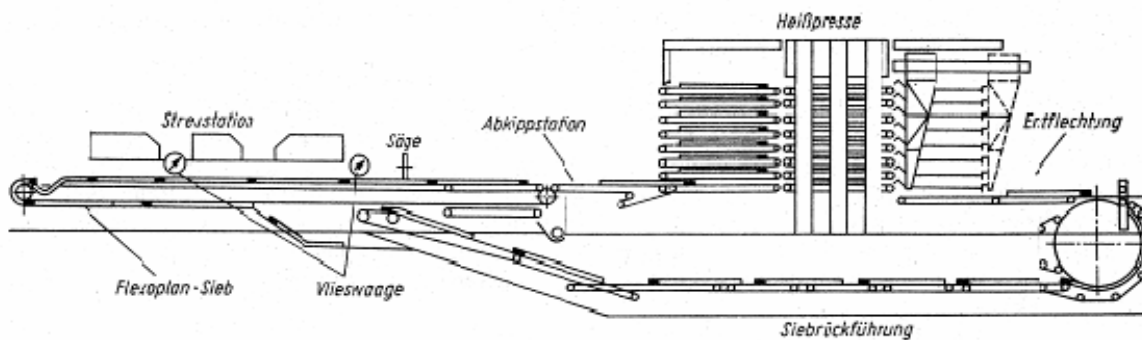


Abbildung 6.31

Etagenpresse (Flexoplan, Schenk)

Pressen von Spezialprodukten (LSL, OSB)

Zum Pressen werden heute Taktpressen und auch kontinuierliche Pressen eingesetzt. Teilweise werden bei grossen Plattendicken (z. B. bei LSL) Dampfzirkulationspressen (Abbildung 6.35) verwendet. Dabei wird über Bohrungen in den Pressplatten Heissdampf eingebracht, um die Aushärtung zu beschleunigen. Zur Beschleunigung des Pressvorganges werden auch Bandvorpressen eingesetzt (Conti-Therm, Fa. Siempelkamp, Abbildung 6.33), die eine wesentliche Beschleunigung der Durchwärmung des Vlieses ermöglichen.

Kühlen und Konditionieren

Die Temperatur der Platten nach dem Pressen beträgt über 100°C, wobei in den Randzonen Temperaturen bis zu 150 °C, in der Plattenmitte um 120°C erreicht werden (Kehr, in Autorenkollektiv

1975). Ausserdem ist ein deutliches Feuchteprofil über der Plattendicke vorhanden (Abbildung 6.36). Bei Lagerung der heissen Platten kommt es bei Harnstoffharzverleimung zur Hydrolyse. Die Platten müssen daher in Kühlsternen gekühlt werden (ca. 70 °C). Bei PF- verleimten Platten wird dagegen auf das Kühlen verzichtet, da durch die Lagerung bei erhöhter Temperatur ein Vergütungseffekt erzielt wird.

Auch das Feuchteprofil sollte vor dem Schleifen ausgeglichen werden, um die Oberflächengüte zu verbessern und Spannungen abzubauen. Nach dem Kühlen erfolgt meist eine mehrtägige Konditionierung.

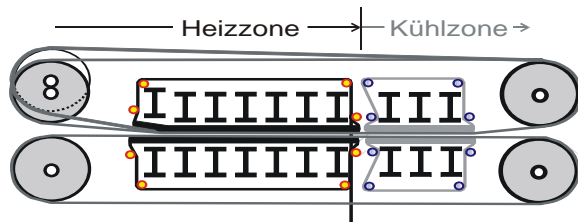


Abbildung 6.32
Küsters press mit Kühlzone (Fa. Metso)

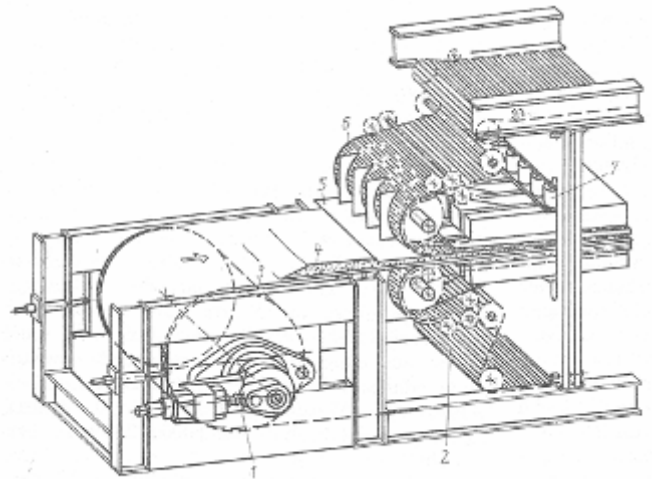


Abbildung 6.34
Kontinuierlich arbeitende Presse (Fa. Siempelkamp, nach Autorenkollektiv 1990), 1 Umlenkwalze, 2 oberer Stabteppich, 3 unteres Heizband, 4 Spanvlies, 5 oberes Heizband 6 oberer Stabteppich, 7 Presshydraulik über der oberen Heizplatte

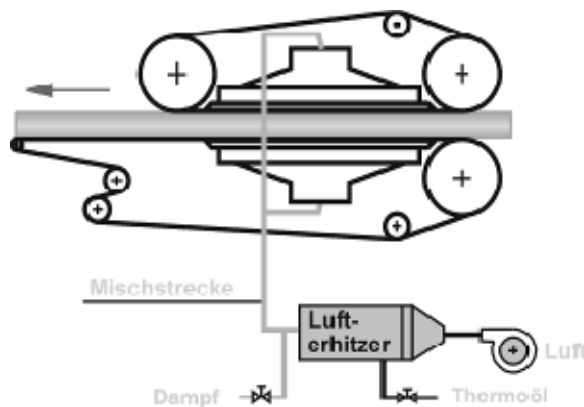


Abbildung 6.33
Conti-Therm (Vliesvorwärmung),
Fa. Siempelkamp.

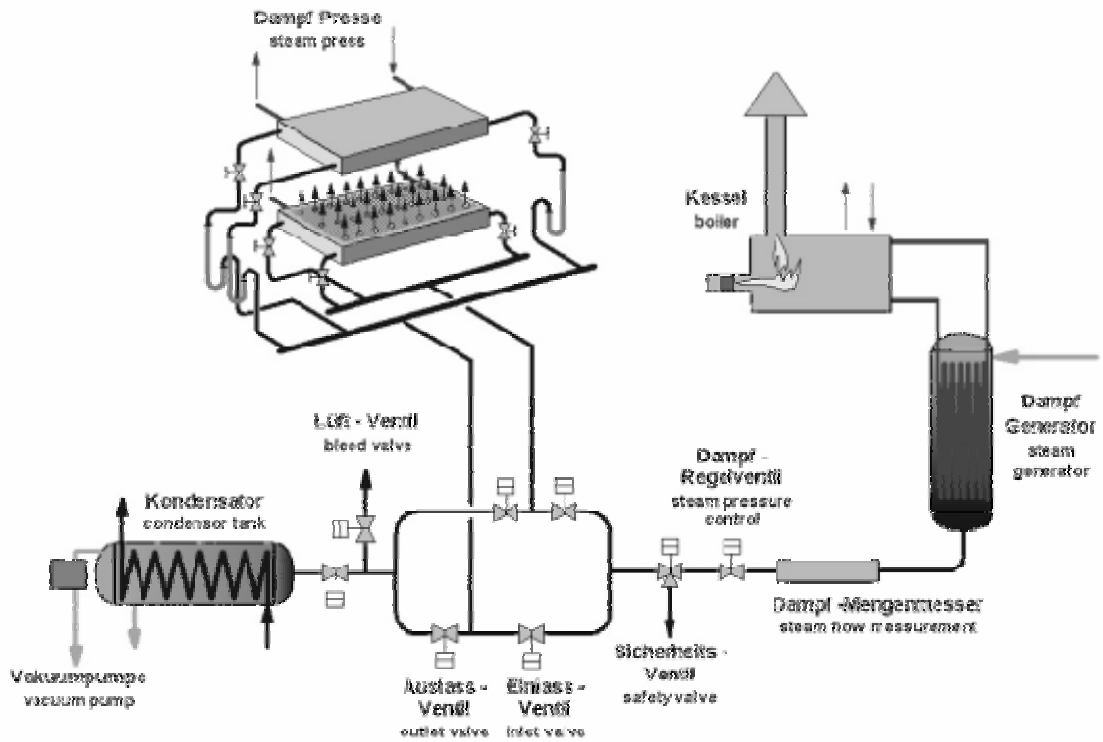


Abbildung 6.35
Funktionsprinzip der Dampf injektionspresse (Fa. Siempelkamp)

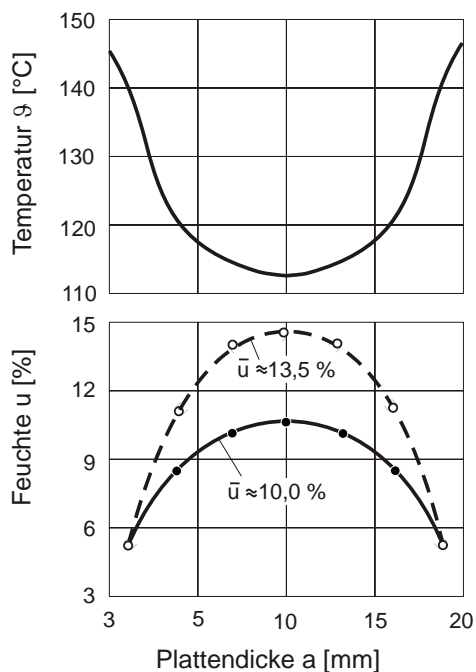


Abbildung 6.36
Feuchte- und Temperaturprofil einer Spanplatte nach dem Pressen (Kehr in Autorenkollektiv 1975), Heizplattentemperatur 155 $^{\circ}\text{C}$, Presszeit 7 min, Rohdichte der Platten 600-650 kg/m^3 .

Besäumen, Schleifen

Die Platten werden anschliessend besäumt und auf die endgültige Dicke geschliffen. Dabei wird die Presshaut entfernt und eine Dickenkalibrierung (Ausgleich von Dickenschwankungen) vorgenommen.

6.2.3.2 Fertigungsablauf

In den Abbildung 6.37 und 6.40 ist der Fertigungsablauf von Spanplatten nach dem Flach- und Strangpressverfahren schematisch dargestellt.

Die kostenoptimale Fertigungskapazität einer Spanplattenanlage liegt heute bei ca. 1000 - 2000 m³ Tagesleistung.

Folgende Material- und Energieverbräuche können als Richtwerte für Spanplatten und MDF gelten:

Tabelle 6.6

Material- und Energieverbrauch für Spanplatten und MDF (Richtwerte)

Kostenquelle	Spanplatte	MDF
Energieverbrauch	110 kWh/m ³	300- 400 kWh/m ³
Leim (Festharz)	50- 60 kg/m ³	70 kg/m ³
Holz	1,8- 1,9 m ³ /m ³	2 m ³ /m ³

6.2.3.3 spezielle Holzspanwerkstoffe

Dazu zählen:

- Spanformteile
- Anorganisch gebundene Holzwerkstoffe, wobei als Bindemittel Gips oder Zement eingesetzt werden
- Waferboard
- Oriented Strand Board (OSB)
- Laminated Strand Lumber (LSL)
- Scrimber

Die Grundoperationen für die Herstellung dieser Holzwerkstoffe sind denen der klassischen Spanplatten ähnlich.

Spanformteile

Spanformteile (zwei- oder dreidimensional) sind meist oberflächenbeschichtet, sie werden im Gegensatz zu Spanplatten nach dem Pressen in ihrer Gestalt nicht verändert.

Der Festharzanteil liegt bei 15-30 %, eine Steigfähigkeit des Span - Leimgemisches wie bei Kunstharzpressmassen ist daher nicht gegeben. Die Dichte liegt bei 700-900 kg/m³. Die Herstellung ist im Vergleich zur Spanplatte weniger automatisiert.

Anorganisch gebundene Holzwerkstoffe

Dazu zählen z. B. zement- und gipsgebundene Holzwerkstoffe. Es werden span- oder faserförmige (auch Holzwolle) Partikel eingesetzt. Der Anteil an Holz beträgt 30- 70 Masseprozent, der Anteil an mineralischen Bindemitteln 20- 60 %.

Die Späne werden mit den Bindemitteln gemischt, gestreut und später in Paketen bei erhöhter Temperatur (60- 70 °C) ausgehärtet. Gipsgebundene Platten gelten als feuer-, zementgebundene Platten als feuer- und wasserfest.

Waferboard / Scrimber

Bei der Herstellung von Waferboards werden flächige Partikel meist auf Scheibenzerspanern gefertigt. Bei Scrimber werden durch Quetschen von Rundholz langfaserige Partikel erzeugt und anschliessend wieder zu Profilen verklebt.

OSB / LSL

Als Ausgangsmaterial dient entrindetes Rundholz. Zur Zerspanung werden Trommel-, Scheiben- (Abbildung 6.40) oder Messerringzerspaner eingesetzt. Auch Systeme auf Basis der Verarbeitung von Altholz (Fa. Meier) auf Messerringbasis sind im Angebot. Entstehendes Feingut wird ausgesondert. Es kommt Holz mit einer Dichte von 400- 700 kg/m³ zum Einsatz. Die Holzfeuchte muss über 60% liegen, um den Feingutanteil zu reduzieren. Das Feingut wird ausgesiebt.

Die Trocknung erfolgt spanschonend in Trommeltrocknern. Die Beileimung erfolgt in langsam laufenden Mischern, wobei häufig auch Pulverleim zugegeben wird.

Die Spanorientierung beim Streuen erfolgt in Längsrichtung durch Schlitzsiebe oder Scheibenstreköpfe (Abbildung 6.41), die Querorientierung durch Scheibensegmente.

Zum Pressen werden heute auch kontinuierliche Pressen, bei grossen Dicken Dampf injektionspressen (Abbildung 6.36) und teilweise spezielle Vorpressen (Abbildung 6.33) verwendet (vgl. Abschnitt Pressen).

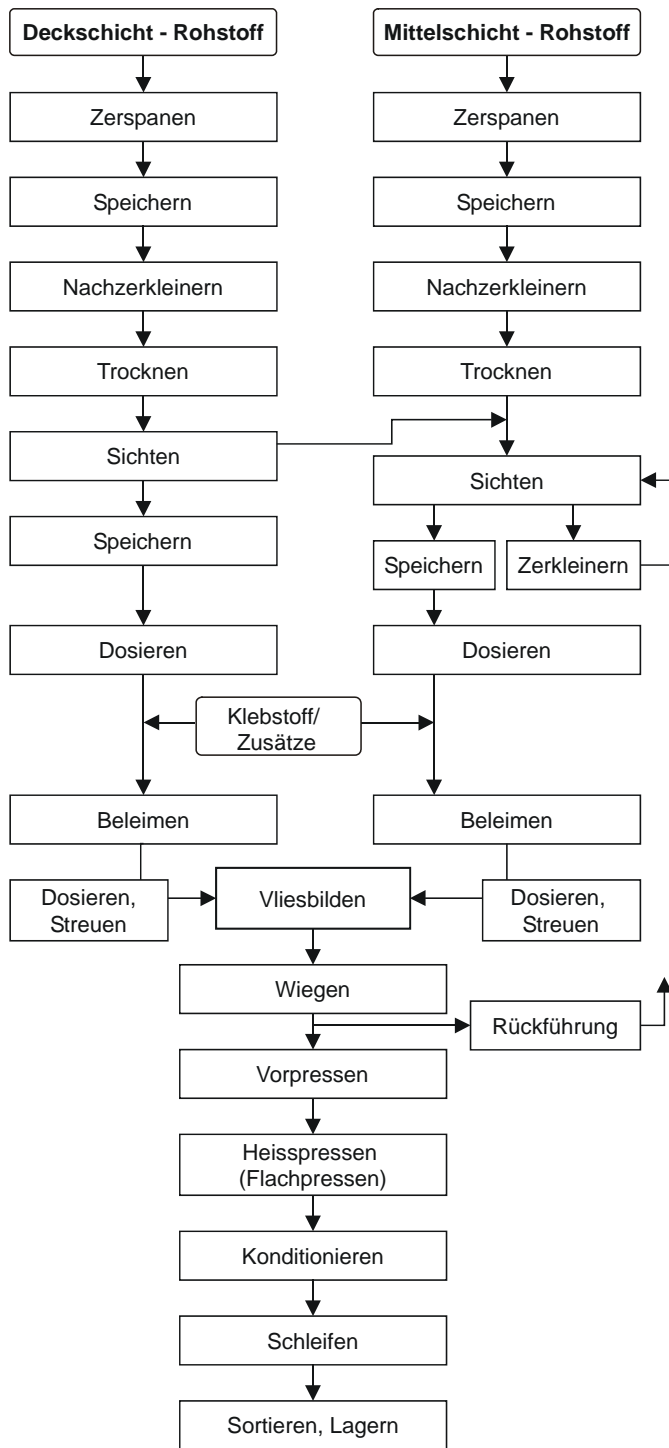


Abbildung 6.37

Herstellung von Spanplatten. Fertigungsablauf für Spanplatten nach dem Flachpressverfahren.

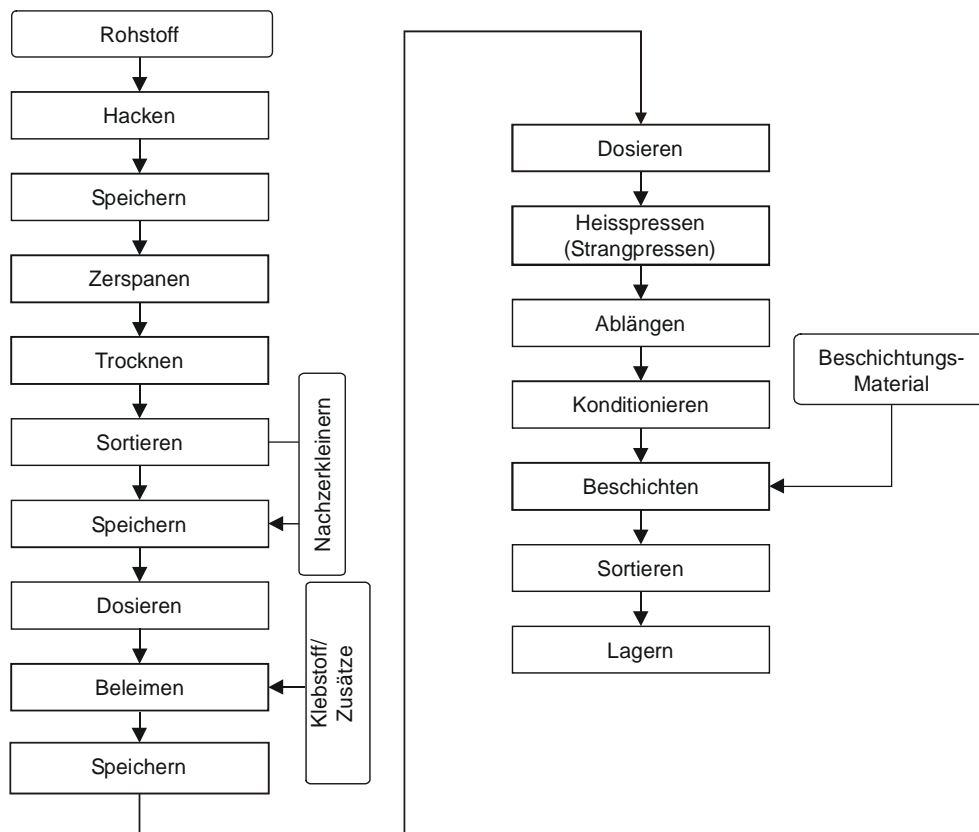


Abbildung 6.38
Fertigungsablauf für Spanplatten nach dem Strangpressverfahren.

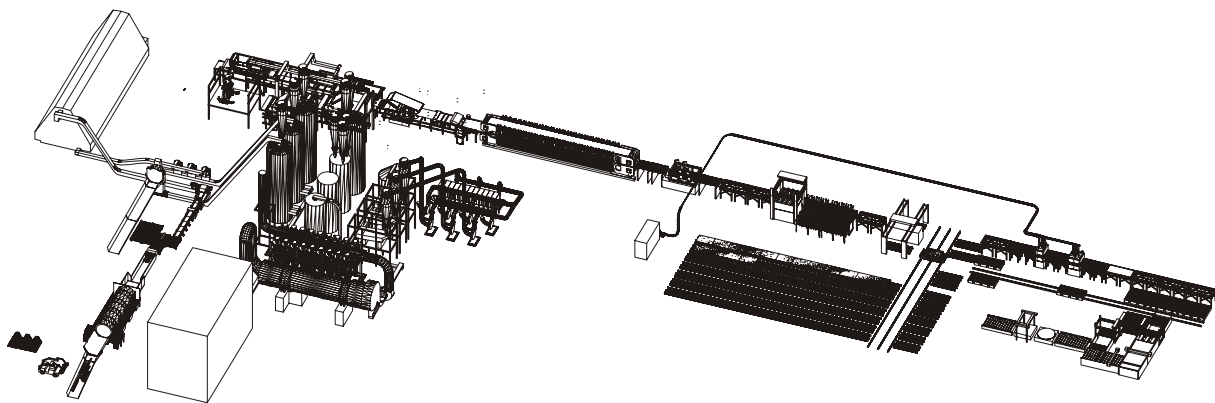


Abbildung 6.39
3D-Darstellung einer Spanplattenanlage (Fa. Dieffenbacher).

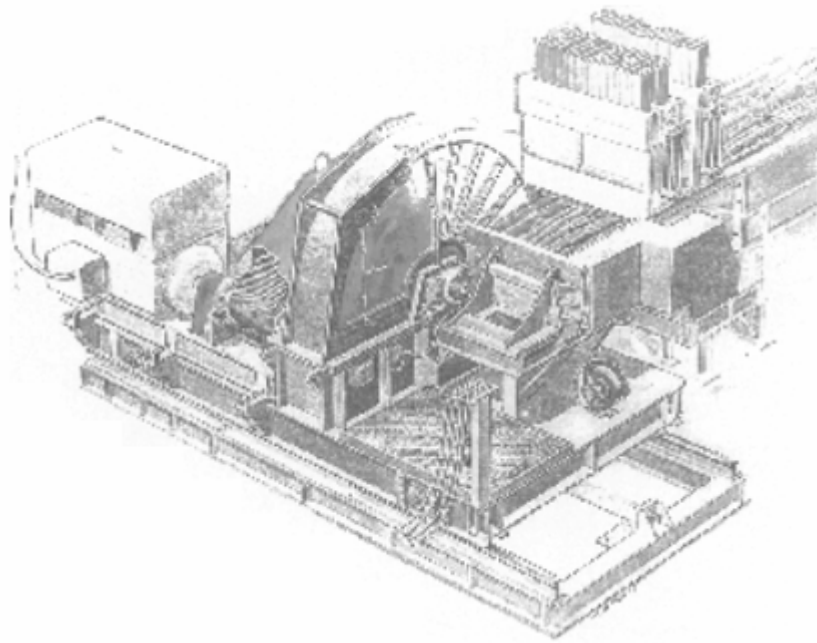


Abbildung 6.40

Disc type longflaker für die Herstellung von Strands für OSB (Scheibenzerspanner), Fa. CAE

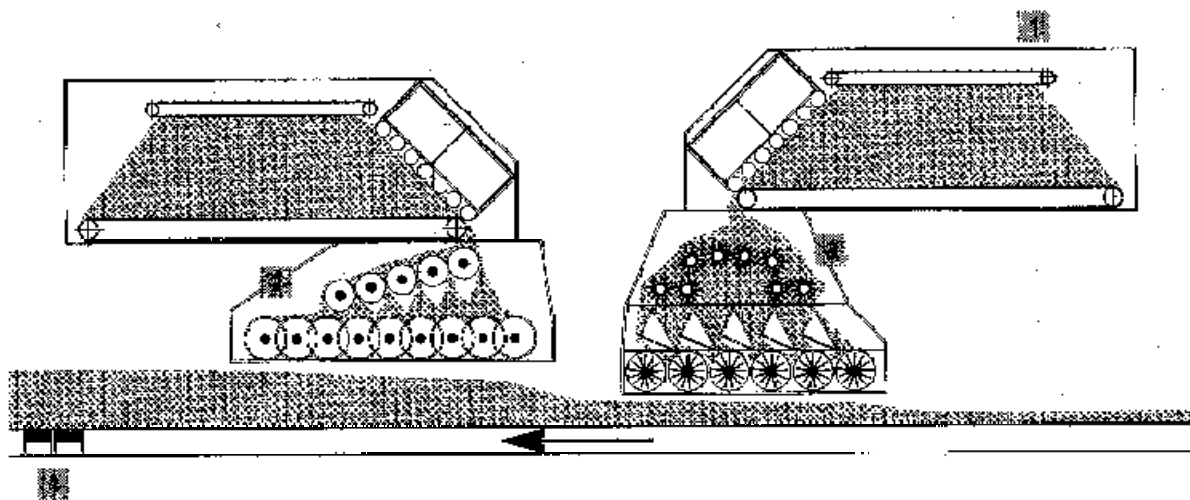


Abbildung 6.41

Spanorientierung bei der OSB-Herstellung (Fa. Dieffenbacher)

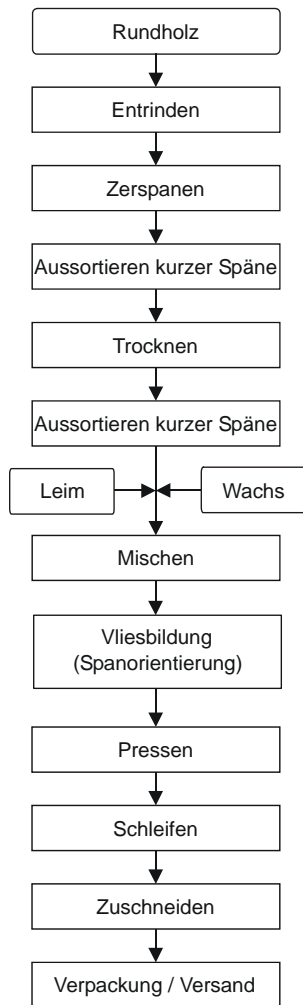


Abbildung 6.42
Vereinfachtes Schema der Herstellung von OSB

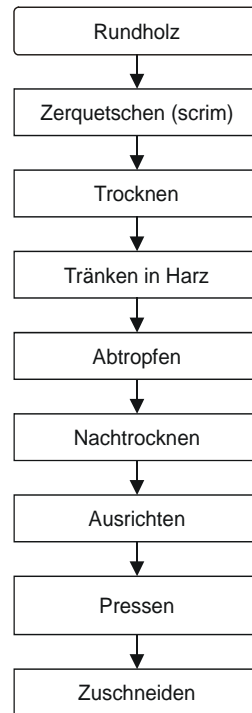


Abbildung 6.43
Vereinfachtes Schema der Herstellung von Scrimber

6.2.4 Werkstoffe auf Faserbasis

6.2.4.1 Technologische Grundoperationen

Allgemeine Grundlagen

Allen Produkten gemeinsam ist, dass das Holz bis hin zu Fasern, Faserbündeln oder Faserbruchstücken aufgeschlossen wird. Abbildung 6.44 zeigt Defibratorfaserstoff und vergleichsweise dazu andere Partikel.

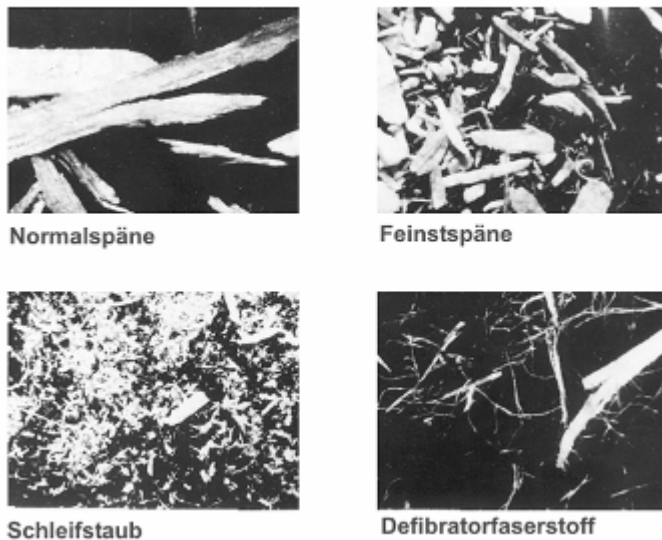


Abbildung 6.44

Faserstoff und Späne verschiedener Abmessungen

Wir unterscheiden zwei grundsätzlich unterschiedliche Verfahren:

- Das **Nassverfahren**: dabei erfolgt die Vliesbildung im wässrigen Medium durch Sedimentation aus einer Fasersuspension; zu dieser Gruppe zählen
 - poröse Faserplatten (Dämmplatten, Rohdichte unter 350 kg/m^3) und
 - harte Faserplatten (Rohdichte $950\text{-}1050 \text{ kg/m}^3$)
- Das **Trockenverfahren**: dabei erfolgt die Vliesbildung mit trockenem (beleimten) Faserstoff (ca. 6- 12 % Holzfeuchte) mechanisch oder pneumatisch
 - MDF (Medium Density Fiberboard, Rohdichte $150\text{-}700\text{-}800 \text{ kg/m}^3$)
 - HDF (High Density Fiberboard, Rohdichte $800 \text{ bis } >900 \text{ kg/m}^3$)
 -

Die Dichte der MDF variiert heute in einem weiten Bereich. Es sind für Spezialzwecke Rohdichten von ca. 150 kg/m^3 (Dämmplatten) und ca. $350\text{-}380 \text{ kg/m}^3$ (Dach- oder Wandplatten) im Einsatz bzw. in Entwicklung. In Südamerika werden aus Radiata Pine Platten für die Möbelindustrie in den folgenden Dichtestufen gefertigt:

- super leicht 480 kg/m^3
- leicht 600 kg/m^3
- Standard 725 kg/m^3

Rohstoffe

Holz

Als Rohstoff für Faserplatten können Holz und holzhaltige Materialien (Einhrespflanzen) eingesetzt werden. Als Ausgangsmaterial dienen meist Hackschnitzel aus entrindetem Holz. Diese werden durch Schneid- und Mahlprozesse nach meist hydrothermischer Vorbehandlung hergestellt. Die Streudichte der Fasern beträgt je nach Aufschlussgrad zwischen 15-25- 30 kg/m³.

Für die Faserstoffausbeute entscheidend ist der Anteil an Festigkeitgeweben: Librifasern der Laubhölzer, Spätholztracheiden der Nadelhölzer (Lampert 1966). Bei Einhrespflanzen ist der Faseranteil deutlich geringer als bei Holz. Aus Nadelhölzern werden längere Fasern als Laubhölzer erzeugt. Jaeger (in Lampert 1966) gibt folgende Werte für die Faserlänge an:

- **Nadelholz:** Fichte: 3,5 - 5 mm; Kiefer: 3,5 - 6 mm; Tanne: 3,5 - 6 mm
- **Laubholz:** Aspe: 1 - 1,25 mm; Pappel: 1,5 mm; Birke: 1,2 - 1,5 mm; Buche 1,0 - 1,2 mm

Der Schlankheitsgrad der Fasern (Verhältnis Länge / Dicke) liegt bei Nadelhölzern etwa bei 100, teilweise auch deutlich höher. Bei Laubholz liegen die Werte darunter, z. B. bei Buche bei 38-60. Die Faserdicke ist für die Kompressibilität (Zusammendrückung bei Beschichtung, z. B. bei Laminatböden) von Bedeutung (Deppe and Ernst 1996).

Die Faserlängen variieren mit der Baumhöhe und dem Baumalter. So gibt Trendelenburg (in Lampert 1966) für Buche nach 5 Jahren Faserlängen von 580 µm, nach 45 Jahren von 1250 µm an. Mit steigender Baumhöhe nimmt z. B. bei Kiefer die Faserlänge ab. Mit zunehmendem Alter steigt sie an bis zu einem Maximum (das etwa bei 50-80 Jahren erreicht wird), danach fällt sie. Lampert gibt z.B. im 1. Jahrring für Kiefer Faserlängen von 0,9 - 1 mm, im 10.- 20. Jahrring von 2,5 - 3,0 mm und im 50. Jahrring von 3,5 - 4,5 mm an. Dies verdeutlicht den Einfluss von relativ jungem (juvenilem) Holz, das insbesondere in der Plantagenwirtschaft (z. B. Radiata Pine) verwendet wird.

Beim Nassverfahren wird eine starke Fibrillierung und damit Verfilzung der Fasern angestrebt, beim Trockenverfahren orientiert man dagegen auf eine geringe Fibrillierung.

Daher sind Laubholzfasern sehr gut für das Trockenverfahren geeignet, wobei heute sowohl Laub- als auch Nadelhölzer beim Trockenverfahren eingesetzt werden. Tabelle 6.10 zeigt die Abmessungen und die Streudichte von Faserstoff (hydrothermisch vorbehandelt) und vergleichsweise von anderen Feinstpartikeln.

Tabelle 6.7 zeigt ausgewählte Verbrauchskennziffern für Spanplatten und Faserplatten.

Tabelle 6.7

Abmessungen von Partikeln (Autorenkollektiv 1990)

Partikelart	Streudichte in kg/m ³	Abmessungen		Schlankheit (l/d)	Streuverhalten
		Länge in mm	Dicke in mm		
Faserstoff (hydrothermische Plastifizierung)	15- 40	4-7	0,04-0,25-	-	nicht rieselfähig
Normalspäne	70- 180	5- 10	0,2- 0,3	20- 50	rieselfähig
Feinstspäne	120- 240	3- 6	0,1- 0,25	15- 40	rieselfähig
Faserspäne (Spanfaserstoff)					
geringer Zerfaserungsgrad	80- 160	3- 6	0,1- 0,25	15- 40	rieselfähig
starker Zerfaserungsgrad	40- 100	3- 6	0,08- 0,2	20- 40	bedingt rieselfähig
Schleifstaub	160- 200	0,4- 0,6	-	-	rieselfähig

Tabelle 6.8

Ausbeute bei der Herstellung verschiedener Werkstoffe (Autorenkollektiv 1975)

Spanplatten (nach E. Kehr)

Holzart	Fichte	Kiefer	Eiche	Rotbuche
Rohdichte Holz in kg/m ³	440	490	650	680
Rohdichte Platte in kg/m ³	600 - 700	600 - 700	700	700
Holzverbrauch in rm/m ³	2,4 - 2,8	2,1 - 2,4	2,0	1,8

rm- Raummeter (Holzvolumen einschliesslich Hohlräume im Stapel)

Harte Faserplatten (nach E. Kehr)

Verfahren	Nassverfahren	Trockenver- fahren
Holzeinsatz in t atro Holz mit Rinde/t Faserplatten	1,15	1,10
Holzverbrauch in m ³ Holz/t Faserplatten	2,3-2,9	2,1-2,2

Bei *MDF (Trockenverfahren)* wird in der Regel **Harnstoffharz** als Klebstoff und Paraffin als Hydrophobierungsmittel verwendet. Teilweise kommen auch Melamin und Phenolharz oder Isocyanate zum Einsatz. Die Verwendung holzeigener Bindekräfte durch spezielle Zerfaserungsverfahren (Aktivierung der Hemicellulosen durch spezielle Druck-Wärme-Vorbehandlung) und enzymatische Vorbehandlung des Holzes ist in der Anfangsphase (Wagenführ et.al. 1989). Prinzipiell sind auch Tannine verwendbar im industriellen Einsatz.

Ferner werden Härter und Formaldehydfänger eingesetzt.

Bei MDF sind folgende Klebstoffanteile üblich:

- **Harnstoffharz:** 10- 12 % (bei HDF und Spezialplatten z.B. mit geringer Rohdichte teilweise deutlich darüber; bis zu 16 %)
- **Melaminharz:** 10- 12 %
- **PUR/MDI:** 2- 6 %
- **Phenolharz:** 6- 8 %

Bei Harnstoffharz wird dieses zweckmässigerweise mit 2 – 8 % Melaminharz modifiziert.

Als Härter dient meist Ammoniumsulfat (Deppe and Ernst 1996).

Paraffin wird als Flüssigparaffin bei der Zerfaserung oder als Dispersion (bei Harnstoffharzen, Melaminharzen) der Leimflotte zugegeben. Der Paraffinanteil beträgt 0,3 - 2 % (bez. auf darrtrockene Partikel). Der erforderliche Zusatz an Feuerschutzmitteln beträgt 12 - 20 % (bez. auf darrtrockene Fasern; Deppe u. Ernst 1996).

Zerfasern

Die Zerfaserung erfolgt beim Nass- und beim Trockenverfahren nach den gleichen Grundprinzipien.

Als Rohmaterial werden grösstenteils Hackschnitzel verwendet. Diese werden bei der MDF-Herstellung meist entrindest. Danach werden die Hackschnitzel gewaschen. Mit der Zerfaserung (Defibrierung) soll eine schonende Zerlegung des vorzerkleinerten Holzes in einzelne Fasern und Faserbündel erfolgen. Durch die hydrothermische Vorbehandlung wird eine Erweichung des Lignins in der Mittellamelle vorgenommen. Abb. 6.46 zeigt eine Übersicht zu verschiedenen Zerfaserungsaggregaten (Refinern).

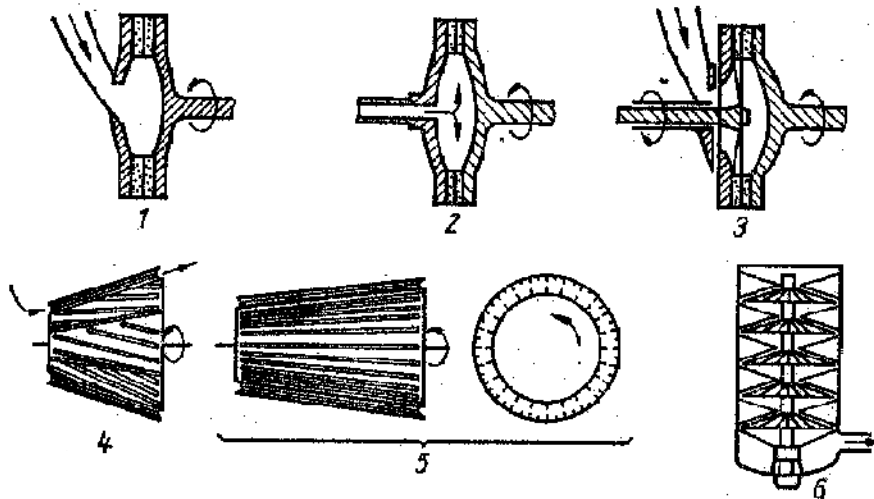


Abbildung 6.45

Refiner-Typen (Autorenkollektiv 1990). 1 Refiner nach Voith, Sprout-Waldron u.a. mit einer beweglichen Scheibe, 2 Southerland-Refiner mit Hohlachse und einer beweglichen Scheibe, 3 Bauer-Refiner mit zwei sich entgegengesetzt drehenden Scheiben, 4 Clafin-Refiner, 5 Hydrorefiner mit Stoffzufuhr am schmalen Ende, 6 Fritz-Refiner mit 10 Mahlscheiben

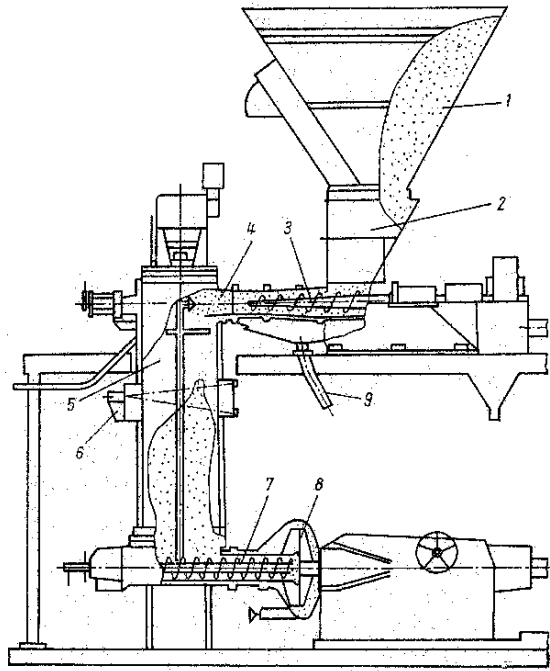


Abbildung 6.46

Defibrator: 1 Hackschnitzelbunker, 2 Hackschnitzelrinne, 3 Pflöfen- und Speiseschnecke, 4 Hackschnitzelpflöfen, 5 Vorwärmer, 6 Füllstandsregelung, 7 Förderschnecke, 8 Mahlscheiben, 9 Abführung des abgepressten Wassers (nach Lampert 1965)

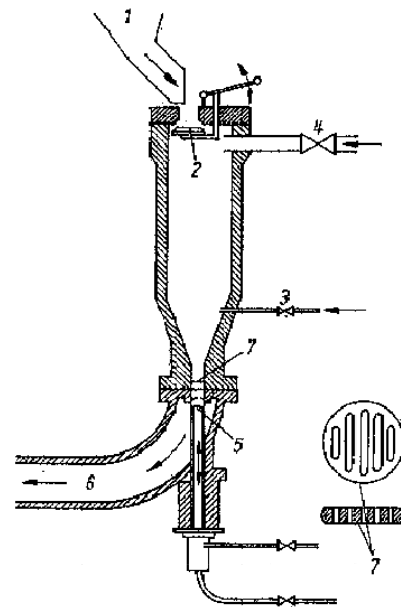


Abbildung 6.47

Masonite-Verfahren (Autorenkollektiv 1990). 1 Hackschnitzelzuführung, 2 Einlassventil, 3 Dampfventil, 4 Hochdruckdampfventil, 5 Bodenventil, 6 Faserstoff-Transportleitung, 7 geschlitze Platte

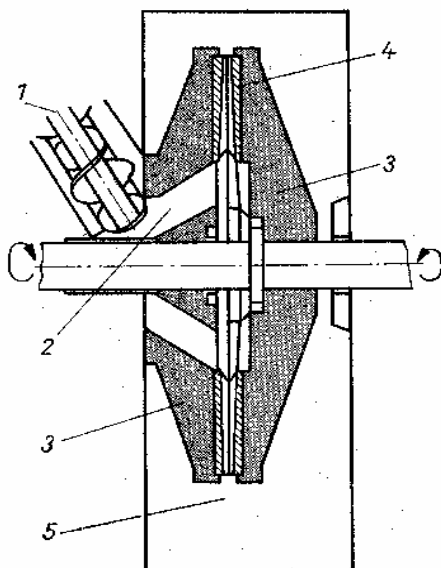


Abbildung 6.48

Bauer-Mühle (2 gegenläufige Mahlzeiten)

a) In der Praxis wird meist der Defibrator eingesetzt (Einscheibenverfahren, Abbildung 6.46). Dabei werden die Hackschnitzel im Vorwärmer plastifiziert (Erweichung der Mittellamelle) und zwischen einer festen und einer rotierenden Mahlscheibe zerkleinert.

Wesentliche Einflussgrößen auf die Faserstoffqualität sind (Autorenkollektiv 1975):

- Zeit und Dampfdruck im Vorwärmer
- Zerfaserungsdruck
- Abstand der Zerfaserungsscheiben (bestimmt Faserdicke)
- Drehzahl und Zustand der Zerfaserungsscheiben
- Rohstoffart und -feuchte

Sonstige Zerfaserungsverfahren

- Masonite Verfahren (Dämpfen und explosionsartige Druckentlastung; Abbildung 6.47)
- Bauer Verfahren (Dämpfen und Zerfasern mit 2 gegenläufig arbeitenden Mahlscheiben; Abbildung 6.48, auch als Doppel- Scheibenverfahren bezeichnet).
- Verfahren des chemischen Holzaufschlusses (Biffar- Verfahren); diese haben eine geringere Bedeutung.

Als Kenngrößen für die Beurteilung des Faserstoffes dienen z.B.

beim Nassverfahren.

- der Mahlgrad (Zerfaserungsgrad) nach Schopper- Riegeler (^oSR); (Messung des Entwässerungsverhaltens)

beim Trockenverfahren (MDF)

- die trockene Siebfraktionierung (Holzfeuchte 5 - 10 %, meist unter Verwendung von Siebhilfen, um ein Agglomerieren der Partikeln zu vermeiden)

Nach der Zerfaserung wird beim Nass- und beim Trockenverfahren eine grundsätzlich unterschiedliche Technologie der Vliesbildung angewendet.

Nassverfahren

Im Nassverfahren werden **harte Faserplatten** und **Faserdämmplatten** gefertigt. Die Produktion harter Faserplatten nach dem Nassverfahren ist rückläufig, gefertigt werden zunehmend Spezialprodukte für den Dachbereich (z. B. diffusionsoffen, diffusionsdicht, mehrlagig verklebte Faserplatten für Fussbodenplatten oder Schuhabsätze). Faserplatten niedriger Dichte gewinnen als Dämmplatten im Rahmen der Verwendung ökologischer Baustoffe wieder zunehmend an Bedeutung.

Aufbereiten des Faserstoffes

In dem der Zerfaserung (ggf. Nachzerfaserung) angeschlossenen System von Büten wird der Faserstoff gemischt, bevorratet und mit Wasser auf eine Stoffkonzentration von 0,8 -1,5- 2,5 % bei 30 – 60 °C aufgeschwemmt. Gleichzeitig werden je nach Technologie Klebstoff, Fällmittel und Zusatzstoffe zugegeben.

Vliesbilden

Die Vliesbildung erfolgt kontinuierlich durch Sedimentation der Fasern aus der Suspension auf ein umlaufendes Siebband. Das Entwässern geschieht durch freien Ablauf des Wassers sowie Absaugen und Abpressen des Wassers bis auf einen Trockengehalt von 35 - 50 %.

Als Formmaschine wird dabei meist das Langsieb (Abbildung 6.49) verwendet. Die Geschwindigkeit der Entwässerung wird entscheidend durch den Mahlgrad des Faserstoffes beeinflusst.

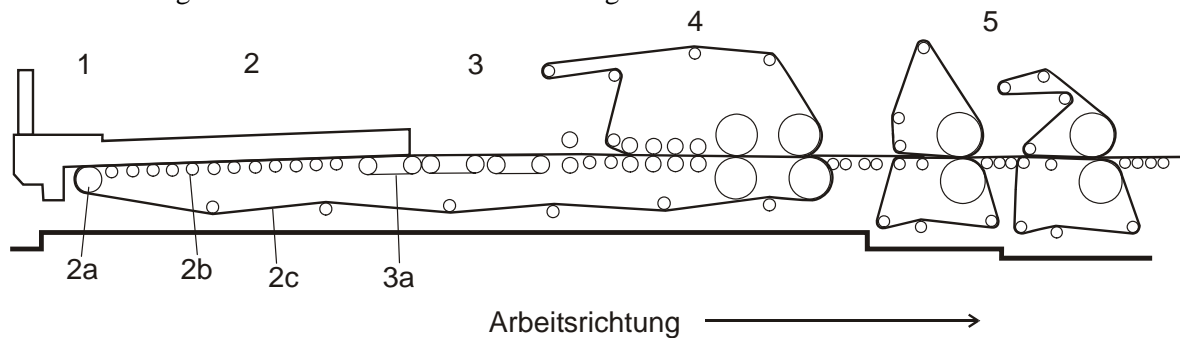


Abbildung 6.49

Langsiebmaschine (Autorenkollektiv 1975). 1 Stoffauflauf, 2 Registerpartie, 2a Brustwalze, 2b Rollenbahn, 2c Langsieb, 3 Saugpartie mit Saugern, 3a mehrere Sauger mit perforiertem Gummituch, 4 Gautschpartie (Vorpressen) 5 Presspartie mit Walzenpressen

Trocknen und Pressen

Bei der Herstellung von porösen Faserplatten (Dämmplatten) werden diese in Mehretagen- oder Einbahntrocknern bei 150 - 170 °C (max. 250 °C) auf 1 - 4 % getrocknet.

Werden Hartfaserplatten gefertigt, so werden die Faservliese in Mehretagenpressen unter Einwirkung von Druck weiter entwässert, verdichtet und durch Aushärtung des Klebstoffes oder Wirkung holzeigener Bindekräfte ausgehärtet. Das Beilagesieb in der Presse ist für die Entwässerung erforderlich. Abbildung 6.50 zeigt ein typisches Pressdiagramm, Abbildung 6.51 eine Mehretagenpresse.

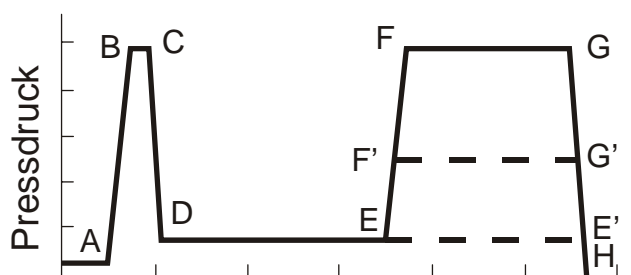


Abbildung 6.50

Pressdiagramm für harte Faserplatten nach dem Nassverfahren. 0A – Schliessen der Presse, AB – 1. Verdichtungsstufe, BC – 1. Hochdruckstufe (A-C Entwässerung), CD – Druckreduzierung, DE – Trocknungsstufe, EF – 2. Verdichtungsstufe, FG – 2. Hochdruckstufe (Härten), GH – Öffnen der Presse.

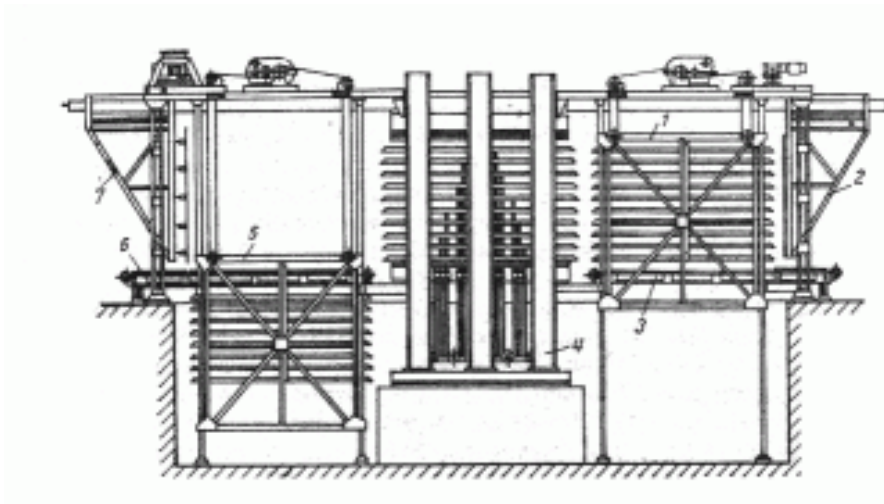


Abbildung 6.51

Mehretagenpresse (Autorenkollektiv 1999). 1 Beschickkorb, 2 Einschubarm, 3 Kettenförderer, 4 Heisspresse, 5 Entleerungskorb, 6 Kettenförderer, 7 Auszugsarm

Vergüten, Konditionieren, Lagern

Die Vergütung kann durch *thermische Nachbehandlung* (bei 160-180°C in Kammern) oder durch *Imprägnieren* erfolgen (extraharte Platten). Extraharte Platten werden durch erhöhten Klebstoffanteil und/oder nachträgliches Imprägnieren mit oxydierbaren Harzen und anschließende thermische Behandlung hergestellt. Auch eine Imprägnierung durch Tauchen oder Aufwalzen ist möglich (Autorenkollektiv 1975).

Konditionieren und Lagern

Auf Grund der geringen Feuchte der Platten nach dem Pressen oder Vergüten, müssen die Platten auf die Auslieferungsfeuchte von 4-7-10% konditioniert werden (Konvektions- oder Kontaktbefeuchtung).

Trockenverfahren (MDF- Technologie)

Die Technologie des Trockenverfahrens ähnelt der des Nassverfahrens. Tabelle 6.6 zeigt einen Vergleich von Material- und Energieverbrauch von Spanplatten und MDF. MDF sind deutlich kostenintensiver.

Beleimung der Fasern

Die Beleimung der Fasern erfolgt meist nach dem Blowline- System (Blasleitungs-Beleimung). Das Prinzip des Verfahrens besteht darin, dass der Leim nach der Zerkleinerung in den Faserstrom eingedüst wird, welcher sich mit hoher Geschwindigkeit (150- 500 m/s) bewegt. Der Dampfdruck im Mahlscheibengehäuse drückt den Faserstoff durch ein Ventil und weiter durch die Blasleitung in den Trockner. Wegen der hohen Turbulenzen in der Leitung kommt es zu einer gleichmässigen Leimverteilung. Durch Verringerung des Rohrquerschnittes an der Eindüsstelle kann die Geschwindigkeit des Faserstoffes weiter erhöht werden. Abbildung 6.52 zeigt das Prinzip. Mit diesem Prinzip wird eine leimfleckfreie Beleimung ermöglicht. Da der Leim auf die 100- 110 °C heissen Fasern auftrifft, kommt es zu einer gewissen Vorhärtung (der pH- Wert der Fasern liegt im sauren Bereich, die Härtung beginnt also beim Auftreffen des Leimes auf die Fasern). Diese kann durch

Zugabe von Puffermitteln (z.B. Alkali) reduziert werden (Deppe u. Ernst 1995). Der Faserstoff durchläuft danach im beleimten Zustand den Trockner. Dadurch ist im Vergleich zu den ebenfalls eingesetzten Ringmischern ein um ca. 10 % höherer Leimanteil notwendig.

Teilweise werden aus Kostengründen (geringerer Leimverbrauch) auch schnell laufende Ringmischer (Abbildung 6.27) analog der Spanbeleimung eingesetzt. Bei diesen kommt es allerdings zur Leimfleckenbildung, so dass sie bisher überwiegend in der Mittelschicht eingesetzt werden. Bis in die 80er Jahre war allerdings der Einsatz von speziellen Ringmischern zur Faserbeleimung üblich.

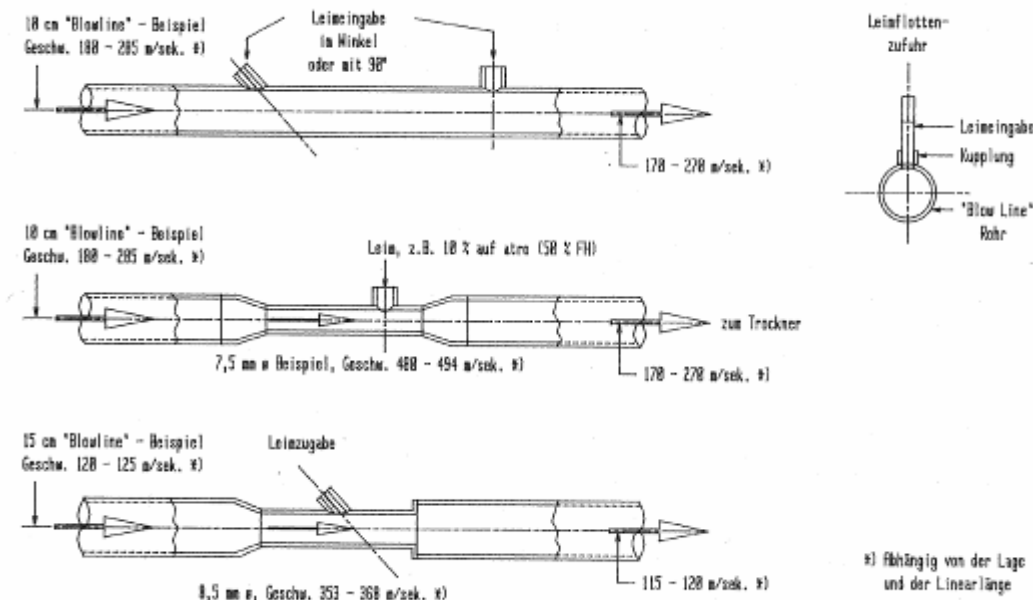


Abbildung 6.52

Blowline-System ((Deppe and Ernst 1996))

Trocknung

Die Trocknung der Fasern erfolgt meist in Stromtrocknern (Abb.6.54). Dies erlaubt den Einsatz relativ niedriger Temperaturen von 160 °C.

Es werden Ein- und Zweistufentrockner eingesetzt. Der Faserstoff wird auf 5- 10 % getrocknet. Beim Einstufentrockner wird der Faserstoff sehr schnell getrocknet, so dass oft eine Übertrocknung der Oberfläche auftritt, während der Kern feucht bleibt. Zur Vermeidung derartiger Effekte dient der Zweistufentrockner. Dabei wird der Faserstoff in der ersten Phase weniger stark heruntergetrocknet.

Vliesbildung

Da Faserstoff nicht rieselfähig ist, müssen andere Streusysteme als bei Spänen eingesetzt werden. Folgende Prinzipien haben sich bewährt:

- Die **pneumatische** Vliesbildung (Abbildung 6.53a) mit nachgeschalteten mechanischen Rakelwalzen zum Vergleichmässigen des überschüssigen Fasermaterials (Prinzip der kombinierten Masse- und Volumendosierung), auch als Felterprinzip bezeichnet (z. B. System Weyerhaeuser, System Meiler, Pendistor- System der Fa. Fläkt); siehe Autorenkollektiv, Lexikon der Holztechnik 1990)
- Die **mechanische** Vliesbildung. Dabei sind Faseragglomerate vor der Vliesbildung aufzulösen (z.B. Fa. Dieffenbacher, Abbildung 6.53b; Fa. Siempelkamp). Die Vergleichmässigung erfolgt analog dem Felterprinzip durch Abrakeln überschüssigen Faserstoffes (Volumendosierung).

Die Technologie in diesen Prozessstufen erfolgt analog der Spanplattenherstellung (vergl. 6.2.3).

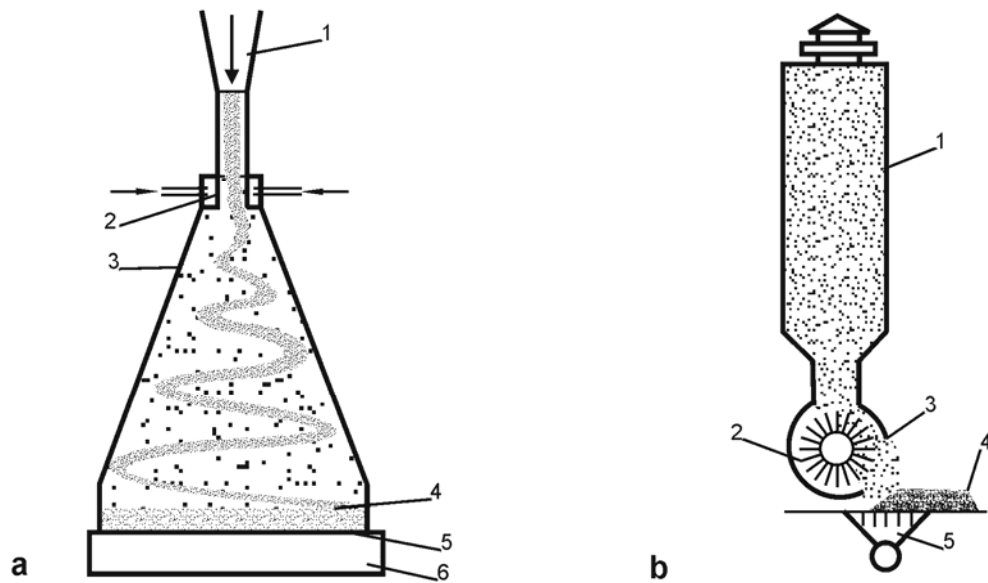


Abbildung 6.53

Pneumatische Vliesbildung (Autorenkollektiv 1990).

a Pendistor (Fa. Fläkt), 1 primärer Luftstrom mit Faserzuführung, 2 Blaskästen mit Düsen für Impuls-Steuer-Luftstrahlen, 3 Faserstoff, 4 Faservlies, 5 Langsieb, 6 Saugkasten.

b Felter nach Weyerhaeuser, 1 Felterschacht zum Verteilen des Faserstoffes, 2 Bürstenwalze, 3 Metallsieb, 4 Faservlies, 5 Absaugung.

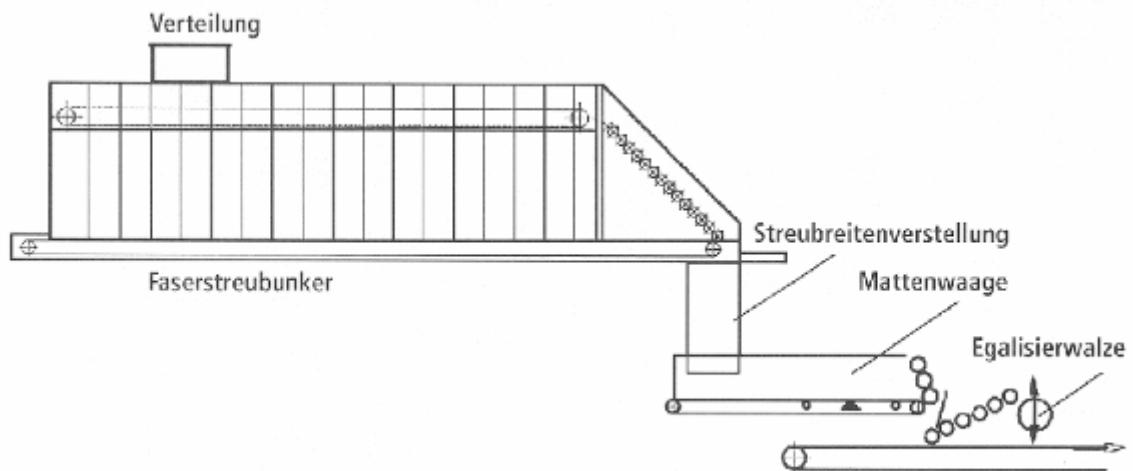


Abbildung 6.54

Mechanische Vliesbildung (Fa. Dieffenbacher)

6.2.4.2 Fertigungsablauf

Die Abbildung 6.55a zeigt den Fertigungsablauf für die Herstellung von Faserplatten nach dem Nassverfahren, Abbildung 6.56b nach dem Trockenverfahren (MDF).

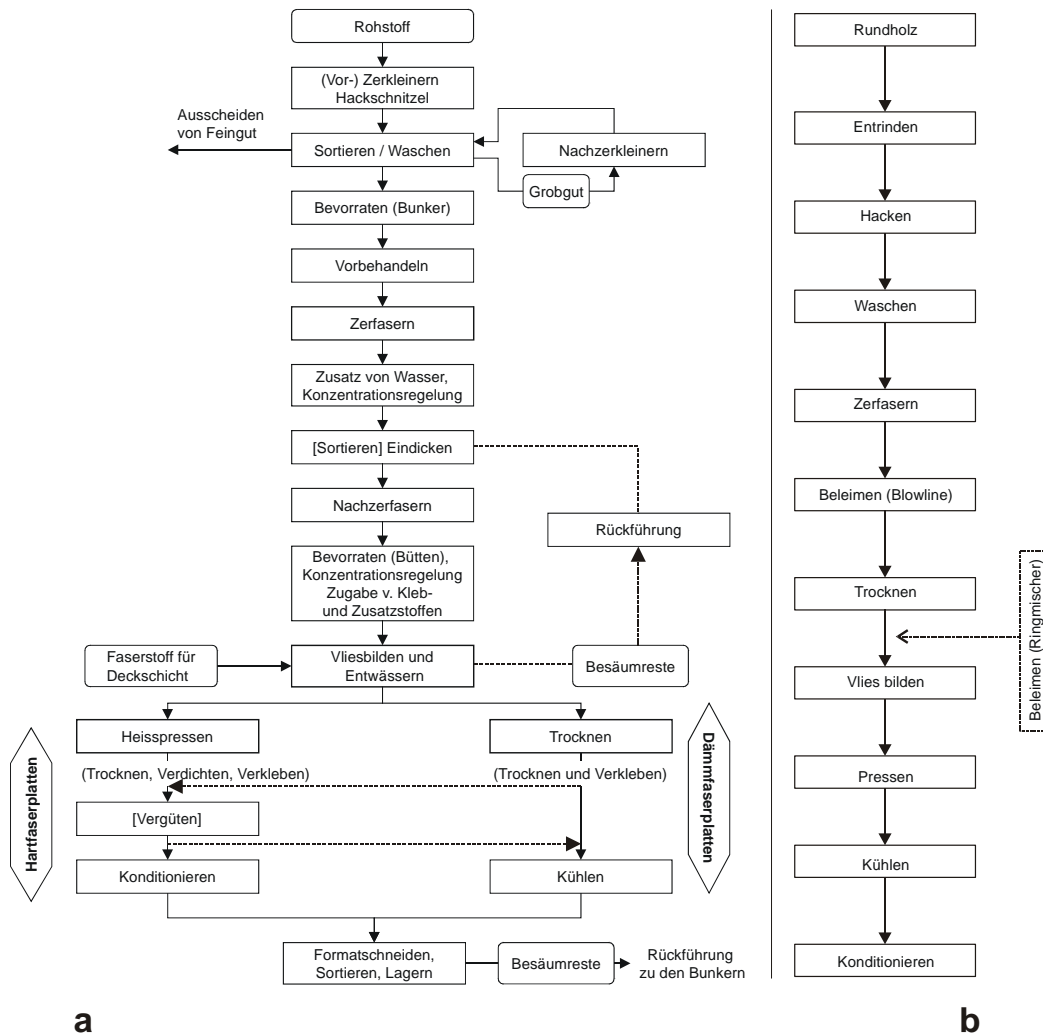


Abbildung 6.55
Fertigungsablauf bei der Herstellung von Faserplatten.
a Nassverfahren, **b** MDF

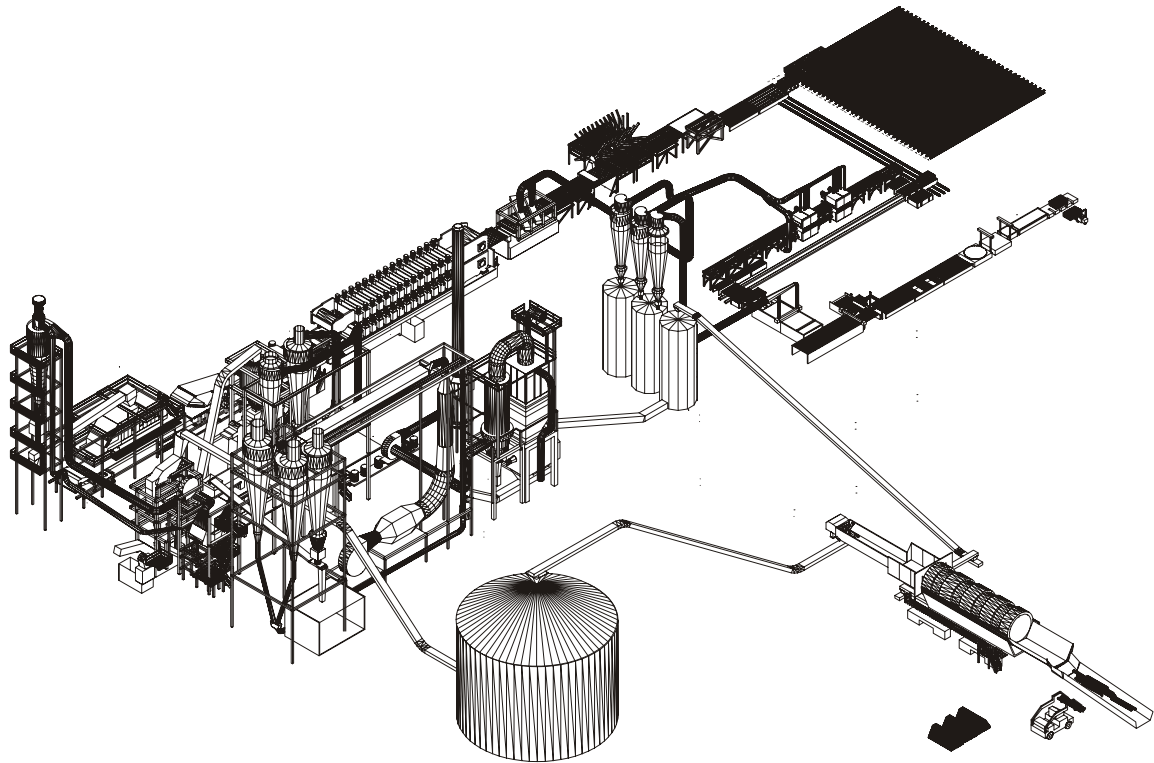


Abbildung 6.56

Layout einer MDF-Anlage (Fa. Dieffenbacher)

6.2.4.3 Sonderverfahren

Auf Basis der Faserstofftechnologie können auch Formteile nach

- der Urformtechnologie
- der Umformtechnologie
- durch Extrusion hergestellt werden.

Bei der Urformtechnologie werden die beleimten Partikeln in ein Gesenk gestreut und unter Einwirkung von Druck und Wärme das Formteil gebildet.

Bei der Umformtechnologie werden ebene Platten nach Vorbehandlung durch Befeuchten bzw. Dämpfen in Presswerkzeugen unter Einwirkung von Druck und Wärme geformt. Auch ein Prägen ist möglich, um die Oberflächenstruktur zu beeinflussen.

Möglich ist auch die Zugabe von 10-25% eines thermoplastischen Klebstoffes (teils in Kombination mit Duroplasten), und eine anschließende Verformung.

6.2.5 Verbundwerkstoffe

6.2.5.1 Technologische Grundoperationen

Verbundwerkstoffe bestehen meistens aus folgenden Materialkombinationen:

- Kombinationen hochfester Decklagen mit einer weniger festen Mittellage (z. B. Span- oder Faserplatten niedriger Dichte, Schaumstoffe, Waben); genutzt wird hier das Sandwichprinzip bei Verbundplatten (Beschichtung mit Glasfasern oder Kohlenfasern, TJI- Träger mit Furnierschichtholz- Zuggurten und OSB- Steg), da bei Biegung die Maximalspannungen in den Decklagen auftreten.
- Kombination mehrerer Schichten unterschiedlicher Materialien, um spezifische Eigenschaften zu erzielen (z. B. Verwendung härterer Decklagen bei Parkett, Verbindung weicher und harter Holzlagen zur Optimierung der Dichte und des Schwingungsverhaltens von Ski- und Snowboardkernen)
- Vorspannung oder Verstärkung von Brettschichtholz im Bauwesen (eingeklebte, vorgespannte Stahlstäbe zur Erhöhung der Stützweite oder der tragenden Breite bei Brettschichtholzkonstruktionen, Aufbringen von Glasfaserlaminaten zur Erhöhung der Tragfähigkeit).

Die Grundoperationen bestehen aus

- der Herstellung der Deck- und Mittellagen
- der Verbindung (Verklebung der Lagen).

Herstellung der Lagen

Soweit klassische Holzwerkstoffe (Spanplatten, Faserplatten, Stabmittellagen bei Tischlerplatten) eingesetzt werden, erfolgt deren Fertigung nach der in Abschnitt 6.2.1 - 6.2.3 beschriebener Technologie.

Als Sonderwerkstoffe für extrem leichte Mittellagen kommen z. B. in Frage:

Papier- oder auch Kunststoffwaben, Schaumstoffe, Balsa oder spezielle Hohlraumkonstruktionen (Abbildung 6.58). Als Decklagen werden auch Glas- oder Kohlefasern, verbunden mit Polyester oder anderen Klebstoffen eingesetzt, wenn ein sehr hoher E- Modul und hohe Festigkeiten erreicht werden sollen.

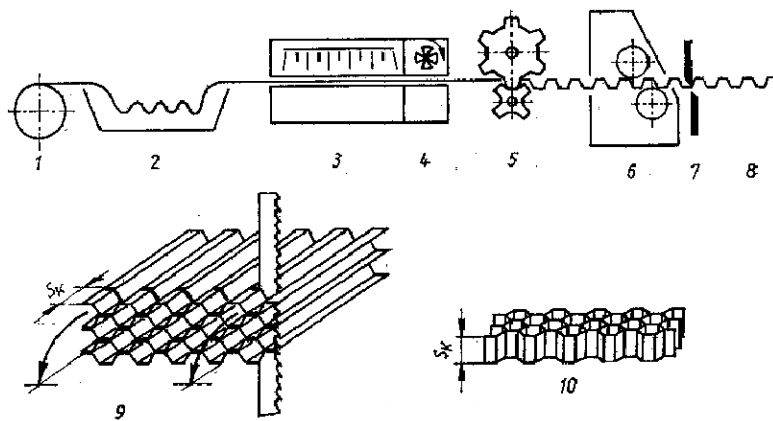


Abbildung 6.57

Fertigungsablauf bei der Herstellung von Waben (Autorenkollektiv 1975).

1 Papierrolle, 2 Imprägnierung, 3 Trocknung, 4 Kühlen, 5 Stirnradwalzen, 6 Beleimung, 7 Schere, 8 vorgeformte Papierbahn, 9 Zusammenlegen und Verleimen der Bahnen zum Block und Auftrennen des Blocks in 10 Waben der gewünschten Dicke

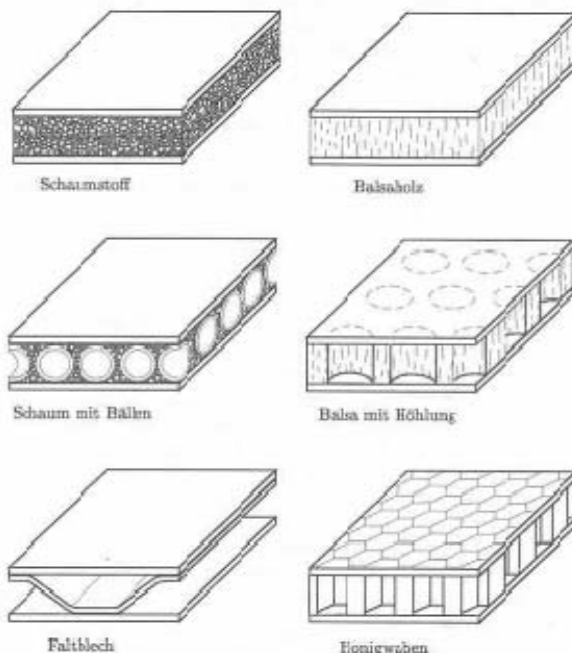


Abbildung 6.58

Ausgewählte Verbundsysteme

Die Wabensysteme müssen hohen Druck, und je nach Belastung auch Schubkräfte übertragen. Waben auf Papierbasis (Wellen- oder Sechseckform) werden aus kunstharz imprägnierten Papieren gefertigt. Dabei werden die Papiere imprägniert, getrocknet, gekühlt und in einer Maschine mit Stirnradwalzen zu halben Waben geformt. Die Parallelfächen werden dann beleimt, zugeschnitten und anschließend zu den gewünschten Mittellagen geformt. Abbildung 6.57 zeigt ein solches Verfahrensschema. Auch Mittellagen aus Balsa sind für Verbundkonstruktionen üblich, da Holz eine z.B. bessere Schwingungsdämpfung aufweist als Kunststoff.

Beim PepCore- System werden thermoplastische Kunststoffe erhitzt und auf das bis zu 20- fache der ursprünglichen Dicke axial verstreckt.

Klebstoffe

Je nach den klimatischen Anforderungen werden Verklebungen der Verleimungsarten V20 oder V100 eingesetzt. Bei der Verstärkung mit Glas- oder Kohlefasern werden meist Polyester oder Epoxydharze verwendet. Vielfach stellt die Kraftübertragung, insbesondere bei Einwirkung von Schubspannungen, ein Problem dar. Dies ist beispielsweise bei Wabenverbindungen von der Klebnahtbreite abhängig. Die Berechnung kann über die Sandwichtheorie erfolgen (Altenbacher, Altenbacher und Rolands 1996).

Dies gilt u. a. auch bei der Herstellung von Doppel-T-Trägern, bei denen sich Gurte und Steg wesentlich in den Eigenschaften unterscheiden.

Bei Verstärkungen mit Glas- oder Kohlefasern wird die Festigkeit des Verbundes entscheidend durch das Verhältnis der Bewehrungsdicke zur Holzdicke und den Eigenschaften der Bewehrung beeinflusst.

6.2.5.2 Fertigungsablauf

Die Fertigung von Verbundelementen erfolgt kontinuierlich oder diskontinuierlich. Abb. 6.62 zeigt den Fertigungsablauf für die Herstellung von Trägern, mit Gurten aus Furnierschichtholz und Stegen aus OSB.

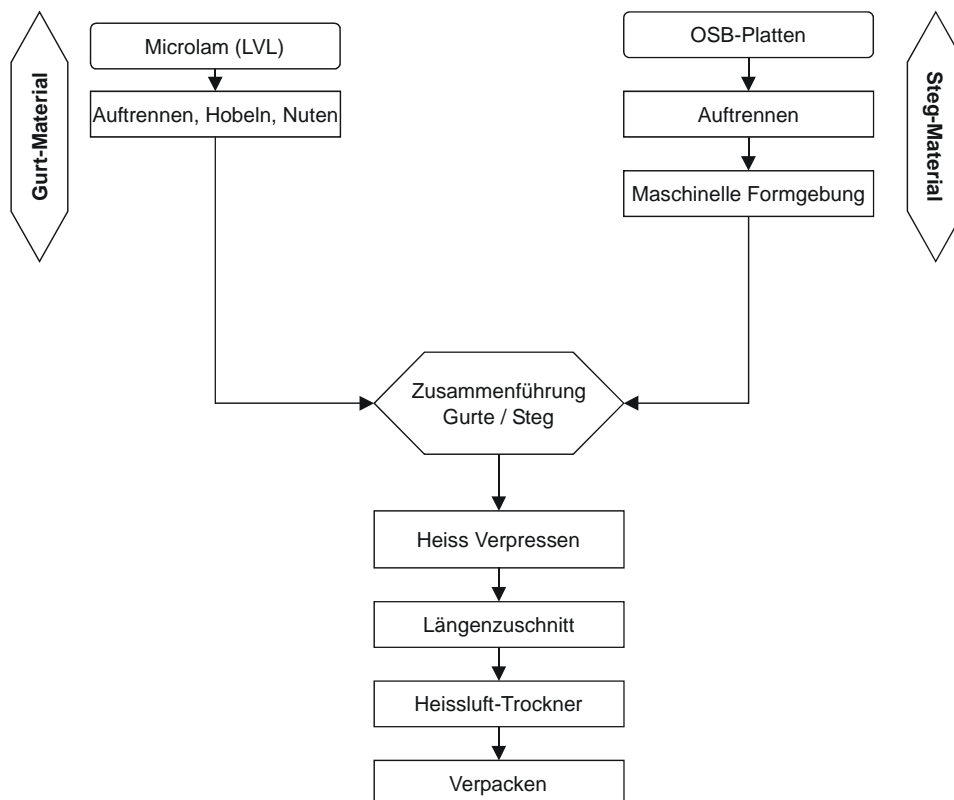


Abbildung 6.59

Herstellung von TJI-Trägern

6.3 Literatur zu Kapitel 6

- Autorenkollektiv (1975). Werkstoffe aus Holz. Fachbuchverlag, Leipzig.
- Autorenkollektiv (1990). Lexikon der Holztechnik. Fachbuchverlag, Leipzig.
- Altenbach, H., Altenbach, J., Rikards, R. (1996). Einführung in die Mechanik der laminat- und Sandwichtragwerke. Stuttgart, Deutscher Verlag der Grundstoffindustrie.
- Beck, P., Bluthardt, G. (2001). Metso Kühlungstechnologie. Firmenschrift, Metso.
- Deppe, H.-J. and K. Ernst (1996). MDF - Mitteldichte Faserplatten. DRW-Verlag, Leinfelden-Echterdingen.
- Deppe, H.-J. and K. Ernst (2000). Taschenbuch der Spanplattentechnik. DRW-Verlag Weinbrenner GmbH & Co., Leinfelden-Echterdingen.
- Gfeller, B. (2000). Vorlesungsskript Holztechnologie. Biel/ Zürich.
- Kollmann, F. (1962). Furniere, Lagenhölzer und Tischlerplatten. Springer Verlag, Berlin.
- Lampert, H (1965). "Die Entwicklung der Faserplattenherstellung, insbesondere unter Gegenüberstellung des Nass- und Trockenverfahrens." Holztechnologie 6 167-175.
- Lampert, H. (1966). Faserplatten. Fachbuchverlag, Berlin.
- Rackwitz, G. (1967). "Die Sichtung der Holzspäne." Holz als Roh und Werkstoff(26): 188-193.
- Roffael, E. (1997). Zur stofflichen Verwertung von Holzwerkstoffen. Vortrag Mobil Oil Holzwerkstoffsymposium, Bonn.
- Roffael, E., B. Dix, et al. (1993). The plant cell wall as a pattern for wood-based materials. Nature-orientated manufacture of particleboards and fibreboards: current status and prospects. Schriften aus der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt. 1993, No. 113, 100 pp.; many ref. Frankfurt am Main; Germany, J.D. Sauerlander's Verlag.
- Rümler, R. (1998). Aufbereitung/ Verwertung von Gebrauchtholz für die Holzwerkstoffindustrie. Mobil Oil Holzwerkstoffsymposium, Stuttgart.
- Sandberg, G. (1963). "Verfahren der Wiedergewinnung von Spanmaterial aus mit Bindemitteln ausgehärteten Abfällen, Sägespänen usw. zur Herstellung von Spanplatten und ähnlichen geleimten Holzkonstruktionen." (DE-S 1201045).
- Soiné, H. G. (1995). Holzwerkstoffe. DRW-Verlag, Stuttgart.
- Wagenführ, A., Pecina, H., Kühne, G. (1989). Enzymatische Hackschnitzelmodifizierung für die Holzwerkstoffherstellung. Holztechnologie, Leipzig. 30 (2) 62-65.

7 Einsatzmöglichkeiten von Holzwerkstoffen

Holzwerkstoffe werden in der Möbelindustrie und in zunehmendem Umfang auch im Bauwesen eingesetzt (Abbildung 7.2, Tabelle 7.2, Tabelle 7.3).

Für beide Bereiche werden Platten mit spezifischen Eigenschaften produziert. Während in der Möbelindustrie Anforderungen an Oberflächenqualität (z. B. Rauigkeit, Welligkeit, Wegschlagvermögen von Klebstoffen, Kaschierfähigkeit), Profilierbarkeit und Lackierbarkeit wichtig sind, kommt es bei den im Bauwesen eingesetzten Platten auf statische Eigenschaften, Klimabeständigkeit und z. T. auch auf das Brandverhalten an (Niemz, Bauer 1991; Niemz, Bauer, Fuchs 1992).

Der überwiegende Anteil der Platten wird bereits beim Hersteller veredelt (oberflächenbeschichtet, zu Bauteilen verarbeitet), um eine hohe Wertschöpfung zu erzielen.

Dabei wird zunehmend versucht, neue Produktnischen in den Bereichen Bau und Möbel zu erschliessen. Die grössten Zuwächse verzeichnen MDF und OSB.

Engineered Wood Products haben, ausgenommen Furnierschichtholz (LVL), in Europa noch eine relativ geringe Bedeutung. Sie werden aber verstärkt im Bauwesen für Spezialzwecke (z. B. Parallam als Verstärkung von Brettschichtholz zur Aufnahme von Druckkräften, LVL für den statischen Einsatz im Bauwesen) eingesetzt. Eine gewisse Bedeutung haben auch folgende Produkte erlangt:

- Speziessperrholz (Kunstharz- Presslagenhölzer für den Formenbau, mit Dichten von 1050-1400 kg/m³; Abbildung 7.6)
- Spanplatten mit reduziertem elektrischen Widerstand
- leichte Spanplatten und MDF
- Spanplatten hoher Dicke, z. B. Homogen 80 (80 mm dick, ehemals Fa. Homoplax, Fideris/Schweiz) für den Hausbau
- Massivholzplatten für tragende Zwecke im Bauwesen (Abbildung 7.2- Abbildung 7.5, Abbildung 7.7)
- Bausysteme aus Holz und Holzwerkstoffen, z.B. Hohlkastensysteme, Steko- System (Abbildung 7.5), Träger aus OSB bzw. OSB-LVL
- Verstärktes Brettschichtholz (z.B. mit Glas- oder Kohlenfasern verstärkte Decklagen, Verstärkung mit Stahl oder Hartholzstäben)
- Hohlprofile auf der Basis von LVL (Abbildung 7.1). Diese ermöglichen eine wesentliche Reduzierung des Materialeinsatzes.

Abbildung 7.7 zeigt eine moderne Konstruktion aus Brettschichtholz.

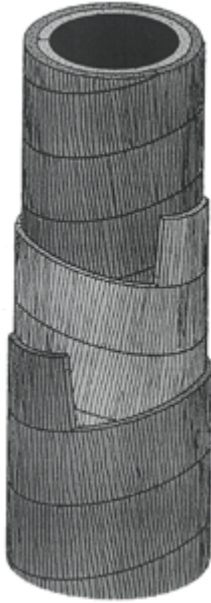


Abbildung 7.1
rohrförmiges LVL (Nach Kawai, Sasaki und Yamauchi 2001)

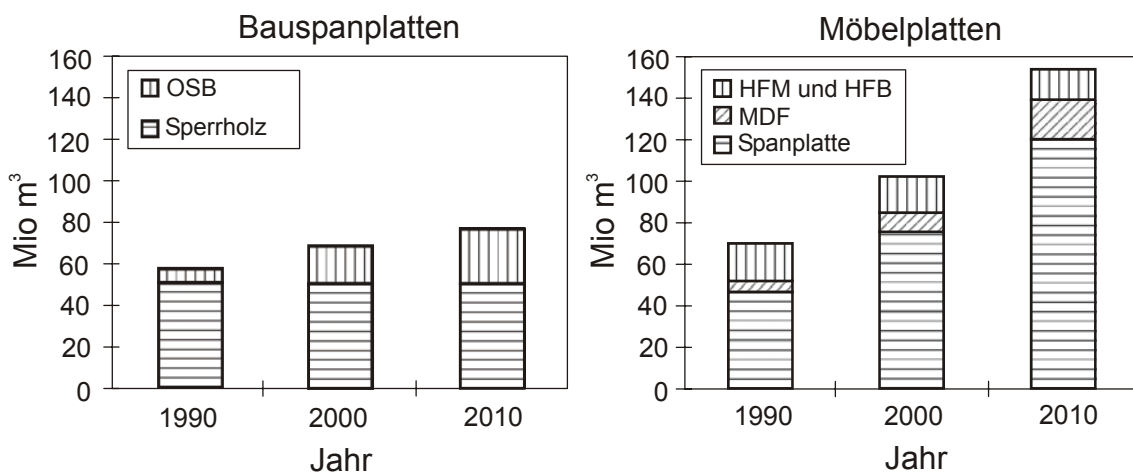


Abbildung 7.2
Produktion von Bau- Möbelplatten in den USA (Deppe, 2000)

Von vielen Firmen werden heute komplette Bausysteme für den Fertighausbau (zunehmend mehrgeschossig) angeboten.

Im Bereich MDF und OSB wird versucht, neue Absatzmärkte zu erschliessen (MDF mit extrem niedriger Dichte als Dämmmaterial, diffusionsoffene und diffusionsdichte Platten).

Für den Zeitraum 1993 bis 2000 ergab sich nach Deppe und Ernst (2000) folgender prognostizierter Zuwachs:

- Sperrholz: -5 %
- Spanplatten: +25 %
- OSB: +110 %
- MDF: +185 %
- Sonstige: -0,6 %

Tabelle 7.1 zeigt eine Übersicht.

Tabelle 7.1

Produktion von Holzwerkstoffen in Europa (in 1000m³)

Werkstoff	Jahr			
	1991	1993	1995	1997
Spanplatte	25.200	26.100	28.400	29.700
davon OSB	-	-	303	690
Sperrholz	2.200	2.400	2.600	2.300
HFH	1.400	1.600	1.700	1.900
MDF	2.000	2.700	3.800	5.500

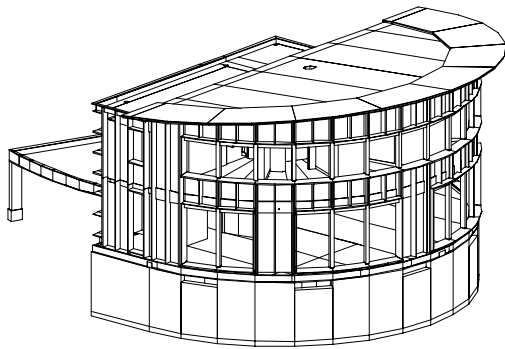


Abbildung 7.3

Haus aus Massivholzplatten (Fa. Pius Schuler AG)

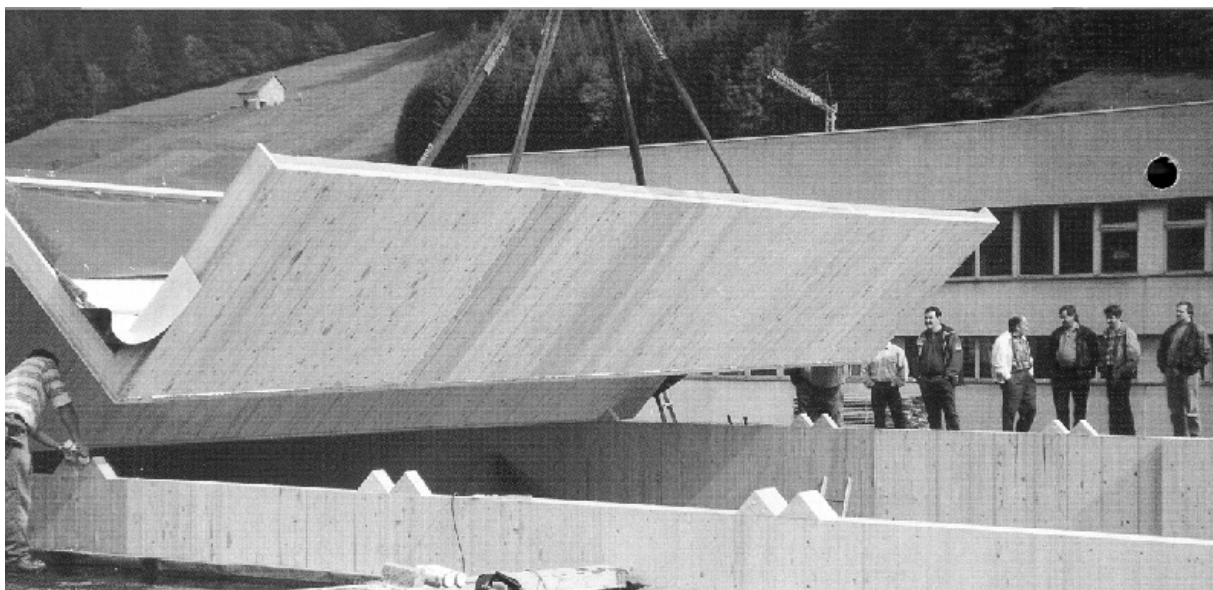


Abbildung 7.4

Dachkonstruktion aus Massivholzplatten, Fa. Pius Schuler AG



Abbildung 7.5
Steko-Bausystem (Fa. Steko, Schweiz)

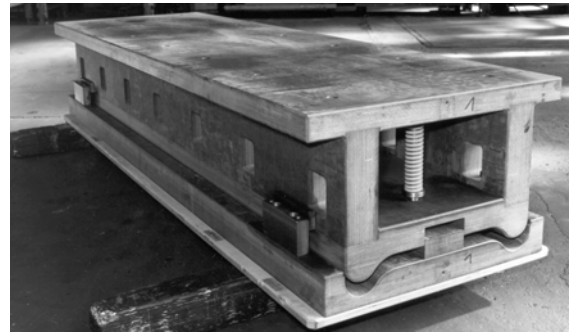


Abbildung 7.6
Einsatz von Kunstharz-Presslagenholz (obofestholz) im Formenbau (Fa. Otto Bosse, Deutschland)



Abbildung 7.7
Decke in Hohlkastenkonstruktion, Fa. Lignatur, Schweiz



Abbildung 7.8

Brücke aus Brettschichtholz (Fa. Blumer, Schweiz)

Tabelle 7.2

Einsatzmöglichkeiten plattenförmiger Holzwerkstoffe im Bauwesen (Merz, Fischer, Brunner und Baumberger, Lignum 1997)

	Faserplatten	MDF	Spanplatten	Spanplatte	Homogen80	Triply OSB/4	Intrallam	Sperrholz	Bau-Furniersperrholz	Kerto-Q	Massivholzplatten	Rohrex 3S/5S	Schuler 3S/5S	K 1 Multiplan 3S	WIEHAG-Profilplan 3S/5S
Konstruktiver Holzbau															
Biegeträger										•					
Knotenplatten						•	•		•	•		•	•	•	•
Decken-, Dach-, Wandbeplankungen	•		•		•	•	•		•	•		•	•	•	•
Aussteifende Scheiben	•		•	•	•	•	•		•	•		•	•	•	•
Tragende Wände (ohne Unterkonstruktion)				•		•				•		•	•	•	•
Tragende Beplankungen (Tafelelemente)					•	•				•		•	•	•	•
Stege für zusammengesetzte Querschnitte			•		•	•			•	•		•	•	•	•
Bewitterte Bauteile										•					
Verkleidung, Ausbau															
Fassaden									•	•		•		•	•
Innenverkleidungen	•		•		•	•			•						
Bodenplatten, Verlegeplatten	•		•		•					•					

Tabelle 7.3

Einsatzmöglichkeiten stabförmiger Elemente im Bauwesen (Merz, Fischer, Brunner und Baumberger, Lignum 1998)

Brett- bzw. Kantholzbasis	Vollholz gemäss SIA 164	Schilliger SKV Kreuzbalken	Seubert Kreuzbalken	BSH gemäss Norm SIA 164	BSH gemäss DIN 1052-1/A1	Furnierbasis	Kerto-S Furnierschichtholz	Swedlam-S Furnierschichtholz	Zusammengesetzte Träger	LIGNATUR LKT Kastenträger	Welsteg-Träger	KIT Stegträger
Bauteile												
Vollwandträger				•	•		•	•				
Unterzüge	•	•	•	•	•		•	•		•		
Pfetten	•	•	•	•	•		•	•		•		
Sparren / Sparrenpfetten	•	•	•	•	•		•	•		•	•	•
Balken	•	•	•	•	•		•	•		•	•	•
Stützen	•	•	•	•	•		•	•		•		
Ständer im Holzrahmenbau	•			•							•	•
Fachwerkstäbe	•	•	•	•	•		•	•		•		
Gurte von zusammengesetzten Trägern	•			•	•		•	•				
Stege von zusammengesetzten Trägern				•	•		•	•		•		
Rippen für Rippenplatten	•	•	•	•	•		•	•		•	•	•
Gebogene Bauteile				•	•							
Klimabereich												
direkt bewitterte Bauteile (Klimabereich 1)*	•	•	•	•	•		•					

- nur mit entsprechendem chemischem Holzschutz

7.1 Literatur zu Kapitel 7

- Deppe, H.-J. and K. Ernst (2000). Taschenbuch der Spanplattentechnik. DRW-Verlag Weinbrenner GmbH & Co., Leinfelden-Echterdingen.
- Niemz, P., Bauer, S. (1991). Beziehungen zwischen Struktur und Eigenschaften von Spanplatten. Teil 2. Schubmodul, Scherfestigkeit, Biegefestigkeit, Korrelation der Eigenschaften untereinander. *Holzforschung und Holzverwertung* 43 (3) 68-70.
- Niemz, P., Bauer, S., Fuchs, I. (1992). Beziehungen zwischen Struktur und Eigenschaften von Spanplatten. Teil 3. Zerspanungsverhalten. *Holzforschung und Holzverwertung* 44 (1) 12-14.

8	FASERSTOFF UND PAPIER.....	8-1
8.1	FASERSTOFF	8-1
8.1.1	<i>Rohstoffe</i>	8-1
8.1.2	<i>Holzstoff / Holzschliff</i>	8-1
8.1.2.1	Steinschliff	8-1
	Weisschliff	8-2
	Braunschliff	8-2
	Chemischer Holzschliff	8-2
8.1.2.2	Hackschnitzelschliff	8-3
	Refiner-Holzstoff.....	8-3
	Thermo-mechanischer Holzstoff (TMP).....	8-3
	chemisch-mechanischer Holzstoff	8-3
8.1.2.3	Stoff-Aufbereitung	8-3
8.1.3	<i>Zellstoff</i>	8-4
8.1.3.1	Herstellung von Zellstoff.....	8-4
	Vorbereitung des Faserrohstoffs	8-4
	Aufschluss (Kochung)	8-4
	Aufbereitung des Zellstoffs	8-5
8.1.4	<i>Bleiche von Faserstoffen</i>	8-5
8.1.4.1	Lignin-entfernende Bleiche	8-6
8.1.4.2	Lignin-erhaltende Bleiche	8-6
8.2	PAPIER.....	8-7
8.2.1	<i>Papierherstellung</i>	8-8
8.2.1.1	Rohstoffe / Stoffaufbereitung.....	8-9
8.2.1.2	Papierblattbildung	8-9
8.2.1.3	Nachbehandlung und Vergütung.....	8-10
8.3	LITERATUR ZU KAPITEL 8.....	8-12

8 Faserstoff und Papier

Papier wird üblicherweise nicht zu den Holzwerkstoffen gezählt. Als aus Holz hergestelltes Material soll es jedoch hier auch seinen Platz finden. Es ist jedoch unmöglich, das Thema resp. die Themen Faserstoff und Papier auf wenigen Seiten abschliessend zu behandeln. Es kann hier nur eine grobe Übersicht gegeben werden.

Die wichtigsten Roh- resp. Ausgangsstoffe zur Papierherstellung sind Zellstoff, Holzstoff und Altpapier. Die Wahl des Ausgangsmaterials hat neben der Verarbeitung entscheidenden Einfluss auf die Qualität des Endproduktes.

8.1 Faserstoff

8.1.1 Rohstoffe

Der wichtigste Rohstoff für die Gewinnung von Faserstoff ist das Holz. Daneben liefern aber auch Baumwolle, Gräser und Bastfasern Fasern für Spezialpapiere. Die Qualität des Faserstoffes und des daraus entstehenden Produktes hängt wesentlich vom eingesetzten Material (z.B. Farbe, Faserlänge und Flexibilität) und von der Verarbeitung ab.

Grundsätzlich geht es darum, ein Ausgangsmaterial in Fasern zu zerlegen, welche anschliessend nach entsprechender Behandlung zu einem definierten Produkt zusammengefügt werden sollen. Nach dem Verfahren der Zerfaserung und der chemischen Behandlung unterscheidet man zwischen Holzstoff und Zellstoff.

8.1.2 Holzstoff / Holzschliff

Holzstoff entsteht durch *mechanische* Auflösung der Holzstruktur. Das Lignin wird nicht herausgelöst. Dadurch bleibt der Faserstoff dunkel. Als Ausgangsmaterial dienen Hackschnitzel (Hackschnitzelschliff) oder Rundholz (Steinschliff). Holzstoff wird zu Papier, Pappe, Pappeguss-Formteilen und Faserplatten weiterverarbeitet.

8.1.2.1 Steinschliff

Entrindete Rundholzabschnitte werden gegen einen zylindrischen Schleifstein gepresst, wobei Stamm und Steinachse i.d.R. parallel verlaufen, so dass der Stein senkrecht zur Faserrichtung des Holzes einwirkt (Querschliff). Die rauhe Steinoberfläche reisst dabei sowohl Faserbündel und einzelne Fasern als auch Faserbruchstücke aus dem Holz heraus. Deren Mengenverhältnis bestimmt weitgehend Qualität und Eigenschaften des Schliffs.

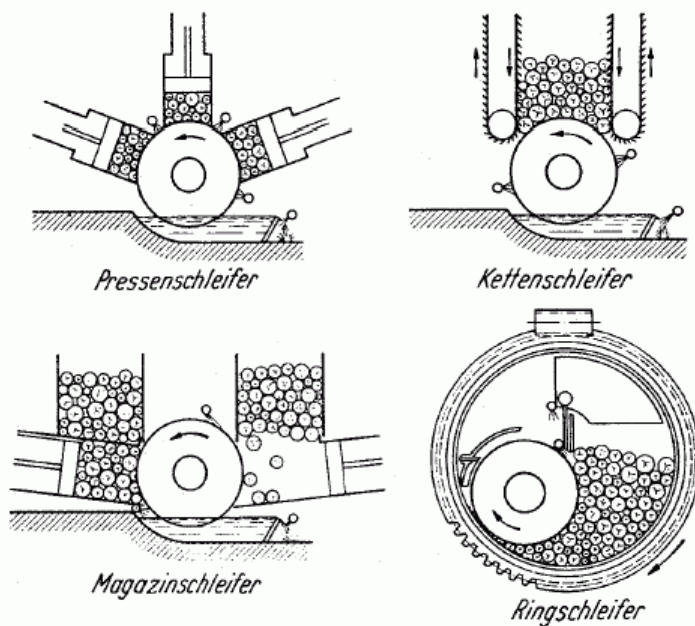


Abbildung 2: Verschiedene Konstruktionstypen von Steinschleifern

Abbildung 8.1

Verschiedene Konstruktionstypen von Steinschleifern (Gruber E.: Chem. Technologie des Zellstoffes und Papiers. Vorlesungsskript.¹)

Weisschliff

Das Rohmaterial wird nicht vorbehandelt. Durch Reibungswärme wird das Holz in der Schleifzone plastifiziert. Dunkler Schliff kann ligninerhaltend gebleicht werden.

Braunschliff

Vor dem Verschleifen wird das Holz unter Druck in Wasser oder Dampf während 6 - 12 Stunden erhitzt (ca. 150°C). Durch diese Plastifizierung sinkt der Energiebedarf für das Schleifen. Der Anteil langer Fasern ist höher als beim Weisschliff, die Festigkeit ebenfalls. Braunschliff dient als Ausgangsmaterial für Packpapier, Karton und Pappen.

Chemischer Holzschliff

Das Holz wird mit Sulfitlösung oder verdünnter Natronlauge getränkt. Hierbei kommen vor allem Laubhölzer niedriger Dichte zur Anwendung. Unter Druck und bei hoher Temperatur wird das Holz plastifiziert. Bei diesem Verfahren werden ebenfalls gute Faserlängen und damit eine hohe Festigkeit erreicht.

¹http://www.cellulose-papier.chemie.tu-darmstadt.de/Deutsch/Vorlesungen_und_Veranstellungen/

Vorlesungen/Chem_Tech_Zel_Pap/PDF/Texte/Mechanische_Faserstoffgewinnung.pdf

8.1.2.2 Hackschnitzelschliff

Hackschnitzel aus Nadel- oder Laubholz werden in Refinern mittels rotierender, profilierter Mahlscheiben aus Stahl zerfasert.

Refiner-Holzstoff

Nadelholz wird kurzzeitig gedämpft oder mit heissem Wasser getränkt (unter Druck, um die Tränkung zu beschleunigen).

Thermo-mechanischer Holzstoff (TMP)

Hackschnitzel werden zunächst bei 140-160°C gedämpft und dann unter Druck bei 100 - 135°C zerfasert. Die Defibrierung verläuft relativ schonend, was sich in langen Fasern und guter Festigkeit äussert. TMP wird vorwiegend für Zeitungspapiere verwendet.

chemisch-mechanischer Holzstoff

Hackschnitzel werden mit Natriumsulfit und -bisulfit getränkt (in Druckbehältern, Impressarefinern oder erst im Refiner).

8.1.2.3 Stoff-Aufbereitung

An die Zerfaserung schliesst sich eine mehrstufige Sortierung an, um die im Stoff enthaltenen Holzteilchen und Verunreinigungen, wie Späne, Splitter, grössere Faserbündel, Rindenpartikel, Sand, abzutrennen. In der Regel erfolgt zunächst eine Grobsortierung, darauf die Entfernung von Sand und schweren Schmutzteilchen, die besonders bei der Verarbeitung von Industrierestholz und bei Steinschliff im Stoff zu finden sind. Abschliessend wird noch eine Feinsortierung vorgenommen. Wird der Holzstoff nicht gleich weiter verarbeitet, so wird er getrocknet. Meist wird er jedoch nur eingedickt und bis zur Weiterverarbeitung gelagert.

8.1.3 Zellstoff

Zellstoff wird durch *chemischen* Aufschluss des Holzes (Hackschnitzel, Sägerestholz) gewonnen. Es stehen dabei zwei Verfahren im Vordergrund: das Sulfit- und das Sulfatverfahren. Das Sulfitverfahren (Aufschluss in saurem Milieu) wird bei uns dem Sulfatverfahren vorgezogen, da es mit weniger Geruchsemissionen verbunden ist. Weltweit ist hingegen das Sulfatverfahren (Hackschnitzel werden in alkalischen Laugen mit Zusätzen von Natronlauge, Natriumcarbonat und Natriumsulfat gekocht) weiter verbreitet. Um die Ausbeute zu verbessern wird der chemische Aufschluss nicht rein betrieben. Die Kochung wird unterbrochen und das Material einem Refiner zugeführt. Man spricht von chemisch-mechanischen Verfahren. Die Tabelle 8.1 stellt die Vor- und Nachteile der beiden wichtigsten Verfahren der Zellstoff-Herstellung gegenüber, Tabelle 8.2 bietet einen detaillierteren Überblick über die Verfahren.

Tabelle 8.1

Verfahren	Vorteile	Nachteile
Sulfitverfahren	<ul style="list-style-type: none"> - sehr grosse Prozessflexibilität - hohe Ausbeute bei Nadelhölzern - keine stärkere Geruchsbelastung - gut bleichbare Zellstoffe 	<ul style="list-style-type: none"> - harzreiche Hölzer sind schlecht aufzuschliessen - empfindlich gegen Rinde, Ast- und Kernholz - niedrigere Ausbeuten bei Laubholz - schlechte Festigkeiten
Sulfatverfahren	<ul style="list-style-type: none"> - keine Beschränkung in der Holzsorte - hohe Festigkeiten 	<ul style="list-style-type: none"> - H₂S und Mercaptane (störende Emissionen) - niedrige Ausbeuten bei Nadelhölzern

8.1.3.1 Herstellung von Zellstoff

Vorbereitung des Faserrohstoffs

Entrindetes Industrieholz und –restholz wird zu Hackschnitzeln zerkleinert und zwischengelagert. Während der Lagerung werden durch holzeigene Enzyme Fette, Wachse, Proteine und Zucker teilweise abgebaut. Dies wirkt sich günstig auf die anschliessende Kochung aus.

Aufschluss (Kochung)

Der Aufschluss des Faserverbundes geschieht chemisch oder chemisch-mechanisch. In grossen Druckbehältern (Kochern) werden die Hackschnitzel mit der dem Verfahren entsprechenden Säure oder Base erhitzt und damit delignifiziert und in einzelne Fasern zerlegt. Je nach Holzart sind dabei sowohl Kochdauer, Temperatur, „Koch-Lösung“ etc. anzupassen, damit die cellulosischen Fasern selbst möglichst keinen Schaden nehmen.

Tabelle 8.2

Verfahren	Chemisch			Chemisch-mechanisch		mechanisch
	Ca-Bisulfit	Mg-Bisulfit	Sulfat	Neutralsulfit	Kalkalkali	
Chemikalien	Ca(HSO ₃) ₂	Mg(HSO ₃) ₂	Na ₂ S NaOH	Na ₂ SO ₃ Na ₂ CO ₃	NaOH	
Kochzeit	4 – 20 h	4 –20 h	2-4 h	0.25-1h		
pH-Bereich	1-2	3-5	13	7-9	13	
Kochtemperatur	120-135	140-160	170-180	160-180	100	
Halbstoff	Sulfit-Zellstoff	Sulfit-Zellstoff	Sulfatzellstoff	Halbzellstoff	chemischer Schliff	Holzstoff
Holzarten	Fichte, Laubholz	Fichte (Föhre) Laubholz	Fichte Föhre Laubholz Sägemehl	Laubholz	Laubholz	Fichte Pappel
Ausbeute ungebleicht	48-52	48-60	44-48	65-85	80-90	90-95
gebleicht	35-45	35-45	34-44			
Faserqualität	lange, saubere Fasern, hohe Festigkeit, chemisch stabil			mittlere bis gute Eigenschaften		kurzte Fasern, niedrige Festigkeit

Aufbereitung des Zellstoffs

Der Zellstoff wird gewaschen und sortiert, evtl. aufgeschlagen, d.h. noch zusammenhängende Partikeln werden unter mechanischer Einwirkung voneinander getrennt.

8.1.4 Bleiche von Faserstoffen

Der Faserstoff muss für die meisten Anwendungen gebleicht werden. Die Farbe wird in erster Linie durch das Lignin bestimmt. Dieses wird während des Aufschlussprozesses verändert, so dass es die dunkle Farbe des Zellstoffs verursacht. Je weniger Lignin im Zellstoff vorhanden ist, desto weisser ist er und desto resistenter gegen das Vergilben. neben dem Lignin sind auch Extraktstoffe, Kondensations- und Abbauprodukte färbende Bestandteile.

Man unterscheidet Lignin erhaltende und Lignin entfernende Bleiche. Holzstoff wird Lignin erhaltend gebleicht: die Licht absorbierenden Gruppen am Lignin sollen entfernt werden. Zellstoff wird in der Regel Lignin entfernend gebleicht: mit dem Lignin werden auch dessen Licht absorbierende Gruppen entfernt.

Zur Kennzeichnung des Bleicheffektes wird vor allem der Weissgrad bestimmt, ausserdem der Restligningehalt bzw. Kappazahl.

Die Bleiche erfolgt mehrstufig. Je höher der angestrebte Weissgrad, desto mehr Stufen sind zu durchlaufen. Die traditionelle Bleiche erfolgt in 4 Schritten: *Chlorierung* (Reaktion mit elementarem Chlor) und *Alkaliextraktion* (Behandlung mit Natronlauge) zur Ligninentfernung, *Hypochloritbleiche* und *Chlordioxidbleiche* zur Weissgradeinstellung. Aus Gründen des Umweltschutzes wird heute in

Mitteleuropa weitgehend chlorfreie Technologie eingesetzt. Chlorfreie Bleichverfahren arbeiten mit Sauerstoff und Peroxid. Bei der Behandlung mit Sauerstoff wird das Restlignin oxidativ auf ca 50% des Anfangsgehaltes abgebaut. Wasserstoffperoxid baut im Restlignin selektiv jene Gruppen ab, die für die dunkle Färbung verantwortlich sind (chromophore Gruppen). Dadurch wird der Masseverlust verringert.

8.1.4.1 Lignin-entfernende Bleiche

Chemikalien: Chlor, Hypochlorit, Chlordioxid, Sauerstoff und andere Oxidationsmittel.

Heute möchte man mit möglichst wenig Chlor und anderen gefährlichen Substanzen bleichen. Die Bleiche geschieht in einem mehrstufigen Prozess, wobei für Sulfitzellstoffe 3 bis 5, für die schwerer bleichbaren Sulfatzellstoffe 5 – 7 Stufen üblich sind. Die klassische Bleichfolge für Sulfitzellstoffe: Chlorierung (C), Alkaliextraktion (A), Hypochloritbleiche (H). Danach schliesst sich eine weitere Hypochloritstufe oder eine Chlordioxidbleiche (D) an. Die Bleiche wird dann mit Buchstaben charakterisiert: z.B. CEH, CEHH, CEHD, CEHDED. Als Abschluss wird häufig auch noch eine Peroxidstufe (P) durchlaufen.

Die Chlorierungsstufe kann durch eine Alkali/Sauerstoff- (O) oder eine Ozonstufe (Z) ersetzt werden.

8.1.4.2 Lignin-erhaltende Bleiche

Dithionite, Peroxide und andere oxidierende oder reduzierende Substanzen.

Die Aufhellung wird durch Eliminierung chromophorer (farbverursachender) Gruppen im Lignin erreicht. Das Lignin selbst wird dabei kaum beeinträchtigt. Dadurch erreicht man eine hohe Ausbeute. Die Bleichung kann ein- oder zweistufig erfolgen, wobei im zweiten Fall eine reduzierende und eine oxidierende Stufe kombiniert werden.

Das Problem bei der ligninerhaltenden Bleiche ist, dass der erreichte Weissgrad auch wieder abnehmen kann (Vergilbung).

8.2 Papier

Trotz oder gerade wegen e-Mail und EDV (das papierlose Büro hat sich ja bisher als Illusion herausgestellt) wird heute noch sehr viel Papier verbraucht. Einen Überblick über die schweizerische Papierproduktion gibt die folgende Tabelle. In DIN EN 6730 sind Begriffe zu Papier und Pappe zusammengestellt und definiert. Auch zu Fragen der Klassifizierung von Altpapieren, zur Qualitätsprüfung u.v.a.m. sind Normen vorhanden.²

Man unterscheidet folgende Papierarten:

1. Grafische Papiere
2. Papier, Karton, Pappe für Verpackungen
3. Hygienepapiere
4. Papiere und Pappen für technische Zwecke

Tabelle 8.3

Die schweizerische Papierproduktion im Überblick: Produktion/Lieferungen, Ein- und Ausfuhr sowie Verbrauch nach Sorten (in 1000 Tonnen). Quelle: Geschäftsstelle ZPK, www.zpk.ch

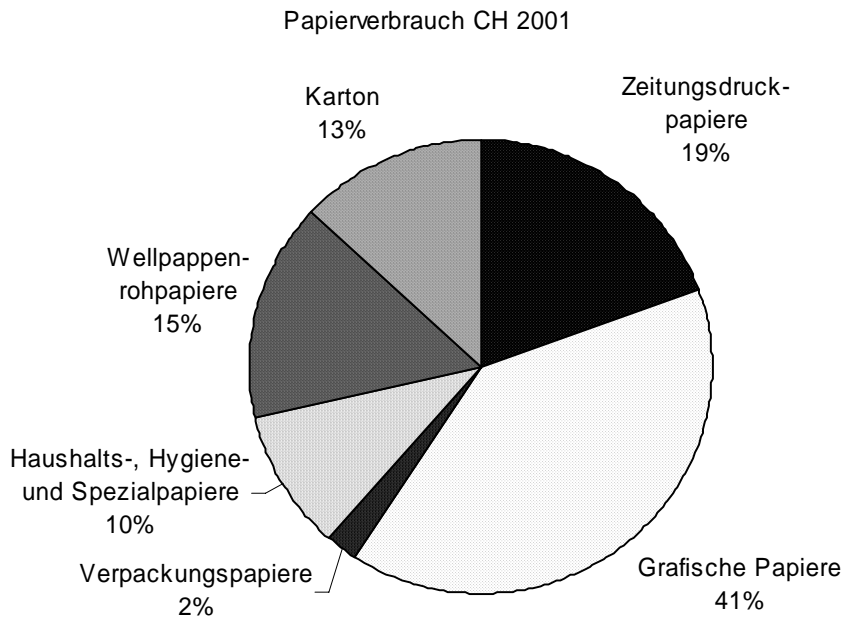


Abbildung 8.2

Papierverbrauch in der Schweiz nach Sorten. (Geschäftsstelle ZPK, www.zpk.ch)

² siehe unter www.ethbib.ch → Datenbanken → Din-Normen!

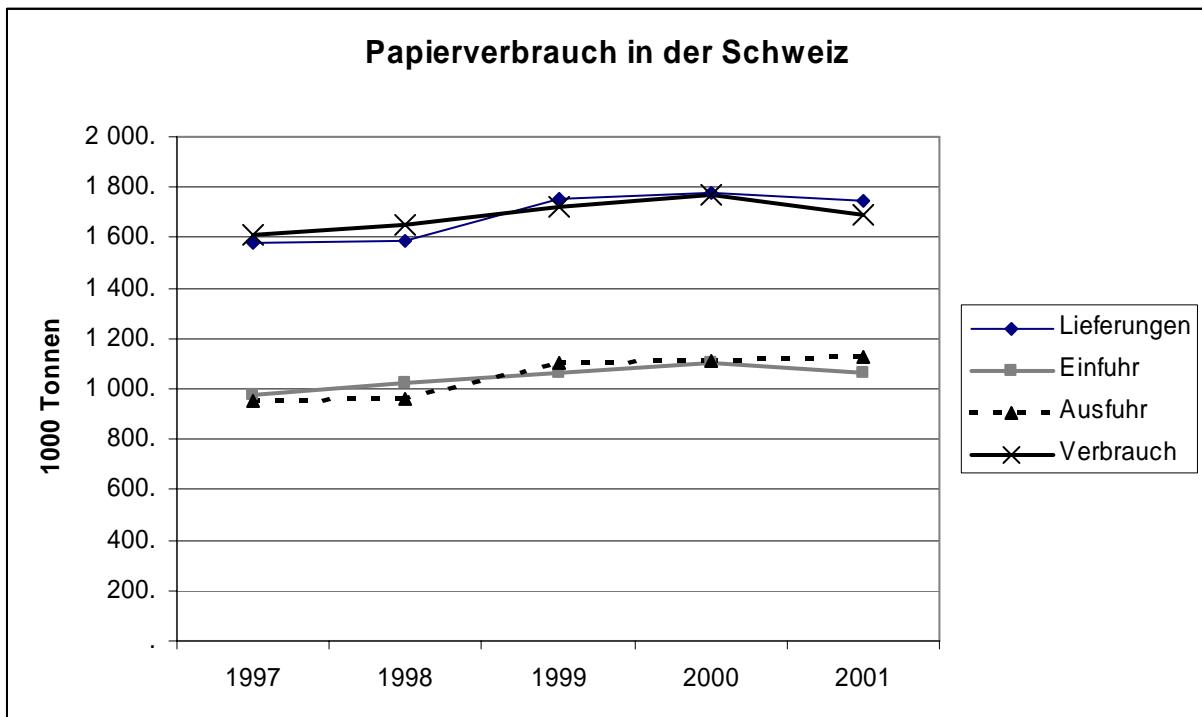


Abbildung 8.3

Entwicklung des Papierverbrauches in der Schweiz. (Verbrauch = Lieferungen + Einfuhr – Ausfuhr). Quelle: Geschäftsstelle ZPK, www.zpk.ch.

Papier kann aus verschiedenen Faserstoffen hergestellt werden. Die wichtigsten sind Zellstoff, Altpapier und Holzstoff. Neben dem bekannten Schreib- und Druckerpapier gibt es eine enorme Anzahl Spezialpapiere:

Fotopapier, Papiere mit Beschichtungen (z.B. Tetrapak), Papier für Kleber und deren Träger, Banknoten, Hygienepapiere, Haushaltpapiere, etc.

Die Papierherstellung ist ein weites Gebiet, auf dem schon lange geforscht wird. Heute ist die Entwicklung der Technologie aber keinesfalls abgeschlossen. Verbesserung der Verfahren und der Ausbeute, Minimierung der Schadstoffbelastung und Stoffrückgewinnung, Effizienzsteigerung der Produktion etc. sind auch heute noch wichtige Themen in der Papierindustrie.

Im Folgenden wird die traditionelle Technologie der Papierherstellung kurz dargestellt. Für detailliertere Beschreibungen sowie zu modernsten Verfahren muss auf die Fachliteratur verwiesen werden.

8.2.1 Papierherstellung

Die Arbeitsabschnitte der Papierherstellung:

- 1) Stoffaufbereitung
- 2) Papierblattbildung
- 3) Nachbehandlung und Vergütung.

Papierherstellung

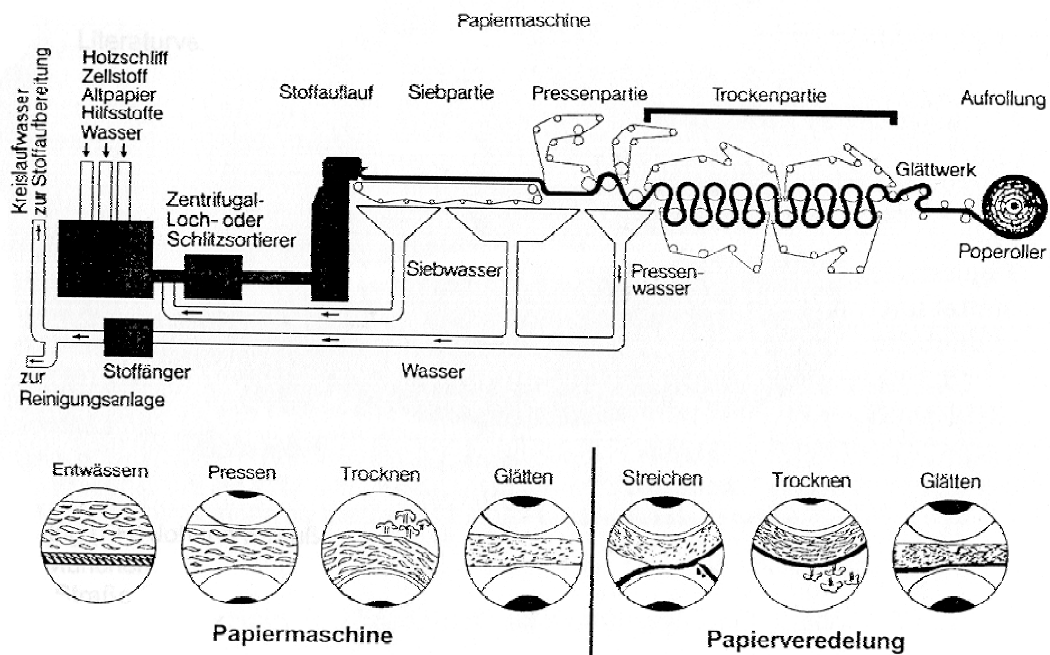


Abbildung 8.4

Schema der herkömmlichen Papierherstellung

8.2.1.1 Rohstoffe / Stoffaufbereitung

Papier wird heute (in Mitteleuropa) zu rund 2/3 aus Altpapier hergestellt, Zellstoff (Primärfaserstoff) macht 1/3 aus, Holzstoff nur einen geringen Teil. Weltweit macht der Anteil des Altpapiers hingegen nur einen kleinen Teil aus. Der hohe Anteil an Altpapier ist aus Sicht des Umweltschutzes bedeutend: aus Altpapier lässt sich mit weniger Energie- und Wassereinsatz wieder Papier erzeugen.

Das Altpapier muss sortiert werden: sollen Verpackungspapiere und Kartons hergestellt werden, so können gebrauchte Verpackungen und graphische Papiere verwendet werden. Für die Herstellung von graphischen Papieren können hingegen nur solche als Ausgangsprodukt eingesetzt werden, wobei auch „frischer“ Zellstoff hinzugefügt wird. Bei jedem Recycling- Einsatz werden die Fasern kürzer, die Papierqualität nimmt ab. Die Grundprozesse der Altpapier-Aufbereitung sind Zerkleinern/Suspendieren, Trennen/Reinigen, Mischen, Stapeln/ Lagern.

Durch Zugabe von Wasser und Chemikalien werden die Bindungskräfte zwischen den Fasern soweit wie möglich reduziert (Suspendieren). Danach werden sie von Fremdstoffen gereinigt (Tinten, Druckfarben sowie Metalle, Leime, Plastic etc). Die Trennung erfolgt nach Form und Größe oder nach physikalischen Merkmalen wie Dichte oder Benetzbarkeit.

8.2.1.2 Papierblattbildung

Die dünne Fasersuspension (ca. 99% Wasser, 1% Faserstoff) wird auf einem Sieb zu einer möglichst gleichmäßigen Faserschicht verteilt. Der anfänglich nur lose Zusammenhalt der Fasern verstärkt sich in der Masse, in der weiteres Wasser durch Pressen und Verdampfen (Trocknung) entfernt wird und sich zusätzliche Wasserstoffbrücken zwischen den Faseroberflächen bilden. Um einen möglichst guten Kontakt zwischen den Fasern zu erhalten, sind dünnwandige, bandförmige Fasern am besten geeignet.

Geringer Ligninanteil und hoher Cellulosegehalt wirken sich positiv auf den Kontakt zwischen den Fasern aus. Formung und Entwässerung des Faservlieses erfolgen vorwiegend auf Langsieb- und Doppelsieb-Papiermaschinen. Die auf dem Sieb grob entwässerte Papierbahn wird vom Sieb abgelöst, und durch die sich anschliessenden Nass- und Saugpressen geleitet. Hier wird das Papier weiter entwässert und verdichtet, um die Festigkeit zu erhöhen.

Das immer noch sehr feuchte (Wassergehalt 60-70%) Papier wird in der Trockenpartie getrocknet, indem es über erhitzte Zylinder geführt wird. Danach wird das maschinenglatte Papier aufgerollt und, je nach Verwendungszweck, weiterer Veredelung zugeführt.

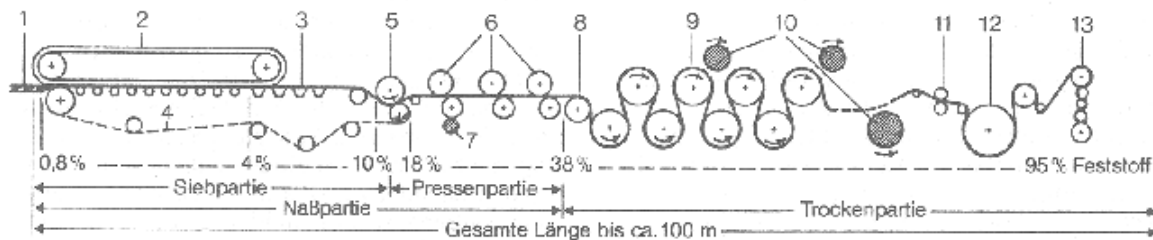


Abbildung 8.5

Entwässerung und Trocknung der Papierbahn auf der Langsieb-Papiermaschine (ohne Stoffauflauf). 1 Stoffeinlauf, 2 Deckelriemen, 3 Sauger, 4 Sieb, 5 Gautschwalzen, 6 Nasspressen, 7 Filzpresse, 8 Vortrockner, 9 Trockenzylinder, 10 Filztrockenzylinder, 11 Feuchtglättung, 12 Trockenzylinder, 13 Glättwerk.

8.2.1.3 Nachbehandlung und Vergütung

Um eine glattere Oberfläche zu erhalten, wird das Papier durch Walzensysteme, sog. Kalandern, geführt. Diesen Vorgang nennt man Satinieren. Eine weitere Stufe der Vergütung mit noch besserem Oberflächenschluss erreicht das Papier durch das Streichen. Dabei werden die Poren des Papiers mit sehr feinen Partikeln geschlossen. Dies können verschiedene feine Mineralstoffe (z.B. Kaolinit und Kalk), gebunden mit Kasein oder Stärke sein.

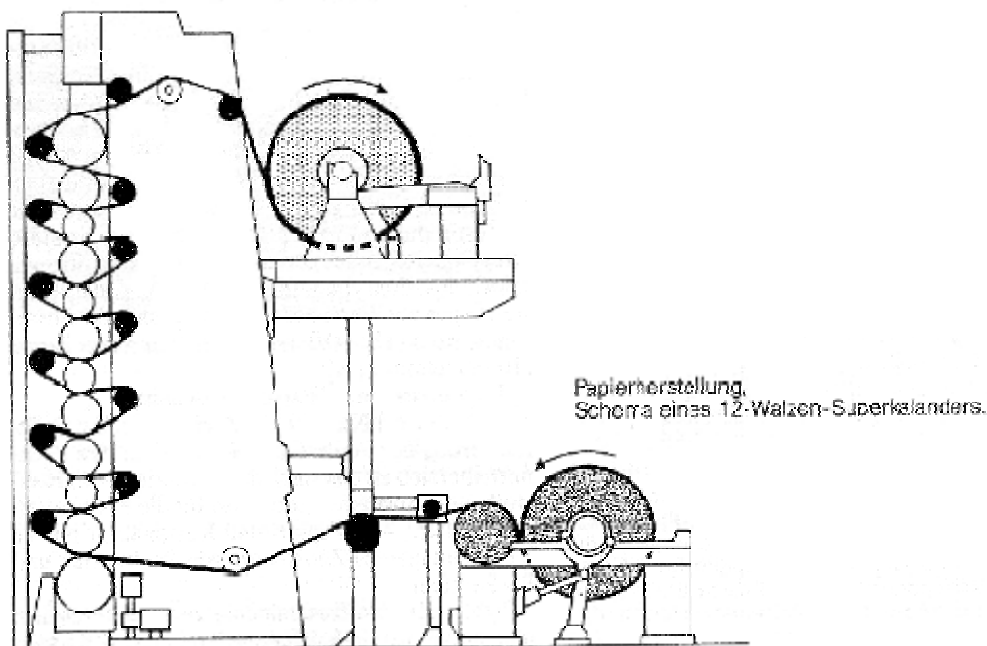


Abbildung 8.6

Superkalander zum Glätten des Papiers.

Tabelle 8.4*Sammlung, Import, Export und Verbrauch von Altpapier*

	Produktion von Papier und Karton	Verbrauch von Papier und Karton	Sammlung von Altpapier	Import von Altpapier	Export von Altpapier	Verbrauch (oder Einsatz) von Altpapier	Altpapier-Verbrauch in % der Produktion von Papier und Karton	Altpapier-Sammlung in % des Verbrauchs von Papier und Karton	Wohnbevölkerung in Tausend	Altpapier-Sammlung pro Kopf und Jahr
1985	1 019 000	1 161 000	503 000	107 000	161 000	449 000	44,1%	43,3%	6485	77,6
1986	1 087 000	1 242 000	498 000	112 000	145 000	465 000	42,8%	40,1%	6523	76,3
1987	1 147 200	1 326 900	553 100	104 500	171 900	485 700	42,3%	41,7%	6567	84,2
1988	1 215 600	1 369 800	613 000	123 700	172 100	564 600	46,4%	44,8%	6620	92,6
1989	1 258 900	1 436 700	674 100	131 900	194 900	611 100	48,5%	46,9%	6674	101,0
1990	1 294 700	1 447 400	715 400	139 000	237 400	617 000	47,7%	49,4%	6751	106,0
1991	1 259 000	1 430 400	732 200	130 600	280 700	582 100	46,2%	51,2%	6843	107,0
1992	1 304 800	1 387 800	744 800	152 100	237 400	659 500	50,5%	53,7%	6908	107,8
1993	1 331 800	1 385 300	753 900	165 000	217 800	701 100	52,6%	54,4%	6969	108,2
1994	1 408 100	1 499 500	874 900	185 100	261 700	798 300	56,7%	58,3%	7021	124,6
1995	1 434 460	1 526 679	925 644	205 295	256 439	874 500	61,0%	60,6%	7060	131,1
1996	1 460 480	1 481 904	999 283	174 986	226 704	947 565	64,9%	67,4%	7081	141,1
1997	1 582 513	1 609 411	1 003 461	242 978	214 358	1 032 081	65,2%	62,3%	7097	141,4
1998	1 591 238	1 651 957	1 061 925	229 545	209 961	1 081 509	68,0%	64,3%	7124	149,1
1999	1 753 568	1 718 625	1 093 713	249 026	231 646	1 111 093	63,4%	63,6%	7160	152,8
2000	1 780 244	1 770 949	1 137 050	290 844	282 358	1 145 536	64,3%	64,2%	7206	157,8

8.3 Literatur zu Kapitel 8

Holz-Lexikon, 1993, DRW-Verlag.

Schwieger H.G. 1973: Papier-Praktikum, Herstellung, Beurteilung, Verarbeitung. PR-Verlag Wiesbaden.

Strauss J. (Hrsg.) Manuskript PTS-Seminar EK-SE 2097: Papierherstellung für Quereinsteiger und Nichttechniker

www.cepi.org

www.zpk.ch

www.schneidersoehne.com → Lexikon

9	HOLZKOHLE.....	9-1
9.1	BESCHREIBUNG	9-1
9.2	HERSTELLUNG.....	9-2
9.2.1	<i>Grundlagen</i>	9-2
9.2.2	<i>traditionelle Köhlerei</i>	9-2
9.2.2.1	Erdmeiler.....	9-2
9.2.2.2	Meileröfen	9-2
9.2.3	<i>industrielle Herstellung von Holzkohle</i>	9-3
9.2.3.1	Degussa(Reichert)-Verfahren	9-3
9.2.3.2	SIFIC-Verfahren.....	9-3

9 HOLZKOHLE

9.1 Beschreibung

Holzkohle zählt nicht zu den Holzwerkstoffen. Sie ist aber ein wichtiges Holzprodukt, das nicht zu gering geschätzt werden sollte. Holzkohle war ein wichtiger Brennstoff für Schmieden, Eisenhütten, Glasbläsereien und Haushalte. Warum wird nun Holz zuerst verkohlt, es brennt doch sowieso?

Vorteile der Holzkohle gegenüber Brennholz:

- Besseres Verhältnis Brennwert/Volumeneinheit
- schneller Herstellbar als Brennholz (Trocknung an der Luft dauert lange)
- weniger Rauchentwicklung

Neben der energetischen Nutzung findet Holzkohle aber auch Einsatz in der Medizin und für die Herstellung von Filtern.

Holz und Holzkohle machen heute 2.4% des gesamten Endverbrauches an Energieträgern aus

Heizwerte und Dichte von Brennstoffen				
	unterer Heizwert H_u	oberer Heizwert (Brennwert) H_o	Dichte	Umrechnung gebräuchlicher Volumeneinheiten in kWh (H_u)
Brennstoffe	[kWh/kg]		[kg/m ³]	
Heizöl EL	11,8	12,7	860	1 Liter = 10,2 kWh
Erdgas H	12,4	13,8	0,76 ¹⁾	1 m _N ³ = 9,5 kWh
Flüssiggas	12,8	13,9	2,36 ¹⁾	1 m _N ³ = 30,2 kWh
Steinkohle	8,7	9,0	760 ²⁾	1 m ³ = 6600 kWh
Braunkohle	5,5	5,9	700 / 1000 ³⁾	1 m ³ = 3900 / 5500 kWh ³⁾
Brennholz	3,6 / 4,1 ⁴⁾	4,1 / 4,7 ⁴⁾	420 / 560 ⁵⁾	1 rm = 1700 / 2300 kWh ⁵⁾

Quelle: Heizwerte aus GEMIS 3.0; Dichten aus Recknagel/Sprenger

¹⁾ bezogen auf Normkubikmeter (m_N³)
²⁾ Schüttdichte Nüsse/Eierbriketts
³⁾ Briketts geschüttet / gesetzt
⁴⁾ bei Feuchtegehalt 30% (1 Jahr Freiluftlagerung) / 20 % (lufttrocken)
 Je Erhöhung um 10% Feuchteanteil ergibt sich Abnahme des Heizwertes um ca. 0,5 kWh/kg.
⁵⁾ Weichholz (Nadelholz) / Hartholz (Buche): bezogen auf Raummeter (1 rm = 1 ster: ca. 25% Raumanteil Luft) für luftgetrockenes Holz

Abbildung 9.1

Heizwerte und Dichte von Brennstoffen im Vergleich. (Quelle: Institut Wohnen/Umwelt,Darmstadt. <http://www.iwu.de/datei/anlageephw.pdf>)

9.2 Herstellung

9.2.1 Grundlagen

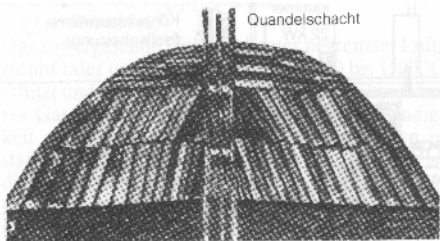
Zur Herstellung von Holzkohle wird (frisches) Holz unter geringer bis keiner Sauerstoffzufuhr hohen Temperaturen ausgesetzt, pyrolysiert. Dabei wird das im Holz enthaltene Wasser verdampft und flüchtige Bestandteile des Holzes entweichen. Zurück bleibt im wesentlichen Kohlenstoff.

Holzkohle kann eigentlich aus allen Holzarten hergestellt werden. Bevorzugt werden aber Harthölzer eingesetzt.

9.2.2 traditionelle Köhlerei

Die Köhlerei ist eine Handwerkskunst mit langer Tradition. Sie hat bei uns heute kaum mehr wirtschaftliche Bedeutung. Die zwei wichtigsten Verfahren zur traditionellen Meilerverkohlung sind Erdmeiler und Meileröfen. Mit rund 25% (bezgl. Trockenmasse des Holzes) erreicht das Verfahren eine bescheidene Ausbeute.

9.2.2.1 Erdmeiler

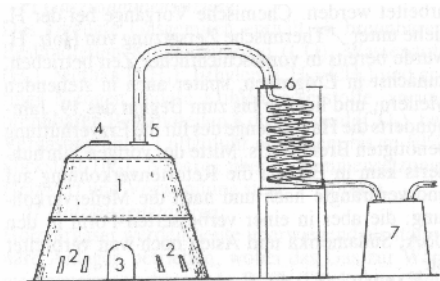


Holzverkohlung, Bild 1. Stehender Meiler im Querschnitt, hier ohne Abdeckung.

Beim Erdmeiler werden ca. 1 m lange Holzstücke (Spalten) kreisförmig um einen Schacht angeordnet. Die unterste Lage liegt horizontal, die restlichen Spalten werden vertikal aufgestellt. Lücken werden mit Kleinholz aufgefüllt. Es werden 20 bis 200m³ Holz in einem Meiler benötigt. Aussen wird der Meiler mit Erde, Reisig, Moos etc. abgedeckt. In den Schacht in der Mitte wird glühende Kohle eingefüllt. Der Köhler steuert die Luftzufuhr durch

Löcher in der Abdeckung. Zu Beginn des Prozesses muss Luft zugeführt werden, damit bei ca. 280°C der exotherme Abbau beginnen kann. Dieser Punkt wird signalisiert durch starke Gas- und Dampfentwicklung. Ein 150m³ grosser Meiler benötigt ca. 2-3 Wochen, bis alles Holz verkohlt ist. Während dieser Zeit muss der Köhler sicherstellen, dass stets die richtige Luftzufuhr besteht. Die Rückgewinnung von aus dem Holz entwichenen Substanzen ist schlecht möglich.

9.2.2.2 Meileröfen



Holzverkohlung, Bild 2. Schema eines Meilerofens. 1 Ofen. 2 Luftlöcher. 3 Zündloch. 4 Dampfloch. 5 Leitrohr für Dämpfe und Gase. 6 Schlangenkühler. 7 Auf- und Sammelbehälter.

Meileröfen unterscheiden sich von den Erdmeilern dadurch, dass sie als Anlage mehrmals verwendet werden können. Der Prozess lässt sich besser steuern, die entstehenden Gase lassen sich energetisch nutzen. Dadurch steigt die Geschwindigkeit der Verkohlung.

9.2.3 industrielle Herstellung von Holzkohle

Die zur Verkohlung notwendige Wärmeenergie wird von aussen zugeführt. Dies geschieht entweder durch Einleitung heisser Gase oder durch aussenbeheizung der Anlage. Es ist bei diesen Verfahren also nicht notwendig, einen Teil des Holzes zur Energiegewinnung zu verbrennen. Dadurch ist eine Ausbeute von 30-35% der Holztrockensubstanz möglich.

9.2.3.1 Degussa(Reichert)-Verfahren

In Grossraumretorten von 100 m³ und einer Kapazität von 300 t im Monat wird Holz diskontinueierlich verkohlt. 450 – 550°C heisses Gas wird in die Kammer geführt. Die Verkohlung schreitet von oben nach unten voran. Das entstehende Gas wird gereinigt (Holzessig und Holzteer), erhitzt und wieder in die Kammer geführt. Die Verkohlung dauert 12-18 Stunden, Beschicken und Leeren 2-3 Stunden.

9.2.3.2 SIFIC-Verfahren

Das SIFIC-Verfahren arbeitet kontinuierlich. Beschickung und Entleerung erfolgen automatisch über Schleusen oder Drehteller. Das Material durchläuft in der Retorte von oben nach unten drei Zonen: Vorwärm-, Verkohlungs- und Kühlzone. Auch hier wird Spülgas eingesetzt (Temperatur 450-580°C). Das Spülgas wird zur Kühlung der heissen Holzkohle eingesetzt. Durch diese Erwärmung verbessert sich die Energiebilanz des Verfahrens. Die Dauer der Verkohlung beträgt ca. 12 Stunden.