

Thema 2

Faserrohstoffe

Holz und Einjahrespflanzen

Der Wald als Rohstoffquelle Nr.1

Die Erde



Oberfläche:	<u>510</u>	Mio km ²
davon		
Wasser:	<u>361</u>	Mio km ²
Festland:	<u>149</u>	Mio km ²
(Deutschland:	<u>356.970</u>	km ²)
davon		
Wald:	<u>45</u>	Mio km ²
(Deutschland:	<u>99.000</u>	km ² / ca. 28%)

Hauptaufgaben des Waldes:

1. Erhaltung wichtiger Vegetationszonen und Tierarten / Wasserhaushalt
2. Produktion von Sauerstoff (1 ha etwa 40 ... 50 t O₂ pro Jahr)
3. Reinigung der Luft (CO₂ - Aufnahme und Staubabsorption z.B. Rotbuche 1 ha ca. 70 t Staub)

Holzbedarf:

zur Produktion von Faserstoffen: ca. 290 Mio m³ international
ca. 3,5 Mio. m³ Deutschland

Waldpflege:

durch: gezieltes Durchforsten / Bruchholz / Durchforstungsholz

Holzernte und Aufforstung

Wald- bzw. Holzschädlinge:

pflanzliche Schädlinge:

- holzverfärbende Pilze

- holzerstörende Pilze

tierische Schädlinge:

- Käfer, Raupen

- Vögel, Säugetiere

Holzarten als Faserrohstoffe zur Herstellung von Primärfaserstoffen

Nadelhölzer / Langfaserholz



Kiefer

Vorkommen: *weltweit bis in das Polargebiet*

Wachstum: *raschwüchsig 30 m Höhe / 80 Jahre*

Fasercharakter: Länge: *2,6 - 4,5 mm* Dicke: *bis 0,08 mm*

Besonderheiten: *Kraftzellstoff - hohe Festigkeiten*

hoher Harzgehalt - im Sulfatverfahren verarbeitet



Fichte

Vorkommen: *Skandinavien, Russland, Deutschland ...*

Wachstum: *ähnlich wie Kiefer, 50 m Höhe, 60 - 80 Jahre*

Fasercharakter: Länge: *2,6 - 3,8 mm* Dicke: *bis 0,07 mm*

Besonderheiten: *sowohl Zellstoff- als auch zur Holzschliffherstellung geeignet; geringer Harzgehalt*

Laubhölzer / Kurzfaserholz



Buche

Vorkommen: *Mittel- und Osteuropa*

Wachstum: *langsames Wachstum / 100 - 120 Jahre*

Fasercharakter: Länge: *0,7 - 1,7 mm* Dicke: *bis 0,03 mm*

Besonderheiten: *sowohl im Sulfat- als auch im Sulfit- Verfahren zu verarbeiten - weniger für Papierzellstoff verwendet*



Birke

Vorkommen: *ganz Europa, Deutschland eher weniger - Unkraut*

Wachstum: *20 - 30 Jahre / 15 - 20 m Höhe*

Fasercharakter: Länge: *0,1 - 1,0 mm* Dicke: *bis 0,07 mm*

Besonderheiten: *Sulfatzellstoff, häufig eingesetzt*

weich, voluminös



Pappel / Aspe

Vorkommen: *weltweit anzutreffen*

Wachstum: *schnellwüchsig ca. 30 Jahre / Höhe bis 30 m*

Fasercharakter: Länge: *0,7 - 1,7 mm* Dicke: *bis 0,05 mm*

Besonderheiten: *Sulfatzellstoff und CTMP*



Eukalyptus

Vorkommen: *subtr. Wälder Spanien, Brasilien, Australien*

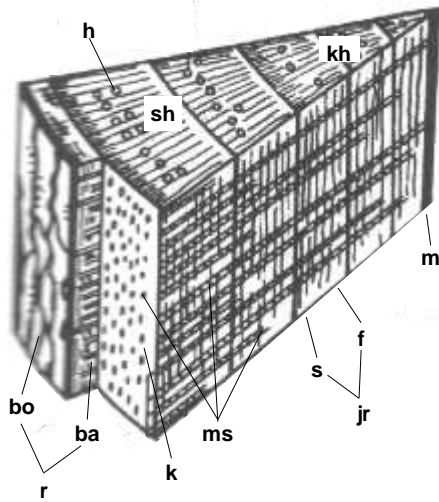
Wachstum: *schnellwüchsig bis 50 ... 60 m hoch*

Fasercharakter: Länge: *0,5 - 1,5 mm* Dicke: *bis 0,02 mm*

Besonderheiten: *wird zunehmend in kultivierter Form (Plantagen) angebaut, weich, voluminös, geschmeidig*

Makroskopischer Aufbau des Holzes

5 - jährige Kiefer



makroskopischer Aufbau

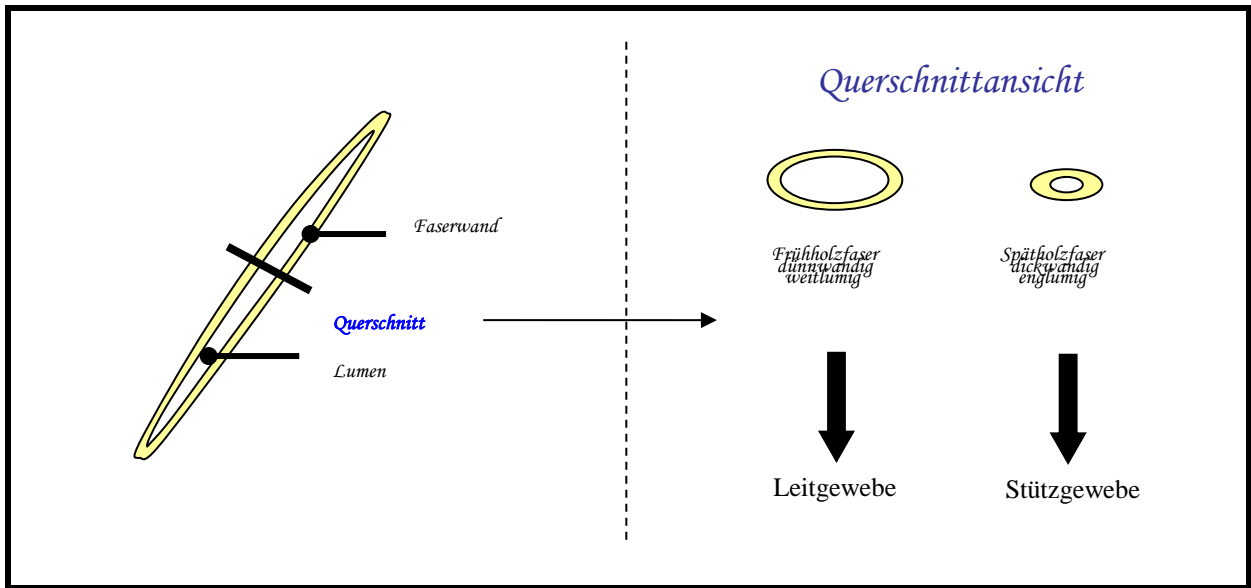
bedeutet das Erkennen der einzelnen Holzbestandteile ohne besondere Hilfsmittel.

Alle Holzarten haben grundsätzlich den gleichen anatomischen Aufbau, sie unterscheiden sich im Verhältnis zueinander bzw. der Kompliziertheit der jeweiligen Bestandteile z.B. Gewebearten.

m	<i>Markröhre - ehemalige Sprossachse, Transport von Flüssigkeiten und Nährstoffen</i>
	<i>Funktion eingestellt, abgestorbenes Gewebe</i>
f	<i>Frühholzring - nach Ende der Frostperiode bis zum Spätsommer wird diese Schicht gebildet</i>
	<i>Transport von Flüssigkeit und Nährstoffen von Wurzel zur Krone und umgekehrt, heller Ring</i>
s	<i>Spätholzring - vom Spätsommer bis zum Beginn der Frostperiode bildet sich diese Schicht</i>
	<i>kaum Transportfunktion, gibt dem Holz Stabilität, dunkler Ring</i>
jr	<i>Jahresring - je ein Ring Frühholz und Spätholz ergeben ihn, Bestimmung des Alters möglich</i>
	<i>geben Auskunft über die Wetterverhältnisse während des Wachstums</i>
kh	<i>Kernholz - wenn vorhanden sind es abgestorbene Gewebeschichten im inneren des Holzes</i>
	<i>sehr hart und gegebenenfalls verfärbt</i>
sh	<i>Splintholz - funktionstüchtiger, lebender Teil der Gewebebestandteile im Holz</i>
	<i>weich und feucht</i>
k	<i>Kambium - Wachstumsschicht des Holzes, wächst in zwei Richtungen, zum Mark hin werden</i>
	<i>Holzzellen (Fasern) gebildet, in der anderen Richtung Bastzellen</i>
ba	<i>Bast - Gewebe zum Transport von Flüssigkeit und Nährstoffen, versorgt damit das Kambium</i>
	<i>zur Papierherstellung ungeeignet, wird ausgesondert</i>
bo	<i>Borke - abgestorbene Bastschicht, Schutzfunktion nach außen hin</i>
	<i>zur Papierherstellung ungeeignet, wird ausgesondert</i>
r	<i>Bast und Borke bilden die Rinde und somit die "Haut" des Baumes</i>
ms	<i>Markstrahl - radial verlaufender Kanal zur Speicherung von Nährstoffen</i>
	<i>Anzahl hängt vom Nährstoffangebot ab</i>
h	<i>Harzkanal - axial verlaufender Kanal zur Speicherung von Harz</i>
	<i>Anzahl von Holzart abhängig, z.B. Kiefer sehr viel, Fichte sehr wenig</i>

Einzelfaser

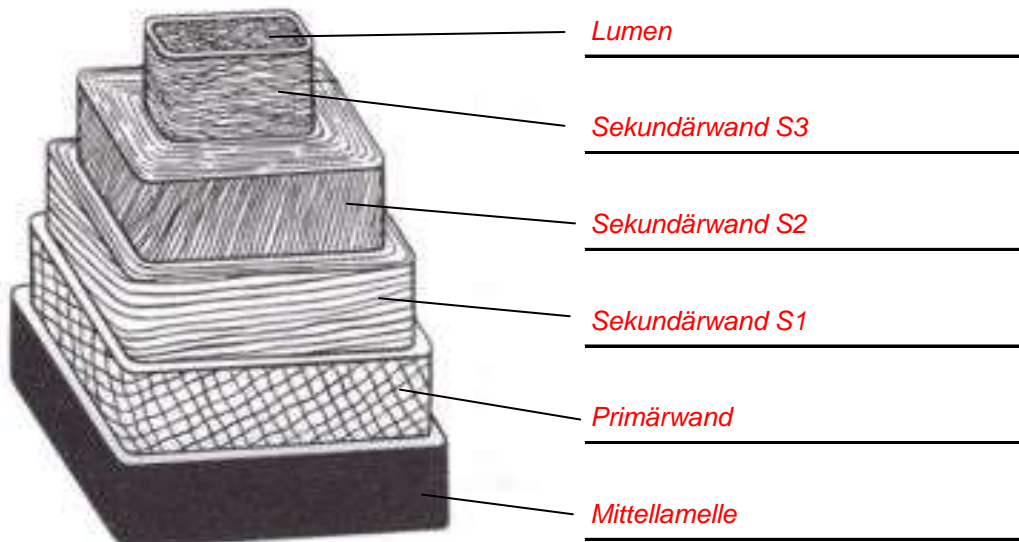
Fasern sind kleine, schlanke, an beiden Enden spitz zulaufende Gebilde.



alle Fasern (Tracheiden und Spindelzellen) haben den gleichen grundsätzlichen Aufbau, jede Holzart hat dann ihre eigenen Faserbesonderheiten

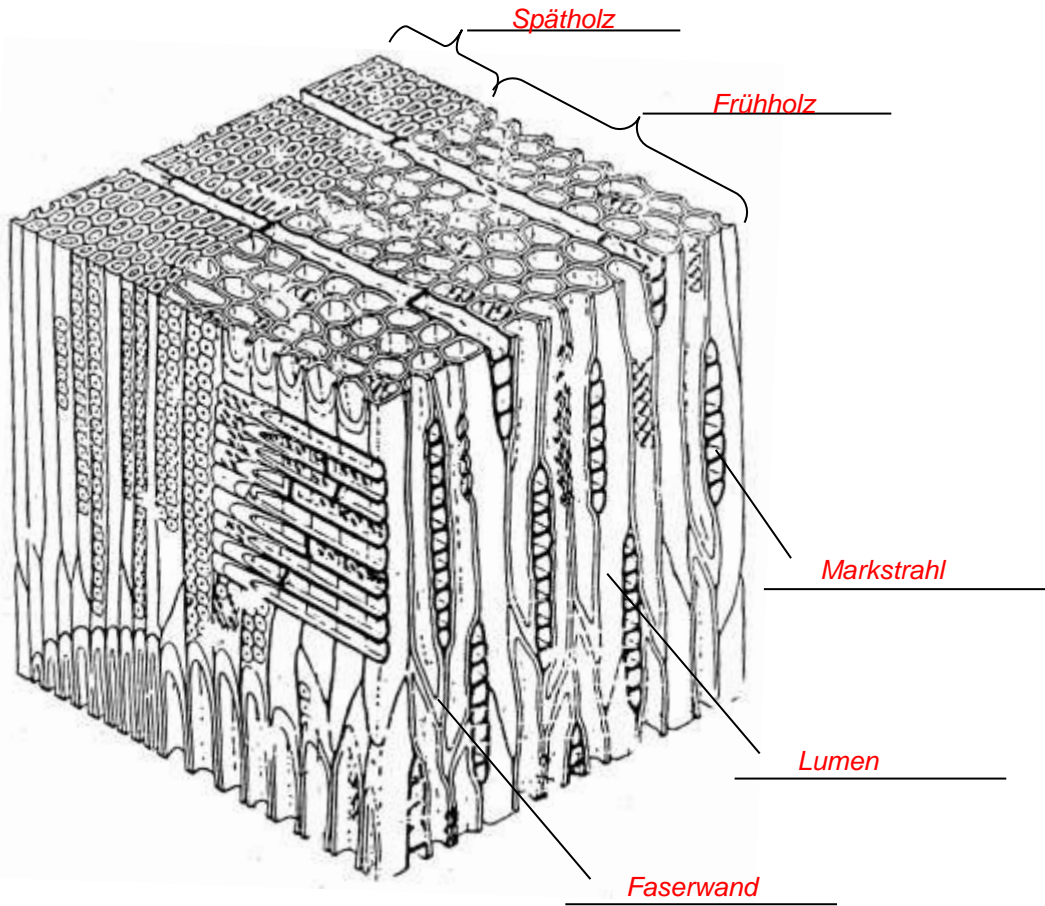
Aufbau der Faserwand

Die Faserwand wird auf Grund ihrer Textur (Zusammenfügung), der unterschiedlichen Anteile der chemischen Hauptbestandteile und der sich daraus ergebenden papiertechnologischen Bedeutung sowie der Dicke in Faserwandschichten aufgeteilt

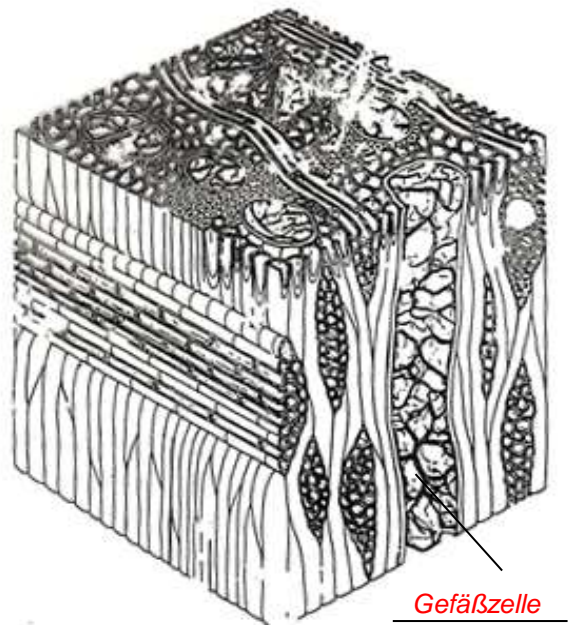


1. Wie sind die Fasern im Holz angeordnet?

Die Fasern sind im Holz axial angeordnet.

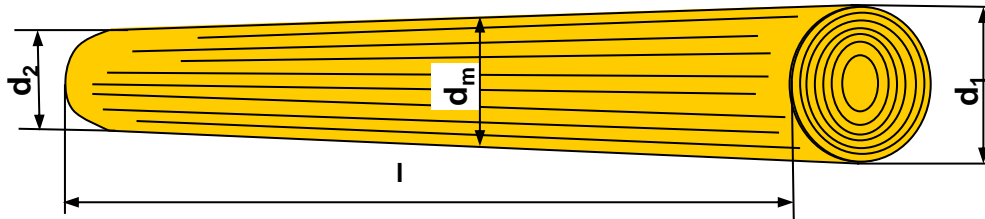


Laubholzwürfel



Im folgenden sollen **3 Fragen** beantwortet werden:

2. Wie viele Fasern sind eigentlich durchschnittlich in einem Baumstamm enthalten?



Baumdurchmesser: $d_1 = \underline{40 \text{ cm}}$ $d_2 = \underline{25 \text{ cm}}$ Baumlänge: $l = \underline{21 \text{ m}}$

Formel für Kegelstumpfvolumen (Mathebuch Seite 43)

$$V = \pi / 4 * d_m^2 * l \quad d_m = (d_1 + d_2) / 2$$

1. $\pi / 4 = \underline{0,785}$

2. $d_m^2 = [(d_1 + d_2) / 2]^2 = \underline{[(0,4 \text{ m} + 0,25 \text{ m}) / 2]^2} = \underline{0,106 \text{ m}^2}$

3. $l = \underline{21,00 \text{ m}}$

4. $V_{\text{Stamm}} = \frac{0,785}{(\pi / 4)} * \frac{0,106 \text{ m}^2}{(d_m^2)} * \frac{21,00 \text{ m}}{(l)}$

Das Baumstamm - Volumen beträgt $\underline{1,747 \text{ m}^3}$.

Faserdurchmesser: $\underline{0,04 \text{ mm}}$ Faserlänge: $\underline{3,5 \text{ mm}}$ (Nadelholz)

Formel für Faservolumen

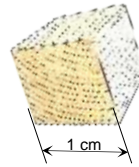
$$V = \pi / 4 * d^2 * l$$

1. $d^2 = \underline{0,0016 \text{ mm}^2} = \underline{0,000016 \text{ cm}^2}$

2. $l = \underline{3,5 \text{ mm}} = \underline{0,35 \text{ cm}}$

3. $V_{\text{Faser}} = \frac{0,785}{(\pi / 4)} * \frac{0,000016 \text{ cm}^2}{(d^2)} * \frac{0,35 \text{ cm}}{(l)} = \underline{0,000044 \text{ cm}^3}$

Wieviel Fasern passen in einen cm^3 Holz?



$$1 \text{ Faser} = \frac{0,0000044 \text{ cm}^3}{1 \text{ cm}^3}$$

$$X \text{ Fasern} =$$

1 cm^3 Nadelholz enthält in etwa 227.000 Einzelfasern.

Baumstamm - Volumen wie oben angegeben ca. 1,747 m^3 , bzw. 1.747.000 cm^3 .

$$\text{Faseranzahl} = \frac{227.000}{(\text{Fasern} / \text{cm}^3)} * \frac{1.747.000}{(\text{Baumstammvolumen})} \text{ cm}^3$$

Rein rechnerisch sind in diesem Baumstamm ca. 397 Milliarden Fasern.

Zum Vergleich, die Erdbevölkerung lag 2013 / 2014 bei ca. 7,2 Milliarden Menschen!!!

3. Wie viele Fasern sind in einem DIN A4 - Bogen?

Formel für Blattvolumen

$$V = a * b * c$$

$$\text{Länge} = \underline{27,9 \text{ cm}} \quad \text{Breite} = \underline{21,0 \text{ cm}} \quad \text{Dicke} = \underline{0,01 \text{ cm}}$$

$$1. \quad V = \underline{27,9 \text{ cm}} * \underline{21,0 \text{ cm}} * \underline{0,01 \text{ cm}} = \underline{5,859 \text{ cm}^3}$$

$$2. \quad \begin{array}{l} 1 \text{ Faser} = \\ X \text{ Fasern} = \end{array} \frac{0,0000044 \text{ cm}^3}{5,859 \text{ cm}^3}$$

1 Bogen DIN A4 enthält in etwa 1.331.000 Einzelfasern.

$$\frac{397 \text{ Milliarden}}{1.331.000} = \underline{298.000}$$

Aus dem Baum enthält man etwa 298.000 Bogen DIN A4.

$$\frac{298.000}{500} = \underline{596}$$

Aus dem Baum erhält man etwa 596 Packungen mit 500 Blatt DIN A4.

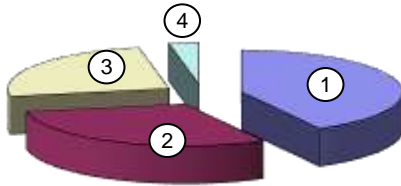
chemische Hauptbestandteile des Holzes

1. Zellulose

2. Hemizellulose

3. Lignin

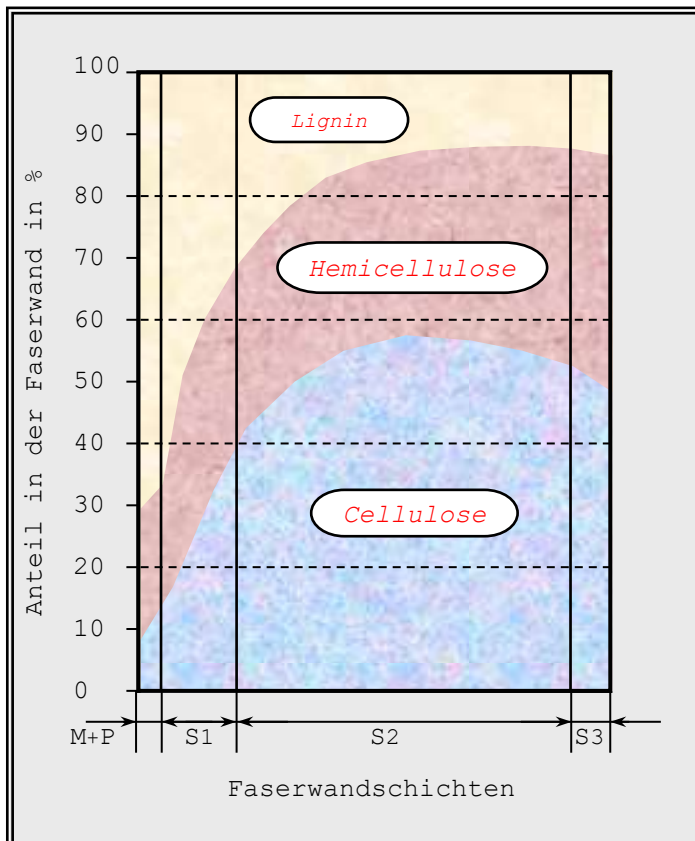
Verteilung im Holz



Anteile im Holz

1 -	<i>Zellulose</i>	ca.	<i>42</i>	%
<hr/>				
2 -	<i>Hemizellulose</i>	ca.	<i>30</i>	%
<hr/>				
3 -	<i>Lignin</i>	ca.	<i>25</i>	%
<hr/>				
4 -	<i>Begleitstoffe</i>	ca.	<i>3</i>	%

Verteilung in der Faserwand



Mittellamelle und Primärwand

ca.	10	%	Zellulose
<hr/>			
ca.	20	%	Hemizellulose
<hr/>			
ca.	70	%	Lignin

Sekundärwand 1

ca.	30	%	Zellulose
<hr/>			
ca.	20	%	Hemizellulose
<hr/>			
ca.	50	%	Lignin

Sekundärwand 2

ca.	45	%	Zellulose
<hr/>			
ca.	35	%	Hemizellulose
<hr/>			
ca.	20	%	Lignin

Sekundärwand 3

ca.	50	%	Zellulose
<hr/>			
ca.	35	%	Hemizellulose
<hr/>			
ca.	15	%	Lignin

1. Zellulose

2. Hemizellulose

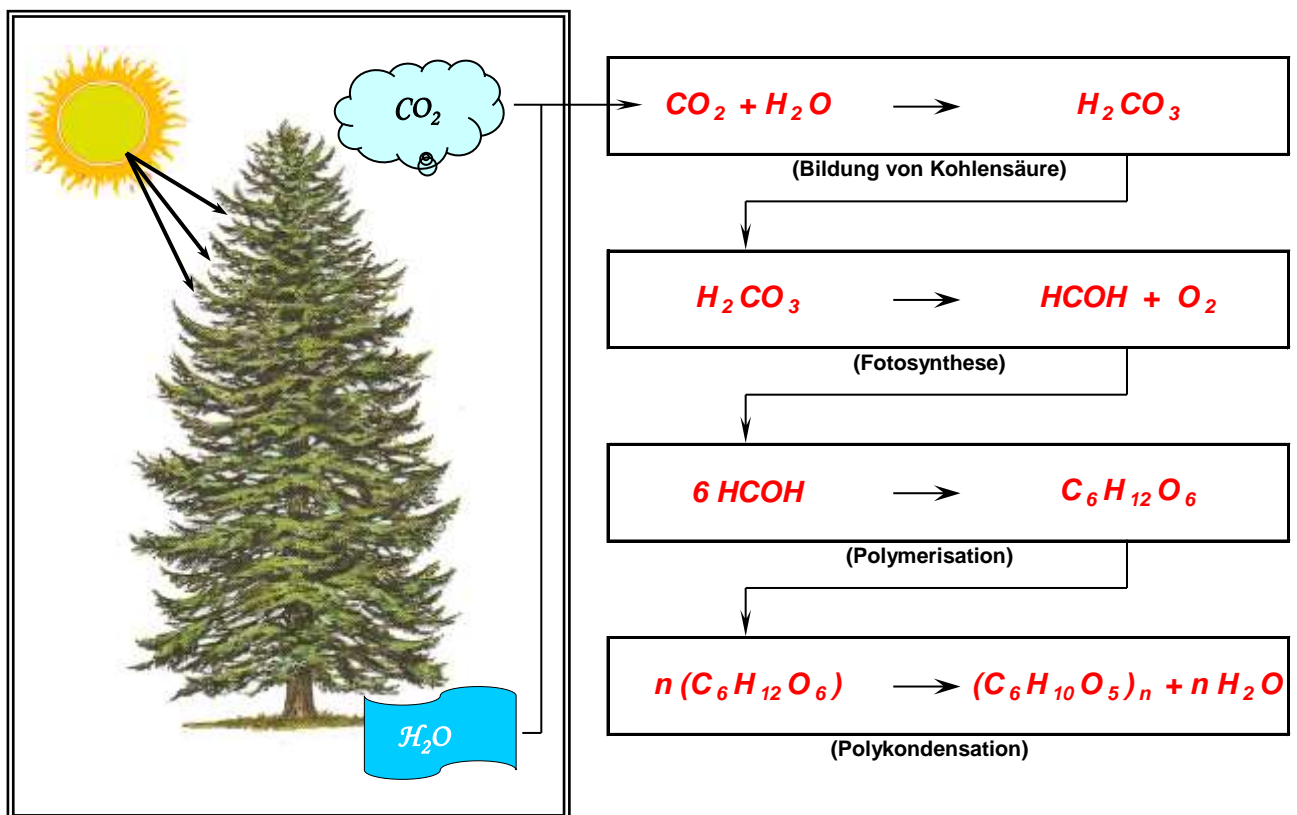
3. Lignin

Zellulose ist ein Kohlenhydrat und in ihrer Form ein Makromolekül. Sie wird auf der Grundlage von Monosacharid (Einfachzucker) gebildet. Zellulose ist papiertechnologisch der wertvollste Bestandteil des Holzes (Anteil bis 42 %). Sie ist als organische Substanz weltweit am weitesten verbreitet und zugleich die, die in absolut größter Menge auf der Erde vorkommt.

Die Bildung von Zellulose stellt den Umwandlungsprozess von unbelebter in belebte Substanz dar. Fälschlicherweise wird immer wieder im Sprachgebrauch der Zellstoff als Faserstoff mit der Zellulose als Makromolekül verwechselt. Da im Zellstoff mehr oder weniger alle Holzbestandteile enthalten sind, Zellulose hingegen ein reiner chemischer Stoff, ist diese "Gleichsetzung" nicht korrekt.

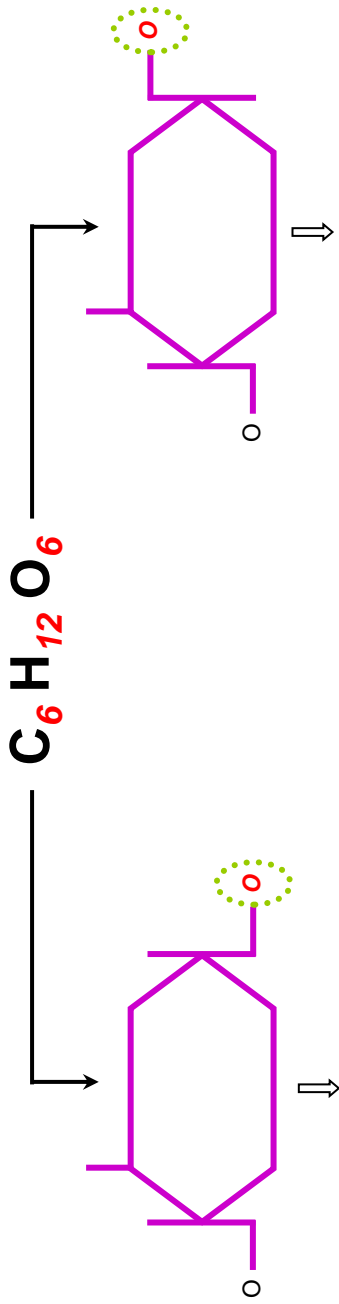
Bildung von Zellulose

Zur Bildung von Zellulose werden Wasser, CO_2 , Sonnenenergie sowie Blatt- bzw. Nadelgrün benötigt.



Kohlensäure ist chemisch nicht beständig - sie zerfällt sofort wieder. HCOH ist ein sogenanntes Assimilationsprodukt. $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ist ein Monosacharid also Traubenzucker. Daraus wird im Holz im Bildungsgewebe (Kambium) Zellulose, im Speichergewebe (Markstrahlzellen) Stärke aufgebaut. Beide Produkte haben die gleiche Summenformel.

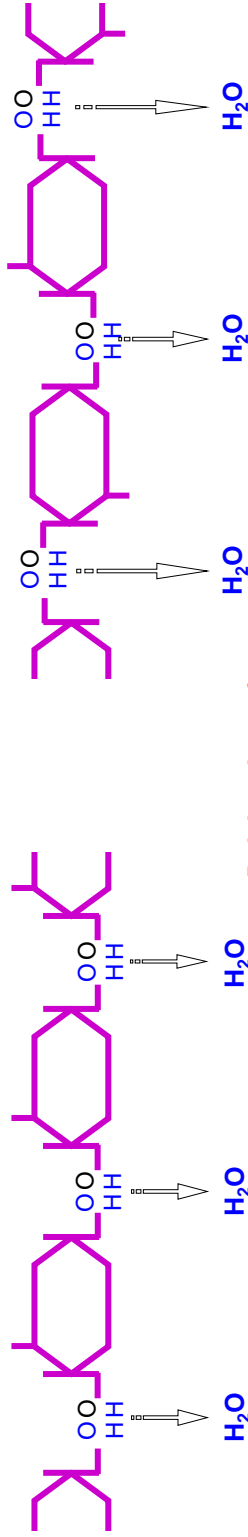
Polymerisation führt zur Bildung von Glukose (Traubenzucker)



α - Glukose

β - Glukose

zur Bildung von Makromolekülen werden Molekülketten gebildet



Polykondensation

Stärke

Cellulose



wasser löslich

wasser unlöslich

1. Zellulose

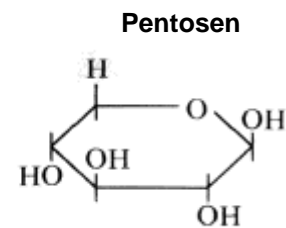
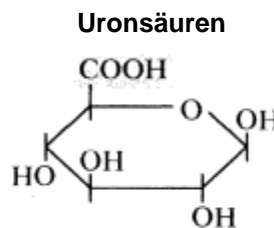
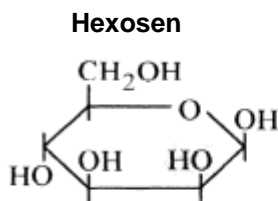
2. Hemizellulose

3. Lignin

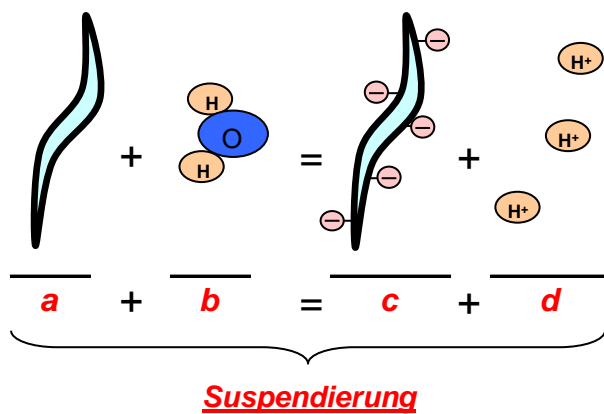
Hemizellulose (Halbzellulose) ist wie Zellulose ein Makromolekül auf Glukosebasis. Durch Stoffwechselfvorgänge werden im Bildungsgewebe unterschiedliche Hemizellulosen gebildet und in der Faserwand eingelagert. Zu den Hemizellulosen zählen die Hexosen, Uronsäuren und Pentosen. Sie sind überaus quellfreudig, verleihen der Faser im feuchten und nassen Zustand einen anionischen Charakter und sind hauptverantwortlich für die Festigkeiten im Papier (Wasserstoffbrückenbindung).

Der Hauptanteil an Hemizellulose befindet sich in der Sekundärwand 2 der Faser. Um diese optimal zu nutzen, ist ein aufreißen der Faserwand (bei Zellstoff) notwendig. Dieser Arbeitsgang findet in der Stoffaufbereitung statt und wird als Mahlung der Faser bezeichnet.

Beispiele für Grundbausteine der Hemizellulose



Bildung der Wasserstoffbrückenbindung

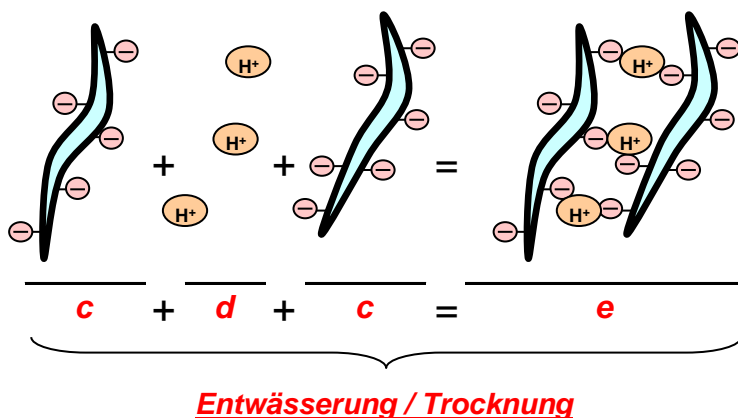


a Faserstoff lutro,
z.B. Zellstoff

b Wasser zur Dispergierung,
z.B. im Pulper

c Faser im gequollenen Zustand,
die Ladung wird anionisch (-)

d frei bewegliche Wasserstoffionen
in der Suspension

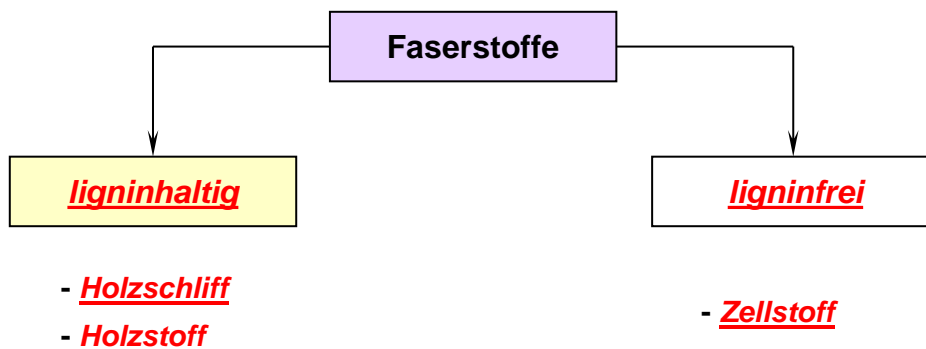
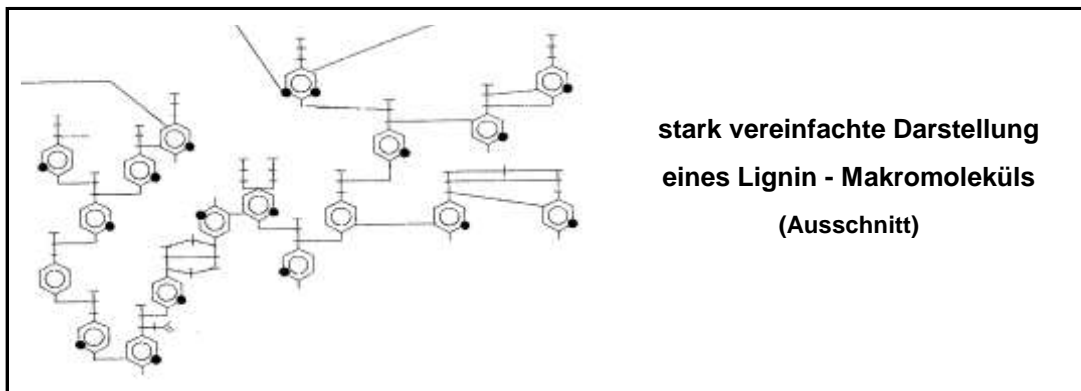


e während der Blattbildung lagern
sich zwischen den anionischen
Fasern Wasserstoffionen an,
es kommt zur Annäherung der
Fasern und schließlich zu
Bildung der Wasserstoffbrücken-
bindung

1. Zellulose2. Hemizellulose3. Lignin

Lignin ist ein auf Glukosebasis gebildetes dreidimensionales Makromolekül. Dabei spielen Benzolverbindungen eine wesentliche Rolle, die je nach Pflanzenart sehr unterschiedlich sind. Es ist hart, wasserfest, und gibt dem Holz seine spezifische Steifigkeit und damit Härte. Da es prozentual vor allem in der Mittellamelle vorhanden ist, gilt es schlechthin als die Kittsubstanz im Holz.

Lignin ist wie erwähnt für die "Festigkeit" im Holz verantwortlich, für die Herstellung von P-K-P sieht dies anders aus. Lignin macht die Faser spröde und behindert die Quellung. Damit bleiben der Großteil der Hemizellulosen inaktiv. Die Papierfestigkeiten bleiben gering. Luftsauerstoff und der Anteil an ultravioletter Strahlung im Licht führen zur Veränderung der Farbe von Lignin. Die ligninhaltige Faser wird gelblich, die Faser "vergilbt".



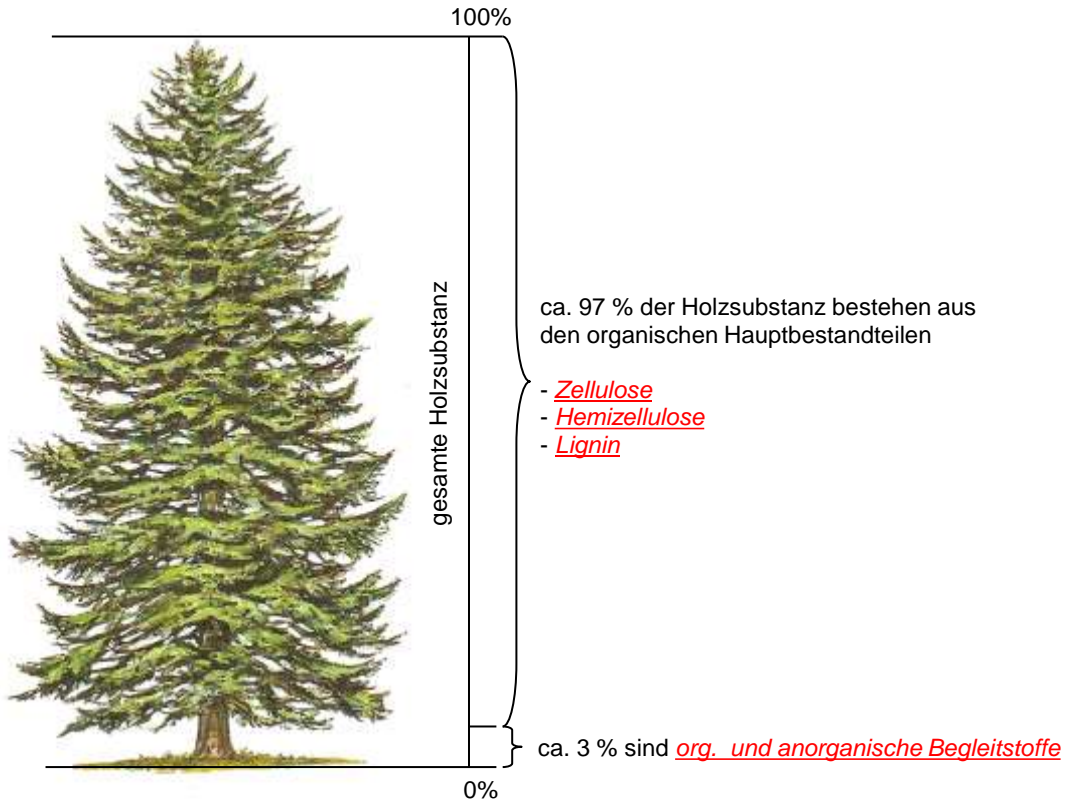
Da Lignin während des Holzwachstums allmählich aufgebaut wird, somit also einem "Reifeprozess" unterliegt, spricht man auch vom so genannten "verholzen" von Bäumen, Sträuchern etc..

Dieser Sachverhalt führte zu zwei grundsätzlichen Papierqualitäten:

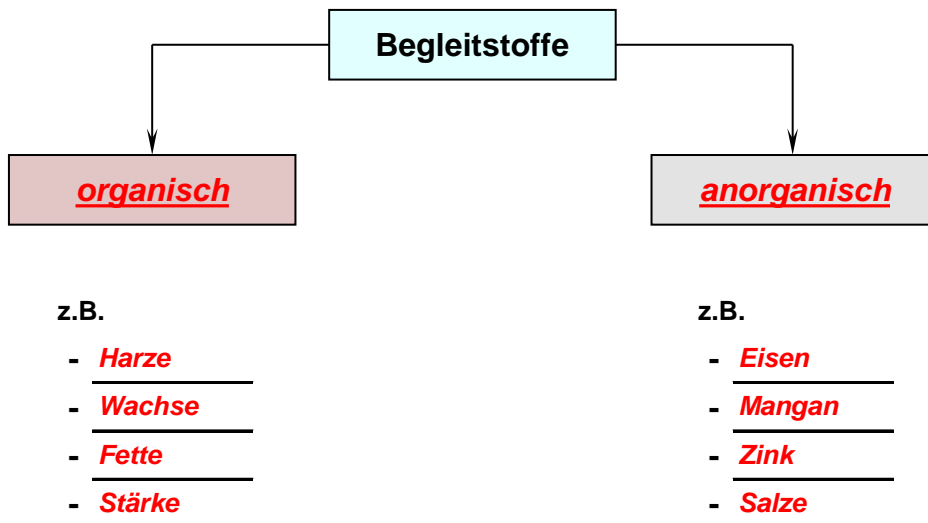
h'h' - holzhaltiges Papier, hergestellt aus ligninhaltigen Faserstoffen

h'f' - holzfreies Papier, hergestellt aus ligninfreien Faserstoffen

Begleitstoffe im Holz



Ergebnis des Stoffwechsels im Holz sind neben den chemischen Hauptbestandteilen organische und anorganische Begleitstoffe. In manchen Hölzern beläuft sich der Anteil auf bis zu 10% der gesamten Holzsubstanz. Die Art der Begleitstoffe sowie deren Anteil im Holz sind für die Verarbeitung zu Faserstoffen wichtig. Sie schließen Herstellungsverfahren völlig aus, bzw. erschweren diese nachhaltig.



Einjahrespflanzen als Faserrohstoffe zur Herstellung von Primärfaserstoffen

Einjahrespflanzen sind Pflanzen, die innerhalb eines Jahres ausreifen und damit verarbeitungsfähig sind. Da jedoch der Anbau dieser Pflanzen stark von den geographischen und damit verbunden klimatischen Bedingungen abhängig ist, kann weltweit nur beschränkt auf diesen Faserrohstoff zurückgegriffen werden. Der Anteil an der Welt-Faserstoffproduktion ist mit ca. 9 % sehr gering. Anbau und Verarbeitung sind jedoch regional sehr unterschiedlich.

Vorteile

- *schnell wachsend*
- *wenig bis kein Ligninanteil*
- *dadurch leichter aufzuschließen*
- *leichter bleichbar*

Nachteile

- *nicht ganzjährig verfügbar*
- *schlechte Lagerhaltung (z.B. Fäulnis)*
- *extrem große Mengen wahren notwendig*
- *hoher Anteil an Nichtfaserbestandteilen*



Baumwoll-Linters

Vorkommen: *tropische und subtropische Gebiete weltweit*

Fasercharakter: Länge: *bis 12* mm Dicke: *bis 0,03* mm

Besonderheiten: *ligninfreie Faser, Cellulosegehalt über 90 %*
besten Faserstoff für die Papierindustrie



Getreidestroh

Vorkommen: *weltweit*

Fasercharakter: Länge: *bis 2,0* mm Dicke: *bis 0,02* mm

Besonderheiten: *Knoten und Blätter enthalten viel Kieselsäure, muss ausgesondert werden*



Schilf

Vorkommen: *wasser- und sumpfreiches Gelände*

Fasercharakter: Länge: *bis 2,4* mm Dicke: *bis 0,03* mm

Besonderheiten: *Anbau, Ernte und Transport sind standortbedingt schwierig, ähnliche Eigenschaften wie Stroh*



Bagasse
(Zuckerrohr)

Vorkommen: *tropische Regionen für Zuckerrohranbau*

Fasercharakter: Länge: *bis 4* mm Dicke: *bis 0,02* mm

Besonderheiten: *ausgepresstes Zuckerrohr*



Alfa- o. Espartogras

Vorkommen: *Mittelmeerregion*

Fasercharakter: Länge: *bis 1,3* mm Dicke: *0,01* mm

Besonderheiten: *Halme haben keine Knoten wie z.B. Stroh, bessere Faserqualität, gute Opazität*

