

3 Aufbau von Pflanzenfasern

3.1 Holzfasern

3.1.1 Beschreibung der Zelltypen

Die Holzgewebe werden aus verschiedenen Zelltypen aufgebaut deren wichtigste mit ihren Besonderheiten in Tabelle 1 zusammengestellt werden.

Tabelle 1: Faserarten von Nadel- und Laubhölzern

<i>Faserfunktion</i>	<i>Nadelhölzer</i>		<i>Laubhölzer</i>	
	<i>Bezeichnung</i>	<i>Fasergestalt</i>	<i>Bezeichnung</i>	<i>Fasergestalt</i>
<i>Festigkeit</i>	Spätholztracheiden	lange englumige*) geschlossene Röhrenzellen	Libriform-, Sklerenchym-, Hart- oder Holzzellen (-fasern)	(meist) englumige geschlossene Röhrenzellen
<i>Leitung</i>	Frühholztracheiden	lange weitlumige geschlossene Röhrenzellen	Tracheen (Gefäße, Poren)	offene dünnwandige Röhrchen
<i>Speicherung längsgerichtet</i>	Holzparenchymzellen	kurze dünnwandige Zellen	Holzparenchymzellen	kurze dünnwandige Zellen
<i>radial</i>	Markstrahlparenchymzellen	kastenförmige dünnwandige Zellen	Markstrahlparenchymzellen	kastenförmige dünnwandige Zellen

*) Lumen = zentraler Hohlraum der Zelle

Die wichtigsten dieser Zellen sind in Abbildung 3 - 1 dargestellt.

Rolle der Frühholz- und Spätholzfasern im Papier

Für den Papiermacher sind die Unterschiede zwischen Frühholz- und Spätholzfasern bedeutsam, obwohl heute von diesem Unterschied praktisch nicht gebraucht gemacht wird. Technisch wäre es möglich, Früh- und Spätholzanteile im Faserstoff zu trennen, es sind allerdings bisher erst Pilotanlagen in Betrieb.

Die wertvollere Faserfraktion bilden die Frühholzfasern, denn sie sind länger und flexibler, führen daher zu einer höheren Vliesfestigkeit. Die an sich festeren Spätholzfasern tragen aufgrund ihrer Kürze weniger zur Papierstärke bei, sie erhöhen aber die Dichte.

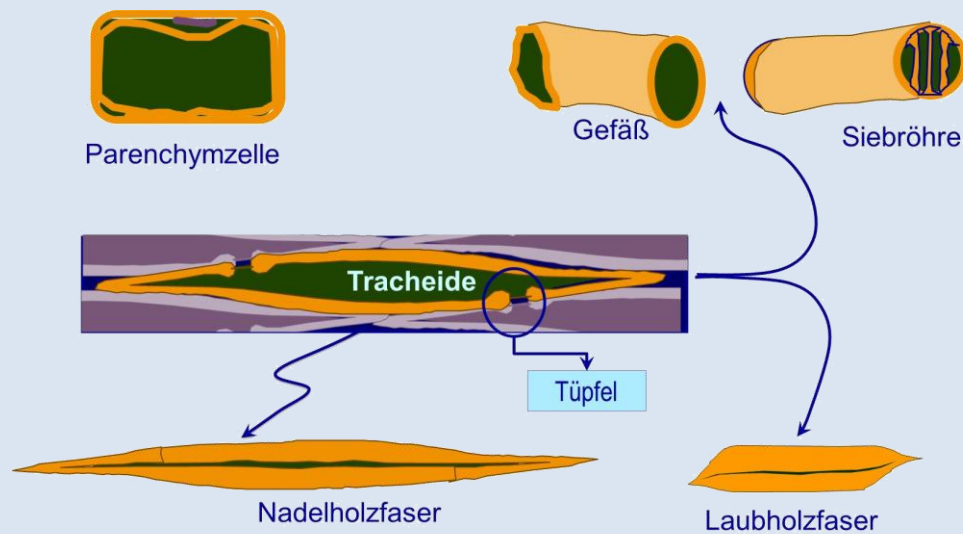


Abbildung 3 - 1: Verschiedene Zelltypen des Holzes. (Die Hoftüpfel sind durchgängige Öffnungen in der Tracheidenwand)

Im realen Holz sind die Zellen viel schlanker als in der schematischen Abbildung 3 - 1 dargestellt (siehe nebenstehende Mikroskopieaufnahme von Zellstofffasern).

Insgesamt finden sich im Holz Material verschiedene Zellarten, die dort verschiedene Aufgaben erfüllen. Unter all den Zellen sind nur die Faserzellen als Rohmaterial für Zellstoff-Fasern brauchbar.

Folgende Namen für verschiedene Zellarten kommen uns unter:

Epidermiszellen

Oberhautzellen; sie schließen den oberirdischen Vegetationskörper der Pflanze nach außen hin ab und schützen ihn vor schädlichen äußeren Einflüssen, diese Zellen erreichen durch Verdicken der Außenwand, durch Mineralisierung und häufig verzahnten Anschluss an die Nachbarzellen eine hohe mechanische Festigkeit

Fasern

Diese dienen im Holz dem Wassertransport (tracheal), der Speicherung der Nährstoffe (parenchymatisch) und der Festigung, der Begriff wird auch für die Stützzellen der Laubhölzer und des Strohs verwendet

Gefäße

Gefäße werden auch Tracheen genannt; es sind fass- bis faserförmige Zellen zur Wasser- und Nährstoffleitung im Inneren des Baumstammes, in dem so bis zu einigen Metern langen, aus vielen Einzeltracheen zusammengesetzten Röhren entstehen. In ihnen sterben die Protoplasmen ab; unterschiedliche Wandverdickungen verhindern lediglich, dass diese Leitungssysteme eingedrückt werden, die Tracheen haben im Baum keine Stützfunktion, ihr Vorkommen ist auf Laubhölzer beschränkt.



Delignifizierte Fichtentracheiden

Holzfasern im engeren Sinn

auch Libriform- oder Sklerenchymzellen genannt; sie treten beim Laubholz auf und verleihen diesem die Festigkeit; da einige von ihnen einfache, spaltförmige Tüpfel besitzen, werden sie von manchen Autoren mitunter auch fälschlich als Tracheiden oder als Pseudotracheiden bezeichnet.

Markstrahlzellen sind die Parenchymzellen (siehe unten), die die Markstrahlen ausfüllen.

Parenchymzellen

Unter Parenchym versteht man ein lockeres, wachstumsfähiges Pflanzengewebe.

Die Parenchymzellen sind ein wenig differenzierter Grundtyp lebender Zellen; sie enthalten lebendes Protoplasma und Reservestoffe sowie Stoffwechselprodukte, im Nadelholz auch Gerbstoffe und Harz. Diese Zellen verbleiben auch nach dem Absterben der Lebensaktivität des Stützgewebes im Holz.

Vom Mark zur Rinde laufende Markstrahlen bestehen aus einer Reihe Parenchymzellen, die die einzelnen Leitungszellen (Tracheen beim Laubholz, Frühholztracheiden beim Nadelholz) miteinander verbinden und die bei der Photosynthese gebildeten Kohlenhydrate zum Kambium leiten, als Sekretzellen umhüllen sie interzelluläre Hohlräume, die Harzkanäle.

Tracheiden

Stütz- und Leitungszellen des Nadelholzes. Sie sind röhrenförmig und weisen einen relativ engen Innenraum (Lumen) auf, ihr Protoplasma (wässriger Inhalt der lebenden Zellen) ist abgestorben; sie bilden beim Papierherstellungsprozess die sogenannten "Langfasern".

3.1.2 Besondere Merkmale der Holzzellen

Poren: ein wichtiges morphologisches Merkmal, das zur Unterscheidung der Nadelhölzer dienen kann, die Poren stellen die Verbindung der Tracheiden bzw. Tracheen mit den Parenchymzellen der Markstrahlen dar

Der Ausdruck Pore wird aber noch in einem anderen Zusammenhang gebraucht. Er bezeichnet die wasserleitenden Öffnungen im quer geschnittenen Holz.

Tüpfel: eine membranartige Stelle in der Tracheidenwand, die den Stoffaustausch zwischen den einzelnen Tracheiden ermöglicht

Tabelle 2: Übersicht über die einzelnen Zellarten und die Funktion, die sie ausüben:

Faserfunktion	Nadelhölzer		Laubhölzer	
	Bezeichnung	Fasergestalt	Bezeichnung	Fasergestalt
Festigkeit	Spätholztracheiden	lange englumige geschlossene Röhrenzellen	Libriform-, Sklerenchym-, Hart- oder Holzzellen (-fasern)	(meist) englumige geschlossene Röhrenzellen
Leitung	Frühholztracheiden	lange weitleumige geschlossene Röhrenzellen	Tracheen (Gefäße, Poren)	offene dünnwandige Röhren
Speicherung längsgerichtet	Holzparenchymzellen	kurze dünnwandige Zellen	Holzparenchymzellen	kurze dünnwandige Zellen
radial	Markstrahlparenchymzellen	kastenförmige dünnwandige Zellen	Markstrahlparenchymzellen	kastenförmige dünnwandige Zellen

3.1.3 Hauptfunktionen der stofflichen Komponenten der Pflanzenzellwand

Die Gesamteigenschaften des Holzes als auch der Zellen beruhen sowohl auf den Eigenschaften der einzelnen Stoffen, die sie aufbauen, als auch auf deren Form und der Art des Verbundes.

In diesen Verbunden steuern die einzelnen Biopolymere jeweils ihre Grundeigenschaften bei. Diese sind in Tabelle 3 zusammengestellt:

Tabelle 3: Grundeigenschaften der Biopolymere in den Pflanzenzellen

Substanz(gruppe)	Hauptfunktion
Cellulose	Aufnehmen der mechanischen Kräfte, besonders der Zugkräfte
Lignin	Aufnehmen von Druckkräften, Schutz der Pflanzenzellwand gegen hydrophilen Angriff; Kittsubstanz
Polyosen („Hemicellulosen“)	Kittsubstanzen und Flexibilisatoren; erleichtern den biologischen Abbau
Eiweiß und Glykoproteine (Protein-Saccharid-Copolymere)	Lebensvorgänge: Zellteilung
Nukleinsäuren, Pektine	Wachstum, Entwicklung, Steuerung, Synthese

3.1.4 Innere Faserstruktur der Holzfasern

Die verdickten Faserwände der Stütz- und Leitungszellen sind, mikroskopisch betrachtet, echte architektonische Meisterwerke. Das strukturenbende Gerüst bilden Cellulosefibrillen, die in Schichten (Lamellen) gewickelt, die Zellwand aufbauen. Diese Fibrillen bestehen wiederum aus noch feineren Fäserchen, den Mikrofibrillen und diese aus Makromolekülen. Die fibrillären Strukturen werden durch Lignin und Polyosen verkittet.

Abbildung 3 - 2 zeigt schematisch die konzentrisch um den inneren Hohlraum der Zelle (Lumen) angeordneten Schichten aus unterschiedlich gewickelten Cellulosefibrillen. Diese Fibrillen liegen in der außen liegenden Primärwand sowie in der inneren Tertiärwand als lockeres Netzwerk vor. Die Sekundärwand besteht aus dichtgepackten spiralförmig gewickelten Cellulosefibrillen, wobei die relativ dicke Sekundärwand selbst wieder aus verschiedenen Schichten aufgebaut sein kann, die sich untereinander in der Art der Wickelung unterscheiden (steil oder flach, parallel oder überkreuzend gewickelt).

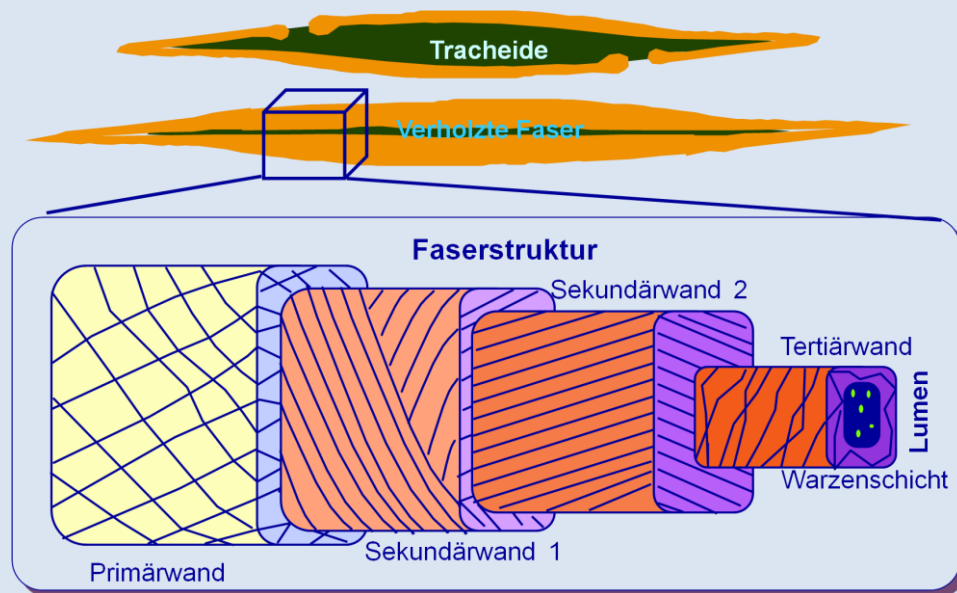


Abbildung 3 - 2: Struktur der Faserwand einer verholzten Zelle (die blauen Linien stellen Cellulosefibrillen dar)

Tabelle 4 gibt eine Übersicht über die Dimensionen der Zellschichten.

Tabelle 4: Schichtaufbau der Wände der verholzten Pflanzenzellen

Zellwandschicht	Dicke [µm]	Zahl von Mikrofibrillenschichten (Lamellen)	Mittlerer Orientierungswinkel der Mikrofibrillen
Primärwand (P)	0,0 - 0,1	Unregelmäßiges Netz	Unregelmäßiges Netz
Sekundärwand 1 (S1)	0,1 – 0,3	3 – 6	50 – 70
Sekundärwand 2 (S2)	1 - 8	30 - 150	5 – 10 (Spätholz) 20 – 30 (Frühholz)
Sekundärwand 3 (S3)	< 0,1	< 6	60 – 90
Mittellamelle	0,2 – 1,0		

Die Fasern im Holzgewebe sind dicht Seite an Seite gepackt und durch Lignin mit einander verkittet. Damit sie besser aneinander passen, sind sie tangential abgeplattet und haben eher einen rechteckigen als einen kreisrunden Querschnitt. Schneidet man Holz quer zur Stammachse, sind die Faserquerschnitte zu erkennen (Abbildung 3)

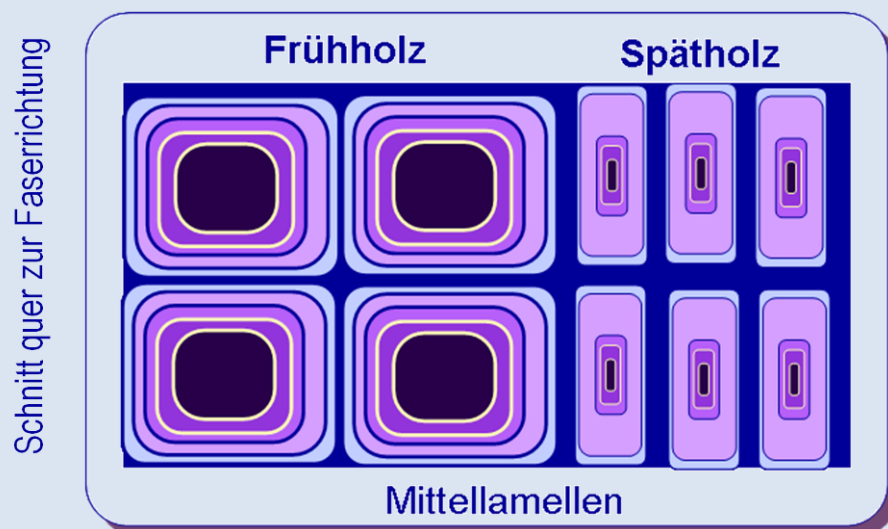


Abbildung 3: Querschnitt durch Holz an der Grenze zwischen Früh- und Spätholz

Die Frühholzzellen sind viel weiter und haben einen großen Hohlraum, der im lebenden Gewebe mit Wasser gefüllt ist. Das Spätholz besteht aus sehr kompakten, aber dickwandigen Zellen. Sie haben einen deutlich kleineren Querschnitt als die Frühholzzellen und sind in der Regel auch kürzer. Alle Zellen sind durch Lignin zusammengekittet. Diese Schicht nennt man „Mittellamelle“.

Um die Größenverhältnisse der Strukturelemente zu veranschaulichen, denken wir uns eine Faser auf die Größe eines 10 m langen Baumstamm zoomt.

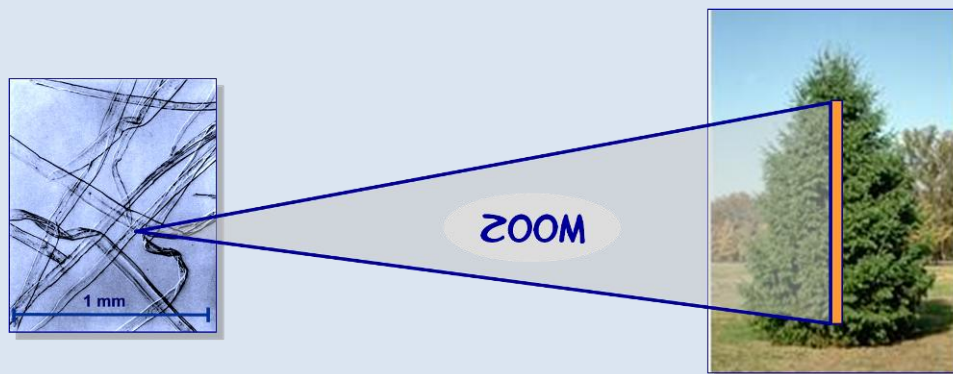


Abbildung 4: Baumstammmodell einer Holzfaser

In diesem Maßstab hätte eine Fibrille die Dimension eines dünnen Nagels und eine Mikrofibrille wäre so groß wie ein Floh-Bein (Abbildung 5)

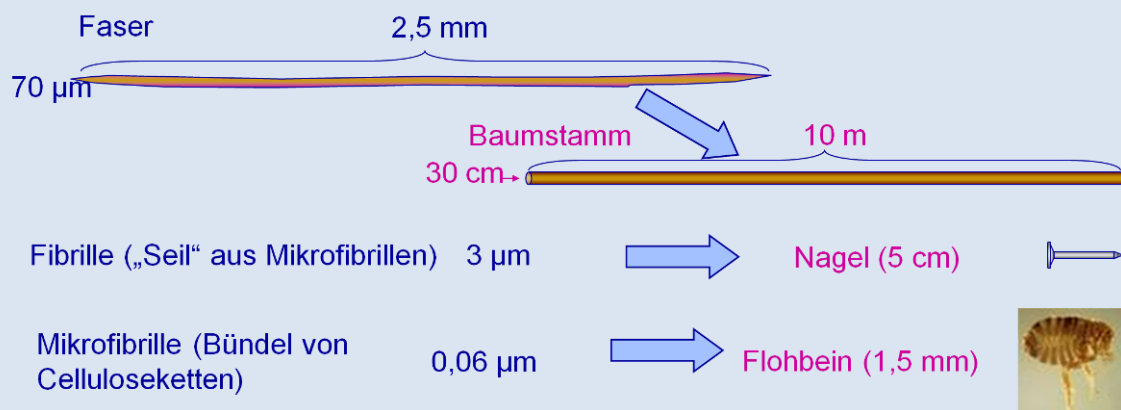


Abbildung 5: Dimensionen der Fasern, Fibrillen und Mikrofibrillen im Baumstammmodell

3.2 Bastfasern (Langfasern)

Die Fasern, die das Holz aufbauen, sind nur kurz, man spricht auch oft allgemein von Kurzfasern (nicht zu verwechseln mit der Bezeichnung Kurzfasern für Laubholzfasern in Zellstoffen). Pflanzen bilden aber auch oft viel längere Fasern, die ebenfalls im Wesentlichen aus Cellulose bestehen. Es handelt sich dabei entweder um die langen Fasern im Bast bestimmter Gewächse, um Fasern in harten Blättern, oder um Fasern, die an den Samen gebildet werden. Ihr Zellaufbau entspricht den Kurzfasern, aber ihre Länge kann bis zu 50 cm erreichen.

Übersicht über Pflanzenlangfasern (Langfasern¹)

- Bastfasern

¹ Der Ausdruck „Langfaser“ wird auch für Nadelholz Zellstoff verwendet, weil Nadelholzfasern länger sind als Laubholzfasern. Hier handelt es sich aber eigentlich um Fasern aus einem Kurzfasergewebe.

- Jute (eine tropische, krautige Malvenart)
- Hanf
- Lein (Flachs)
- Kenaf (eine tropische, langstielige Hibiscusart)
- Blattfasern
 - Sisal [Agave]
 - Henequen [Agave]
 - Abaca = Manilahanf [Blätter der Textilbanane]
- Samenfasern bestehen fast nur aus Cellulose mit hohem Polymerisationsgrad
 - Baumwolle
 - Kapok [ähnlich wie Baumwolle, hat ein sehr großes Lumen „Hohlfaser“]
 -

3.3 Kurzfasern von Einjahrespflanzen

Auch nicht ausdauernde Pflanzen können in Halmen oder Stängeln festes Stützgewebe bilden. Diese bilden getrocknet das Stroh, das ein vielseitig verwendbares Pflanzenmaterial darstellt. Die Stützzellen dieses Materials entsprechen denen des Holzes, sie sind aber meistens etwas kürzer und dünnwandiger. Insgesamt haben Einjahrespflanzen einen niedrigeren Faseranteil als Hölzer (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).

Tabelle 5: Zellarten von Einjahrespflanzen im Vergleich zu Nadel- und Laubhölzern

<i>Art</i>	<i>Botanischer Name</i>	<i>Faser- anteil [%]</i>	<i>Gefäß- anteil[%]</i>	<i>Parenchym anteil [%]</i>	<i>Epidermis -anteil[%]</i>
Weizen	Triticum vulgare	50	5	30	15
Zucker- rohr	Saccharum officinarum	40	20	40	
Chinas- chilf	Miscanthus sinensis	30	3	67	
Kenaf	Hibiscus canabinus	40	7	53	
Buche	Fagus sylvatica	50	35	15	
Pappel	Populus tremula	60	26	14	
Fichte	Picea abies	60	26	14	