

## 5 Chemische Zusammensetzung des Holzes

Holz ist das Gerüst- und Stützgewebe der ausdauernden Pflanzen. Wie alle lebenden Gewebe baut es sich aus einzelnen Zellen auf, deren innerer Hohlraum (das „Lumen“) im lebenden Holz mit einer wässrigen Lösung, dem Serum, gefüllt ist. In den nicht mehr lebenden Teilen des Holzes füllen sich die ursprünglich Wasser enthaltenden Hohlräume allmählich mit Luft. Im trockenen Holz findet sich dann nur noch das feste Material, aus denen die Pflanzenzellwände bestehen.

### 5.1 Chemie der Pflanzenzellwand

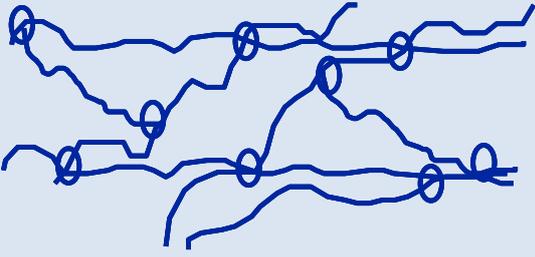
Die chemischen Verbindungen, die die Pflanzenzellwände der höheren Pflanzen aufbauen, sind überwiegend hochmolekulare, organische Verbindungen (Polymere). Diese sind in der Regel in Wasser oder herkömmlichen organischen Lösemitteln (z.B. Alkohol, Aceton, Hexan etc.) nicht löslich. Daneben finden sich im Holz noch niedermolekulare Verbindungen, die sich in Lösemitteln lösen und damit aus dem Holz herausgelöst (extrahiert) werden können. Diese Stoffe nennt man pauschal Extraktstoffe.

#### 5.1.1 Polymere Bestandteile

Polymere nennt man Stoffe, die sich aus Makromolekülen („Riesenmolekülen“) aufbauen. Polymere Werkstoffe werden auch als Kunststoffe bezeichnet.

Ein solches Makromolekül entsteht dadurch, dass sich sehr viele gleichartige Grundbausteine (Monomer-Moleküle) chemisch zu einem einzigen Molekül verbinden. Dabei können lange Ketten, verzweigte oder vernetzte Strukturen entstehen (Tabelle 1):

Tabelle 1: Molekulare Strukturen einfacher Polymerer

<p style="text-align: center;"><b>linear</b></p> 	<p style="text-align: center;"><b>kammartig verzweigt</b></p> 
<p style="text-align: center;"><b>strauchartig verzweigt</b></p> 	<p style="text-align: center;"><b>vernetzt</b></p> 

Die polymeren Bestandteile bilden das Zellgerüst. Dieses ist die Quelle für den „Primärfaserstoff“ des Papiermachers. Verwendet werden überwiegend die pflanzlichen Stützmaterialien (Holz des Stammes; Verstärkungsfasern der Stängel; Samenhaare)

Polymere im Holz sind Cellulose, Polyosen, (Hemicellulosen) und Lignin, die das Gerüst der Pflanzenzellwand aufbauen. Die Cellulose ist in seiner molekularen Struktur linear, die Polyosen (Hemicellulosen) verzweigt und das Lignin vernetzt.

Daneben kommen noch in geringen Mengen die Biopolymeren vor, die die Lebensvorgänge der Zelle kontrollieren. Dies sind kompliziert strukturierte Proteine (Eiweißstoffe) und Nukleinsäuren (diese sind linear aufgebaut). Manche Pflanzensorten enthalten noch eine mehr oder weniger große Menge an Pflanzengummi (Exsudate).

Den eigentlichen Rohstoff für den Faserstoff bilden die Wände der Stützzellen. Diese bauen sich aus einem polymeren Verbundmaterial auf, das, wie z.B. auch Stahlbeton oder faserverstärkte Kunststoffe, druck- und zugfeste Komponenten enthält.

Die Hauptkomponenten sind:

- Das Matrixmaterial Lignin
  - Sehr fest (kann Druckkräfte aufnehmen)
  - Wenig flexibel (spröde)
  - Hydrophob = wasserabweisend (schützt gegen Wasserangriff)
  - Biologisch nur sehr langsam abbaubar (schützt gegen Mikroben)
- Verstärkungsmaterial Cellulose
  - Hohe Zugfestigkeit (kann Zugspannungen aufnehmen)
- Polyosen (Hemicellulosen)
  - flexibler Kitt zwischen Lignin und Cellulose und zwischen den Cellulosefibrillen

Die Papier-Faserstoffe enthalten mehr oder weniger dieser Grundstoffe

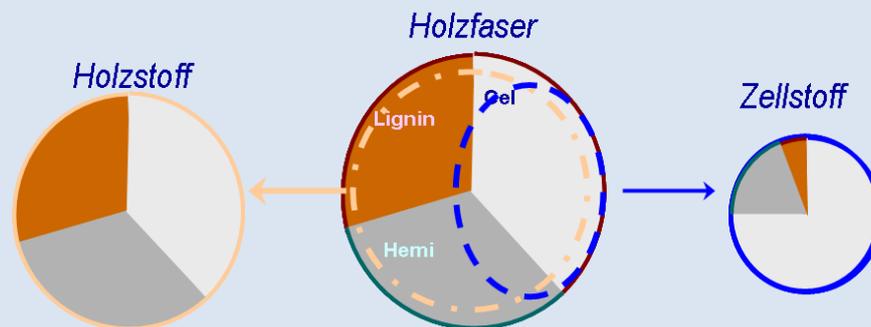


Abbildung 1: Polymere Bestandteile der Faserstoffe aus Holz

Während im Holzstoff noch sämtliche polymeren Verbindungen weitgehend erhalten sind, finden sich im Zellstoff wesentlich weniger Lignin und Hemicellulosen.

### 5.1.1.1 Verteilung der polymeren Bestandteile in der Pflanzenzellwand

Die Faserwand ist ein strukturiertes Compound aus Cellulose und Begleitpolymeren in der diese Polymeren in ganz bestimmter Weise verteilt sind. Ins Auge springt, dass die Cellulose mikroskopisch feine Stränge (Fibrillen) bildet, die wie eine Textileinlage im Autoreifen oder im Gartenschlauch die Zugfestigkeit des Verbundmaterials gewährleisten.

Diese Cellulosefibrillen sind in der mittleren Zellwandschicht (Sekundärwand) besonders dicht gepackt, daher ist auch dort die Cellulosekonzentration am höchsten. Die Zellen werden von einer Ligninschicht umhüllt, daher ist die Konzentration an Lignin an der Zellaußenwand (in der Mittel-Lamelle) am höchsten. Abbildung 2 zeigt, wie die Konzentration der Zellwandkomponenten in der Zellwand insgesamt variiert.

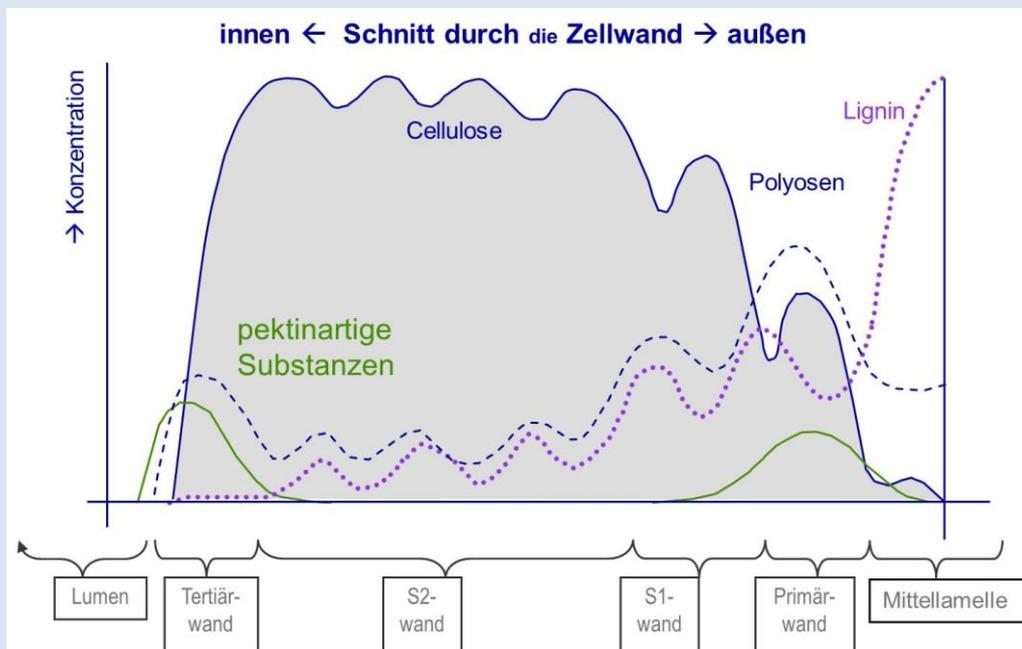


Abbildung 2: Verteilung der chemischen Bestandteile der Zellwand der Holzfaser entlang einem Schnitt von innen (Lumen) nach außen (Mittellamelle)

Die kleinen Schwankungen in der Mittelschicht kommen durch die Packung der Cellulosefibrillen zustande.

### 5.1.2 Niedermolekulare Bestandteile des Holzes

Niedermolekular werden chemische Verbindungen bezeichnet, deren Moleküle aus relativ wenigen Atomen bestehen (Größenordnung 10 bis 100).

Im Holz fasst man diese niedermolekularen Verbindungen in der Gruppe der Extraktstoffe zusammen. Dabei handelt es sich um Stoffwechsel-Zwischenprodukte der lebenden Zellen, um Energielieferanten, chemische Schutzstoffe (z.B. Biozide) und Katalysatoren für den pflanzlichen Stoffwechsel (metallische Enzymbestandteile). Daneben gibt es auch noch eingeschleppte „Verunreinigungen“.

An niedermolekularen Komponenten finden wir im Holz:

- Anorganische Spurenelemente („Asche“)
  - ◆ Alkali- und Erdalkalielemente (Na, K, Ca, Mg)
  - ◆ Chlorid, Sulfat, Phosphat
  - ◆ Kieselsäure und Silikate
  - ◆ Metalle (darunter geringe Mengen von Schwermetallen)
- Organische Verbindungen
  - ◆ Harze
  - ◆ Fette und Öle
  - ◆ Wachse
  - ◆ Gerb- und Huminstoffe
  - ◆ Terpene (Bestandteile des Terpentins)
  - ◆ vereinzelt kautschukartige Stoffe

#### 5.1.2.1 Organische Extraktstoffe

Die niedermolekularen organischen Bestandteile des Holzes sind Kohlenwasserstoff-Derivate und überwiegend hydrophobe Verbindungen. Es handelt sich dabei um „Extraktstoffe“ im engeren Sinn, die in unpolaren (wenig polaren) Lösemitteln löslich sind. Zu diesen Lösungsmitteln gehören Alkohole, Aceton, halogenierte Kohlenwasserstoffe (z.B. Dichlormethan  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ ).

Hauptgruppen von (organischen) Extraktstoffen

- Harze (Harzsäuren)
- Fette und Öle (langkettige Glycerinester )
- Wachse (Ester aus Fettsäuren und Fettalkoholen)
- Gerbstoffe und Huminstoffe
- Terpene und Geruchsstoffe (überwiegend Isoprenoide)

#### 5.1.2.2 Wasserlösliche Bestandteile des Holzes

Holz enthält auch in geringen Mengen niedermolekulare hydrophile Substanzen, mit Wasser extrahierbar sind.

- Zucker und Zuckersäuren
- Abbau- und Reaktionsprodukte (Alkohole, Ketone, Säuren...)
- Anorganische Spurenelemente („Asche“)
- Anorganische Salze in Form von Ionen

- Kationen (Metallionen)
  - Alkali ( $\text{Na}^{\oplus}$ ,  $\text{K}^{\oplus}$ ); Erdalkali ( $\text{Ca}^{2\oplus}$ ,  $\text{Mg}^{2\oplus}$ ); Aluminium ( $\text{Al}^{3\oplus}$ )
  - geringe Mengen von Schwermetallen ( $\text{Fe}^{3\oplus}$ ,  $\text{Cu}^{2\oplus}$ ,  $\text{Co}^{2\oplus}$ ,  $\text{Mn}^{4\oplus}$ ...)
- Anionen
  - Chlorid ( $\text{Cl}^{\ominus}$ ) (ist im Gegensatz zu organisch gebundenem Chlor physiologisch völlig unbedenklich)
  - Sulfat ( $\text{SO}_4^{2\ominus}$ )
  - Phosphat ( $\text{PO}_4^{3\ominus}$ )
- Kationen und Anionen bilden Salze (z.B. NaCl)
  - Kieselsäure ( $\text{SiO}_2$ ; Silikate) als schwer lösliche anorganische Verbindungen

Die anorganischen Bestandteile bilden beim Verbrennen die Asche. Man verwendet daher allgemein als Summenparameter für den Gehalt an anorganischen Bestandteilen, die Menge an Asche, die beim Verbrennen an der Luft bei ca. 450°C zurückbleibt („Aschegehalt“).

## 5.2 Chemische Zusammensetzung verschiedener Hölzer

Alle Hölzer zeigen einen spezifischen Fingerabdruck der chemischen Zusammensetzung. Innerhalb der Pflanze gibt es aber noch gewisse Unterschiede von Pflanze zu Pflanze, abhängig von Alter, Standort, Klima, Umwelteinflüssen etc. Selbst in einer und derselben Pflanze unterscheidet sich Spät- und Frühholz, Druck- und Zugholz sowohl in Struktur als auch Zusammensetzung.

Tabelle 2 gibt Orientierungswerte für die Zusammensetzung verschiedener Hölzer. Die Pentosane sind hier als Untergruppe der Hemicellulosen gesondert aufgelistet, sind aber auch in der Zahl für die Hemicellulosen enthalten. Unter Extrakt werden hier wie üblich nur die organische Extraktstoffe verstanden.

Tabelle 2: Chemische Zusammensetzung verschiedener Hölzer

Name	Botanischer Name	Anteil an (%)					
		Cellulose	Hemicellulose	davon Pentosan	Lignin	Extrakt	Asche
Kiefer	<i>Pinus sylvestris</i>	44	26	9	28	4	0,4
Fichte	<i>Picea abies</i>	43	27	9	29	2	0,4
Douglasie	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	47	22	7	30	5	0,3
Silbertanne	<i>Abies alba</i>	43	27	11	29	3	0,5
Birke	<i>Betula verrucosa</i>	46	36	25	19	2	0,3
Buche	<i>Fagus sylvatica</i>	45	35	17	18	4	0,3
Pappel	<i>Populus tremuloides</i>	50	31	17	18	4	0,3

### 5.3 Besonderheiten der Fasern von Einjahrespflanzen

Neben Holz werden weltweit auch andere Pflanzen als Quelle für Papierfasern herangezogen. Dabei handelt es sich entweder um Samen-, Bast- oder Stützgewebefasern.

In Tabelle 3 ist zu sehen, dass die Fasern der Einjahrespflanzen in der Regel einen niedrigeren Ligningehalt aufweisen, daher auch leichter aufschließbar sein sollten. Allerdings findet man bei den Gräsern häufig ein anderes unlösliches Inkrustierungsmittel, die Kieselsäure. Dies gilt insbesondere für das Riesengras Bambus.

Kieselsäure lässt sich nur durch Kochen mit sehr starker Lauge in kolloidale Lösung bringen und aus dem Pflanzenmaterial entfernen. Bei der Behandlung mit so starker Lauge werden auch die Polysaccharide Cellulose und Polyosen schon empfindlich geschädigt. Da die Faserzellen der Einjahrespflanzen zudem durchwegs schlank und oft sehr dünnwandig sind, bringen daraus hergestellte Zellstoffe wenig Festigkeit.

Tabelle 3: Vergleich von Holzfasern mit Fasern von Einjahrespflanzen

	Cellulose (%)	Lignin (%)	Faserabmessungen (mm)	
			Mittl. Länge	Mittl. Breite
<b>Lange Fasern</b>				
Baumwolle	85 - 90	0.7 - 1.6	25	0.020
Samenflachs	43 - 47	21 - 23	30	0.020
Hanf	57 - 77	9 - 13	20	0.022
Abaca	56 - 63	7 - 9	6	0.024
<b>Mittellange Fasern</b>				
Nadelhölzer	40 - 45	26 - 34	4.1	0.025
Sisal	47 - 62	7 - 9	3.3	0.02
Bambus	44 - 57	21 - 31	2.7	0.014
Kenaf	26 - 43	15 - 19	2.6	0.02
Jute	45 - 63	21 - 26	2.5	0.02
Papyrus	38 - 44	16 - 19	1.8	0.012
Zuckerrohr Bagasse	32 - 37	18 - 26	1.7	0.02
<b>Kurze Fasern</b>				
Laubhölzer	38 - 49	23 - 30	1.2	0.03
Getreidestroh	31 - 45	16 - 19	1.5	0.023
Maisstroh	32 - 35	16 - 27	1.5	0.018
Weizenstroh	33 - 39	16 - 23	1.4	0.015
Reisstroh	28 - 36	12 - 16	1.4	0.008
Esparto	33 - 38	17 - 19	1.2	0.013

Judt  
ipw 2002  
Quelle: [9]