

2 Struktur des Rohmaterials Holz

Holz ist heute der wichtigste primäre Rohstoff für Papier. Wir sehen uns daher im Folgenden zunächst das Holz genauer an.

Aus klassischen, chemischen Rohstoffen, wird beim „Aufschluss“ (also der Verhüttung) normalerweise nur ein Element oder eine einfache Verbindung aus dem Rohstoff isoliert. Zum Beispiel wird das Eisen (Fe) durch Reduktion und Schmelzen bei sehr hohen Temperaturen aus dem Eisenoxid-Erz (unter anderem Fe_2O_3) gewonnen. Die innere Struktur des Rohstoffs wird dabei vollständig zerstört. Wenn wir aber Fasern aus Pflanzenmaterial isolieren, dann müssen wir viel schonender vorgehen, weil eine ganze komplexe, organische Struktur (die fertige Pflanzenfaser) möglichst unbeschädigt aus dem Rohstoff Holz herausgelöst werden muss.

Wir müssen daher nicht nur einfach die chemische Zusammensetzung des Holzes beachten, sondern vor allem seinen strukturellen Aufbau.

2.1 Allgemeine Eigenschaften des Holzes

Was verstehen wir unter dem wertvollen Stoff „Holz“, das für die klassische chinesische Kultur sogar als das fünfte Element angesehen wurde? Man kann es definieren als

- festes, lignin-haltiges Pflanzengewebe („Lignin“=Holzstoff von lat. lignum = Holz)
- Botanisch: vom Kambium erzeugtes sekundäre Xylem („Xylem“ = Holzgewebe von gr. ξύλον xylos = Holz) der Samenpflanzen

Besonderheiten dieses Stoffes sind (siehe auch Tabelle 1):

- Es ist stark anisotrop (bevorzugt Faserrichtung, parallel zur Wachstumsachse, radial, tangential)
- Es ist hygroskopisch (Fasersättigungspunkt 25% - 35% Wasser in den Hohlräumen [Poren]). Beim Trocknen verkleinern sich die Poren und Wasser wird durch Luft ersetzt (Dichte sinkt). Dichte des trockenen Zellmaterials: ca. $1,5 \text{ kg/m}^3$. Das trockene Holz ist relativ leicht, wesentlich leichter als Stein, Keramik und Metalle.
- übernimmt in den großen Landpflanzen die tragende Funktion, sie bildet das starke Gerüst der Bäume, die über hundert Meter hoch werden können. Das Holz ist daher mechanisch fest (druck- und zugfest) und elastisch und eignet sich als hervorragender Werkstoff und Baumaterial

Tabelle 1 führt einige wichtige Eigenschaften verschiedener Hölzer an.

Tabelle 1: Dichte und Zugfestigkeiten verschiedener, einheimischer Holzarten

	<i>Holzart</i>	<i>Rohdichte (kg/m³)</i>		<i>Festigkeiten (N/mm²)</i>	
		12% r.F.	Zug (axial)	Zug (axial)	Schub (axial)
Nadelhölzer	Fichte	470	80	80	7,5
	Kiefer	520	80	80	10
	Lärche	590	105	105	9
Laubhölzer	Birke	650	120	120	14
	Buche	690	135	135	10
	Eiche	670	110	110	11,5
	Esche	690	105	105	13

Man erkennt, dass die Laubhölzer schwerer und stärker als die Nadelhölzer sind. Laubholz wird daher im Deutschen auch „Hartholz“, Nadelholz „Weichholz“ genannt. Diese Unterschiede der Eigenschaften beruhen weniger auch einem Unterschied in der chemischen Zusammensetzung, sondern vielmehr auf dem verschiedenen mikroskopischen Aufbau.

2.2 Struktur und Bildung von Pflanzengerüsten

Die Evolution der Pflanzen sorgte dafür, dass die verschiedenen Pflanzenmaterialien (z.B. das Holz) ihre Aufgabe optimal erfüllen können.

Das Holz der höheren Pflanzen vereint die wichtigen Stützfunktionen des Pflanzenkörpers (wie ein Skelett) als auch Leitungsfunktionen für die Pflanzensäfte (wie ein Adersystem). Diese Funktionen haben sich während der Entwicklung der Pflanzen herausgebildet. Abbildung 2 - 1 zeigt, wie sich durch Zusammenschluss einzelner Zellen Materialien (Gewebe) bilden, die Stütz- und Schutzfunktionen wahrnehmen können:

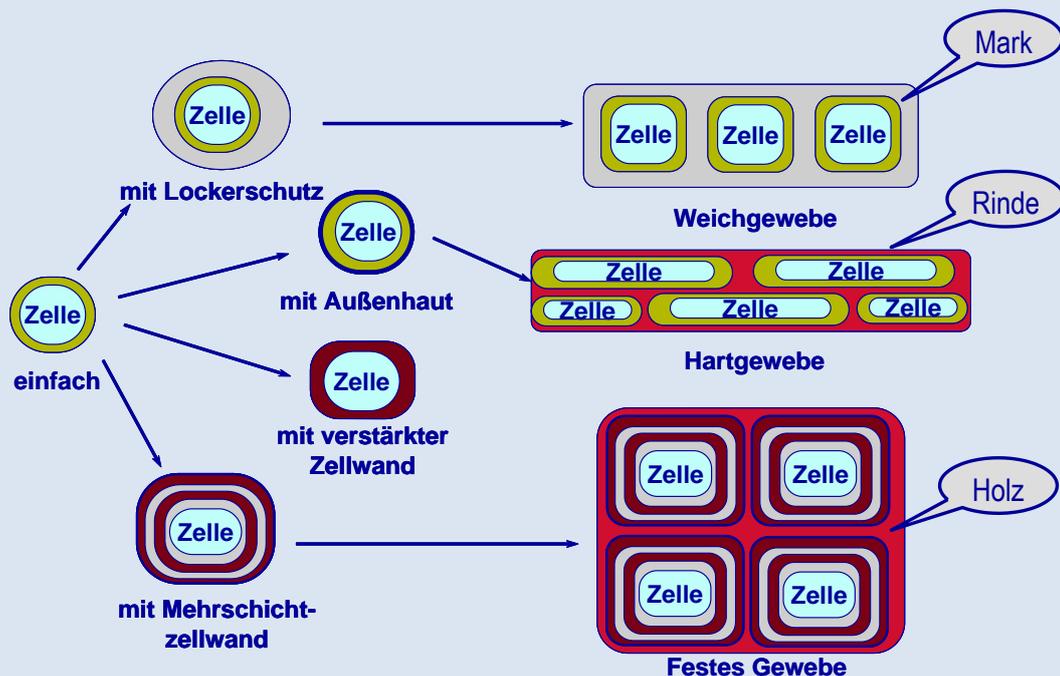


Abbildung 2 - 1: Bildung von festen Zellverbunden („Gewebe“) für Pflanzengerüste

Eine einzelne weich-gallertige lebende Zelle ist ein sehr empfindliches Gebilde. Sie muss sich gegen die Umgebung schützen. Das Patentrezept dazu ist, eine dicke Haut zu bilden. Dazu verstärken die Zellen ihre Wand, indem sie festes Material entweder außen an der Zellwand anlagern oder in der Zellwand selbst einlagern.

Am einfachsten und auch am stärksten sind auf diese Weise entstehende Kalk- oder Silikat-Schalen. Solche Schalen sind zwar leicht zu bilden, weil die Zelle, vereinfacht gesagt, nur das pH - Milieu in der Schale so zu ändern braucht, dass die im Wasser gelösten anorganischen Salze ausfallen. Andererseits schnüren solche feste Außenskelette die Zelle wie ein Panzer ein, behindern den weiteren Stoffaustausch mit der Umgebung und verhindern das Wachstum.

Absolut gesehen, bilden Organismen auf diese Weise riesige Mengen an anorganischen Materialien. Diese Skelette können nur sehr schwer abgebaut werden und bleiben erhalten, wenn die Organismen absterben. Aus solchen mikrobiologischen Abfallhalden bilden sich Gesteine und ganze Gebirge. In weiterem Sinne könnte man sogar diese Produkte zur Biomasse rechnen.

☞ Die quantitativ weitaus wichtigsten Überreste biologischer Produktion sind Kalk, Kreide, Marmor und verschiedene Kieselmineralien.

Die anorganischen Außenskelette haben die schon genannten Nachteile für die Organismen. Daher ist die biologische Entwicklung weiter fortgeschritten zu maßgeschneiderten Verstärkungen aus organischen Stoffen. Im Zellwasser und in einer wässrigen Umgebung müssen dazu im Wasser zunächst gelöste Stoffe unlöslich gemacht werden.

Drei Wege, die in Tabelle 2 erläutert sind, können zu diesem Ziel führen:

Tabelle 2: Möglichkeiten der Immobilisierung organischer Stoffe in einer Zelle

Immobilisierungsart	Voraussetzung
Polymerisation	Moleküle, die sich an mindestens zwei Stellen mit anderen, ähnlichen oder gleichartigen Molekülen verbinden können
Vernetzung	Moleküle, die sich an mehr als zwei Stellen mit anderen, ähnlichen oder gleichartigen verbinden können
Kristallisation	regelmäßige Struktur und Fähigkeit, starke zwischenmolekulare Bindungen auszubilden.

2.3 Das organische Außenskelett der Einzeller

Die o.g. Bedingungen für einen organischen Verstärkungsstoff werden am besten durch Zuckermoleküle (Kohlenhydrate, Saccharide) erfüllt. Zudem sind sie als formal einfache Verbindungen von Kohlenstoff und Wasser am besten zugänglich.

Trotzdem ist zu vermuten, dass die Kohlenhydrate in der Evolution erst nach den Proteinen und Nukleinsäuren in größerer Menge gebildet wurden. Letztere stickstoffhaltigen Verbindungen konnten in der Ammoniak - Atmosphäre besonders leicht gebildet werden und sie sind chemisch vielfältiger und können differenzierter reagieren. Zudem eignen sie sich besser als Überträger von Information.

2.3.1 Der extrazelluläre Schutzmantel

Die erste Schutzmaßnahme der einfachen Einzeller war, dass sie sich mit einer schwer durchdringbaren Gallerte umgaben. (Die ersten Menschen haben ja auch nicht sofort feste Holzhütten oder Steinhäuser errichtet, sondern sicherten zuerst ihren Lagerplatz durch lockeres, aber trotzdem nicht leicht durchdringbares Gestrüpp).

Die Gallerte kann aus verschiedenen Substanzen bestehen. Zuerst wurden wohl extracelluläre Proteine verwendet, mit zunehmender Stickstoffknappheit aber wurden von den Organismen mehr und mehr Kohlenhydrate benutzt.

Man findet Glykoproteide (Copolymere aus Zucker- und Eiweißbestandteilen), kurzkettige Polysaccharide (z.B. Dextrane) und Polysaccharide mit Säurefunktionen. Solche von Bakterien, Pilzen und Algen produzierte Schleim- und Gallertstoffe werden bis jetzt kaum vom Menschen genutzt, obwohl sich die sie erzeugenden Mikroorganismen häufig sehr einfach kultivieren lassen.

Andere Einzeller bilden eine feste Haut an der Oberfläche der Zelle. Hier tritt auch schon bei den Bakterien Cellulose auf. So bilden *Acetobacter xylinum* und *A. acetigenum* eine lederartige Haut als Cellulose, *Sarcina ventriculi* und *Lampopredia hyalina* scheiden an der Zelloberfläche Cellulose als Kittsubstanz ab, die die einzelnen Zellen zusammenhält. Auch Schleime und Gallerten können Zellen zusammenhalten. Damit wird eine zweite Funktion der Polysaccharide deutlich: sie verbinden individuelle Zellen und sind daher besonders bei Mehrzellern stark vertreten.

2.3.2 Die verstärkte Zellwand

Die einfachste Wand von Micellen ist eine Lipid - Doppelschicht. In den Anfängen der Evolution lebender Systeme wurden bei den primitiven Prokarioten (kernlosen Zellen) in diese Doppelschicht einfache Proteine eingelagert, um den Stofftransport durch diese Schicht zu regulieren. Später bildeten sich vernetzte Glykoproteide als flexible Zellwände aus. Diese bestehen aus modifizierten Zuckermolekülen und Aminosäuren.

2.4 Stütz- und Schutzgewebe der Mehrzeller

Wenn Zellen eine gemeinsame Schutzschicht oder eine gemeinsame Außenhaut ausbilden, entstehen Zellverbunde (Gewebe). Im Gewebe haben die einzelnen Zellen immer denselben Platz gegenüber ihren Nachbarn. Zur besseren Ausnutzung des zur Verfügung stehenden Raums und der gemeinsamen Stoffe passen die Zellen ihre Form gegenseitig an und können so näher an die Nachbarzelle heranrücken. Anschaulich wurde der Vorgang schon in der Abbildung 2 - „Bildung verholzter Pflanzengewebe“ im Abschnitt Holz beschrieben.

2.4.3 Schutzgewebe

Schutzgewebe müssen den Schutz des Organismus gegen

- mechanische Verletzung
- chemische Schädigung
- Hitze- und Kälteeinwirkung

nach außen übernehmen.

Die äußerste Zone besteht in der Regel aus mehreren Schichten abgeplatteter Zellen. Diese Gewebe sind insgesamt platten-, ziegel- oder schuppenförmig aufgebaut. Da sie den Organismus nach außen hin abschließen, müssen sie entweder aus besonders unlöslichen Substanzen bestehen oder sich ständig erneuern. Bei den festen Pflanzenteilen wird die Schutzfunktion vor allem von der Rinde und der Borke wahrgenommen. Diese Außenhülle spielt eine besonders wichtige Rolle, weil sich unmittelbar unter der Rinde das empfindliche wasserreiche Bastgewebe befindet, das den Flüssigkeitstransport in der Pflanze übernehmen muss. Die Borke muss auch gegen Wärme isolieren und das tut sie bei manchen Bäumen so wirkungsvoll, dass diese sogar Waldbrände überstehen. Ein normaler alter Mammutbaum hat beispielsweise in der Regel schon ein Dutzend solcher Katastrophen überstanden.

Obwohl Rinde von alters her ein wichtiges Material für die verschiedensten Verwendungen war, wird sie heute vom Menschen nur mehr als Korklieferant in nennenswertem Umfang genutzt. Das Korkgewebe ist ein typischer Isolationsstoff aus großvolumigen Zellen mit vielen Lufteinschlüssen (eine Art natürliches Styropor).

2.4.4 Stützgewebe

Stützgewebe müssen dem Organismus eine feste Form verleihen und in der Lage sein, starke Kräfte aufzunehmen.

Um ein Gewebe druckfest zu machen, müssen einfach feste, möglichst amorphe (nicht besonders strukturierte) Substanzen eingelagert werden. Welch ein starker Effekt mit dieser einfachen Methode erzielt werden kann, sieht man an den Sandsäcken. Ein lappriger Sack und frei fließender Sand genügen, um einen prall gefüllten Baustein zu

erhalten, mit dem man Mauern errichten kann, die selbst einem reißenden Strom standhalten.

☞ Gewebe werden durch Einlagerung fester, unlöslicher Substanzen druckfest gemacht.

Schwieriger ist es schon, den Zugkräften gerecht zu werden. Dazu bedarf es eines Fadens oder eines Seiles, das selbst wieder aus verdrehten Fasern besteht. Genauso verfährt die Natur. Sie bildet fadenförmige Moleküle, aus denen seilartige Überstrukturen aufgebaut werden. Ein Gewebe, das auf Zug beansprucht werden soll, enthält immer Fasern und Fibrillen (mikroskopisch feine Fasern), die selbst wieder aus faserförmigen Grundelementen aufgebaut sind.

☞ Die Zugfestigkeit, wird durch verdrehte faden- und faserförmige Strukturen, die lange Molekülketten enthalten, erreicht.

2.4.5 Bildung des Holzes

Abbildung 2 - 2 zeigt die wichtigsten Schritte der Holzbildung in der Pflanze:

Wenn sich aus dem primären Pflanzenkeim (Spross) die verschiedenen Zellen und Gewebe differenziert haben, so beginnt zu gewissen jahreszeitlichen Perioden das sekundäre Dickenwachstum; am Kambium, der Wachstumszone) werden zur Stammmitte hin Holzzellen (Xylem-Gewebe) und nach außen hin Bastzellen (Phloem-Gewebe) gebildet. Bestimmte Bereiche des Kambiums produzieren in beide Richtungen Parenchymzellen (Markzellen), was zu den Markstrahlen führt, da im Frühjahr vom Kambium im allgemeinen weit-lumige Zellen („Lumen“ heißt der innere Hohlraum der Zellen) in Richtung des Xylems produziert werden, im Sommer dagegen eng-lumige, wechselt im Jahresrhythmus dichteres mit lockerem Gewebe ab. So kommt es zu den bekannten Jahresringen. In Gebieten ohne ausgeprägte Jahreszeiten findet man diese Ringe nicht. Das eigentliche Holzgewebe, das Xylem besteht fast nur aus nicht mehr lebenden Zellen, die der Wasserleitung und der Stützung des Baumes dienen. Das einzige lebende Gewebe im Stamm wird durch Parenchymzellen gebildet. neben diesem starken Dickenwachstum nach innen findet auch ein geringeres Wachstum nach außen statt, das von Kambium produzierte Phloem besteht aus Sieb- und Röhrenzellen, die die von den Blättern gebildeten Nährstoffe durch das Holz transportieren (Produkte der Photosynthese).

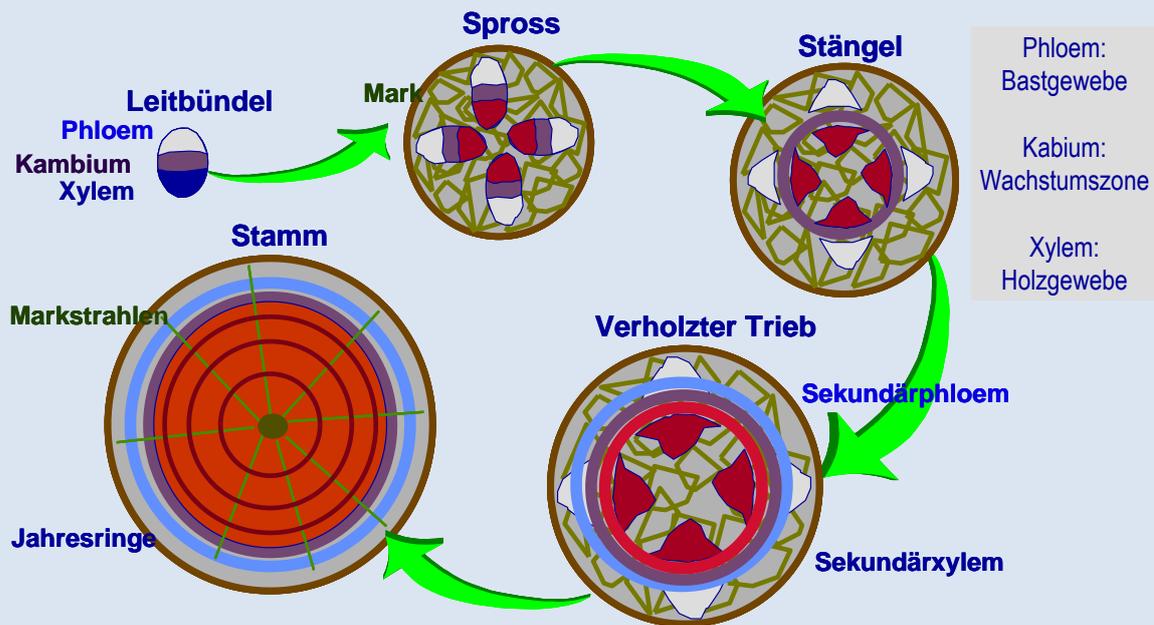


Abbildung 2 - 2: Bildung des Holzgewebes beim Dickenwachstum des Stamms

Weiter nach außen hin sterben diese Zellen auch ab, werden zu Rinde und werden schließlich durch die Stammverdickung abgesprengt. Viele Holzarten verkern, d. h. sie bilden einen dunklen Kernholzteil in der Mitte und einen hellen Splintholzteil außen.

Die chemische Zusammensetzung variiert in Abhängigkeit von der Holzart und dem Pflanzenstandort. Als Richtschnur kann dienen:

- Cellulose 40-45%
- Hemicellulosen (Polyosen) 25-35 %
- Lignin 20-30 %
- Extraktstoffe 4-6 %.

2.4.6 Funktionen der verholzten Organe und der sie aufbauenden Gewebe

Das wachsende Gewebe heißt allgemeine „Meristem“. Es besteht aus ursprünglich kugeligen Zellen. Diese strecken sich während des Wachstums und können eine Länge erreichen, die ein Mehrhundertfaches ihres Durchmessers beträgt. Gleichzeitig wird die Zellwand verstärkt und das Gewebe verhärtet. Man spricht dann von einem Sklerenchym (Hartgewebe).

☞ Das wachsende Meristem-Gewebe besteht überwiegend aus Wasser. Seine Zellformen erinnern an Wasserpflanzen. Der Alterungsprozess führt zu einer Längserstreckung, Verdichtung, Verhärtung und Austrocknung.

Das so entstehende Stützgewebe muss verschiedene Aufgaben erfüllen (Tabelle 3):

Tabelle 3: Aufgaben von Stützgeweben

Aufgabe
Aufnahme von Druck (Gewicht) und Zugkräften (Biegung)
Leitung von Wasser und gelösten Stoffen
Dauerhaftigkeit (Widerstandsfähigkeit gegenüber Witterungseinflüssen und biologischem Angriff)
Möglichkeit des Wachstums
Biologische Abbaubarkeit nach dem Absterben

Diese Forderungen können nur durch einen organischen makromolekularen Verbundstoff erfüllt werden.

Wohl wiesen auch die in erdgeschichtlicher Zeit bedeutsamen Farngewächse ein verstärktes Stützgewebe auf, das man aber noch nicht eigentlich als Holz bezeichnen kann. Siehe den entwicklungsgeschichtlichen Stammbaum der Pflanzen und Pflanzenartigen Abbildung 2 - 3:

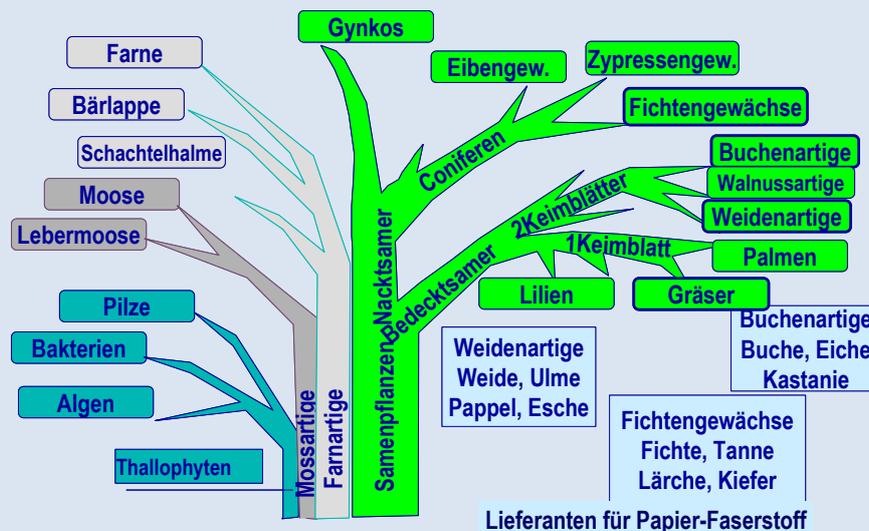


Abbildung 2 - 3: Entwicklungsgeschichtlicher Stammbaum des Pflanzenreichs und der für die Fasergewinnung genutzten Pflanzenfamilien

Erst die Samenpflanzen bildeten durch ein sekundäres Dickenwachstum des Stammes ein ausgesprochenes Holzgewebe aus. Die für die Fasergewinnung bedeutsamen Pflanzen gehören den zwei botanischen Klassen Angiospermen und Gymnospermen an.

Angiospermen

Bedecktsamer; alle Laubbäume (außer den Angehörigen der Ginkgo-Familie), sie blühen und umhüllen ihre Samenanlagen mit einem Fruchtknoten (daher der Name), ihre Unterteilung erfolgt in zwei Klassen, in die zweikeimblättrigen Pflanzen (Dikotyledonen, welche zu sekundärem Dickenwachstum fähig sind, so die

Holzgewächse) und in die einkeimblättrigen Pflanzen (Monokotyledonen, z. B. die Halmgewächse).

Die Holzgewächse sind ausdauernde Pflanzen, während die einkeimblättrigen fast ausschließlich zu den Einjahrespflanzen gehören (mit der wichtigen Ausnahme Bambus).

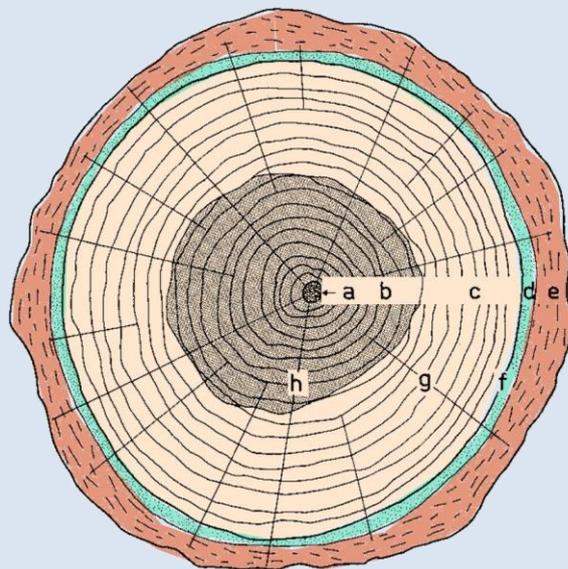
Gymnospermen

Nacktsamer; hierzu gehören alle Nadelhölzer und der Ginkgo-Baum; sie sind stammesgeschichtlich älter als die Angiospermen, ihr Samen ist nicht von Fruchtfleisch umhüllt, es werden keine Blüten mit Blütenblättern ausgebildet.

2.4.7 Aufbau der Gewebe des Holzes

Entsprechend seiner Herkunft unterscheidet man zwischen Laub- oder Hartholz und Weich- oder Nadelholz. Die Zuordnungen Laub- = Hartholz und Nadel- = Weichholz sind irreführend, weil es auch recht harte Nadel- und sehr weiche Laubhölzer gibt. In Deutschland stimmt die Zuordnung eher, weil das wichtigsten Nadelbaum, Fichte, Tanne, Kiefer, weiches Holz, die häufigsten Laubbäume Buche und Eiche hartes Holz haben.

Ein Holzstamm ist durch die Besonderheit des sekundären Dickenwachstums und den jahreszeitlichen Schwankungen aus verschiedenen Schichten aufgebaut. Dies wird deutlich, wenn man einen Querschnitt (Abbildung 2 - 4) durch einen Fichtenstamm) genauer betrachtet:



- a: Kern
- b: Kernholz
- c: Splintholz
- d: Bast (Phloem)
- e: Rinde
- f: Kambium
(Wachstumszone)
- g: sekundärer Radialstrahl
- h: primärer Radialstrahl

Laubholz *Abbildung 2 - 4: Querschnitt durch einen Fichtenstamm*

2.4.7.1 Laubholz

Dabei handelt es sich um das Holz der belaubten Pflanzen, deren Blätter in der Regel in der kalten Jahreszeit abgeworfen und im Frühjahr neu gebildet werden. Diese Pflanzen sind im Allgemeinen zweikeimblättrige Bedecktsamer (*Angiospermae dicotyledonae*).

Diese unterteilen sich in die ringporigen Arten (Eiche, Esche, Kastanie, Ulme, Robenie etc.) und die diffusporigen Arten (zerstreutporig, Birke, Buche, Eukalyptus, Pappel etc.). Die ringporigen Laubhölzer bilden im Frühjahr ausgeprägt weitlumige Tracheen (röhrenförmige Leitungszellen), gegen Ende des Jahres dagegen englumige, somit kommt es zu ausgeprägten Jahresringen; die diffusporigen Arten haben dagegen ihre Tracheen, die im Lumendurchmesser wenig variieren, über den ganzen Stammquerschnitt verteilt.

Schon an der Aufzählung der zu den ringporigen Arten zählenden Hölzer wird deutlich, dass sich diese kaum in der Zellstoffherstellung finden, neben anderen Gründen liegt dies auch daran, dass die Aufschlussflüssigkeit in den diffusporigen Hölzern über die verstreuten Tracheen leichter in die Hackschnitzel penetrieren kann; die Zellen der Laubhölzer sind die Tracheen, die Parenchymzellen und die Libriformzellen (Holzfasern), die eine mittlere Faserlänge von 1 bis 1,5 mm erreichen.

Laubholz ist dichter und fester als Nadelholz und wird daher auch als Hartholz bezeichnet.

2.4.7.2 Nadelholz

Unter Nadelholz (Weichholz) versteht man Holz von Pflanzen, die Nadeln tragen und diese in der kalten Jahreszeit meistens nicht abwerfen (Ausnahme z.B. die Lärche). Es handelt sich um zweikeimblättrige Nacktsamer (*Gymnospermae dicotyledonae*), sie besitzen eine einfachere Struktur als die Laubhölzer, da keine Differenzierung der Zellen in Leitungs- und Stützzellen erfolgt, beide Funktionen werden von den Zellen übernommen, die als Tracheiden bezeichnet werden.

Im Frühjahr bildet das Kambium weit-lumige Tracheiden mit ausgeprägter Tüpfel- und Porenstruktur, die der Wasserleitung dienen; im Sommer werden dagegen Tracheiden mit engem Lumen und geringer oder fehlender Tüpfel- und Porenstruktur gebildet, die der Festigung des Baumes dienen, die Länge der Tracheiden von 3 bis 4 mm machen dieses Holz unter dem Gesichtspunkt der Weiterreißarbeit und anderer Festigkeitseigenschaften für die Papierherstellung besonders wertvoll.

2.4.8 Struktur des Holzes

Da das Holz ein lebendes Gewebe ist, das in der Pflanze auch mehrere Funktionen erfüllen muss, besteht es aus verschiedenen Zelltypen, die die für jede Pflanze charakteristisch Holzstruktur aufbauen.

Abbildung 2-5 zeigt einen Schnitt durch ein Holzgewebe sowohl von Nadelholz wie auch von Laubholz.

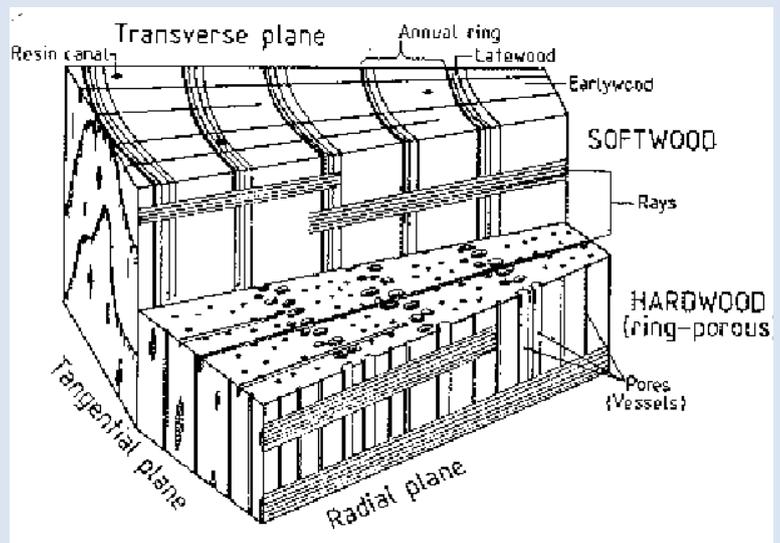


Abbildung 2-5: Schnitt durch verschiedene Holzgewebe

2.4.8.1 Struktur der Nadelhölzer

Der wesentliche in den Nadelhölzern vertretene Zelltyp sind die Tracheiden, schlanke lange relativ dünnwandige Zellen, die sowohl dem Flüssigkeitstransport als auch der Stützfunktion dienen. Der Pflanzensaft wird im inneren Hohlraum (Lumen) transportiert und kann durch Öffnungen in der Zellwand (Tüpfel, Fenster) in eine Nachbarzelle übertreten. Da sich die Zellenden überlappen, kann so der Zellsaft über weite Strecken von Zelle zu Zelle weiter geleitet werden. Bei den Mammutbäumen wird auf diese Weise Wasser über hundert Meter hoch transportiert.

In den gemäßigten Klimazonen weisen die Hölzer die typischen Jahresringe auf. Diese entstehen dadurch, dass in der Hauptwachstumsperiode im Frühjahr sehr viele dünnwandige Tracheiden gebildet werden, so dass sich ein leichtes lockeres Gewebe bildet (Frühholz). Gegen Ende des Jahres entstehen weniger Zellen, dafür werden diese mit sehr dicken Zellwänden versehen und auch dichter gepackt. Es entsteht das dichtere, dunkler erscheinende Spätholz. Abbildung 2 - 6 zeigt den Übergang von Spätholz zu Frühholz an einem Schnitt durch ein Fichtenholz.

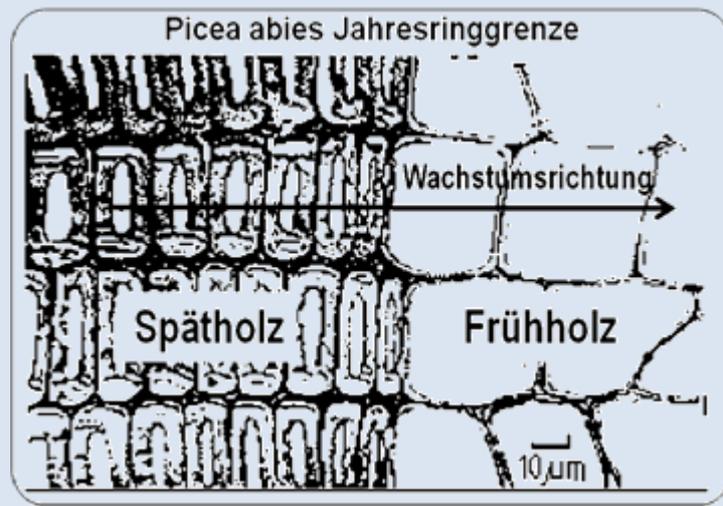


Abbildung 2 - 6: Querschnitt von Fichtenholz an der Jahresringgrenze

Bei harzreichen Hölzern wie den Kieferarten finden sich im Holzgewebe noch Kanäle im Holzgewebe, die normalerweise von Harz gefüllt sind. In der Mitte der Abbildung 2 - 7 ist ein solcher Harzkanal zu erkennen, dessen unregelmäßige Struktur in Abbildung 2 - 8 zu sehen ist.



Abbildung 2 - 7: Querschnitt von Kiefernholz mit Harzkanal



Abbildung 2 - 8: Querschnitt durch Kiefernholz

In Abbildung 2 - 9 sieht man den Anschnitt einer Öffnung, die zwei Tracheeiden verbindet. Hier handelt es sich um ein sogenanntes Hoftüpfel, eine von einem Wulst umgebene Öffnung, über die sich ein weitmaschiges Netz mit kleinen Durchlässen spannt.

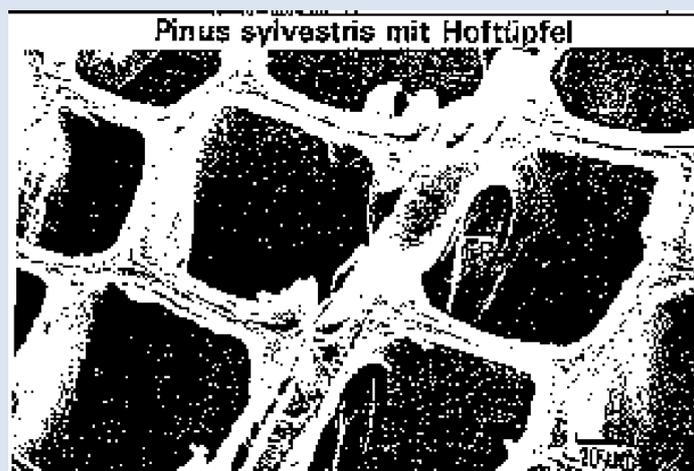


Abbildung 2 - 9: Blick in das Innere von angeschnittenen Kieferntracheiden

Der Transport der Pflanzensäfte verläuft über die Tracheeiden, durch deren Lumina. Benachbarte Zellen sind durch Wandöffnungen („Fenster“, „Tüpfel“) miteinander

verbunden. Durch diese Öffnungen kann die Flüssigkeit von einer Zelle in die nächste und von dort aus wieder weiter geleitet werden (Abbildung 2 - 10).

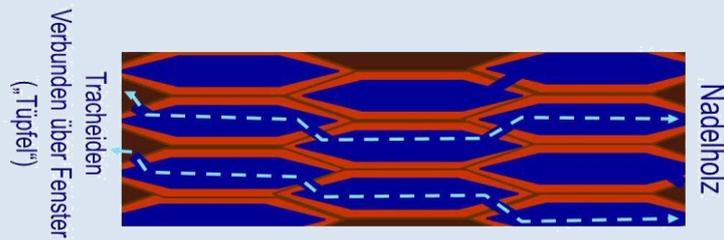


Abbildung 2 - 10: Flüssigkeitstransport in Nadelholz

2.4.8.2 Struktur der Laubhölzer

Die Laubhölzer haben sich erst später entwickelt als die Nadelhölzer und weisen daher eine noch weiter differenzierte Struktur auf. Eine Besonderheit sind die spezialisierten Leitungsbahnen, die aus röhrenförmigen Zellen bestehen, die wie Kanalrohre an einander anschließen. Die Rohröffnung kann dabei mit einem „Kanalgitter“ abgeschlossen sein. In Abbildung 2 - 11 sieht man in eine solche Siebröhre hinein und erkennt noch die Reste des Siebes.



Abbildung 2 - 11: Querschnitte durch Birkenholz mit Gefäßzelle

Die Leitungsbahnen sind gleichsam aus Rohrstücken zusammengesteckt, wie unsere Kanalrohre. Der Flüssigkeitstransport ist hier sehr leicht möglich (Abbildung 2 - 12).

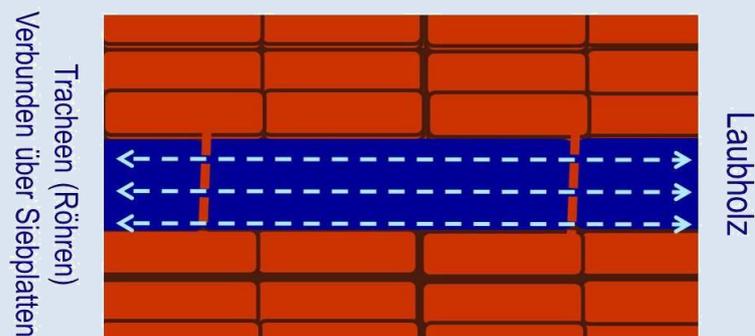


Abbildung 2 - 12: Flüssigkeitstransport in einem Laubholz

Die Leitungsbahnen werden auch fälschlich als Poren bezeichnet, weil sie im stirnseitig angeschnittenen Holz wie Poren aussehen. Wenn diese Poren im Stammquerschnitt relativ gleichmäßig verteilt sind, wie z. B. bei Birke (Abbildung 2 - 14) oder Buche (Abbildung 2 - 15), spricht man von einem „diffusporigen“ Holz. Bei anderen Holzarten wechseln Ringe mit feine Poren mit Ringen mit großvolumigen Poren ab (z. B. bei Eiche Abbildung 2 - 13). Ein solches Holz wird als „ringporig“ bezeichnet.

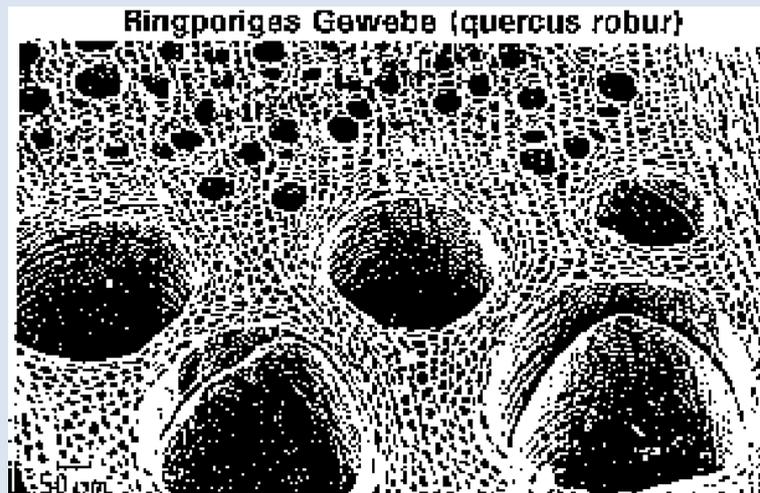


Abbildung 2 - 13: Querschnitt durch Eichenholz an der Grenze eines Porenrings

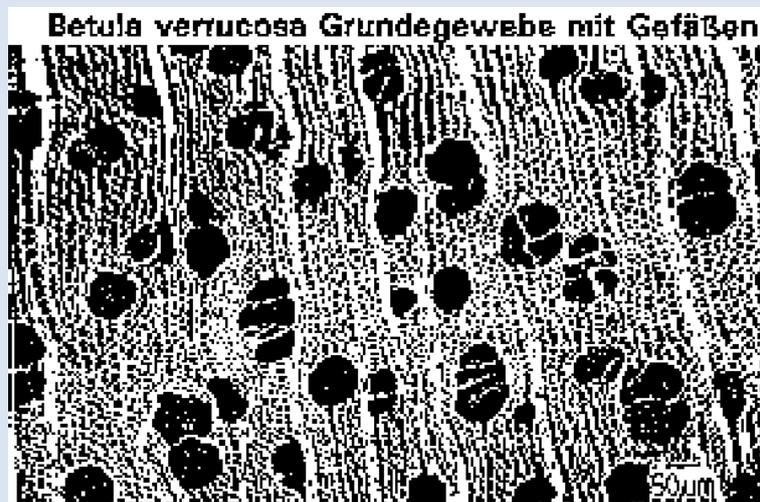


Abbildung 2 - 14: Querschnitt von Birkenholz mit Gefäßen

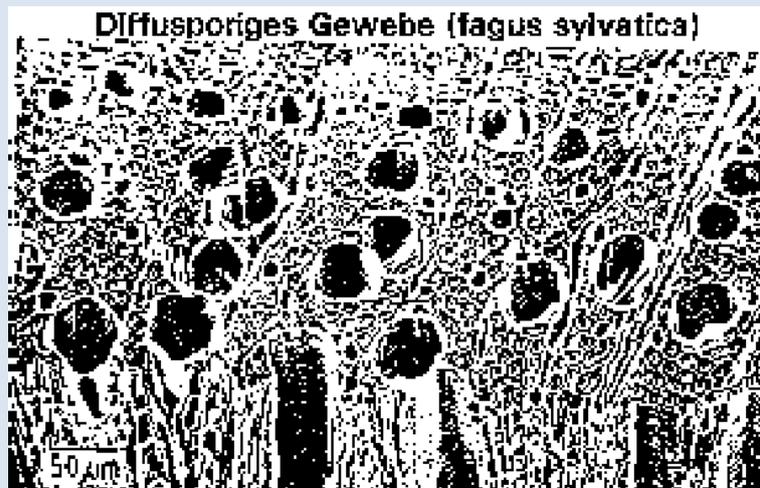


Abbildung 2 - 15: Querschnitt von Buchenholz

2.5 Für Papier genutzte Holzarten

Für die Papierindustrie wird nur eine relativ kleine Zahl von Baumarten genutzt, weil sich deren Holz besonders gut zu diesem Zweck eignet. Neben den rein forsttechnischen Eigenschaften der Bäume sind die Defibrillierbarkeit (Zerfaserbarkeit) des Holzes und die papiertechnischen Eigenschaften der Fasern entscheidend.

Tabelle 4 gibt eine Übersicht über die genutzten Nadelhölzer, Tabelle 5 über die Laubhölzer.

Tabelle 4: Nadel (Weich-) hölzer

	<i>Gattung</i>	<i>Arten</i>
Tannen	abies	7
Lärchen	larix	5
Fichten	picea	6
Föhren	pinus	14
Douglasie	pseudotsuga	1
Zeder	thuja	3
Hemlocktanne	tsuga	2

Tabelle 5: Laub (Hart-) hölzer

	<i>Gattung</i>	<i>Arten</i>
Ahorn	acer	2
Erle	alnus	2
Birke	betula	5
Eukalyptus	eucalyptus	7
Buche	fagus	2
Esche	fraxinus	2
Pappel	populus	5
Eiche	quercus	3
Linde	tilnus	2

Praktisch wird heute fast nur Fichte, Kiefer, Eukalyptus, Hemlock, Birke und Buche zur Zellstoffproduktion herangezogen. Da aber der Rohstoff Holz knapp wird, gibt es immer mehr intensive Bemühungen, auchverstarkt andere Holzarten (z.B. in gemäßigten Klimazonen Pappel) zu nutzen.