

Fortbildungslehrgang Staatlich geprüfte Techniker

**Auszug aus dem Lernmaterial
Werkstofftechnische und mechanische Grundlagen (Auszüge)**

1 Holzaufbau und Holzarten

Lernbereich

1.1 Die Entstehung und Aufbau des Holzes

Bäume sind Pflanzen, die über den chemischen Prozess der Fotosynthese Kohlenhydrate herstellen. Dazu entnehmen sie Wasser und Nährsalze aus dem Boden und Kohlendioxid (CO₂) aus der Luft. Das Blattgrün (Chlorophyll) der Blätter wandelt diese Stoffe mithilfe von Sonnenlicht in Kohlenhydrate und Sauerstoff um.

Aus dem Boden nehmen feine Haarwurzeln Wasser und darin gelöste Nährsalze auf. Das Wasser wandert durch das Leitgewebe im Splint (bei Nadelholz Frühholztracheiden, bei Laubholz Gefäße) nach oben zu den Blättern. Dies geschieht u.a. durch die Kapillarkräfte in den engen Zellen und den Sog, der durch die Verdunstung an den Spaltöffnungen der Blätter entsteht. Die durch die Fotosynthese entstandenen Kohlenhydrate werden zu Stärke synthetisiert und wandern über die Siebröhren im Bast zum Wachstumsgewebe, der Kambiumschicht. Im Kambium entstehen aus Zucker und Stärke die Makromoleküle Zellulose, Hemizellulose und Lignin, die Bausteine für die Bildung neuer Holzzellen und Rindenzellen.

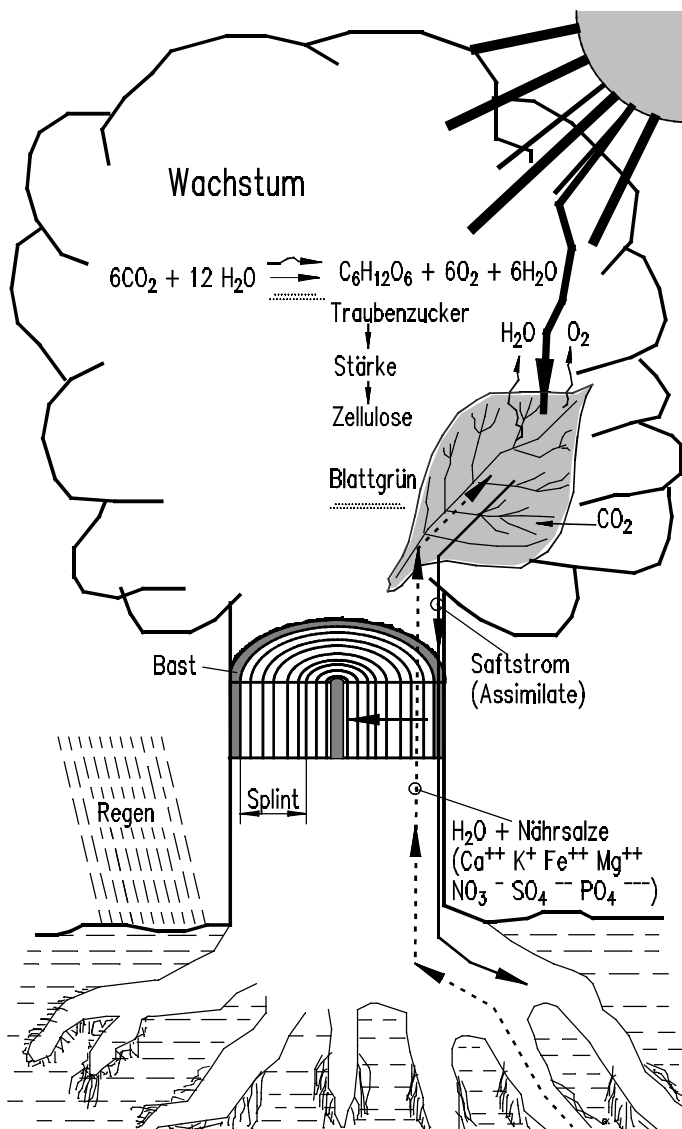


Abbildung 1 Fotosynthese und Transportsystem des Baumes

Wachstum des Baumes

Das Längenwachstum des Baumes, auch primäres Wachstum genannt, entsteht durch Zellteilung im Wachstumsgewebe der End- und Seitentriebe. Beim weiteren Wachstum des Sprosses bildet sich nachträglich (sekundär) eine schmale ringförmige Bildungsschicht das Kambium aus. Unter stetiger Vergrößerung seines Umfanges bildet es nach innen Holzzellen und nach außen Rindenzellen. Dabei werden überwiegend Holzzellen gebildet. Der Rindenzuwachs bleibt gegenüber dem Holzzuwachs stark zurück.

Eine im Kambium abgeteilte Zelle teilt sich zunächst noch einige Male, danach erfolgt je nach ihrer späteren Funktion ein Streckungswachstum. Die Zellen wachsen auf ihre spätere Dimension heran. Nach Abschluss des Streckungswachstums wird die Zellwand in ihrer endgültigen Dicke fertig gestellt und Lignin eingelagert. Diese Einlagerung von Lignin in die Zellwand wird als Verholzung bezeichnet und schließt das Wachstum der Zellen wenige Zellreihen vom Kambium entfernt ab. Mit Ausnahme der Speicherzellen (Parenchymzellen) sterben die Zellen dann ab und bestehen nur noch aus Zellwand.

Entsprechend den drei Funktionen des Holzes für den Baum, nämlich der mechanischen Festigung, Wasserleitung und Stoffspeicherung, können nun drei Gewebearten unterschieden werden, das Stütz-, Leit- und Speichergewebe (siehe Abbildung 2).

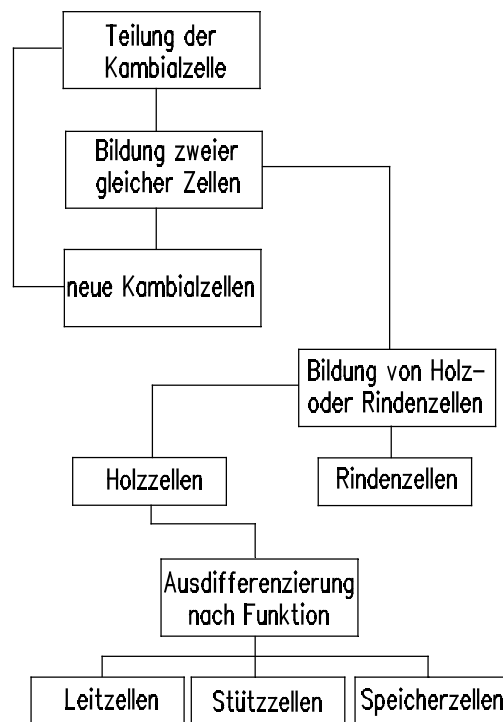


Abbildung 2 Schematische Darstellung der Zellteilung und der Ausdifferenzierung bis zur Endform

1.1.1 Chemische Zusammensetzung des Holzes

Das Holz als ein inhomogener organischer Werkstoff besteht im Wesentlichen aus Verbindungen der Grundelemente Kohlenstoff (C), Sauerstoff (O), Wasserstoff (H) und Stickstoff (N). Aus diesen Grundelementen werden chemische Verbindungen unterschiedlicher Zusammensetzung aufgebaut, die sich in Haupt- und Nebenbestandteile gliedern lassen.

| C | O | H | N | Asche |
|------|--------|-------|-------|-------|
| 50 % | 43,4 % | 6,1 % | 0,2 % | 0,3 % |

Tabelle 1 Chemische Grundelemente des Holzes

Die Zellulose ist der mengenmäßig wichtigste nachwachsende Rohstoff in der Natur und dient zur Herstellung von Zellstoff, Papier und einer Reihe von Kunststoffen. Zellulose bildet den Hauptbestandteil der Holzsubstanz und stellt die Gerüstsubstanz der Zellwand dar. Die fadenförmigen Moleküle bestehen aus 1000-4000 Zuckermolekülen, die zu langen unverzweigten Ketten verknüpft sind. Sie treten in Bereichen zu Bündeln zusammen. Diese geordneten kristallinen Bereiche werden Micellarbereiche genannt.

Auf Grund dieser Zwischenmolekularbindung ist die Zellulose nicht wasserlöslich. In den dazwischenliegenden Bereichen, den Intermicellarräumen sind die Zellulosefäden ungeordnet. Hier ist eine Wasseranlagerung möglich. Diese Intermicellarräume sind die Orte, wo die Quellung und Schwindung des Holzes stattfindet. Die Bündelung der langen Zellulosemoleküle bewirkt eine erhebliche Zugfestigkeit in Längsrichtung.

Die Hemizellulosen bestehen ebenfalls aus großen Mengen von Zuckermolekülen, die zu langen fadenförmigen Strängen vernetzt sind. Im Unterschied zur Zellulose sind die Makromoleküle jedoch verzweigt und erheblich kürzer. Sie bilden mit der Zellulose zusammen die Gerüstsubstanz der Zellwand und stellen Reservestoffe dar.

Das Lignin ist neben Zellulose ein weiterer Hauptbestandteil des Holzes. Es ist eine amorphe Kittsubstanz, die für die Druckfestigkeit des Holzes zuständig ist. Lignin wird zum Abschluss des Zellaufbaues in die Zellwand eingelagert. Dieser Vorgang wird als Verholzung bezeichnet.

Der Anteil der Holznebenbestandteile bzw. Holzinhaltstoffe liegt bei den meisten Hölzern zwischen 5 % und 10 %. Obwohl ihr Anteil gering ist, haben die Inhaltstoffe großen Einfluss auf die Eigenschaften des Holzes.

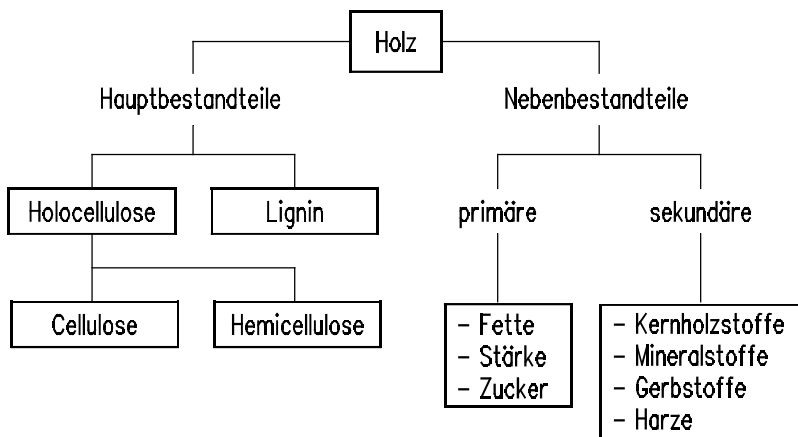


Abbildung 3 Chemische Zusammensetzung von Holz

| Holzinhaltstoffe | Eigenschaften |
|--|---|
| Kernstoffe, Gerbstoffe | Natürliche Dauerhaftigkeit |
| Harze, Öle, Mineralstoffe, z.B. Siliciumoxid | Erschwerte mechanische Verarbeitung und Oberflächenbehandlung |
| Harnsäuren, Gerbstoffe | Reiz- oder Giftstoffe |
| Zucker, Stärke im Splintholz | Verringerte Resistenz gegenüber biologischem Abbau (Nahrung für holzabbauende Pilze und Insekten) |

Tabelle 2 Einfluss einiger Inhaltsstoffe auf die Holzigenschaften

1.1.2 Makroskopischer Aufbau

Schnittrichtungen

An den drei Schnittrichtungen des Holzes, Quer-, Radial- und Tangentialschnitt, lassen sich mit dem bloßen Auge oder mithilfe einer Lupe der Aufbau des Holzes, die Anordnung, die Form und die Größe der einzelnen Gewebearten erkennen.

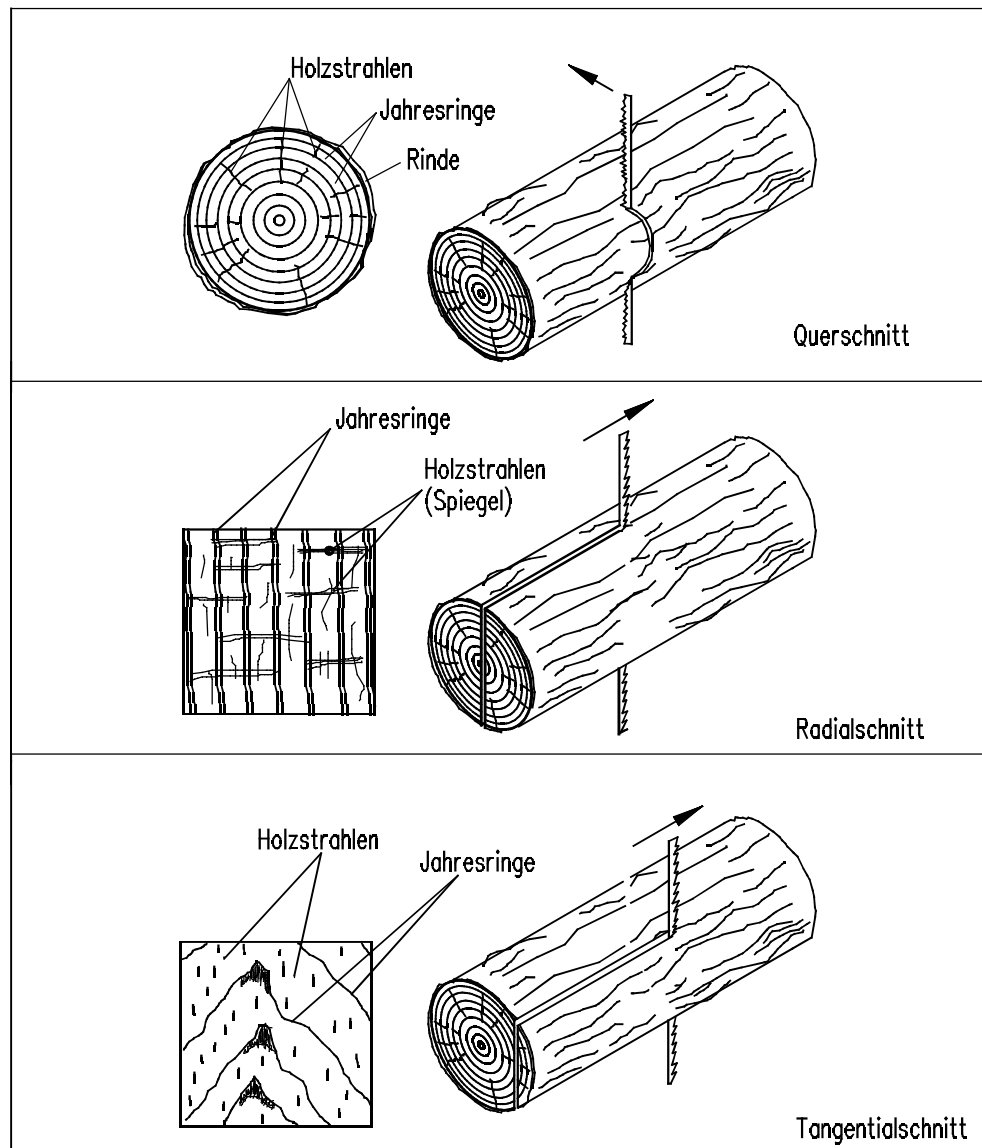


Abbildung 4 Schnittarten des Holzes

Der Querschnitt gibt einen guten Einblick in den Aufbau des Holzes. Durch den senkrecht zur Stammachse geführten Schnitt werden die achsenparallel verlaufenden Zellen und die radial in das Holz führenden Holzstrahlen angeschnitten.

Im Radialschnitt zeigt das Holz eine schlichte Struktur (Kernbretter, Streiferfurniere). Bei Holzarten mit hohen Holzstrahlen (Eiche, Buche) sind diese als Spiegel zu erkennen. Die Holzstrahlen sind der Länge nach angeschnitten. Da sie nicht immer streng gerade verlaufen, werden sie auf der Schnittfläche nur auf kurzer Länge sichtbar.

Im Tangentialschnitt entstehen bei Hölzern mit besonders deutlicher Früh- und Spätholzbildung oder bei ringporigen Hölzern charakteristische Flader. Sie finden sich auf Seitenbrettern und Furnieren, die tangential gemessert werden (Blumen).

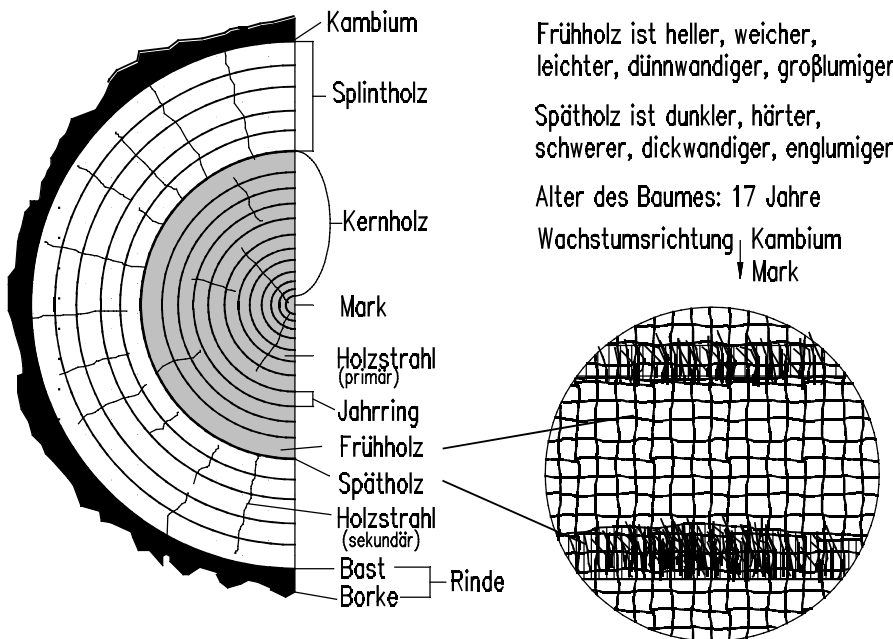


Abbildung 5 Querschnitt Kernholzbaum Lärche

Der Stammquerschnitt

Die schützende Borke, die mit dem Bast zusammen die Rinde bildet, umgibt den Holzteil. Unter dem Bast liegt die Kambiumschicht, die mit dem bloßen Auge nicht sichtbar ist. Jeder Baum hat eine Splintholzzone, in der der Nährsalzstrom zu den Blättern aufsteigt. Das in Abbildung 5 dargestellte dunklere Kernholz ist nur bei einem Teil der Bäume zu finden. Alle Hölzer haben mehr oder weniger gut sichtbare Holzstrahlen, die in radialer Richtung verlaufen. Sie leiten und speichern die Assimilate. Das Mark diente dem unverholzten jungen Spross im ersten Jahr zur Wasserleitung.

Die Bäume der gemäßigten Klimazone der Erde, die im Herbst und Winter eine Wachstumspause einlegen, besitzen Jahrringe, die man besonders bei Nadelhölzern und ringporigen Laubhölzern sehen kann. Der Jahrring besteht aus einer Früh- und Spätholzzone. Das Frühholz ist bei Nadelhölzern durch die hellere Farbe (dünnwandiges und weitlumiges Gewebe) und bei ringporigen und halbringporigen Laubhölzern durch die Gefäße erkennbar, die als Poren sichtbar sind. Zerstreutporige Hölzer zeigen dagegen nur undeutlich Jahrringe an.

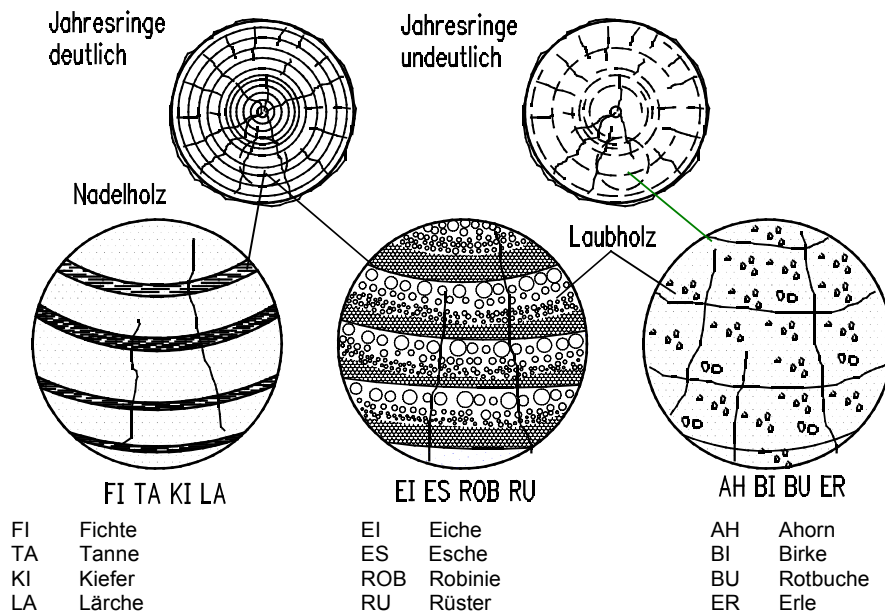


Abbildung 6 Jahrringgrenzen

Splint- und Kernholz

Mit dem Alter wird jedes Holz unabhängig von der Farbe und dem Feuchtegehalt durch Verkernungsvorgänge in Splint- und Kernholz getrennt. Das Splintholz ist durch das Vorkommen lebender Holzzellen (Parenchymzellen) gekennzeichnet und hat Wasserleit- und Speicherfunktion. Das Kernholz umfasst die innere ältere Zone im Holz und enthält keine lebenden Zellen. Speicherstoffe sind in der Regel abgebaut oder in Kernholzstoffe umgewandelt. Die Wasserleitbahnen sind im Kernholz blockiert. Die Erkenntnis, dass alle Bäume Kernholz bilden, ungeachtet von Feuchtegehalt und Farbveränderung, führte zu folgender Terminologie (siehe Tabelle 3).

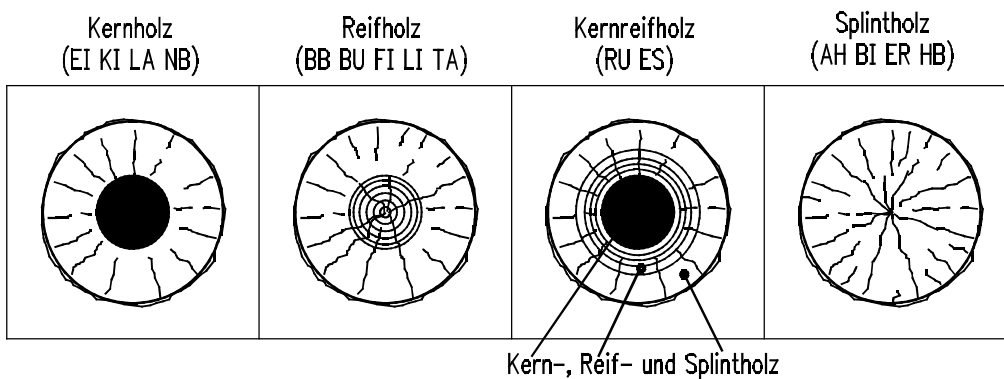
| Neue Terminologie für die Kernholzbildung | | |
|--|---|--|
| Bäume mit verzögerter Kernholzbildung | Hainbuche, Erle, Birke | kein Farbunterschied über den gesamten Stammquerschnitt, hoher Feuchtegehalt im Stamminnern |
| Bäume mit hellem Kern | Tanne, Fichte, Linde | kein Farbunterschied über den gesamten Querschnitt, jedoch ist der Kern wasserärmer als der Splint |
| Bäume mit regelmäßiger Farbkernbildung | Eiche, Kiefer, Lärche, Nussbaum | regelmäßig, altersbedingt, Kernholz ist gegenüber Splintholz dunkler, wasserärmer, schwerer, härter, dauerhafter |
| Bäume mit unregelmäßiger Farbkernholzbildung | Buche (Rotkern), Esche (Braunkern), Ahorn | unregelmäßige Querschnittsform, tritt unabhängig vom Alter des Baumes auf, wird häufig als Falschkern bezeichnet |

Tabelle 3 Neue Terminologie für die Kernholzbildung

Kern-, Reif- und Splintholz

Die neue Einteilung in Splint- und Kernholz hat sich bis heute nicht durchsetzen können, sodass die Einteilung nach Kern-, Reif- und Splintholz der Vollständigkeit wegen erwähnt wird. Die Einteilung in Kern-, Reif- und Splintholz wird nach den Unterscheidungsmerkmalen Färbung und Feuchtigkeitsgehalt im Außen- und Innenbereich eines Stammes vorgenommen.

Kernholz ist gegenüber Splintholz dunkler, wasserärmer, schwerer, härter und in der Regel dauerhafter (EI, KI, LA, NB). Reifholzbäume zeigen über den gesamten Querschnitt die gleiche Holzfarbe, jedoch ist der Kern deutlich wasserärmer als der Splint (BU, FI, TA, LI). Kernreifholzbäume haben als Zwischenschicht zwischen dem trockenen Kern und dem feuchten Splint noch Reifholz mit dem Feuchtegrad von Kernholz (RU, ES). Splintholzbäume zeigen keine Farb- und Feuchteunterschiede über den gesamten Stammquerschnitt.



- | | | | | | |
|----|----------|----|----------|----|-----------|
| EI | Eiche | BU | Rotbuche | ES | Esche |
| KI | Kiefer | FI | Fichte | AH | Ahorn |
| LA | Lärche | LI | Linde | BI | Birke |
| NB | Nussbaum | TA | Tanne | ER | Erle |
| BB | Birnbaum | RU | Rüster | HB | Hainbuche |

Abbildung 7 Stamm-Querschnitte

| Unterschied | |
|--|--|
| Kernholz | Splintholz |
| dunkler, wasserärmer, schwerer, härter | heller, wasserreicher, leichter, weicher |

| Unterschied | |
|-------------|---------------|
| Reifholz | Splintholz |
| wasserärmer | wasserreicher |

Tabelle 4 Unterscheidung Kern-, Reif- und Splintholz

1.1.3 Mikroskopischer Aufbau

Nadelhölzer

Nadelhölzer sind gegenüber den Laubhölzern die entwicklungsgeschichtlich älteren Holzpflanzen mit einem relativ einfachen mikroskopisch sichtbaren Aufbau. Bei ihnen findet man nur zwei Zellarten: Tracheiden, die in Früh- und Spätholztracheiden unterschieden werden und Parenchymzellen.

Die Frühholztracheiden sind dünnwandig, weitlumig und transportieren im Splintholz die Nährsalzlösung stammaufwärts. Untereinander sind sie mit Hoftüpfeln (Öffnungen in der Zellwand) verbunden. Bei geöffneter Stellung können die Nährsalzlösungen von Zelle zu Zelle diffundieren. Die Spätholztracheiden sind dickwandig und englumig. Sie werden vor der Vegetationsruhe gebildet und dienen der Festigung des Stammes. Entsprechend ihrer Funktion sind die Tracheiden überwiegend longitudinal in Längsrichtung des Baumes ausgerichtet. Sie nehmen bei allen Nadelhölzern über 90 % des Volumens ein und sind damit eigenschaftsbestimmend.

Parenchymzellen finden sich hauptsächlich in den Holzstrahlen. Als lebende Zellen speichern sie Nähr- und Wuchsstoffe. Die Holzstrahlen bestehen bei den Nadelhölzern häufig nur aus einer Zellreihe und sind daher mit dem bloßen Auge nicht erkennbar.

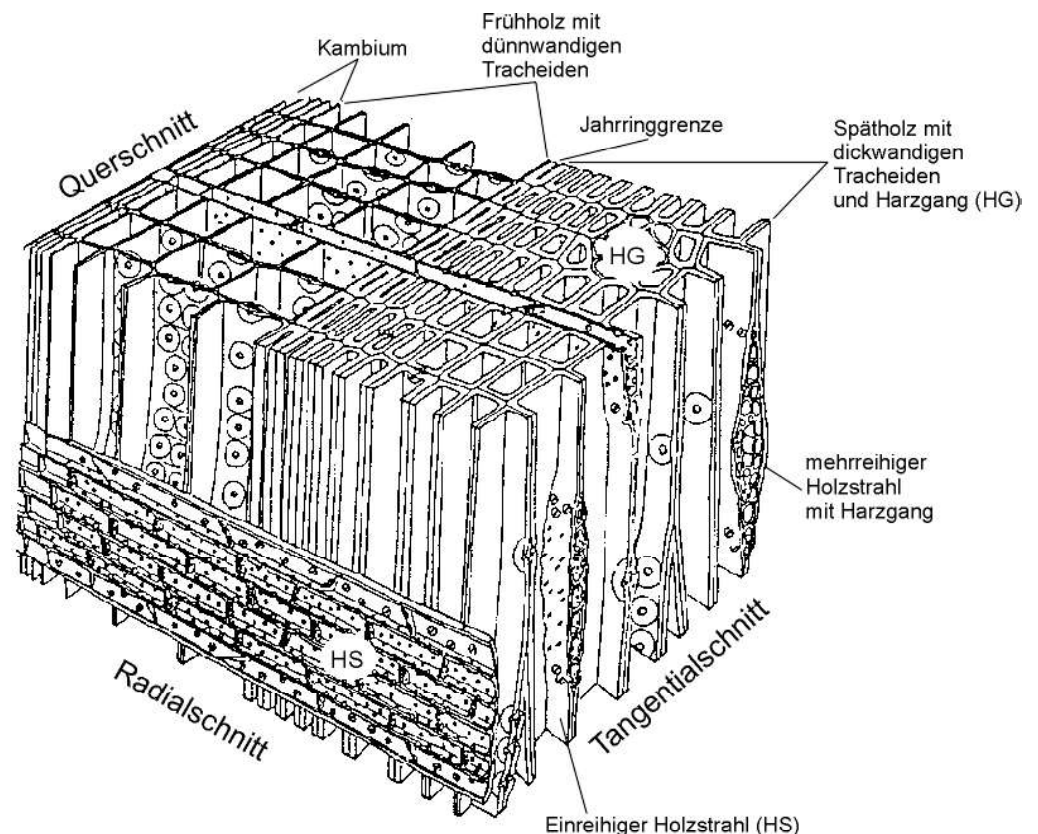


Abbildung 8 Räumliche Darstellung des Nadelholzes (Lärche)