© Verlag Dr. Kessel, Eifelweg 37, 53424 Remagen, 2007
Tel.: 02228-493
Fax: 01212-512382426
E-Mail: nkessel@web.de

Alle Rechte vorbehalten

Homepage: www.VerlagKessel.de, www.forstbuch.de, www.forestrybooks.com

Druck: www.business-copy.com

(alte ISBN: 3-540-08096-1 bzw. 0-387-08096-1 (Springer-Verlag)

ISBN: 3-935638-22-1

Dietger Grosser

Die Hölzer Mitteleuropas

Ein mikrophotographischer Lehratlas

Reprint der 1. Auflage von 1977
Verlag Kessel
www.VerlagKessel.de

Adresse des Autors:

Holzforschung München
Lehrstuhl für Holzkunde und Holztechnik
Dr. Dietger Grosser
Winzererstr. 45
80797 München

Geleitwort zur ersten Auflage

Holz war für viele Regionen der Welt über historische Zeiträume einer der wichtigsten Roh-, Bau- und Werkstoffe. Wir gehören zu den ersten Generationen, die diese Tatsache gelegentlich vergessen.

Holz als Material durchlebt nach meiner Überzeugung in unserer Zeit eine kurze Periode der Unterschätzung, denn man wird sich sehr bald besinnen, daß uns mit ihm ein besonders massenreiches, bei vernünftiger Bewirtschaftung unserer Wälder auf Dauer zur Verfügung stehendes, einmalig vielseitiges Material geschenkt wurde, dessen Renaissance im Vergleich mit vielen anderen Materialien nicht ausbleiben kann.

Aber Holz ist nicht Holz, sondern seine Eigenschaften hängen in besonderem Maße von der Baumart, daneben aber auch vom Standort sowie von der Veranlagung und dem Alter des Einzelbaumes ab. Das macht den Umgang mit Holz gelegentlich schwer.

Um so erfreulicher ist es, daß Dr. Grosser aus dem Institut für Holzforschung der Universität München mit dem vorliegenden Lehratlas einen übersichtlichen, auch für den Ungeübten leicht nutzbaren Beitrag zur mikroskopischen und makroskopischen Bestimmung der mitteleuropäischen Holzarten liefert. Damit findet der längst vergriffene Atlas von E. Schmidt aus dem Jahre 1941 endlich eine völlig neu bearbeitete, erweiterte Fortsetzung.

Ich wünsche dem Buch eine weite Verbreitung – auch über den Kreis derjenigen hinaus, die sich beruflich mit Holz, mit Holzanatomie und Baumarten befassen.

München, Februar 1977

Prof. Dr. Horst Schulz
Vorstand des Instituts für Holzforschung
der Universität München

Vorwort zur ersten Auflage

Der vorliegende Lehratlas soll seiner Bezeichnung entsprechend zugleich Lehr- und Bestimmungsbuch sein. Als solches ist der Atlas in einen allgemeinen Teil mit einer Einführung in die Anatomie des Holzes und in einen speziellen Teil mit der Beschreibung des Holzbildes von über 70 in Mitteleuropa beheimateten und eingebürgerten Baum- und Straucharten untergliedert.

Im anatomischen Teil werden der makroskopische und insbesondere der mikroskopische Bau des Holzes ausführlich in Wort und Bild beschrieben. Die verwendeten holzanatomischen Begriffe entsprechen weitgehend den Definitionen der Nomenklatur der International Association of Wood Anatomists (IAWA). Besonderer Wert wurde auf instruktive Zeichnungen und Mikrophotographien gelegt, um dem Leser eine rasche Einarbeitung in die Zusammenhänge des Holzaufbaues zu ermöglichen. Als Bestimmungshilfen enthält der Atlas verschiedene, zum Teil großformatige und separat in einer Einstecktasche beigefügte Bestimmungsschlüssel, -tafeln und Merkmalsübersichten. Eine Anleitung zur Präparation von Holzproben vervollständigt den anatomischen Buchteil.

Bei den Holzartenbeschreibungen wurde besonders darauf geachtet, daß der Text und die zugehörigen Mikrophotographien stets auf zwei gegenüberliegenden Seiten stehen, so daß beim Studium einer Holzart ein lästiges Umblättern und Suchen nach den Abbildungen entfällt. Die Hölzer sind in alphabetischer Reihenfolge der Familien und innerhalb dieser die Gattungen ebenso angeordnet. Die wissenschaftlichen botanischen Bezeichnungen entsprechen dem neuesten Stand der Nomenklatur. Soweit notwendig, wurden auch veraltete, aber in der Literatur weitverbreitete Namen (Synonyme) berücksichtigt.

Die bewußt knapp gehaltenen Texte beschränken sich auf die Darstellung der wesentlichsten anatomischen Strukturen und Unterscheidungsmerkmale. Sie sind jeweils untergliedert in die Abschnitte „Allgemeines“ (mit Größen- und Verbreitungsangaben), „Makroskopisches Holzbild“ und „Mikroskopisches Holzbild“. Die Berücksichtigung der makroskopischen Strukturen leitet sich aus der Tatsache ab, daß letztlich jeder mikroanatomischen Holzbestimmung eine makroanatomisehe orientierend voraus geht. Die angegebenen Zahlenwerte sind Mittelwerte, sie setzen sich aus Literaturangaben und eigenen Untersuchungsergebnissen zusammen (vgl. S. 57 Kapitel „Vorbemerkungen“ zu den Holzartenbeschreibungen).

Die Bildtafeln umfassen in der Regel 3 bis 6 Mikrophotographien vom Quer-, Tangential- und Radialschnitt einer Holzart. Vom Querschnitt ist zumeist ein Übersichtsbild in 25facher Vergrößerung sowie ein Detailbild in 40- bis 120facher Vergrößerung wiedergegeben. Für den Tangential- und Radialschnitt wurde jeweils eine den Erfordernissen entsprechende Vergrößerung zwischen 40- und 600fach gewählt. Bei den ringporigen Nutzhölzern, wie z. B. Eiche, Edelkastanie, Esche und Ulme, wurde zugunsten eines größerformatigen und mehrere Jahrringe umfassenden Übersichtsbildes auf die höhere Vergrößerung des Querschnitts verzichtet. Nahe verwandte und ähnlich strukturierte Hölzer derselben Gattung sind zum Teil auf Aufschlagtafeln zusammengefaßt dargestellt.

Mit Ausnahme der im Auflicht hergestellten Querschnittübersicht der Waldrebe (Tafel 46) handelt es sich bei allen Mikrophotographien um Durchlichtaufnahmen. Als Vorlagen für diese dienten neben Präparaten aus der Sammlung des Instituts für Holzforschung der Universität München vornehmlich eigens für den Atlas hergestellte Dünnschnitte von botanisch einwandfrei bestimmten Holzmustern aus der Handmuster-Sammlung desselben Instituts sowie von Holzproben aus dem Botanischen Garten München. Darüber hinaus standen Präparate des ehemaligen Instituts für Holzkunde und Forstnutzung der Universität München zur Verfügung.

Mein besonderer Dank gilt Frau Dr. H. v. Aufseß und Herrn Prof. Dr. D. Fengel für die Durchsicht des Manuskriptes und für wertvolle Verbesserungsvorschläge. Fr. E. Geier danke ich für die oft nicht einfache Präparation hochwertiger Mikroschnitte und Fr. E. Graessle und Herrn E. Glas für ihre Hilfe beim Anfertigen der Zeichnungen. Die umfangreichen phototechnischen Arbeiten führte in dankenswerter Weise Frau H. Bauer durch, deren große Erfahrung die ansprechende Bildqualität der Mikrophotographien ermöglichte.

München, Februar 1977 DIETGER GROSSER

Inhalt

A. Anatomie des Holzes 1

I. Makroskopischer Bau des Holzkörpers 1
1. Allgemeiner Aufbau 1
2. Schnittrichtungen 6

II. Mikroskopischer Bau der Nadelhölzer 9
1. Tracheiden (Längstracheiden) 13
2. Holzstrahlen 16
3. Längsparenchym (Parenchym) 19
4. Harzkanäle 19
5. Anmerkungen und Hilfen zum Bestimmen der mitteleuropäischen Nadelhölzer 21

III. Mikroskopischer Bau der Laubhölzer 23
1. Gefäße 26
2. Längsparenchym (Parenchym) 32
3. Holzstrahlen 36
4. Fasern 40
5. Anmerkungen und Hilfen zum Bestimmen der mitteleuropäischen Laubhölzer 42

IV. Präparation 50

B. Holzartenbeschreibungen 55

I. Vorbemerkungen 57

II. Nadelhölzer 59
Gemeiner Wacholder, Machandel **Juniperus communis L.** **60**
Tanne, Weißtanne, Edeltanne **Abies alba Mill.** **62**
Lärche, Europäische Lärche **Larix decidua Mill.** **64**
Fichte, Rotfichte **Picea abies (L.) Karst** **66**
Zirbelkiefer, Arve **Pinus cembra L.** **68**
Gemeine Kiefer, Föhre **Pinus sylvestris** **70**
Douglasie **Pseudotsuga menziesii (Mirb.) Franco** **72**
Eibe **Taxus baccata L.** **74**

III. Laubhölzer 77
Bergahorn **Acer pseudoplatanus L**. **78**
Stechpalme, Hülse **Ilex aquifolium L.** **82**

Efeu	**Hedera helix L.**	**84**
Berberitze, Sauerdorn	**Berberis vulgaris L.**	**86**
Schwarzerle, Roterle	**Alnus glutinosa (L.) Gaertn.**	**88**
Birke, Weißbirke, Sandbirke	**Betula verrucosa Ehrh.**	**90**
Trompetenbaum	**Catalpa bignonioides Walt.**	**92**
Buchsbaum	**Buxus sempervirens L.**	**94**
Gemeine Heckenkirsche, Beinholz	**Lonicera xylosterum L.**	**96**
Schwarzer Holunder	**Sambucus nigra L.**	**98**
Wolliger Schneeball	**Viburnum lantana L.**	**100**
Spindelbaum, Pfaffenhütchen	**Euonymus europaeus L.**	**104**
Kornelkirsche, Gelber Hartriegel	**Cornus mas L.**	**106**
Hainbuche, Weißbuche	**Carpinus betulus L.**	**110**
Haselstrauch, Gemeine Hasel	**Corylus avellana L.**	**112**
Hopfenbuche	**Ostrya carpinifolia Scop.**	**114**
Sanddorn	**Hippophae rhamnoides L.**	**116**
Nordamerikanischer Rhododendron	**Rhododendron maximum L.**	**118**
Edelkastanie, Echte K., Eßkastanie	**Castanea sativa Mill.**	**120**
Rotbuche, Gemeine Buche	**Fagus sylvatica L.**	**122**
Stieleiche, Sommereiche	**Quercus robur L.**	**124**
Traubeneiche, Wintereiche	**Quercus petraea Liebl.**	**124**
Roßkastanie	**Aesculus hippocastanum L.**	**130**
Walnuß, Nußbaum	**Juglans regia L.**	**132**
Gleditschie, Christusdorn	**Gleditsia triacanthos L.**	**134**
Besenginster	**Cytisus scoparius (L.) Link**	**136**
Goldregen	**Laburnum anagyroides Med.**	**138**
Robinie, Falsche Akazie	**Robinia pseudoakacia L.**	**140**
Tulpenbaum	**Liriodendron tulipifera L.**	**144**
Weißer Maulbeerbaum	**Morus alba L.**	**146**
Esche	**Fraxinus excelsior L.**	**148**
Liguster, Rainweide	**Ligustrum vulgare L.**	**150**
Flieder	**Syringa vulgaris, L.**	**152**
Ahornblättrige Platane	**Platanus x acerifolia (Ait.) Willd.**	**154**
Waldrebe	**Clematis vitalba L.**	**156**
Kreuzdorn	**Rhamnus cathartica L.**	**158**
Faulbaum, Pulverholz	**Rhamnus frangula L.**	**160**
Eingriffliger Weißdorn, Hagedorn	**Crataegus monogyna Jacq.**	**162**
Zweigriffliger Weißdorn, Gemeiner W.	**Crataegus laevigata (Poir) DC.**	**162**
Kirschbaum, Vogelkirsche, Süßk.	**Prunus avium L.**	**166**
Birnbaum	**Pyrus communis L.**	**168**
Heckenrose, Hundsrose	**Rosa canina L.**	**172**
Ebersche, Vogelbeere	**Sorbus aucuparia L.**	**174**
Zitterpappel, Aspe, Espe	**Populus tremula L.**	**176**

Weißweide, Silberweide	**Salix alba L.**	**178**
Pfeifenstrauch, Falscher Jasmin	**Philadelphus coronarius L.**	**180**
Alpen-Johannisbeere	**Ribes alpinum L.**	**182**
Götterbaum	**Ailanthus altissima (Mill.) Swingle**	**184**
Pimpernuß	**Staphylea pinnata L.**	**186**
Seidelbast, Kellerhals	**Daphne mezereum L.**	**188**
Winterlinde	**Tilia cordata Mill.**	**190**
Sommerlinde	**Tilia platyphyllos Scop.**	**190**
Zürgelbaum,	**Triesterholz, Celtis australis L.**	**194**
Feldulme, Feldrüster	**Ulmus carpinifolia Gleditsch**	**196**
Bergulme, Bergrüster	**Ulmus glabra Huds.**	**196**
Flatterulme, Flatterrüster	**Ulmus laevis Pall.**	**196**

Verzeichnis der benutzten Literatur 203
Holzartenverzeichnis 211
Stichwortverzeichnis 215

Weitere Titel aus dem Verlag 219

A. Anatomie des Holzes

I. Makroskopischer Bau des Holzkörpers

1. Allgemeiner Aufbau

Holz ist das sekundäre Dauergewebe von Stämmen, Ästen und Wurzeln der Bäume und Sträucher, das durch eine als Kambium bezeichnete, ringförmige Bildungsschicht erzeugt wird. Unter stetiger Vergrößerung seines Umfanges scheidet das Kambium nach innen Holzzellen (Xylem) und nach außen Rindenzellen (Phloem) ab. Dabei bleibt der Rindenzuwachs gegenüber dem Holzzuwachs stark zurück. Ebenfalls als Holz wird das stark lignifizierte Gewebe der zu den Monokotyledonen gehörenden Palmen und Bambusarten eingestuft, obgleich diese kein kambiales Dickenwachstum aufweisen und somit definitionsgemäß kein Holz im eigentlichen Sinn ausbilden.

Der Holzkörper selbst besteht aus Millionen von Zellen unterschiedlicher Art, Größe, Form, Anzahl und Verteilung. Gleichartige Zellen treten gruppenweise als größere Verbände (Gewebe) auf Entsprechend den drei Funktionen des Holzteiles der Bäume und Sträucher, nämlich der mechanischen Festigung, Wasserleitung und Stoffspeicherung, können drei Gewebearten unterschieden werden: Festigungs-, Leit- und Speichergewebe. Das Festigungsgewebe setzt sich bei den Nadelhölzern aus Tracheiden zusammen, die aber gleichzeitig auch dem Transport des Wassers und der darin gelösten Nährstoffe dienen. Die Laubhölzer besitzen als festigende Elemente Libriformfasern und teilweise Fasertracheiden, gemeinsam auch als Holzfasern bezeichnet, während die Wasserleitung von mehr oder weniger weitlumigen Gefäßen übernommen wird. Das Speichergewebe schließlich besteht sowohl bei den Nadelhölzern als auch den Laubhölzern aus Parenchymzellen (Speicherzellen). Hinzu kommen gegebenenfalls noch Exkretionsgewebe wie Harzkanäle und Sondergewebe wie Wund- und Reaktionsholz. Die Hauptmenge der Holzzellen verläuft parallel zur Stammachse bzw. in „Faserrichtung“. Zu diesen achsenparallel orientierten Zellen liegen rechtwinklig, d. h. im stehenden Baum waagerecht, zahlreiche als Holzstrahlen bezeichnete Zellbänder. Sie sind – von einigen Ausnahmen bei den Nadelhölzern abgesehen – rein parenchymatisch und gewährleisten die radiale Leitung und Speicherung von organischen Stoffen aus der Rinde. Eine ausführliche Beschreibung der verschiedenen Zell- und Gewebearten findet sich in den beiden folgenden Kapiteln, die den mikroskopischen Bau der Nadel- und Laubhölzer behandeln.

Aufbau, Anordnung, Form und Größe der Gewebe bzw. die aus den verschiedenen Zellarten resultierenden Strukturen, die wiederum zusammen das „Bild“ (Textur, Zeichnung) einer Holzart ergeben, sind vielfach bereits makroskopisch, d.h. mit bloßem Auge oder zumindest bei Lupenvergrößerung, erkennbar. Die Einzelzellen bleiben dagegen zumeist verborgen, und ihre Feinstruktur kann nur mit Hilfe des Mikroskops beobachtet werden. Lediglich die wasserleitenden Gefäßzellen erreichen bei zahlreichen Hölzern so große Durchmesser, daß sie auf dem Querschnitt als Poren und auf den Längsschnitten als Porenrillen auch makroskopisch sichtbar sind.

Auf dem Querschnitt eines berindeten Stammes können je nach Holzart unterschieden werden: 1. Die aus Borke und Bast zusammengesetzte Rinde, 2. der den Hauptteil bildende Holzteil mit Splint und Kern, Jahrringen oder Zuwachszonen einschließlich verschiedener Zell- oder Gewebekomplexe sowie 3. das im Inneren liegende Mark. Das zwischen Rinde und Holz gelegene Kambium ist makroskopisch nicht wahrnehmbar (Abb. 1).

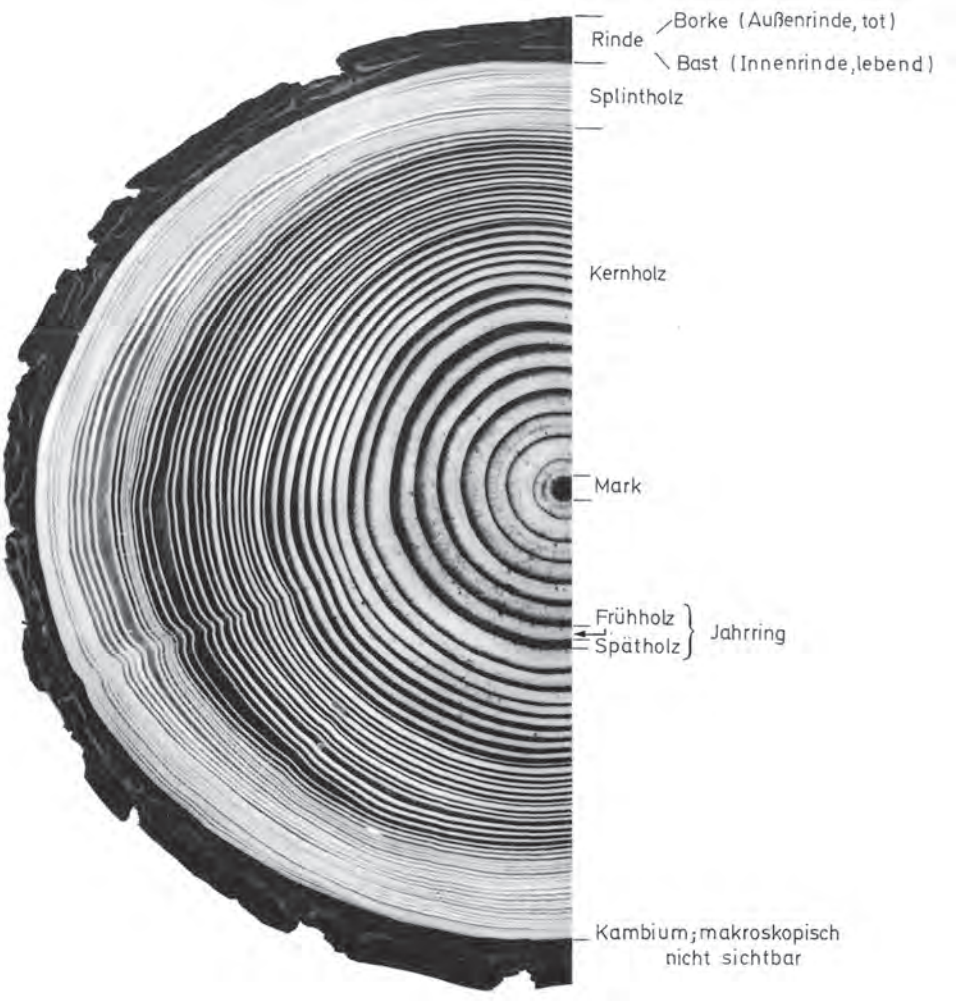


Abb. 1. Querschnitt durch einen Nadelholzstamm (Douglasie)

Mark

Das Mark stellt ein parenchymatisches Gewebe von rundlichem, eckigem oder strahligem Querschnitt mit meist nur wenigen mm Durchmesser dar. Es dient dem jungen Sproß zur Wasserleitung, stirbt aber bei einer Reihe von Holzarten frühzeitig ab. Bei anderen Holzarten, wie z. B. Erle, Birke, Rotbuche und Eiche, bleibt das Mark auch länger, bis zu 10 Jahren lebend und kann Stärke und Fette speichern.

Jahrringe und Zuwachszonen

Zuwachszonen entstehen als Folge eines durch Ruhepausen unterbrochenen Wachstums. In allen Klimagebieten mit winterlicher Vegetationsruhe sind diese Zonen als Regel dem jährlichen, ringförmigen Zuwachs eines Baumes gleichzusetzen. Daher werden sie Jahrringe genannt, und

aus ihrer Anzahl läßt sich das Alter des Holzes bzw. unter bestimmten Voraussetzungen das des Baumes ableiten. Laubabwerfende Bäume subtropischer und tropischer Gebiete bilden in Abhängigkeit vom Wechsel der Trocken- und Regenzeiten Zuwachszonen aus, die nicht den Jahrringen entsprechen. Hölzer aus immergrünen Tropenwäldern mit ununterbrochener Wachstumstätigkeit weisen fast oder überhaupt keine Zuwachszonen auf.

Sichtbar werden die Jahrringe dadurch, daß zu Beginn und gegen Ende einer Vegetationsperiode Zellen unterschiedlicher Art, Größe, Anzahl und Verteilung angelegt werden. Entsprechend wird innerhalb der Jahrringe zwischen Früh- und Spätholz unterschieden. Während das Frühholz den raschen Wassertransport zu Beginn der Vegetationsperiode sichert, kommt dem im Sommer angelegten Spätholz vornehmlich die Aufgabe der Festigung zu. Die unter-

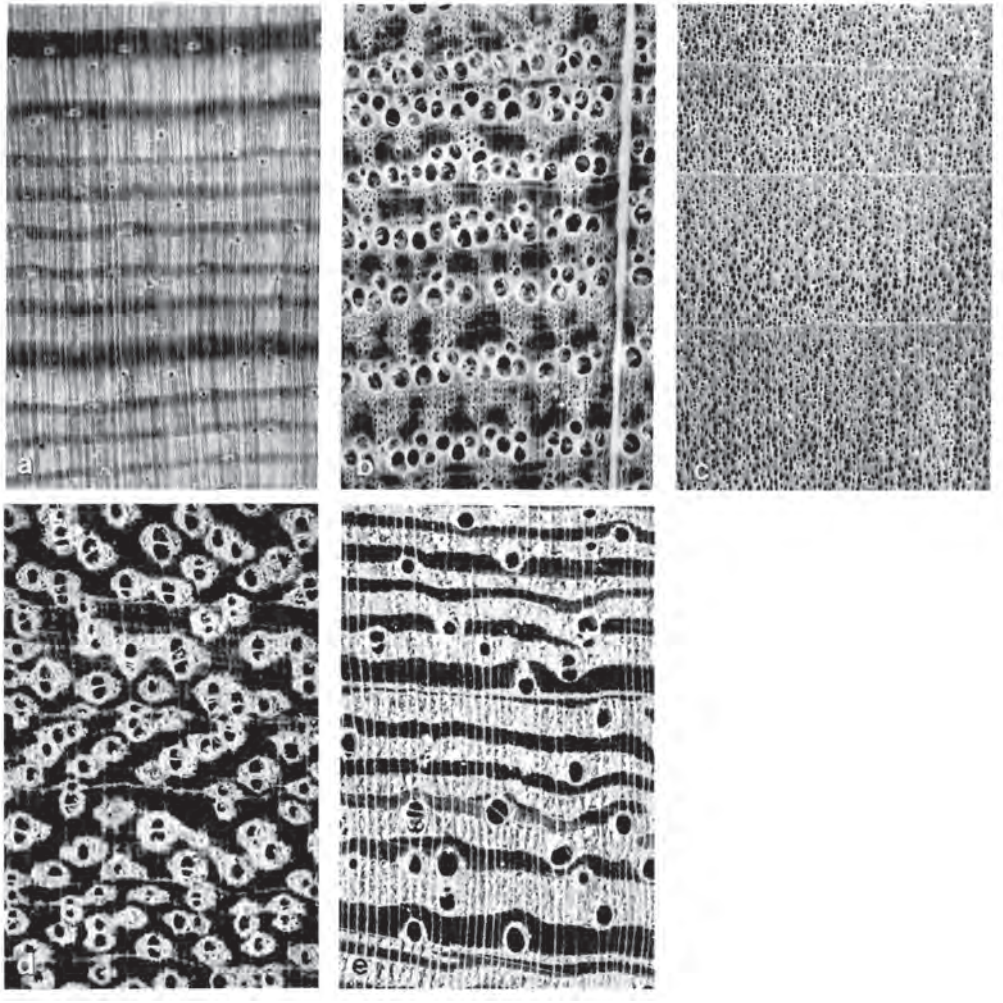


Abb.2a-e. Querschnitte verschiedener Holzarten, Auflicht 7x. (a) Nadelholz (Fichte); (b) ringporiges Laubholz (Eiche); (c) zerstreutporiges Laubholz (Pappel); (d) tropisches Laubholz mit feldartiger (aliformer) Parenchymanordnung (Afzelia); (e) tropisches Laubholz mit bandartiger Parenchymanordnung (Wenge)

schiedlichen Funktionen von Früh- und Spätholz erklären auch die bei zahlreichen Holzarten (besonders Nadelhölzer und ringporige Laubhölzer) deutlichen anatomischen Unterschiede zwischen den beiden Jahrringteilen. In den Nadelhölzern sind im Frühholz weitlumige, dünnwandige, im Spätholz hingegen englumige, dickwandige Zellen ausgebildet. Dieser ausgeprägte Unterschied in der Zellwanddicke führt zu den für die Nadelhölzer so charakteristischen Farb- und Härteunterschieden innerhalb des Jahrringes. Das lockere Frühholz ist heller, das dichte Spätholz dunkler gefärbt (Abb. 2a). Bei den Laubhölzern werden aufgrund der Anordnung und Größe der Gefäße über den Jahrring drei Gruppen unterschieden: ringporige, zerstreutporige und halbringporige Hölzer. Ringporige Holzarten wie Edelkastanie, Eiche, Esche, Robinie und Ulme besitzen im Frühholz besonders weite und zu einem Ring angeordnete Gefäße, denen zum Spätholz hin mehr oder weniger übergangslos sehr viel kleinere Gefäße folgen (Abb. 2b). Zerstreutporige Hölzer wie Ahorn, Birke, Erle, Linde, Pappel, Rotbuche und Weide weisen dagegen über den gesamten Jahrring wenige oder keine Unterschiede hinsichtlich der Verteilung und Größe der Gefäße auf. Entsprechend sind die Jahrringgrenzen häufig undeutlicher als bei den Nadelhölzern und ringporigen Laubhölzern (Abb. 2c, 3).

Markiert werden sie vornehmlich durch porenärmere Zonen, Reihen mit abgeflachten und dickwandigeren Zellen, die eine gewisse Verdichtung des letzten Spätholzes zur Folge haben, oder durch tangentiale Parenchymbänder. Halbringporige Hölzer wie Nußbaum und Kirschbaum nehmen eine Mittelstellung zwischen Ring- und Zerstreutporigkeit ein. Im einzelnen sind die verschiedenen Laubholztypen im Kapitel III definiert.

Außer der Verteilung und Größe der Gefäße können bei ausreichender Breite die Holzstrahlen, bei reichlichem Vorkommen das Längsparenchym sowie Harzkanäle oder Markflecken bei manchen Nadelhölzern bzw. Laubhölzern makroskopisch wahrgenommen werden.

Holzstrahlen kommen ausnahmslos in allen Nadel- und Laubhölzern vor, wobei Größe und Häufigkeit jedoch von Holzart zu Holzart stark variieren können. Sie bilden helle, feine, nur selten über 1 mm breite Linien (Abb. 2a-2e) und sind vom Außenrand des Stammes, vergleichbar den Speichen eines Rades, strahlenförmig zu dessen Mitte gerichtet. Jedoch führen nur die zuerst gebildeten und daher als primär bezeichneten Strahlen bis zum Mark. Alle später angelegten, sogenannten sekundären Strahlen stehen nicht mit dem Mark in Verbindung. Ihr Anfang ist um so mehr in Richtung Stammperipherie verschoben, je später sie aus dem Kambium hervorgegangen sind. Da der früher ausschließlich gebrauchte Begriff „Markstrahlen“ streng genommen nur auf die primären Strahlen anzuwenden und für die Masse der Strahlen nicht zutreffend ist, wird er in der neueren Literatur immer häufiger durch den anatomisch besseren Begriff „Holzstrahlen“ ersetzt. Das Erkennen oder Nichterkennen der Holzstrahlen mit bloßem Auge oder bei Lupenvergrößerung stellt ein wichtiges Bestimmungsmerkmal dar. Besonders breite und das Holzbild wesentlich beeinflussende Strahlen besitzen z. B. Eiche, Rotbuche, Platane, Waldrebe und Weinstock (Abb. 2b). Dagegen sind alle Nadelhölzer durch besonders feine Strahlen gekennzeichnet, die makroskopisch kaum mehr erkennbar sind und sich unter dem Mikroskop meist als nur eine Zelle breit erweisen (Abb. 2a). Eine besondere Art von Holzstrahlen stellen die für das Holz der Erle und Hainbuche charakteristischen Scheinholzstrahlen dar. Sie bestehen aus einer Vielzahl schmaler, sehr dicht gelagerter Einzelstrahlen und vermitteln dadurch den Eindruck eines einzelnen breiten, seitlich aber weniger scharf begrenzten Holzstrahls.

Längsparenchym wird immer dann makroskopisch sichtbar, wenn es in gehäufter Anordnung auftritt. Insbesondere weisen zahlreiche Tropenhölzer so reichlich Längsparenchym auf, daß es deren Holzbild entscheidend beeinflußt und ihm damit große diagnostische Bedeutung zukommt. Vom umgebenden Grundgewebe hebt es sich in der Regel in Form hellerer Felder und Bänder unterschiedlicher Anordnung ab (Abb. 2d, e). Einheimische Hölzer besitzen dagegen kaum nennenswerte und makroskopisch erkennbare Parenchymanteile, da es bei diesen zumeist nur fein verteilt als Einzelstränge oder kleinste Zellgruppen vorkommt. Nur bei wenigen Arten tritt

es reichlicher auf, entweder als feine, kurze Bändchen (Eiche, Nußbaum, Abb. 2b) oder als schmale, die Gefäßränder betonende Scheiden (Esche).

Harzkanäle bilden auf dem Querschnitt helle oder dunkle Punkte (Abb. 2a). Sie sind kennzeichnend für bestimmte Nadelhölzer wie Fichte, Lärche, Kiefernarten und Douglasie. Allgemein weniger bekannt ist, daß sich ihr Vorkommen nicht auf Nadelhölzer beschränkt. Auch tropische Laubhölzer führen Harzkanäle. Dazu zählen z. B. die Arten der in Südostasien weitverbreiteten Familie der *Dipterocarpaceae*, die wichtige Handelshölzer wie Meranti, Keruing oder Yang liefert. Andererseits gibt es eine Reihe von Nadelhölzern wie Eibe, Tanne und Wacholder, die in der Regel harzgangfrei sind.

Markflecken (Braunfleckigkeit) sind Wundgewebe, die auf dem Querschnitt als braune, tangential gestreckte Flecken in Erscheinung treten. Verursacht werden sie durch Kambium-Minierfliegen der Gattung *Phytobia* Lioy (Familie *Agromyzidae*), deren Larven im Kambium axial verlaufende Fraßgänge anlegen, die später durch unregelmäßiges, dunkle Kernstoffe enthaltendes Wundparenchym geschlossen werden. Da bestimmte Laubholzarten wie Birke, Erle, Pappel, Weide, verschiedene Obstbäume (Birnbaum, Apfelbaum), Weißdorn, Eberesche, Mehlbeere, Hasel und Hartriegel regelmäßig – wenn auch unterschiedlich häufig – Markflecken aufweisen, können diese diagnostisch verwertet werden.

Splint- und Kernholz

Mit dem Altern wird das Holz durch Verkernungsvorgänge in Splint- und Kernholz getrennt. Ersteres ist durch das Vorkommen lebender, physiologisch aktiver Holzzellen gekennzeichnet und hat Wasserleit- und Speicherfunktionen. Das Kernholz umfaßt die inneren Zonen im Holz und enthält in der Regel keine lebenden Zellen mehr. Grundvorgang der Verkernung ist das Absterben der parenchymatischen Zellen einschließlich der Auflösung ihres Stärkedepots. Begleitet wird die Verkernung häufig von der Einlagerung spezifischer, oft gefärbter Kernstoffe, Änderungen im Gas- und Wassergehalt, Verschluß der Hoftüpfel und Inkrustierung ihrer Membranen sowie Bildung von Thyllen. Tüpfelverschluß und Thyllenbildung (vgl. S. 36) können aber auch zeitlich weit vor dem Absterben der Parenchymzellen liegen.

Nach Art ihrer Kernholzbildung lassen sich die Baumarten wie folgt einteilen (Abb. 3):

1. Kernholzbäume mit regelmäßiger (= obligatorischer) Farbkernbildung.
   Zu den Kernholzbäumen zählen Lärche, Kiefer, Eiche, Robinie, Kirschbaum und Nußbaum. Bei unregelmäßiger (= fakultativer), nur unter bestimmten Voraussetzungen erfolgender Farbkernbildung spricht man von Falschkernen. Solche kommen häufig als Rotkern bei der Rotbuche, als Braunkern bei der zumeist den Kern-Reifholzbäumen zugeordneten Esche sowie seltener bei einigen Splintholzbäumen wie Birke und Ahorn vor. Gekennzeichnet sind Falschkerne durch unregelmäßige Querschnittsformen mit oft wolkigen Ausbuchtungen.
2. Kern-Reifholzbäume mit einem auf den dunkler gefärbten Kern folgenden Streifen intermediären Holzes (Reifholz), das wasserärmer, aber vom Splint farblich nicht unterschieden ist. Als Kern-Reifholzbäume werden Ulme und häufig Esche angesehen.
3. Reifholzbäume mit hellem Kernholz, das vom Splint lediglich durch einen geringeren Wassergehalt, nicht aber farblich unterschieden ist. Zu dieser Gruppe gehören Fichte, Tanne, Birnbaum, Linde und Rotbuche.
4. Splintholzbäume ohne Farb- und Feuchtigkeitsunterschiede zwischen Außen- und Innenholz. Splintholzbäume sind Aspe, Bergahorn, Birke, Erle, Spitzahorn und Weißbuche.

Diese Einteilung basiert ausschließlich auf Unterschieden hinsichtlich Färbung und Feuchtigkeitsgehalt zwischen Außen- und Innenholz. Physiologisch gesehen bilden alle Bäume Kernholz mit mikroskopisch nachweisbaren Verkernungsmerkmalen bzw. einem physiologisch inaktiven Bereich aus.

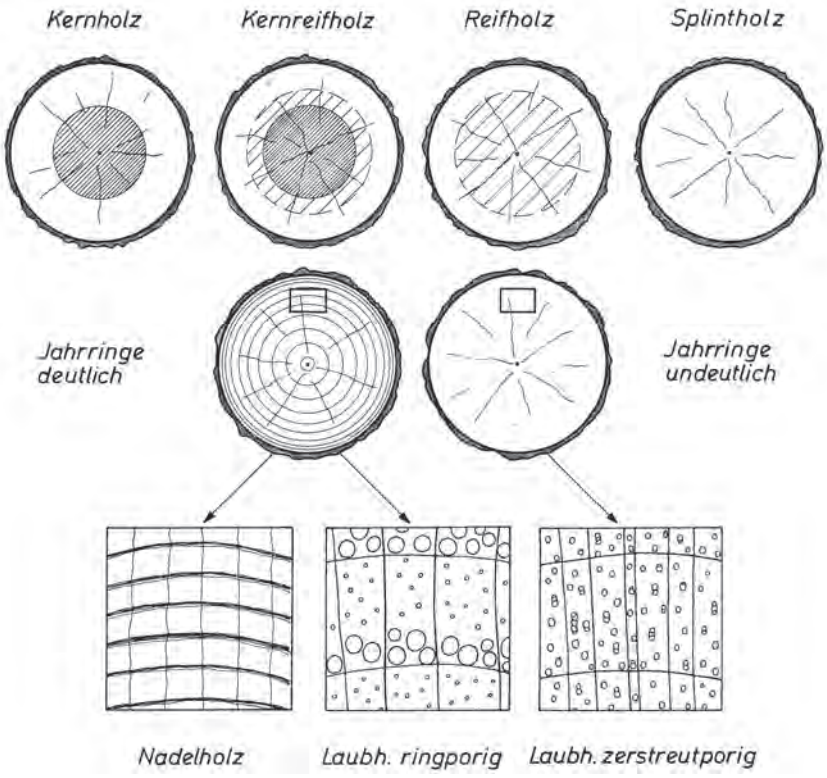


Abb. 3. Stammquerschnitte von Bäumen mit unterschiedlicher Kernholzbildung (Kernholz-, Kern-Reifholz-, Reifholz- und Splintholzbaum) und mit unterschiedlich deutlichen Jahrringgrenzen (Nadelholz, ringporiges und zerstreutporiges Laubholz)

2. Schnittrichtungen

Mit dem Querschnitt ist eine der drei in der Holzanatomie üblichen und notwendigen Hauptschnittrichtungen bereits genannt worden. Die beiden anderen sind der Tangentialschnitt und der Radialschnitt, die zusammen mit dem Querschnitt erst ein räumliches Bild vom Aufbau des Holzes zu geben vermögen. Auch ist es nur mit Hilfe dieser drei anatomischen Hauptschnitte möglich, eine Holzprobe eindeutig zu charakterisieren, da die das Holzbild bestimmenden Zellen bzw. Gewebe je nach Schnittrichtung ein sehr verschiedenes Aussehen aufweisen (Abb. 4 und 5).

Querschnitt

Der Querschnitt oder Hirnschnitt wird bei der Holzbestimmung in der Regel als erster geprüft, da er den umfassendsten Einblick in den anatomischen Bau einer Holzart vermittelt. Aus diesem Grund orientiert man sich bei der makroskopischen Holzbestimmung vornehmlich am Querschnitt. Durch den senkrecht zur Stammachse geführten Schnitt werden wie beim Durchschneiden eines vieladrigen Kabels alle achsenparallel verlaufenden Zellen bzw. Zellkomplexe getroffen und freigelegt.

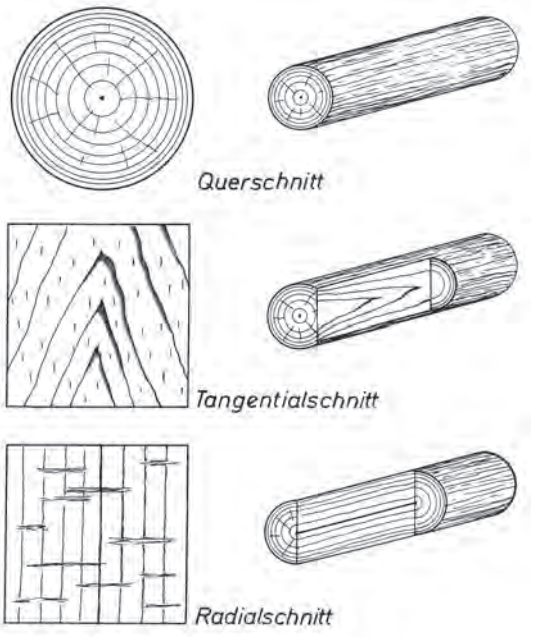


Abb. 4. Schnittrichtungen. Schnittführung beim Querschnitt senkrecht zur Stammachse, beim Tangentialschnitt parallel zur Stammachse und quer zu den Holzstrahlen, beim Radialschnitt parallel zur Stammachse und fast parallel zu den Holzstrahlen

Tangentialschnitt

Der Tangentialschnitt wird längs zur Stammachse im Sinne einer Tangente der Jahrringe geführt, wobei die Holzstrahlen im rechten Winkel durchtrennt werden und als spindelförmige Striche auf der Schnittfläche erscheinen (Abb. 4 und 5). Höhe und Breite der Holzstrahlen lassen sich auf dem Tangentialschnitt am besten beobachten. Die in ihrer Längsrichtung angeschnittenen Gefäße sind, abhängig von ihren Durchmessern, als feine oder grobe Rillen zu erkennen und werden als Porenrillen oder auch Nadelrisse bezeichnet. Da es sich hierbei um keine Risse handelt, sollte der ersten Bezeichnung der Vorzug gegeben werden.

Der Tangentialschnitt ist der gewöhnliche Bretterschnitt. Er wird auch „Fladerschnitt“ genannt, da die im spitzen Winkel angeschnittenen Jahrringe fladerförmig als parabelförmige Bogen bzw. als zu einer stumpfen Spitze verlaufende Bänder erscheinen. Am markantesten treten Fladern bei Holzarten mit ausgeprägtem Frühholz-Spätholz-Kontrast auf, wie das z. B. bei den Nadelhölzern und ringporigen Laubhölzern der Fall ist.

Aber auch manche zerstreutporige Hölzer wie Rotbuche oder Ahorn können Fladern aufweisen. Bei Tropenhölzern werden gefladerte Texturen durch bandförmiges Längsparenchym oder Farbstoffeinlagerungen hervorgerufen.

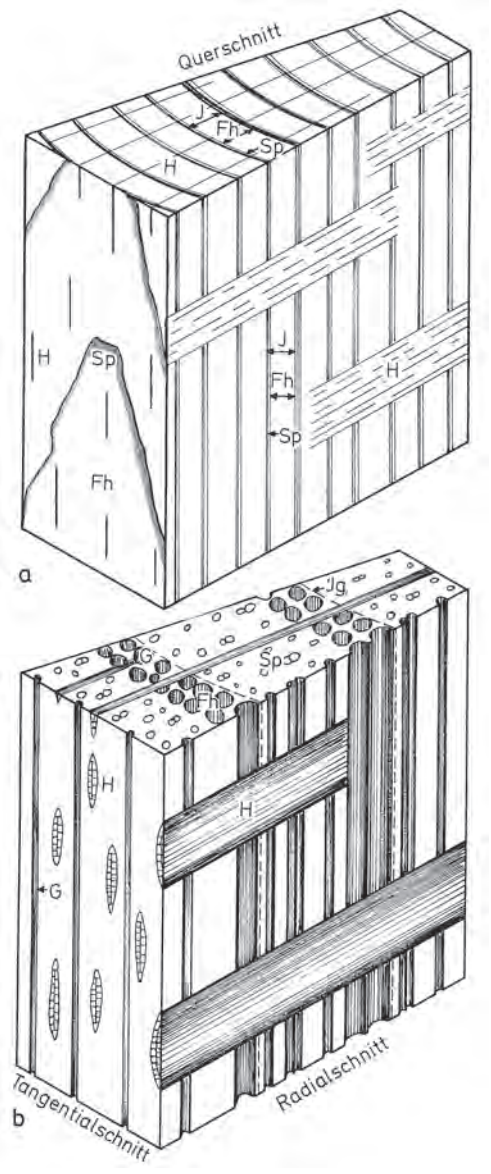


Abb. 5 a und b.
Schematische Darstellung der Schnittrichtungen mit charakteristischen makroanatomischen Erkennungsmerkmalen. (a) Nadelholz, (b) ringporiges Laubholz, Fh=Frühholz, G=Gefäß, H=Holzstrahl, J=Jahrring, Jg=Jahrringgrenze, Sp=Spätholz

Radialschnitt

Der Radialschnitt gibt den besten Einblick in die sich kreuzenden Zellsysteme des Holzes. Er wird in der Längsrichtung im Sinne der Radien der Jahrringe parallel zu den Holzstrahlen geführt. Letztere werden dabei der Länge nach aufgeschnitten und erscheinen bei geradem Verlauf als mehr oder weniger lange Bänder (Abb. 4 und 5). In der Praxis bezeichnet man die auf den radialen Schnittflächen als glänzende Bänder, Schuppen oder Flecken hervortretenden Holzstrahlen als „Spiegel“ und den Radialschnitt entsprechend als „Spiegelschnitt“. Durch auffällige Spiegel sind u.a. Eiche, Platane, Rotbuche, Ulme und Ahorn gekennzeichnet.

Keinen Glanz zeigen die bereits erwähnten Scheinholzstrahlen der Erle und Hainbuche. Als Holzarten ohne deutliche Spiegel sind alle Nadelhölzer und von den Laubhölzern u. a. Birnbaum, Birke, Buchsbaum, Pappel, Roßkastanie und Weide zu nennen. Daß die Strahlen beim Sägeschnitt nicht in ihrer vollen Länge und Höhe freigelegt werden, erklärt sich daraus, daß sie nicht streng gerade, sondern häufig wellenförmig verlaufen und somit immer wieder aus der Schnittebene „austreten“. Die angeschnittenen Gefäße erscheinen wiederum als Porenrillen. Die Jahrringe werden rechtwinklig durchschnitten und sind als parallel verlaufende Streifen sichtbar, was insbesondere wieder für Hölzer mit ausgeprägten Frühholz-Spätholz-Unterschieden (Nadelhölzer, ringporige Laubhölzer) gilt. Auch durch Längsparenchym können Streifen verursacht sein (Tropenhölzer).

II. Mikroskopischer Bau der Nadelhölzer

Das Holz der gegenüber den Laubbäumen entwicklungsgeschichtlich älteren Nadelbäume ist durch einen verhältnismäßig einfachen und regelmäßigen Aufbau charakterisiert. Dementsprechend ist die Zahl der die Familien, Gattungen und Arten unterscheidenden Mikromerkmale relativ klein. Nur zwei Zellarten setzen letztlich das Gewebe der Nadelhölzer zusammen: Tracheiden und Parenchymzellen. Da im Stamm die Zellen in zwei sich kreuzenden Systemen angeordnet sind, wird bei den Tracheiden zwischen Längs- und Quertracheiden sowie beim Parenchym zwischen Längs- und Strahlparenchym unterschieden. Als Epithelzellen werden die Harzkanäle auskleidenden parenchymatischen Exkretzellen bezeichnet. Anordnung, Form und Funktion der Nadelholzzellen sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Die Längstracheiden, Urform der Holzzellen, nehmen bei allen Nadelhölzern mit rund 90...95% den weitaus größten Raum ein, während Holzstrahlen, Längsparenchym und Harzgänge als übrige Zellelemente bzw. Gewebesysteme mit 5...10% nur einen verhältnismäßig kleinen Anteil erreichen. Die beiden letzteren Gewebeelemente können wie bei Eibe und Tanne auch vollkommen fehlen. Eine räumliche Darstellung des Nadelholzaufbaus zeigt Abb. 6.

	Zellarten	Form *	Hauptfunktion
axial ausgerichtet	Längstracheiden		
	Frühholztracheiden	prosenchymatisch	Wasserleitung
	Spätholztracheiden	prosenchymatisch	Festigung
	Längsparenchym	parenchymatisch	Speicherung
	Epithelzellen der vertikalen Harzkanäle	parenchymatisch	Harzausscheidung
radial ausgerichtet (Holzstrahlen	Quertracheiden (Holzstrahltracheiden)	prosenchymatisch	Wasserleitung
	Strahlparenchym	parenchymatisch	Speicherung
	Epithelzellen der horizontalen Harzkanäle	parenchymatisch	Harzausscheidung

* Als Prosenchymzellen werden langgestreckte Zellen mit spitz zulaufenden Enden bezeichnet; Parenchym stellt Gewebe aus backsteinförmigen oder isodiametrischen Zellen dar.

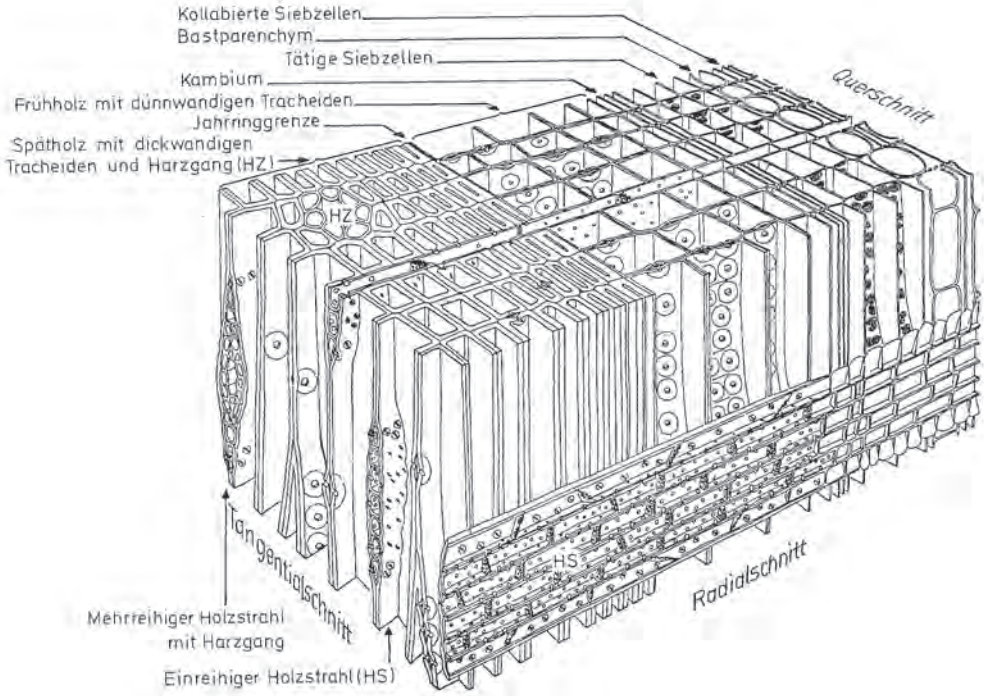


Abb. 6. Räumliche Darstellung von Holz und Bast eines Nadelbaumes (Lärche). (Nach Mägdefrau, 1951)

Die Lumina der Zellen stehen über Öffnungen in der Zellwand miteinander in Verbindung. Die Öffnungen werden als Tüpfel bezeichnet. Ein Tüpfel besteht grundsätzlich aus einer Tüpfelhöhle und einer Tüpfelmembran (Schließhaut). Letztere begrenzt die Tüpfelhöhle nach außen, d. h. im Bereich der Mittelschicht zweier Zellen, während nach innen, d.h. zum Zellumen hin, die Höhle offen ist. Je nach Ausbildung der Tüpfelhöhle lassen sich prinzipiell zwei Typen von Tüpfeln unterscheiden: einfache Tüpfel und Hoftüpfel. Zwei sich jeweils ergänzende Tüpfel aneinandergrenzender Zellen heißen Komplementärtüpfel und bilden ein Tüpfelpaar. Schematische Darstellungen der drei wichtigsten Arten von Tüpfelpaaren – einfaches Tüpfelpaar, behöftes Tüpfelpaar und einseitig behöftes Tüpfelpaar – gibt Abb. 7 wieder.

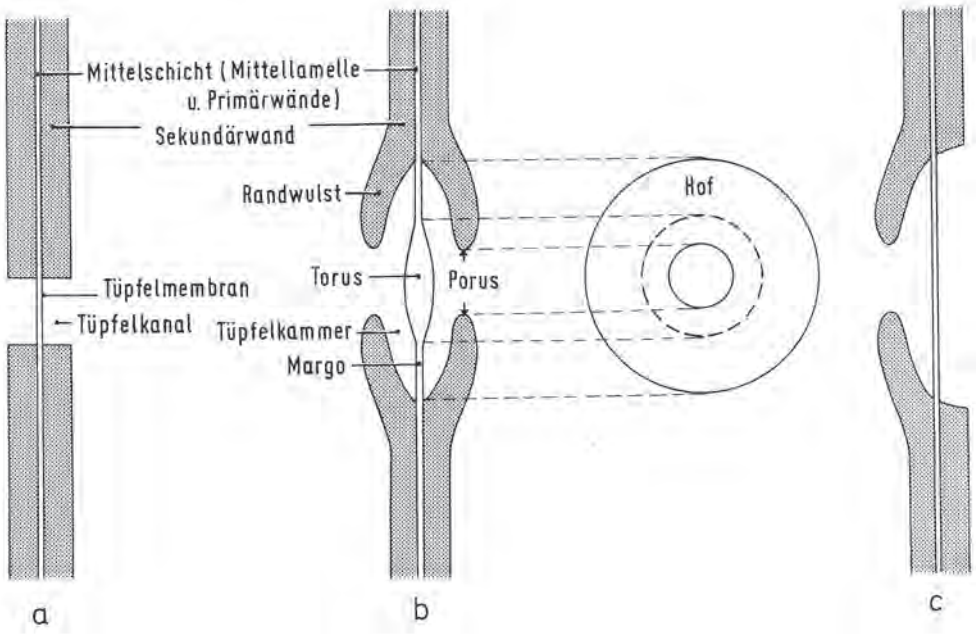


Abb. 7a-c. Schematische Darstellung verschiedener Tüpfeltypen bzw. Tüpfelpaare. (a) Einfaches Tüpfelpaar; (b) Hoftüpfelpaar (behöftes Tüpfelpaar); (c) einseitig behöftes Tüpfelpaar

Einfache Tüpfel

Bei den einfachen Tüpfeln stellt die Tüpfelhöhle einen einfachen Kanal dar, so daß ein einfaches Tüpfelpaar zweier benachbarter Zellen aus den beiden korrespondierenden Tüpfelkanälen und einer gemeinsamen, aus der Mittelschicht gebildeten Membran besteht (Abb. 7a). Die Mittelschicht setzt sich zusammen aus den beiden Primärwänden der Nachbarzellen und der dazwischenliegenden Mittellamelle. Der Tüpfelkanal kann gleichmäßig weit, d. h. zylindrisch, oder gegen das Lumen der Zelle erweitert oder verengt sein. Durch die Membran führen in feinen Kanälen als Plasmodesmen bezeichnete cytoplasmatische Stränge, die den Stoffaustausch der plasmatischen Zellinhalte ermöglichen. Durch einfache Tüpfelpaare stehen als lebende Zellen die Parenchymzellen miteinander in Verbindung.

Hoftüpfel

Hoftüpfel bzw. behöfte Tüpfelpaare sind zwischen toten wasserleitenden und festigenden Zellen, bei den Nadelhölzern also zwischen den Tracheiden, ausgebildet. Sie sind komplizierter und variabler gebaut als die einfachen Tüpfel (Abb. 7b). Im Vergleich zu den zuletzt genannten hebt sich bei den Hoftüpfeln die Sekundärwand von der Mittelschicht ab und überwölbt sie als Randwulst. Als Folge erweitert sich der Kanal zur Tüpfelmembran hin trichterförmig zu einer Tüpfelkammer. Die Tüpfelhöhle wird somit aus einem Kanal und einer Kammer gebildet. In der Aufsicht erscheint dadurch ein die Tüpfelmündung (Porus) umgebender Hof. Der Porus

selbst ist entweder rund (Abb. 7b) oder spaltförmig. Bei den Nadelhölzern aus der Familie der Pinaceen wie Tanne, Fichte, Lärche und Kiefer ist der mittlere Teil der Tüpfelmembran zu einem sogenannten Torus verdickt. Der nicht verdickte und als Margo bezeichnete äußere Bereich der Tüpfelmembran ist für Flüssigkeiten durchlässig. Die Tüpfelmembran ist dehnbar, so daß sie als Ventil wirkt. Bei Druckänderung oder Lufteinbruch in das Zellumen legt sich der Torus dicht an den Porus und verschließt den Tüpfel.

Abb. 8
Elektronenmikroskopische Aufnahme eines ultradünnen Tangentialschnitts durch einen Frühholz-Hoftüpfel in Kiefer (*Pinus sylvestris*). Die im geöffneten Zustand sich in der Kammermitte befindende Tüpfelmembran besteht aus einem verdickten mittleren Teil (Torus) und einem durchlässigen Rand (Margo). Aufnahme D. Fengel

Abb. 9
Elektronenmikroskopische Aufnahme eines ultradünnen Querschnitts durch einen Spätholz-Hoftüpfel in Fichte (*Picea abies*). Aufnahme D. Fengel

Der in Abb. 7 b dargestellte Pinaceen-Hoftüpfel repräsentiert jedoch nur einen Bautyp, da die Tüpfelmembran sowohl innerhalb der gleichen Holzart zwischen Frühholz- und Spätholzzellen (Fengel, 1968, Liese, 1970) als auch zwischen verschiedenen Gymnospermenhölzern (Liese, 1965, 1970; Bauch u. Mitarb., 1972) äußerst variabel ist. Elektronenmikroskopische Aufnahmen eines Frühholz-Hoftüpfels und eines Spätholz-Hoftüpfels zeigen die beiden Abb. 8 und 9.

Einseitig behöfte Tüpfelpaare

Zwischen den toten Tracheiden und den lebenden Parenchymzellen kommen einseitig behöfte Tüpfel mit nur einer Tüpfelkammer auf der Tracheidenseite vor (Abb. 7 c). Zu den halbbehöften Tüpfeln zählen auch die für die einheimischen Kiefernarten charakteristischen Fenstertüpfel der Kreuzungsfelder (vgl. S. 18). Es handelt sich dabei um großflächige Tüpfel, deren Membranen fast die gesamte Breite der Holzstrahlparenchymzellen einnehmen, wie die elektronenmikroskopische Aufnahme der Abb. 10 zeigt.

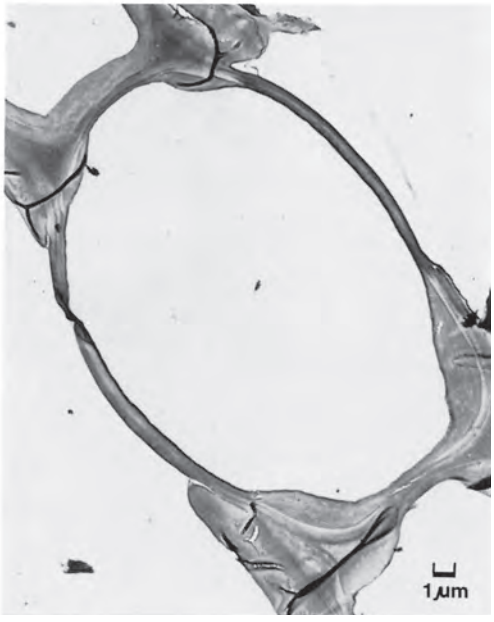


Abb. 10.
Elektronenmikroskopische Aufnahme eines ultradünnen Tangentialschnitts durch eine Holzstrahlparenchymzelle in Kiefer (*Pinus sylvestris*). Auf beiden Seiten sind die verhältnismäßig dicken Membranen der Fenstertüpfel zu erkennen. Aufnahme D. Fengel

1. Tracheiden (Längstracheiden)

Die Tracheiden sind langgestreckte und an ihren Enden zugespitzte Zellen, die bis zu mehreren Millimetern lang werden (Abb. 11). Als tote Holzelemente enthalten sie keine protoplasmatischen Bestandteile wie Cytoplasma, Zellkern, Mitochondrien oder Plastiden mehr; sie führen nur noch Wasser oder Luft. Auf dem Querschnitt sind sie in regelmäßigen radialen Reihen angeordnet, wobei ihre Durchmesser vom Früh- zum Spätholz abnehmen, während ihre Wanddicken zunehmen (Tafel 1/1). Aufgrund dieser strukturellen Verschiedenheit entstehen die bereits makroskopisch deutlich erkennbaren Jahrringgrenzen, da das dichte Spätholz dunkler und das lockere Frühholz heller erscheint (vgl. S. 2). Innerhalb der Jahrringe vollzieht sich bei den meisten einheimischen Nadelhölzern der Übergang vom Früh- zum Spätholz allmählich, bei einigen jedoch auch abrupt wie beispielsweise bei Lärche oder Douglasie (Tafel 1/2). Bei Eibe und Douglasie sind die Tracheidenwände mit auffälligen spiraligen Verdickungen (Schraubenverdickungen) versehen, die bei zuerst genannter Art etwas steiler als bei der letzteren verlaufen (Abb. 11, Tafel 1/3).

Ein besonderes Charakteristikum der Nadelholztracheiden sind die beschriebenen und bevorzugt auf den Radialwänden ausgebildeten Hoftüpfel (Abb. 7b, Tafel 1/4). Die Frühholztracheiden besitzen allgemein große Hoftüpfel mit einem runden Porus, die Spätholztracheiden kleinere mit einem spalt- oder schlitzförmigen Porus. Zumeist sind die Tüpfel einreihig angeordnet. Lediglich bei Lärche kommen häufiger als charakteristisches Merkmal nebeneinanderliegende Tüpfelpaare, sogenannte Zwillingstüpfel, vor (Tafel 1/5).

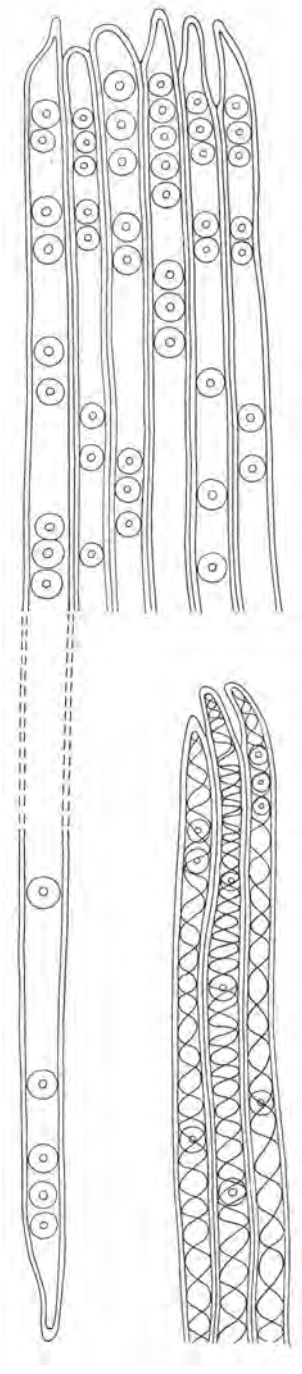


Abb. 11.
Tracheiden aus dem Frühholzbereich; unten rechts mit spiraligen Verdickungen

Zur gegenüberliegenden Seite (Tafel 1):

(1) Tanne (*Abies alba*), Querschnitt 50x. Tracheiden in regelmäßigen radialen Reihen; Frühholztracheiden weitlumig und dünnwandig; Spätholztracheiden englumig und dickwandig.

(2) Lärche (*Larix decidua*), Querschnitt 15x. Innerhalb der Jahrringe Übergang vom Früh- zum Spätholz schroff; letzteres dadurch beidseitig scharf abgesetzt.

(3) Eibe (*Taxus baccata*), Radialschnitt 120x. Tracheiden mit schraubigen Verdickungsleisten.

(4) Kiefer (*Pinus sylvestris*), Radialschnitt 160x. Längstracheiden auf den Radialwänden mit zahlreichen großen Hoftüpfeln. Holzstrahlen heterogen, mit gezähnten Quertracheiden und Fenstertüpfeln in den Kreuzungsfeldern.

(5) Lärche (*Larix decidua*), Radialschnitt 160x. Gehäuftes Vorkommen von Zwillingstüpfeln auf den Radialwänden weitlumiger Frühholztracheiden.

(6) Tanne (*Abies alba*), Tangentialschnitt 50x. Holzstrahlen ausschließlich einreihig.

(7) Fichte (*Picea abies*), Tangentialschnitt 75x. Harzkanalführender Holzstrahl im Mittelteil mehrreihig; Epithelzellen dickwandig.

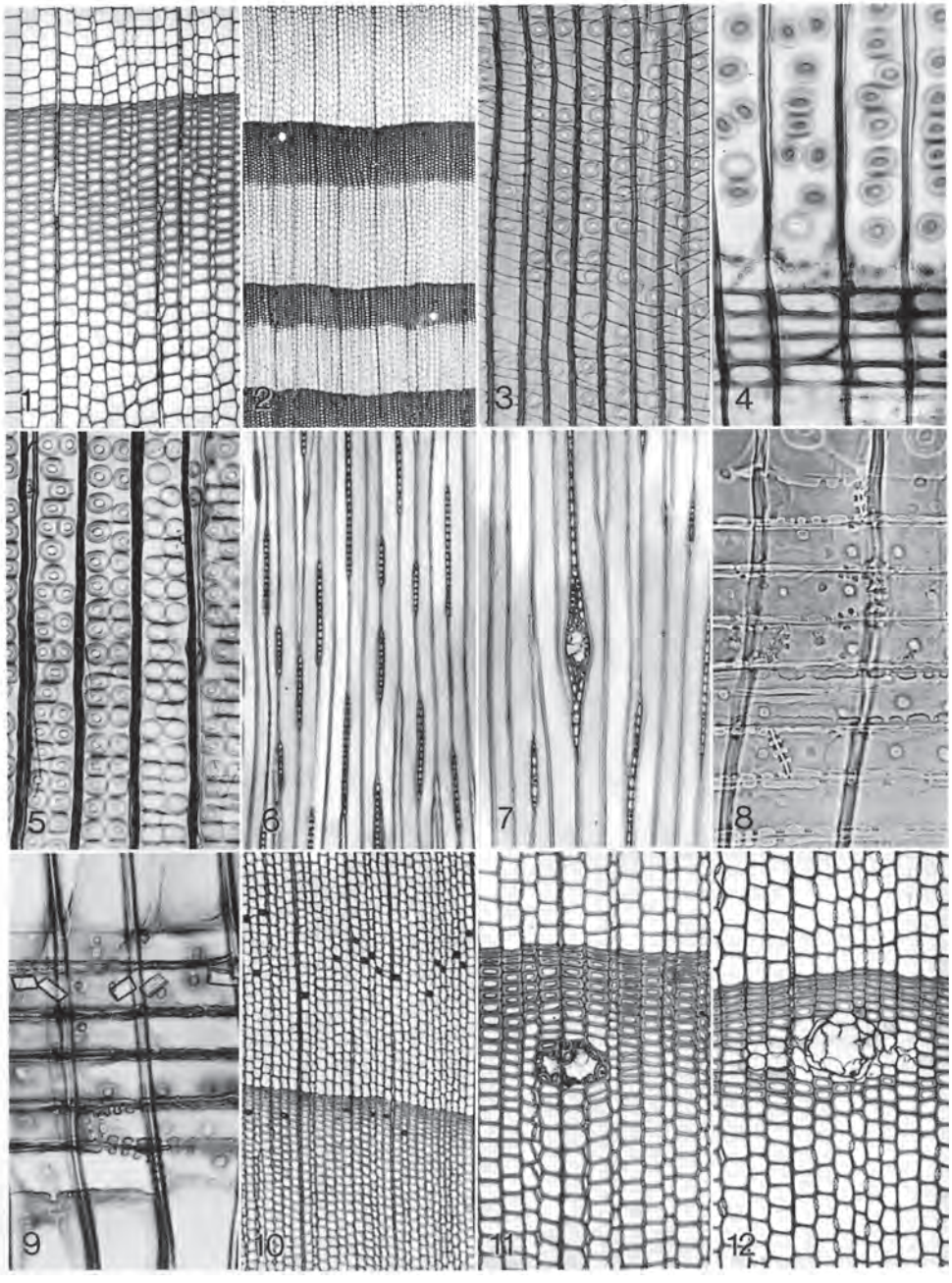
(8) Tanne (*Abies alba*), Radialschnitt 300x . Horizontalwand an der Ansatzstelle der Tangentialwand vertieft (eingekerbt); letztere geknotelt.

(9) Tanne (*Abies alba*), Radialschnitt 300x. Einzelne Holzstrahlzellen mit Kristallen.

(10) Gemeiner Wacholder (*Juniperus communis*), Querschnitt 90x. Tracheidales Grundgewebe im Früh- und Spätholz mit eingestreuten Parenchymzellen, die durch dunkle Inhaltsstoffe markiert sind.

(11) Fichte (*Picea abies*), Querschnitt 75x. Harzkanalpaar mit dickwandigen Epithelzellen.

(12) Kiefer (*Pinus sylvestris*), Querschnitt 75x. Harzkanal mit dünnwandigen Epithelzellen



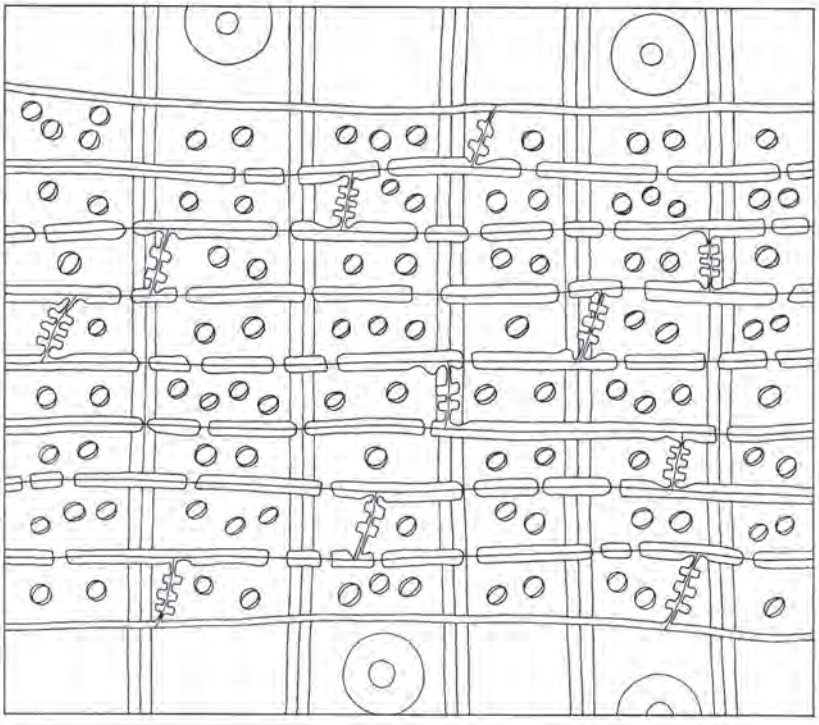
Tafel 1

2. Holzstrahlen

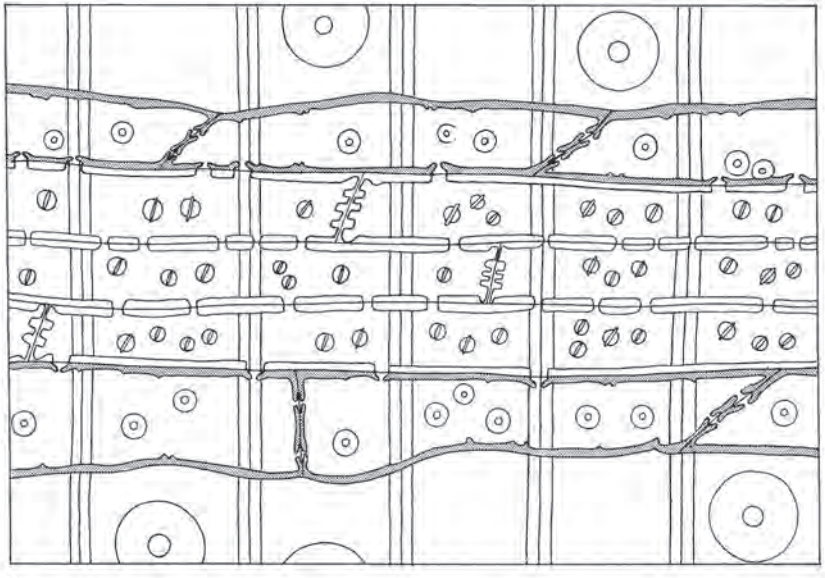
Die der Stoffleitung und Speicherung dienenden Holzstrahlen durchziehen den Holzkörper als schmale radiale Bänder. Bei den Nadelhölzern bestehen sie aus nur einer Reihe übereinanderliegender Zellen, d. h. sie sind stets einreihig (Tafel 1/6). Ausnahmen bilden bei Douglasie, Fichte, Lärche und den Kiefernarten die harzgangführenden Holzstrahlen, die sich im Mittelteil auf mehrere Zellreihen erweitern (Tafel 1/7).

Im einfachsten Fall sind die Holzstrahlen homozellular, d. h. sie bestehen ausschließlich aus Parenchymzellen (=Strahlparenchym, Radialparenchym) wie bei Eibe, Tanne und Wacholder (Abb. 12a). Die heterozellularen Holzstrahlen der übrigen heimischen Nadelhölzer besitzen zusätzlich Quertracheiden, die als ein- bis mehrreihiger Saum die Strahlen ein- oder beidseitig begrenzen, teilweise aber auch zwischengelagert sind. Die Quertracheiden unterscheiden sich vom Strahlparenchym vornehmlich durch den Besitz von Hoftüpfeln auf ihren Tangentialwänden (Abb. 12b). Ihre Wandungen sind bei den einzelnen Holzarten unterschiedlich ausgeformt und somit von diagnostischem Nutzen. So sind bei der zweinadeligen Gemeinen Kiefer die Wandungen der Quertracheiden auffällig gezähnt, bei der fünfnadeligen Zirbelkiefer und Strobe hingegen glatt ausgebildet (Abb. 13 a, b).

Abb. 12 a u. b. (a) Homozellularer Holzstrahl ausschließlich aus Parenchymzellen aufgebaut, (b) heterozellularer Holzstrahl mit randständigen Quertracheiden



a



b

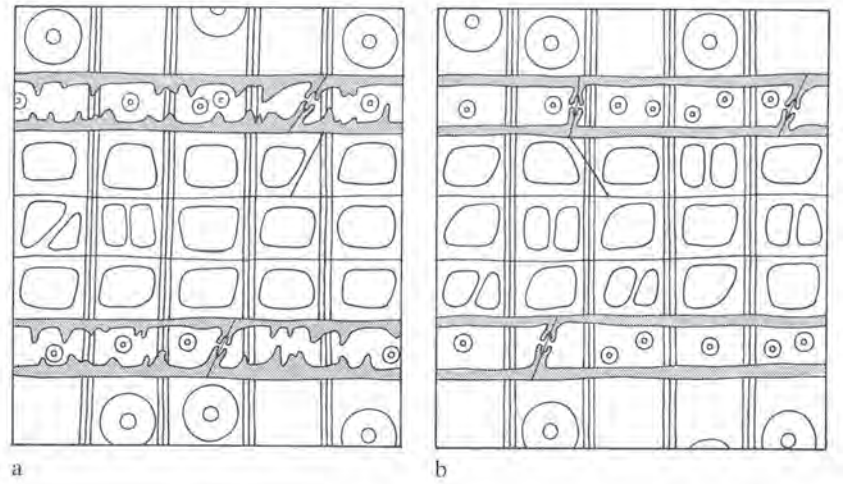


Abb. 13 a u. b. (a) Holzstrahl mit gezähnten Quertracheiden; (b) Holzstrahl mit glattwandigen Quertracheiden

Von großer Bedeutung für die Identifizierung von Nadelhölzern ist ferner die Anzahl und Gestalt der Tüpfel in den Kreuzungsfeldern, worunter man die rechteckigen Radialwandflächen zwischen Strahlparenchymzellen und Längstracheiden versteht. Überall dort, wo diese beiden Zellarten miteinander in Kontakt stehen, sind halbbehöfte Tüpfel angelegt, die auf der Tracheidenseite als Hoftüpfel und auf der Parenchymseite als einfache Tüpfel ausgebildet sind (Abb. 7 c). Folgende Typen von Kreuzungsfeldtüpfeln werden in der holzanatomischen Terminologie unterschieden (Abb. 14a-e):

Fenstertüpfel: Großflächige, quadratische bis rechteckige Tüpfel, die fast die gesamte Kreuzungsfeldfläche ausfüllen und u. a. für die mitteleuropäischen Kiefernarten typisch sind (vgl. auch Abb. 10 und Tafel 1/4).

Pinoide Tüpfel: In Größe und Form variable Kreuzungsfeldtüpfel im Frühholz bestimmter fremdländischer Kiefernarten, gewöhnlich mit stark reduzierten Randwülsten und ovalen bis rundlichen Mündungen (Pori).

Piceoide Tüpfel: Kreuzungsfeldtüpfel im Frühholz mit schlitzförmigen Mündungen, die oft leicht über den Hofumriß hinausragen (überlappende Pori) und enger als der seitliche, überwölbende Randwulst der Sekundärwand sind (z. B. bei Fichte).

Cupressoide Tüpfel: Kreuzungsfeldtüpfel im Frühholz mit linsenförmigen Mündungen, die innerhalb des Hofumrisses liegen (eingeschlossene Pori) und etwa so breit wie der seitliche, überwölbende Randwulst der Sekundärwand sind (z. B. bei Eibe und Wacholder).

Taxodioide Tüpfel: Kreuzungsfeldtüpfel im Frühholz mit großen, ovalen bis rundlichen Mündungen, die innerhalb des Hoftimrisses liegen (eingeschlossene Pori) und größer als der seitliche, überwölbende Randwulst sind (z. B. bei Tanne).

Als weitere wichtige diagnostische Merkmale können Ausformung und Art der Tüpfelung der Horizontal- und Tangential-(End-)wände der Strahlparenchymzellen dienen. Unter „Einkerbung“ oder „vertieftem Ansatz“ werden Vertiefungen in der Horizontalwand verstanden, die an der Ansatzstelle der Tangentialwand auftreten (Tafel 1/8). Die zuletzt genannten Mikromerkmale

spielen zwar für die Bestimmung der heimischen Hölzer keine Rolle, sind aber bei zahlreichen außereuropäischen Arten von diagnostischem Wert.

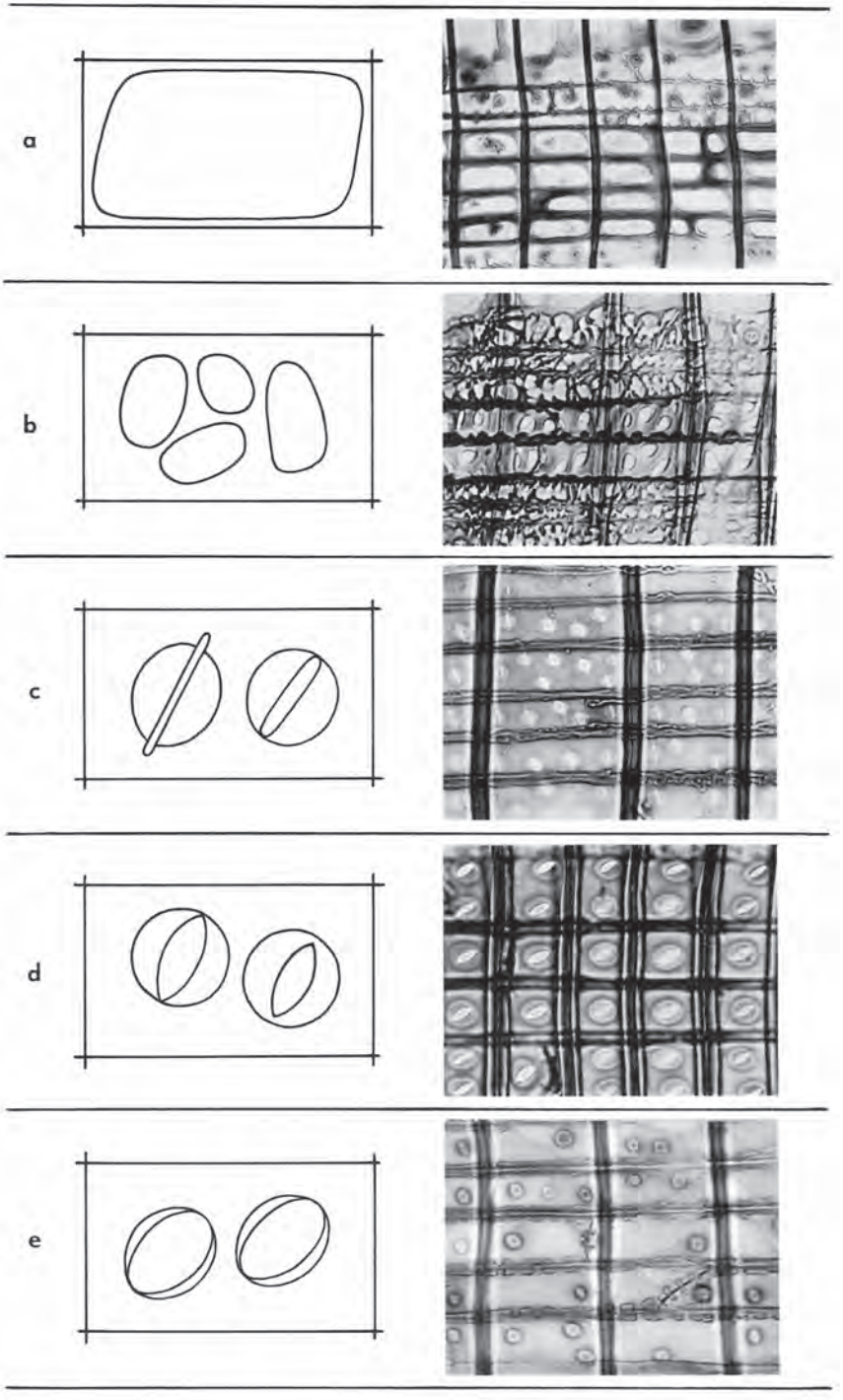
Bei Tanne können in den Holzstrahlen mitunter Calciumoxalat-Kristalle beobachtet werden, die sonst bei Gymnospermen nur selten vorkommen (Tafel 1/9). Außer verschiedenen *Abies*-Arten und bestimmten *Picea*-Arten besitzen im wesentlichen nur noch die Zedernarten (*Cedrus* spp.) häufiger Kristalle in den randständigen Strahlzellen, während beim Ginkgobaum (*Ginkgo biloba* L.) im Längsparenchym regelmäßig Calciumoxalat-Drusen auftreten.

3. Längsparenchym (Parenchym)

Das auch als Strang- oder Axialparenchym bezeichnete Längsparenchym – bei den Holzartenbeschreibungen kurz „Parenchym“ genannt – besteht aus dünnwandigen, meist rechteckig-prismatischen Zellen, die für längere Zeit im Holz leben bleiben und vornehmlich der Stoffspeicherung dienen. Sie sind strangartig angeordnet und mit einfachen Tüpfeln versehen (Abb. 7a). Im Unterschied zur Mehrzahl der Laubhölzer ist jedoch bei den einheimischen Nadelhölzern Parenchym nur spärlich oder gar nicht ausgebildet. Lediglich bei Wacholder sind reichlicher Parenchymzellen angelegt, die bereits auf dem Querschnitt durch rotbraune Inhaltsstoffe deutlich sichtbar vom tracheidalen Grundgewebe abgesetzt sind (Tafel 1/10).

4. Harzkanäle

Die Harzkanäle oder Harzgänge entstehen schizogen, d.h. durch Auseinanderweichen von parenchymatischen Zellen, und sind innen mit harzausscheidenden Epithelzellen ausgekleidet. Sie verlaufen längs und quer zur Stammachse, sind miteinander vernetzt und bilden dadurch ein zusammenhängendes, dreidimensionales System. Die axialen Gänge treten überwiegend im Spätholz auf, die horizontalen liegen ausnahmslos in den Holzstrahlen (Tafel 1, Bilder 7, 11 und 12). Harzkanäle kommen bei Douglasie, Fichte, Lärche und den Kiefernarten vor, während Eibe, Tanne und Wacholder im allgemeinen harzgangfrei sind. Hinsichtlich der Ausbildung können zwei Typen unterschieden werden: enge Kanäle mit dickwandigen Epithelzellen bei Douglasie, Fichte und Lärche und weite Kanäle mit dünnwandigen Epithelzellen bei den Kiefernarten (Tafel 1, Bilder 11 und 12).


a
b
c
d
e

5. Anmerkungen und Hilfen zum Bestimmen der mitteleuropäischen Nadelhölzer

Die Nadelhölzer sind aufgrund des Fehlens von Gefäßen (Poren) und des dadurch bedingten gleichförmigen und sehr regelmäßigen Zellaufbaus als solche sogleich zu erkennen. Aber auch die Unterscheidung der Hölzer voneinander stößt bei einiger Kenntnis der anatomischen Struktur des Holzes selten auf größere Schwierigkeiten. So ist schon mit Hilfe der wenigen in der „Merkmalsübersicht Nadelhölzer“ aufgeführten Merkmale eine rasche und zuverlässige Artbestimmung möglich. Als weitere Bestimmungshilfen sind Bestimmungsschlüssel sowohl nach makroskopischen als auch nach mikroskopischen Merkmalen mitgegeben. Die Berücksichtigung eines makroskopischen Schlüssels beruht auf der Tatsache, daß letztlich jeder mikroanatomischen Bestimmung eine makroanatomische orientierend vorausgeht.

Als erstes Unterscheidungsmerkmal wird zumeist das Fehlen (Eibe, Tanne und Wacholder) oder das Vorhandensein von Harzkanälen (Douglasie, Fichte, Kiefernarten und Lärche) dienen, da man gewöhnlich mit der Untersuchung des Querschnitts beginnt. Werden auf der Querschnittfläche keine Harzkanäle festgestellt, ist auch der Tangentialschnitt auf solche zu durchmustern, was insbesondere für sehr kleine Proben mit nur minimalen Hirnflächen ratsam erscheint. Bemerkenswert ist in diesem Zusammenhang, daß die harzgangfreien Hölzer auf dem Radialschnitt übereinstimmend homozellulare, die harzgangführenden hingegen heterozellulare Holzstrahlen zeigen.

Douglasie, Fichte und Lärche besitzen enge, mit dickwandigen, die Kiefernarten weite, mit dünnwandigen Epithelzellen ausgekleidete Harzgänge. Auch sind die Kiefernarten an den für sie typischen Fenstertüpfeln in den Kreuzungsfeldern leicht zu erkennen, während die drei anderen genannten Arten kleine Kreuzungsfeldtüpfel vom piceoiden Typ aufweisen. Bei der fünfnadeligen Zirbelkiefer und Strobe sind die Wandungen der Quertracheiden glatt, bei der zweinadeligen Gemeinen Kiefer gezähnt, so daß die Kiefernarten auch untereinander gut zu unterscheiden sind. Ebenso ist Douglasie anatomisch eindeutig durch schraubige Verdickungsleisten an den Innenwänden der Tracheiden charakterisiert. Dagegen läßt sich Fichten- und Lärchenholz mikroskopisch nicht immer eindeutig voneinander trennen, da ein für alle Einzelfälle zutreffendes Unterscheidungsmerkmal fehlt. Jedoch sprechen häufiger auftretende Zwillingstüpfel auf den Radialwänden der Frühholztracheiden sowie ein scharfer Frühholz-Spätholz-Übergang innerhalb der Jahrringe für Lärche. Auch liegen bei dieser Holzart in den Holzstrahlen die Harzgänge bei tangentialer Betrachtung oftmals exzentrischer als bei Fichte. Von den Holzarten ohne Harzgänge zeichnet sich Eibe durch Tracheiden mit Schraubenverdickungen aus, wodurch sie leicht von Wacholder und Tanne zu unterscheiden ist. Wacholder wiederum ist durch sein auffälliges Längsparenchym kaum mit Eibe oder Tanne zu verwechseln.

Abb. 14a-e. Kreuzungsfeldtüpfelungen (a) Fenstertüpfel (Kiefer, R-220x); (b) pinoid (Sumpfkiefer, R-170x); (c) piceoid (Fichte, R-420x); (d) cupressoid (Wacholder, R-540x); (e) taxodioid (Tanne, R-420x)

Bestimmungsschlüssel nach makroskopischen Merkmalen

A. Splint- und Kernholz farblich nicht unterschieden (Hölzer ohne Farbkern)

I. Mit Harzkanälen, diese jedoch klein und wenig zahlreich (Lupe!). Holz gelblichweiß, seidig glänzend. Bei größeren Proben Harztaschen möglich. **Fichte** (*Picea abies*)

II. Ohne Harzkanäle. Holz gelblichweiß bis fast weiß, öfters mit grauem oder bläulichem Schimmer. **Tanne** (*Abies alba*)

B. Splint- und Kernholz farblich unterschieden (Hölzer mit Farbkern)

I. Harzkanäle vorhanden

1. Innerhalb der Jahrringe Spätholz vom Frühholz deutlich abgesetzt und merklich dunkler als letzteres.
   a) Harzkanäle reichlich und deutlich sichtbar, da relativ groß. Splint meist breit, gelblich- bis rötlichweiß, Kernholz bräunlich bis rotbraun, frisch jedoch nur schwach gefärbt, da erst mit der Zeit nachdunkelnd. **Gemeine Kiefer** (*Pinus sylvestris*)
   b) Harzkanäle eng und nicht besonders zahlreich (Lupe!). Splint ziemlich schmal, gelblich, Kernholz rotbraun bis dunkelbraun (frisch rötlichbraun). **Lärche** (*Larix decidua*)
   c) Harzkanäle überwiegend im Spätholz, eng und nicht besonders zahlreich- (Lupe!); öfters in kurzen tangentialen Gruppen. Splint weiß bis rötlichweiß, Kernholz gelblichbraun, nachdunkelnd, grobringig und oft mit auffallend breiten Spätholzzonen (meist die Hälfte der Jahrringe einnehmend). **Douglasie** (*Pseudotsuga menziesii*)

2. Innerhalb der Jahrringe Übergang vom Frühholz zum Spätholz gleitend; letzteres sehr schmal und wenig hervortretend.
   a) Jahrringe i.d.R. sehr schmal. Splint schmal, gelblichweiß, Kernholz frisch gelbrötlich, nachdunkelnd (und dann hellrötlich braun), mit charakteristischen dunkelbraunen, fest verwachsenen Ästen. Harzkanäle groß und gut erkennbar. Mit spezifischem Harzgeruch. **Zirbelkiefer** (*Pinus cembra*)
   b) Jahrringe oft breit. Splint gelblichweiß, Kernholz blaß gelblich bis rötlichbraun (oft nur wenig dunkler als der Splint), weich und auffallend leicht. Harzkanäle groß. **Weymouthskiefer, Strobe** (*Pinus strobus*)

II. Harzkanäle fehlend

1. Splint sehr schmal, gelblich, Kernholz gelb- bis rotbraun und öfters mit violettem Schimmer; feinjährig und mit dunklem, schmalem Spätholz; Jahrringgrenzen zumeist wellig. Hart und schwer. **Eibe** (*Taxus baccata*)

2. Splint schmal, gelblich, Kernholz gelblich- oder rötlichbraun und häufig etwas violett schimmernd (im Vergleich zur Eibe jedoch wesentlich heller), Jahrringe eng, grobwellig und mit schmalen, dunklen Spätholzzonen. Weich und mit angenehmem, aromatischem Geruch. **Wacholder** (*Juniperus communis*)

Bestimmungsschlüssel nach mikroskopischen Merkmalen

1. Mit vertikalen und horizontalen Harzkanälen; Holzstrahlen aus Strahlparenchym und Quertracheiden zusammengesetzt (heterozellular) 2
— Ohne vertikale und horizontale Harzkanäle, Holzstrahlen ausschließlich aus Strahlparenchym aufgebaut (homozellular) 6

2. Tracheiden mit schraubigen Verdickungsleisten; breitringig und innerhalb der Jahrringe mit deutlicher Frühholz-Spätholz-Grenze. **Douglasie** (*Pseudotsuga menziesii*)

— Tracheiden ohne schraubige Verdickungsleisten 3

3. Im Kreuzungsfeld 1...2 (3) große ovale Tüpfel (Fenstertüpfel); Epithelzellen der Harzkanäle dünnwandig. 4
— Im Kreuzungsfeld mehrere kleine Tüpfel (piceoide Kreuzungsfeldtüpfelung), Epithelzellen der Harzkanäle dickwandig 5

4. Holzstrahltracheiden mit gezähnten Wänden. **Gemeine Kiefer** (*Pinus sylvestris*)
— Holzstrahltracheiden glattwandig, Spätholzbildung gering und wenig auffällig.
Zirbelkiefer (*Pinus cembra*)
Weymouthskiefer, Strobe (*Pinus strobus*)

5. Übergang vom Früh- zum Spätholz meist scharf, Frühholztracheiden häufiger mit nebeneinanderliegenden Hoftüpfelpaaren (Zwillingstüpfel). **Lärche** (*Larix decidua*)
— Übergang vom Früh- zum Spätholz meist allmählich, Hoftüpfel nur in einer Reihe.
Fichte (*Picea abies*)

6. Tracheiden mit schraubigen Verdickungsleisten; meist feinringig, Frühholz und Spätholz nur wenig unterschieden; Kreuzungsfeldtüpfelung cupressoid. **Eibe** (*Taxus baccata*)
— Tracheiden ohne schraubige Verdickungsleisten 7

7. Im tracheidalen Grundgewebe reichlich Längsparenchym mit rotbraunem Inhalt verstreut, Kreuzungsfeldtüpfelung cupressoid. **Wacholder** (*Juniperus communis*)
— Längsparenchym fehlend oder nur spärlich an der Jahrringgrenze; Kreuzungsfeldtüpfelung taxodioid. **Tanne** (*Abies alba*)

III. Mikroskopischer Bau der Laubhölzer

Das Holz der stammesgeschichtlich jüngeren Laubbäume zeigt in seinem Aufbau eine erheblich größere Vielfalt als das relativ einförmig strukturierte Nadelholz. Während bei den Nadelhölzern die Tracheiden noch eine Doppelfunktion zu erfüllen haben und sowohl der Festigung als auch der Wasserleitung dienen, ist bei den Laubhölzern eine Funktionstrennung eingetreten. Für jede Funktion ist eine besondere Zellart entwickelt, so daß im Vergleich zum Nadelholz mehr Zell- und Gewebearten ausgebildet sind. Eine räumliche Darstellung des Laubholzaufbaus zeigt Abb. 15. Anordnung, Form und Funktion der verschiedenen Zelltypen sind in Abb. 16 und in Tabelle 2 zusammengestellt.

Als neue Zellelemente fallen insbesondere die dem Wassertransport dienenden Gefäße auf. Daneben können bei bestimmten Holzarten im Leitgewebe als weitere Zellen Gefäßtracheiden (unvollständige Gefäßglieder oder vaskulare Tracheiden) und vasizentrische Tracheiden vorkommen. Beide Zellarten stellen Zwischenstufen der Entwicklung von der Tracheide zum speziellen Wasserleitelement dar. Die mechanische Festigung übernehmen Libriformfasern

und Fasertracheiden, die zusammen als Holzfasern oder einfach als Fasern [1] bezeichnet werden. Die Leitung und Speicherung der Nährstoffe erfolgt wie bei den Nadelhölzern in axial ausgerichtetem Längsparenchym und radial ausgerichtetem Holzstrahlparenchym, deren Anteile am Gewebe aber deutlich höher sind als bei den Nadelhölzern. Gefäße, Holzstrahlen, Längsparenchym und Fasern geben durch ihren insgesamt stark variierenden Bau und ihre unterschiedliche Anordnung eine Fülle verschiedener Strukturbilder, durch die zumindest jede Gattung der einheimischen Gehölze eindeutig charakterisiert ist.

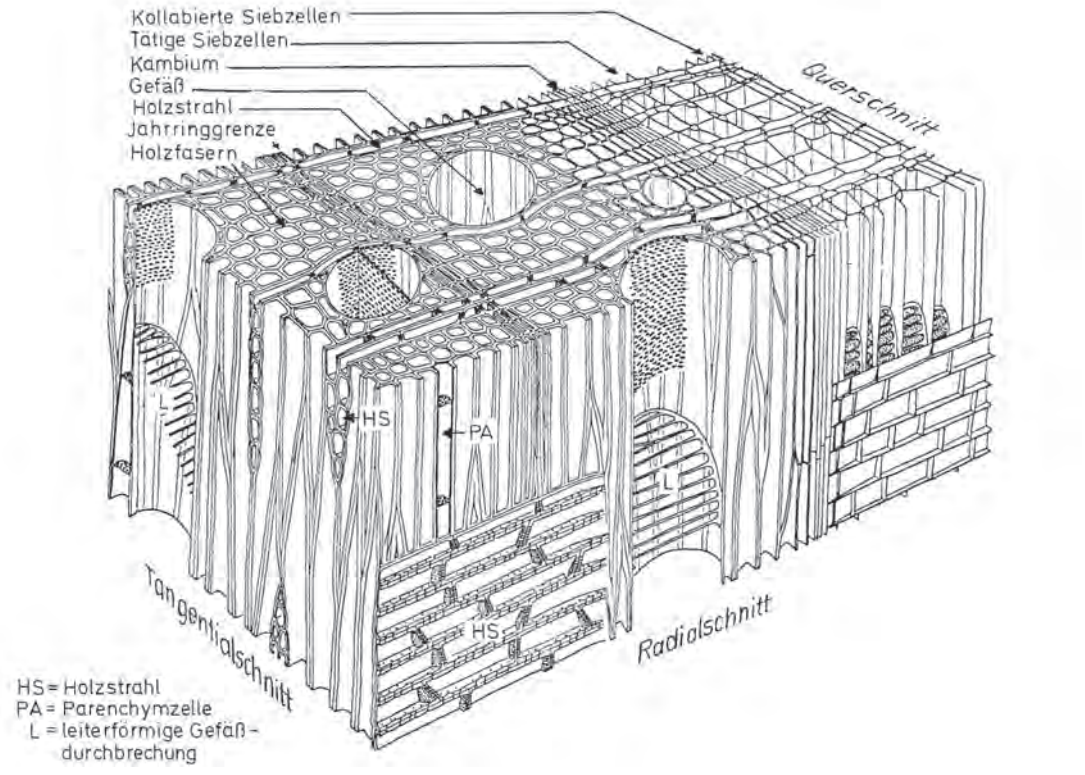


Abb. 15. Räumliche Darstellung von Holz und Bast eines Laubbaumes (Nach MÄGDEFRAU, 1951)

[1] Unter „Faser“ wird in der Holzanatomie jede lange, englumige Zelle mit Ausnahme der Gefäße und Parenchymzellen verstanden. Da Fasern außer im Holz auch in der Rinde vorkommen, spezifiziert man vielfach den Ausdruck Faser durch die Begriffe Holzfasern und Bastfasern. Zu den ersteren gehören neben den Libriformfasern und Fasertracheiden der Laubgehölze auch die Tracheiden der Nadelhölzer.

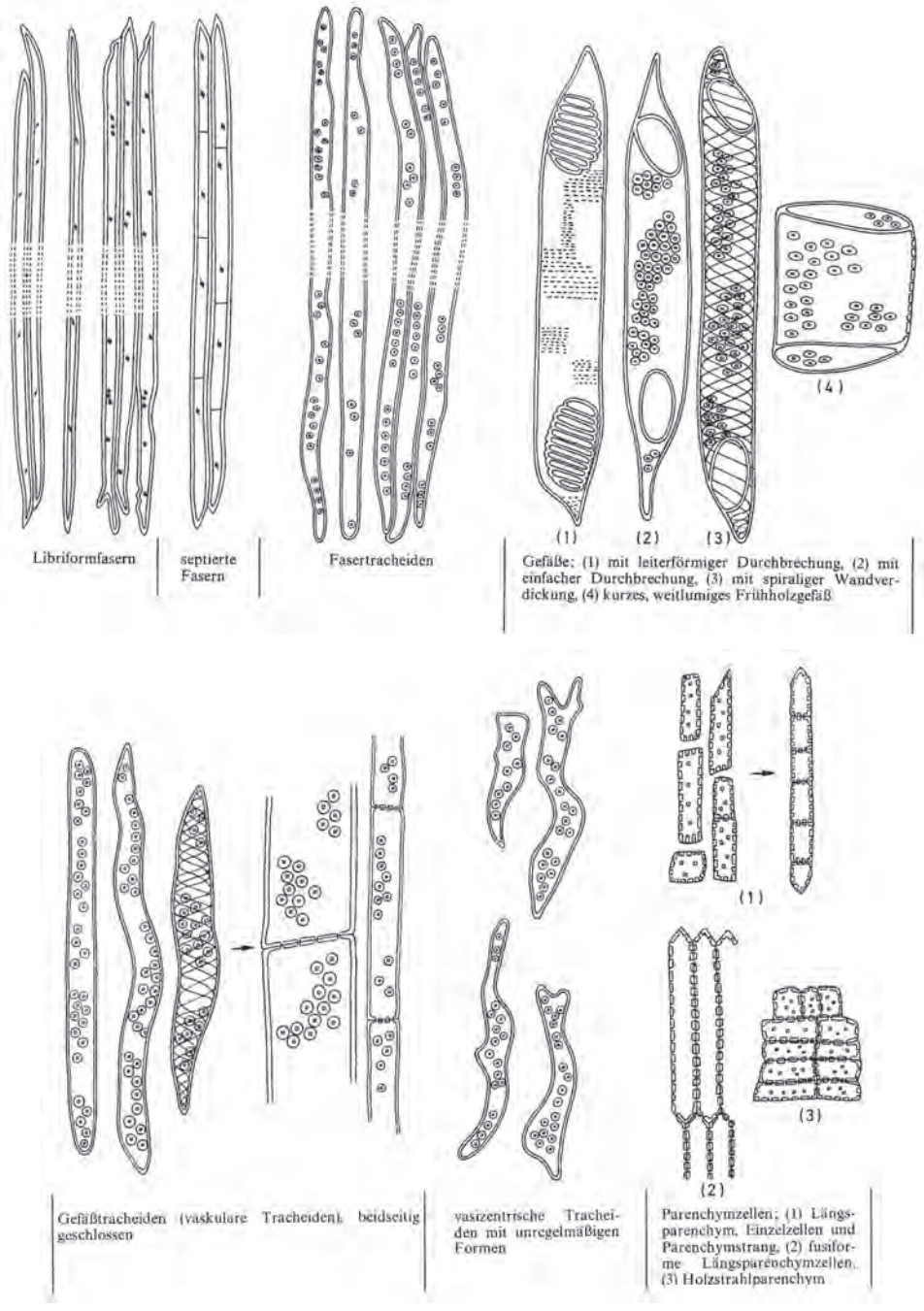


Abb. 16 Laubholzzellen

Tabelle 2. Anordnung, Form und Funktion der Laubholzzellen

	Zellarten	Form [a]	Hauptfunktion
axial ausgerichtet	Gefäße	prosenchymatisch	Wasserleitung
	Gefäßtracheiden (vaskulare Tracheiden)	prosenchymatisch	Wasserleitung
	vasizentrische Tracheiden	prosenchymatisch	Wasserleitung
	Längsparenchym	parenchymatisch	Speicherung
	Fasern		
	Libriformfasern	prosenchymatisch	Festigung
	Fasertracheiden	prosenchymatisch	Festigung
	Epithelzellen vertikaler Harzkanäle [b]	parenchymatisch	Harzausscheidung
radial ausgerichtet (Holzstrahl)	Strahlparenchym	parenchymatisch	Speicherung
	Epithelzellen horizontaler Harzkanäle	parenchymatisch	Harzausscheidung

[a] Als Prosenchymzellen werden langgestreckte Zellen mit spitz zulaufenden Enden bezeichnet. Die Elemente des Laubholzes können eingeteilt werden in Prosenchym (Gefäßglieder, Fasern) und in Parenchym. Letzteres stellt Gewebe aus überwiegend backsteinförmigen oder isodiametrischen Zellen dar.

[b] Harzkanäle kommen bei einheimischen Laubhölzern nicht vor.

1. Gefäße

Die Gefäße bestehen aus zahlreichen Gefäßgliedern oder Gefäßelementen, die zu röhrenartigen, axial verlaufenden Zellreihen mit teilweise oder völlig aufgelösten Querwänden verschmolzen sind. Ein Gefäßglied stellt somit den einzelligen Teil eines Gefäßes dar. Als tote Zellen besitzen die Gefäßelemente keinen Protoplasten mehr. Ihre Wände sind verholzt. In den Gefäßen fließt das Wasser ungehindert von Element zu Element, ohne daß sein Strom wie bei den Tracheiden der Nadelhölzer durch die Membranen der Hoftüpfel erschwert wird. Die Länge der Gefäße, markiert durch nicht aufgelöste Querwände, variiert sehr stark. Neben relativ kurzen und nur wenige Zentimeter langen Gefäßen gibt es solche mit Längen von mehreren Metern. Es wird geschätzt, daß einzelne Gefäße zwischen 0,6 und 4,6m erreichen und sich bei ringporigen Hölzern mit sehr weiten Gefäßen sogar über die gesamte Baumhöhe erstrecken können (Esau, 1969). Bei der Rotbuche (*Fagus sylvatica*) können die Gefäße beispielsweise 0,8...2,0m, bei der Waldrebe (*Clematis vitalba*) und Eiche (*Quercus robur*) 5...18m lang werden (Braun, 1970).

Eines der wichtigsten Merkmale, das bei der Bestimmungsarbeit gewöhnlich auch als erstes berücksichtigt wird, ist die Größe und Verteilung der Gefäße. Danach werden die Laubhölzer in ringporige, zerstreutporige und halbringporige Arten eingeteilt (Abb. 17 a-c):

1. Bei den *ringporigen Hölzern* sind die Frühholzgefäße ungleich größer als die Spätholzgefäße. Das Frühholz beginnt mit einem ein- bis mehrreihigen Ring besonders weiter Gefäße, denen sich fast übergangslos die engen Spätholzgefäße anschließen (Abb. 17a). Zwischen Frühholz- und Spätholzgefäßen können die Unterschiede in den tangentialen Durchmessern einen Faktor von 10 erreichen. Von den mitteleuropäischen Nutzhölzern sind Eiche, Edelkastanie, Esche, Robinie und Ulme ringporig.
2. Die *zerstreutporigen Hölze*r besitzen Gefäße, die in ihrer Größe meist nur wenig variieren und über den ganzen Jahrring annähernd gleichmäßig verteilt sind (Abb. 17b). Zu den

zerstreutporigen Hölzern gehören u. a. Ahorn, Birke, Birnbaum, Erle, Linde, Pappel, Rotbuche und Weide.

3. Eine Mittelstellung nehmen die *halbringporigen Hölzer* ein. Bei ihnen sind die Gefäße entweder im Frühholz größer als im Spätholz (Nußbaum; Abb. 17c_1) oder aber im Frühholzbereich besonders reichlich (Kirschbaum; Abb. 17c_2). Die für die ringporigen Arten typische kranzförmige Anordnung der Frühholzgefäße fehlt jedoch.

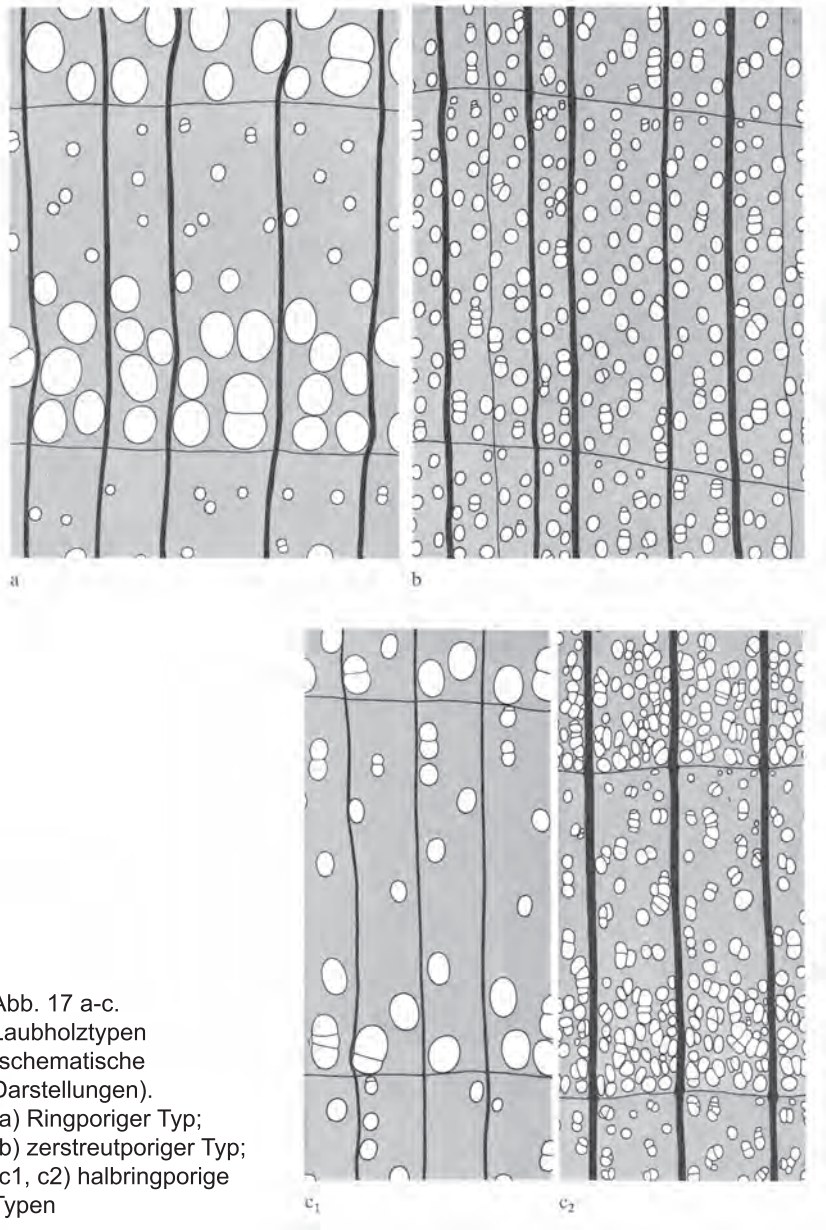


Abb. 17 a-c.
Laubholztypen
(schematische
Darstellungen).
(a) Ringporiger Typ;
(b) zerstreutporiger Typ;
(c1, c2) halbringporige
Typen

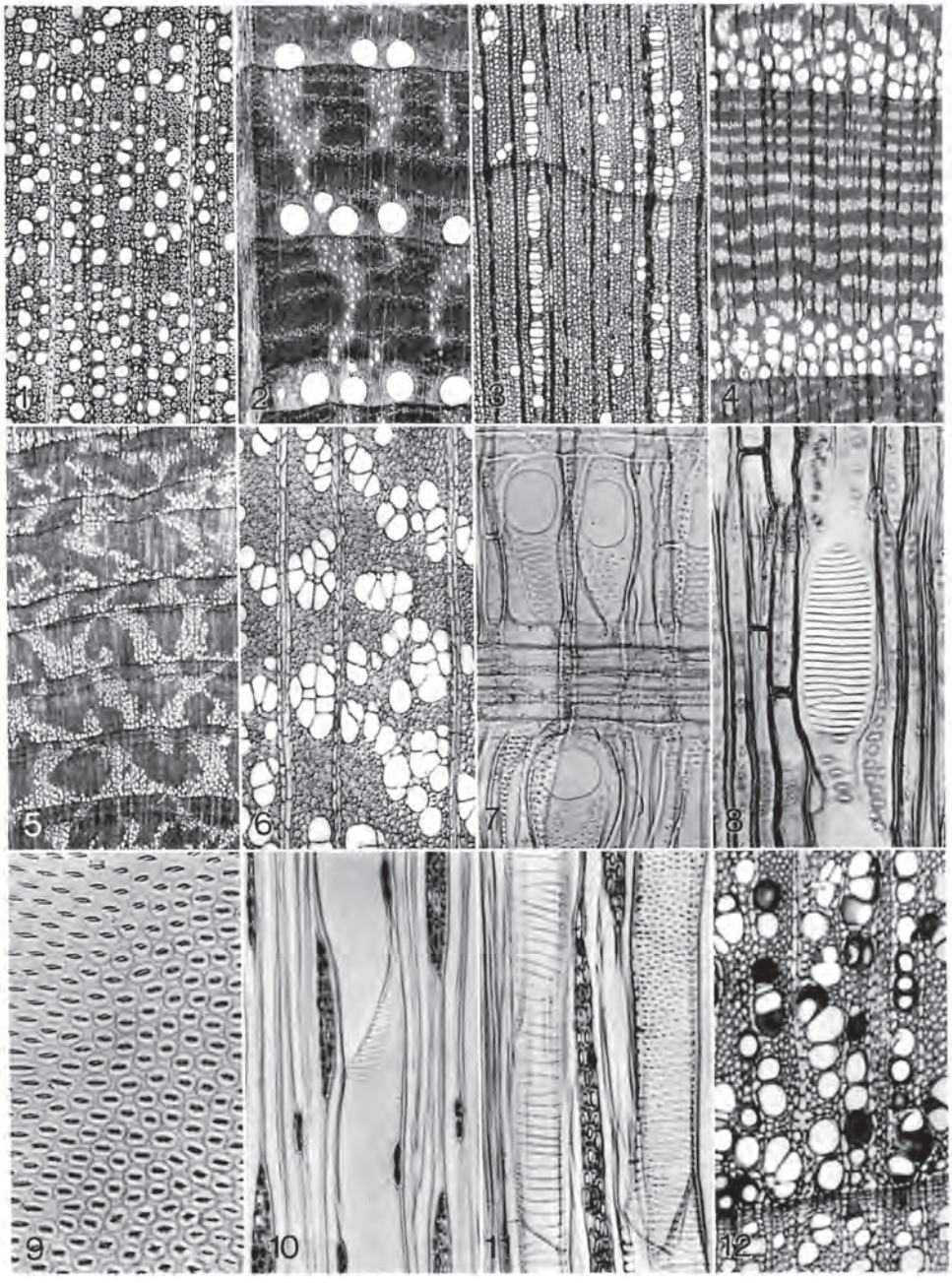
Innerhalb der aufgeführten drei Hauptgruppen von Verteilungsmustern können die Gefäße wiederum sehr unterschiedlich gruppiert sein. Ihre Anordnung ist danach zu beurteilen, ob sie einzeln, paarig, in radialen, schrägen und tangentialen Reihen oder in Nestern auftreten (Tafel 2, Bilder 1-6). Die Gefäßreihen bestehen entweder aus Serien benachbarter Einzelporen[2] (Porenketten) oder aus Gruppen von zwei oder mehr Poren, die an den Berührungsflächen abgeflacht sind und dadurch im Querschnitt den Eindruck einer mehrfach unterteilten Einzelpore erwecken (Vielfachporen). Sowohl bei den Porenketten als auch bei den Vielfachporen findet sich am häufigsten eine Reihung in radialer Richtung. Zu radial ausgerichteten Feldern sind beispielsweise die Spätholzgefäße der Eichenarten und der Edelkastanie angeordnet (Tafel 2/2). Radiale Vielfachporen, auch als Porenstrahlen bezeichnet, kommen u. a. bei Birke, Hainbuche und Hasel vor (Tafel 2/3). In tangentialen Bändern verlaufen die Spätholzgefäße der Ulmenarten (Tafel 2/4), während beim Kreuzdorn eine schräg-radiale Gefäßanordnung vorherrscht (Tafel 2/5). Porennester mit einer mehr unregelmäßigen Gruppierung der Gefäße treten bei Holunder sowie im Spätholz des Götterbaums, des Goldregens oder der Robinie auf (Tafel 2/6).

Für die Bestimmung sind ferner Form und Größe der Gefäße von Bedeutung. Je nach Holzart erscheinen die Gefäße auf dem Querschnitt als runde, ovale oder eckige Poren. Hölzer mit tangentialen Gefäßdurchmessern kleiner als 100 µm werden als mikropor, solche mit Durchmessern größer als 100 µm als makropor bezeichnet. Im einzelnen findet man in der Literatur häufiger folgende Einteilung: 50 µm = sehr klein, 50...100 µm = klein, 100...150 µm = mittelgroß, 150...200 µm = groß und über 200 µm = sehr groß. Sehr kleine Poren mit Durchmessern stets unter 50 µm besitzen z. B. Buchsbaum und Pfaffenhütchen, während ringporige Hölzer im Frühbolzbereich nicht selten Gefäße mit Durchmessern bis zu 400 µm oder mehr aufweisen.

Zur folgenden Seite (Tafel 2):

Tafel 2. (1) Buchsbaum (*Buxus sempervirens*), Querschnitt 60 x. Gefäße zerstreutporig und ausschließlich einzeln angeordnet. (2) Eiche (*Quercus petraea*), Querschnitt 15 x. Ringporig, Spätholzgefäße in radial ausgerichteten Feldern. (3) Gemeine Hasel (*Corylus avellana*), Querschnitt 40 x. Zerstreutporig, Gefäße in radialen Gruppen (Vielfachporen). (4) Ulme (*Ulmus procera*), Querschnitt 10 x. Ringporig, Spätholzgefäße in tangentialer Bänderung. (5) Kreuzdorn (*Rhamnus cathartica*), Querschnitt 15 x. Gefäße in schräg-radialer Anordnung. (6) Holunder (*Sambucus nigra*), Querschnitt 50 x. Zerstreutporig, Gefäße in Nestern. (7) Roßkastanie (*Aesculus hippocastanum*), Radialschnitt 160 x. Einfache Gefäßdurchbrechungen. (8) Pimpernuß (*Staphylea pinnata*), Radialschnitt 160 x. Leiterförmige Gefäßdurchbrechung. (9) Afrormosia (*Afrormosia elata*), Tangentialschnitt 300 x. Gefäßwandung mit verzierten Hoftüpfeln. (10) Birke (*Betula verrucosa*), Tangentialschnitt 120 x. Intervaskulare Tüpfel sehr klein (Ø<3µm). (11) Linde (*Tilia spec.*), Tangentialschnitt 160 x. Gefäßwandungen mit spiraligen Verdickungen. (12) Kirschbaum (*Prunus avium*), Querschnitt 60 x. Kernstoffablagerungen in den Gefäßen

2 Die quergeschnittenen Gefäße werden als Poren bezeichnet.



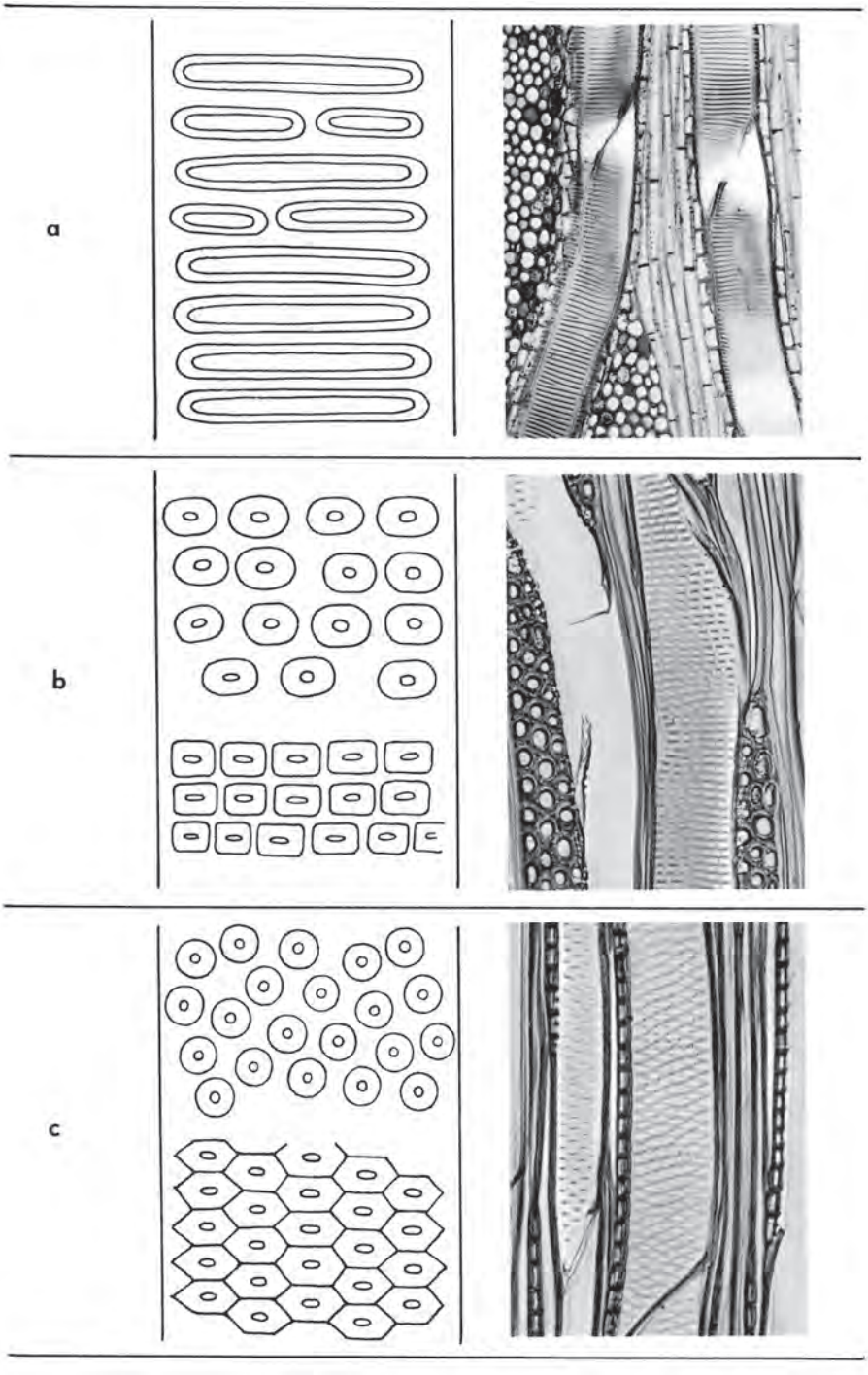
Tafel 2

Die End- bzw. Querwände der Gefäßglieder sind entweder völlig bis auf eine schmale Wandleiste oder nur teilweise aufgelöst. Die durchbrochene Endwand zwischen zwei Gefäßgliedern wird auch Perforations- oder Lochplatte genannt. Bei völliger Auflösung mit nur einer lochförmigen Öffnung spricht man von „einfacher“, bei teilweiser Auflösung mit mehreren Perforationen von „vielfacher“ Durchbrechung. Bei den meisten Hölzern ist die einfache Gefäßdurchbrechung verwirklicht (Tafel 2/7), während die vielfache Durchbrechung vor allem bei entwicklungsg eschichtlich älteren und entsprechend primitiver strukturierten Holzgewächsen vorkommt. Häufigste Form der Vielfachdurchbrechung ist die leiterförmige, bei der in der Querwand parallel angeordnete Leisten oder Sprossen stehen geblieben sind (Tafel 2/8). Die Anzahl der Sprossen variiert zwischen den Arten und dient als weiteres Bestimmungsmerkmal. Von den heimischen Nutzhölzern besitzen Birke und Erle leiterförmige Gefäßdurchbrechungen, während Rotbuche und Platane sowohl einfache als auch leiterförmige Durchbrechungen aufweisen. Ferner gehören zu den Holzarten mit leiterförmigen Gefäßdurchbrechungen die beiden immergrünen Gehölze Buchsbaum und Stechpalme sowie eine Reihe von Sträuchern. Weitere Formen der vielfachen Gefäßdurchbrechung sind u. a. die netzförmige (reticulate) mit zahlreichen Öffnungen zwischen netzförmig angeordneten Stegen sowie die ephedroide oder foraminate mit kleinen Gruppen annähernd kreisförmiger Löcher. Diese beiden Arten der Durchbrechung kommen jedoch bei den mitteleuropäischen Holzarten nicht vor. Lediglich bei den Gattungen *Malus* und *Sorbus* können vereinzelt netzförmige Durchbrechungen in den engeren Spätholzgefäßen auftreten.

Die Längswände der Gefäßglieder sind in der Regel reich getüpfelt, wobei aber nur selten alle Tüpfel eines Leitelements gleich gebaut sind. Bau und Verteilung der Tüpfel hängen nämlich vom Typ der Nachbarzelle ab. So stehen die Gefäße untereinander durch beidseitig behöfte Tüpfel in Verbindung (intervaskulare Tüpfelung), während zwischen Gefäßen und Parenchymzellen halbbehöfte Tüpfel ausgebildet sind (s. S. 16). Zu den Fasern hin kommen zumeist keine oder nur wenige kleine Tüpfel vor. Die Hoftüpfel der Laubhölzer unterscheiden sich von denen der Nadelhölzer vor allem dadurch, daß die Tüpfelmembranen keine sichtbaren Öffnungen besitzen. Auch fehlt der für zahlreiche Koniferen typische Torus. Eine besondere Form von Laubholz-Hoftüpfeln stellen die sog. verzierten oder skulpturierten Tüpfel dar. Unter „Verzierungen“ werden Auflagerungen verstanden, die sowohl an der äußeren (kammerseitigen) als auch an der inneren (lumenseitigen) Tüpfelöffnung vorkommen können und die Tüpfel in der Aufsicht punktiert erscheinen lassen (Tafel 2/9). Durch verzierte Hoftüpfel sind neben einigen Hölzern tropischer Familien insbesondere die sehr zahlreichen Leguminosen-Hölzer, zu denen von den hier beschriebenen Hölzern Besenginster, Gleditschie, Goldregen und Robinie gehören, gekennzeichnet.

Von diagnostischer Bedeutung sind vor allem die intervaskularen Tüpfel, die leiterförmig, gegenständig oder wechselständig angeordnet sein können (Abb. 18 a-c).

Abb. 18 a-c. Anordnung der Hoftüpfel auf den Gefäßwänden (intervaskulare Tüpfelung). (a) Leiterförmig (scalariform); (b) gegenständig (opponiert); (c) wechselständig (alternierend). Mikrophotos: (a) Echte Weinrebe, T-105 x ; (b) Tulpenbaum, T- 170 x ; (c) Pappel, T- 170 x


a
b
c