

André Wagenführ
Frieder Scholz (Hrsg.)

Taschenbuch der Holztechnik



HANSER

Wagenführ/Scholz (Hrsg.)
Taschenbuch der Holztechnik

Herausgeber

Prof. Dr.-Ing. *André Wagenführ*, Technische Universität Dresden

Prof. Dr.-Ing. *Frieder Scholz*, Hochschule Rosenheim

Autoren und Mitarbeiter

Dr.-Ing. *Rico Emmler*, Institut für Holztechnologie Dresden, (Abschn. 3.3)

Prof. Dr.-Ing. *Oskar Faix*, Institut für Holzchemie und chemische Technologie des Holzes Hamburg, (Abschn. 1.3)

Dr.-Ing. *Hans-Jürgen Gittel*, Marketing und Unternehmensberatung Nürtingen, (Abschn. 3.2)

Dr.-Ing. *Christian Gottlöber*, Technische Universität Dresden, (Kap. 2)

Prof. Dr.-Ing. *Detlef Kröppelin*, Dresden, (Kap. 5)

Prof. Dipl.-Ing. *Torsten Leps*, Hochschule Rosenheim, (Abschn. 3.4)

Prof. Dr. *Carsten Mai*, Georg-August-Universität Göttingen, (Abschn. 4.2, 4.3)

Prof. Dr. *Holger Militz*, Georg-August-Universität Göttingen, (Abschn. 4.2, 4.3)

Prof. i. R. Dr.-Ing. habil. Dr. h.c. *Peter Niemz*, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich/Berner Fachhochschule, Biel, (Abschn. 1.4, Kap. 2)

Prof. Dipl.-Ing. (FH) *Maximilian Ober*, Hochschule Rosenheim, (Abschn. 3.3)

Prof. Dr.-Ing. *Frieder Scholz*, Hochschule Rosenheim, (Abschn. 3.2)

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. *Alfred Teischinger*, Universität für Bodenkultur Wien, (Abschn. 4.1)

Prof. Dr.-Ing. *André Wagenführ*, Technische Universität Dresden, (Abschn. 1.2, 2.2.7, 2.2.9, 3.1)

Dr. rer. nat. *Rudi Wagenführ* †, Dresden, (Abschn. 1.1, 1.2)

Taschenbuch der Holztechnik

herausgegeben von
Prof. Dr.-Ing. André Wagenführ und
Prof. Dr.-Ing. Frieder Scholz

3., aktualisierte Auflage

Mit 403 Bildern und 84 Tabellen



FACHBUCHVERLAG LEIPZIG
im Carl Hanser Verlag

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

ISBN 978-3-446-45440-8

E-Book-ISBN 978-3-446-45441-5



Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdrucks und der Vervielfältigung des Buches oder Teilen daraus, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren), auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung, reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Umschlagbild: Reduzier-Bandsägeanlage (EWD Sägetechnik Reutlingen)

Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag

© 2018 Carl Hanser Verlag München

www.hanser-fachbuch.de

Lektorat: Manuel Leppert, M. A.

Herstellung: Katrin Wulst

Satz: Werksatz Schmidt & Schulz GmbH, Gräfenhainichen

Druck und Bindung: Kösel, Krugzell

Printed in Germany

Vorwort

Die Geschwindigkeit der Neuerungen in der Technik steigt unaufhaltsam, Fortbildung in der Industrie wandelt sich zum kontinuierlichen Prozess. Insbesondere der Wirtschaftszweig der Holzverarbeitung an Hochtechnologie-Standorten steht – bedingt durch weltweite Entwicklungen – unter einem starken Preisdruck, der effiziente Produktionsprozesse erfordert.

Vor diesem Hintergrund fasst dieses Taschenbuch den aktuellen technischen Stand der Holzbearbeitung und -verarbeitung zusammen. Das Buch ist ein breit angelegtes Lehr- und Nachschlagewerk, in dem alle Aspekte der Wertschöpfungskette in der Holzverarbeitung „ab dem Rundholzplatz“ bis zur Konstruktion und Produktion der Endprodukte angesprochen werden. Es gibt übersichtlich Antworten auf die häufigsten Fragestellungen und für weitergehende Probleme Hinweise auf die entsprechende Literatur. Das Buch soll damit ein wertvoller, stets greifbarer Begleiter in Studium und Beruf sein – eben ein Taschenbuch.

Bedingt durch die breite Anlage und Fülle der Themen war die Mitarbeit einer Vielzahl von Autoren notwendig, die alle führende Fachleute auf ihren Gebieten sind. Ihnen allen und insbesondere Rudi Wagenführ, der während dieser Nachauflage verstorben ist, sei an dieser Stelle herzlich gedankt. Der besondere Dank der Herausgeber gilt dem Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag, hier speziell Jochen Horn, der die Anregung zu diesem Taschenbuch gab.

Dresden/Rosenheim, November 2017

*A. Wagenführ
F. Scholz*

Inhaltsverzeichnis

1 Roh- und Werkstoff Holz	13
1.1 Einführung	13
1.2 Anatomie des Holzes	14
1.2.1 Holzstrukturuntersuchungen/Holzstrukturanalysen	14
1.2.1.1 Was ist Holz?	14
1.2.1.2 Holzanatomische Untersuchungsmethoden	15
1.2.1.3 Die wichtigsten Holzstrukturmerkmale	16
1.2.1.4 Strukturveränderungen	39
1.2.2 Holzarten	42
1.2.2.1 Benennungen	42
1.2.2.2 Bestimmungen	44
1.3 Chemie des Holzes	47
1.3.1 Holz als Mikro- und Nanoverbundpolymer	47
1.3.2 Cellulose	50
1.3.3 Hemicellulosen	54
1.3.4 Lignine	58
1.3.5 Extraktstoffe	64
1.4 Physik des Holzes	75
1.4.1 Übersicht zu den wesentlichen Holzeigenschaften und wichtigen Einflussfaktoren	75
1.4.1.1 Einteilung der Holzeigenschaften	75
1.4.1.2 Wesentliche Einflussfaktoren auf die Eigen- schaften	76
1.4.2 Verhalten gegenüber Feuchte	77
1.4.2.1 Sorptionsverhalten und kapillare Wasserauf- nahme	77
1.4.2.2 Quellen und Schwinden	82
1.4.3 Dichte	86
1.4.4 Thermische Eigenschaften	87
1.4.5 Elektrische Eigenschaften	89
1.4.6 Optische Eigenschaften	89
1.4.7 Akustische Eigenschaften	90
1.4.8 Alterung und Beständigkeit	92
1.4.9 Elastomechanische und rheologische Eigen- schaften	93
1.4.9.1 Übersicht zu wichtigen Einflussgrößen	93
1.4.9.2 Elastizitätsgesetz und Spannungs-Dehnungs- Diagramm	94
1.4.9.3 Rheologische Eigenschaften	102
1.4.9.4 Festigkeitseigenschaften	106
Literaturverzeichnis	116

Weiterführende Literatur	118
Anlagen	119
2 Werkstoffe aus Holz	127
2.1 Übersicht zu den Holzwerkstoffen	127
2.1.1 Vollholz	128
2.1.2 Holzwerkstoffe	128
2.2 Struktureller Aufbau und wesentliche Einflussfaktoren auf die Eigenschaften ausgewählter Holzwerkstoffe	131
2.2.1 Allgemeine Gesetzmäßigkeiten der Werkstoffbildung	131
2.2.2 Klebstoffe	135
2.2.2.1 Physikalisch abbindende Klebstoffe	136
2.2.2.2 Chemisch reagierende Klebstoffe	137
2.2.3 Werkstoffe auf Vollholzbasis	140
2.2.4 Werkstoffe auf Furnierbasis	141
2.2.5 Werkstoffe auf Spanbasis	143
2.2.6 Werkstoffe auf Faserbasis	146
2.2.7 Verbundwerkstoffe	149
2.2.8 Engineered Wood Products	153
2.2.8.1 Furnierschichtholz (Laminated Veneer Lum- ber, LVL)	154
2.2.8.2 Furnierstreifenholz (Parallel Strand Lumber – PSL)	155
2.2.8.3 Spanstreifenholz (Laminated Strand Lum- ber – LSL)	155
2.2.8.4 Scrimber	155
2.2.8.5 Verbundsysteme	155
2.2.9 Wood Plastic Composites (WPC)	155
2.3 Eigenschaften von Holzwerkstoffen	157
2.3.1 Übersicht	157
2.3.2 Physikalische Eigenschaften	159
2.3.2.1 Verhalten gegenüber Feuchte	159
2.3.2.2 Rohdichte	167
2.3.2.3 Sonstige Eigenschaften	169
2.3.3 Elastomechanische und rheologische Eigen- schaften	176
2.3.3.1 Übersicht	176
2.3.3.2 Kenngrößen und deren Bestimmung	181
2.3.3.3 Rheologische Eigenschaften	185
2.3.3.4 Festigkeitseigenschaften	186
2.4 Technologie der Herstellung von Holzwerkstoffen	193
2.4.1 Allgemeine Entwicklungstendenzen	193
2.4.2 Werkstoffe auf Vollholzbasis	194
2.4.2.1 Brettschichtholz	194
2.4.2.2 Massivholzplatten	196

2.4.3	Werkstoffe auf Furnierbasis (Lagenhölzer)	199
2.4.3.1	Technologische Grundoperationen	199
2.4.3.2	Fertigungsablauf	203
2.4.4	Werkstoffe auf Spanbasis	206
2.4.4.1	Technologische Grundoperationen	206
2.4.4.2	Fertigungsablauf	225
2.4.4.3	Spezielle Holzspanwerkstoffe	226
2.4.5	Werkstoffe auf Faserbasis	231
2.4.5.1	Technologische Grundoperationen	231
2.4.5.2	Fertigungsablauf	243
2.4.5.3	Sonderverfahren	245
2.4.6	Verbundwerkstoffe	245
2.4.6.1	Technologische Grundoperationen	245
2.4.6.2	Fertigungsablauf	248
2.5	Anlagen zur Prozesssteuerung und -überwachung	248
2.6	Einsatzmöglichkeiten von Holzwerkstoffen	249
	Quellen und weiterführende Literatur	256
3	Holzbearbeitung	260
3.1	Umformen	260
3.1.1	Holzbiegen	261
3.1.2	Tiefziehen von Holz und Holzwerkstoffen	262
3.2	Oberflächen bildende Bearbeitungsverfahren	263
3.2.1	Begriffe	263
3.2.2	Einführung und Grundlagen	266
3.2.2.1	Trennen ohne Schneidkeil	266
3.2.2.2	Trennen mit Schneidkeil	267
3.2.2.3	Kinematik und Geometrie des Spanens mit geometrisch bestimmten Schneiden	269
3.2.2.4	Zerspanungskräfte und Zerspanungsleistung	277
3.2.3	Baugruppen von Holzbearbeitungsmaschinen	282
3.2.3.1	Maschinengestelle	282
3.2.3.2	Antriebe	285
3.2.3.3	Führungen	291
3.2.3.4	Wellen und Lagerungen	294
3.2.3.5	Lagemessung, Regelung	295
3.2.3.6	Schneidwerkstoffe und Verschleiß	297
3.2.4	Sägen	299
3.2.4.1	Kreissägen	299
3.2.4.2	Zerspanen	308
3.2.4.3	Bandsägen	311
3.2.4.4	Kettensägen	313
3.2.4.5	Gattersägen	314
3.2.5	Fräsen und Hobeln	315

3.2.5.1	Planhobeln (Planfräsen)	315
3.2.5.2	Universal- und Profilhobeln (Profilfräsen)	319
3.2.5.3	Tischfräsen	321
3.2.5.4	CNC-Oberfräsen	323
3.2.5.5	Kantenbearbeitungen	329
3.2.5.6	Weitere Fräsverfahren	334
3.2.6	Bohren	334
3.2.6.1	Bohrwerkzeuge	334
3.2.6.2	Bohrmaschinen	335
3.2.7	Drehen und Drechseln	338
3.2.8	Schleifen	339
3.2.8.1	Grundlagen	340
3.2.8.2	Schleifmittel	342
3.2.8.3	Maschinenkonzepte	344
3.2.9	Spanloses Trennen	350
3.2.9.1	Spalten	351
3.2.9.2	Schälen und Messern	351
3.2.9.3	Stanzen – Schneiden	353
3.3	Oberflächenbeschichtung	353
3.3.1	Oberflächenbeschichtung mit flüssigen Materialien	353
3.3.1.1	Voraussetzungen für gute Oberflächenqualität	354
3.3.1.2	Lackrohstoffe	356
3.3.1.3	Lacksysteme	360
3.3.1.4	Applikationsverfahren	362
3.3.1.5	Lacktrocknen und Härten	378
3.3.2	Beschichtung mit festen und pulverförmigen Stoffen	391
3.3.2.1	Vorbehandlungsverfahren	391
3.3.2.2	Materialien	393
3.3.2.3	Applikationsverfahren	396
3.4	Prüfung von Holz und Holzwerkstoffen	409
3.4.1	Normung und Einzelzulassung	411
3.4.2	Güteüberwachung und Kennzeichnung	412
3.4.3	Prüfung von Vollholz	412
3.4.4	Sortierung von Holz nach Tragfähigkeit	414
3.4.5	Einfluss der Umgebungsbedingungen auf die Eigenschaften und die Prüfung	418
3.4.5.1	Bestimmung der Rohdichte	418
3.4.5.2	Bestimmung des Feuchtigkeitsgehaltes	419
3.4.6	Ermittlung mechanischer Eigenschaften von Vollholz	419
3.4.6.1	Prüfung von Oberflächeneigenschaften	420
3.4.6.2	Prüfung rheologischer Eigenschaften	422
3.4.7	Prüfung von Holzwerkstoffen	423
3.4.7.1	Zerstörende Prüfungen	423
3.4.7.2	Produktionsüberwachung bei Holzwerkstoffen	425

Literaturverzeichnis	429
Weiterführende Literatur	430
Anhang	431
4 Holzvergütung	433
4.1 Holztrocknung	433
4.1.1 Gründe für die Holztrocknung	433
4.1.2 Wechselwirkung Umgebungsklima – Gleichgewichts- feuchte	434
4.1.3 Trocknungsvorgang, Feuchtegradient und Trock- nungsspannung	434
4.1.4 Der Trocknungsprozess – Systematik der Trock- nungsverfahren	440
4.1.5 Grundzüge zur Regelung des Trocknungsprozesses	450
4.1.6 Trocknungsqualität	451
Quellen und weiterführende Literatur	456
Normen	456
4.2 Holzschutz	457
4.2.1 Einleitung	457
4.2.2 Dauerhafte Holzanwendung	459
4.2.3 Integrierter Holzschutz	461
4.2.4 Holzschutzverfahren	464
4.2.4.1 Nichtdruckverfahren	464
4.2.4.2 Druckverfahren	466
4.2.5 Tränkbarkeit von Holzarten	467
4.2.6 Holzerstörung durch Pilze	470
4.2.6.1 Einteilung der Holzpilze	470
4.2.6.2 Feuchtebedarf	471
4.2.6.3 Fäuleformen	471
4.2.6.4 Hausfäulepilze	472
4.2.6.5 Holzverfärbende Organismen	473
4.2.7 Holzschädigende Insekten	475
4.2.8 Chemischer Holzschutz	476
4.3 Sonstige Vergütungsverfahren	485
4.3.1 Wirkungsprinzipien der Holzmodifizierung	485
4.3.2 Arten der Holzmodifizierung	489
4.3.2.1 Thermisch-physikalische Verfahren	489
4.3.2.2 Hydrophobierung mit Ölen und Wachsen	490
4.3.2.3 Chemische Modifizierung der Holzzellwand	491
4.3.2.4 In der Zellwand polymerisierbare Chemi- kalien	494
4.3.2.5 Behandlung mit Siliziumverbindungen	496
4.3.2.6 Holz-Kunststoff-Komposite	496

Quellen und weiterführende Literatur	497
Normen	499
5 Holzzeugnisse	501
5.1 Möbel und Innenausbau	503
5.1.1 Möbel	503
5.1.1.1 Begriffe/Bezeichnungen	503
5.1.1.2 Bauteilzuordnungen	506
5.1.1.3 Systematisierung von Verbindungen	507
5.1.1.4 Konstruktionsdetails im Möbelbau	513
5.1.2 Innenausbau	524
5.1.2.1 Begriffe/Bezeichnungen	525
5.1.2.2 Allgemeines zu Schutzmaßnahmen im Innen- ausbau	527
5.1.2.3 Konstruktionen im Innenausbau	529
5.2 Bauelemente	533
5.2.1 Maß- und Modulordnung	534
5.2.2 Türen	536
5.2.2.1 Begriffe/Bezeichnungen	536
5.2.2.2 Konstruktionsdetails	538
5.2.3 Fenster	539
5.2.3.1 Begriffe/Bezeichnungen	539
5.2.3.2 Konstruktionsdetails	541
5.3 Sonstige Erzeugnisse aus Holz	543
Weiterführende Literatur	543
Sachwortverzeichnis	545

1 Roh- und Werkstoff Holz

1.1 Einführung

Der Baum als Holzproduzent

Der Baum ist eine langjährige, sich jährlich verlängernde, verdickende und verholzende höhere Pflanze, die kräftige Wurzeln und einen mehr oder weniger hohen Stamm ausbildet, wobei Holzgewächse erst ab 3 m Höhe zu den Bäumen zählen (unter 3 m sind es Sträucher). Der Baum als Holzpflanze gliedert sich in Erdstamm, Mittel- und Gipfelstück (= Zopfstück). Seine Ausbildung ist holzartenbedingt und wird stets von Baumalter, Bestandschluss und Standort bestimmt [2].

Zum Baumwachstum allgemein

Das Längen- bzw. Höhenwachstum erfolgt an den Zweig- und Wurzelspitzen, das Dickenwachstum am Stammumfang. Diese Vorgänge sind grundsätzlich auf Zellteilungen, -streckungen und -differenzierungen zurückzuführen.

Beim **Baumwachstum** wird das von den Wurzeln aufgenommene Wasser im Holzteil nach oben zu den Blättern/Nadeln geleitet. Dort werden mit Hilfe des CO₂-Gehaltes der Luft und der Sonnenenergie die vorher im Wasser gelösten Bodensalze in organische Stoffe umgebildet (Assimilation) und in der Innenrinde wiederum nach unten geleitet. Neben diesen Auf- und Abwärtsströmen erfolgen auch ein Transport und eine Speicherung der umgewandelten Stoffe in horizontaler Richtung.

Der jährliche **Höhenzuwachs** ist zunächst gering, nimmt dann rasch zu und erreicht ein Maximum im Baumalter von 25 bis 40 Jahren; dies ist jedoch abhängig von Holzart, Standort und Gesundheitszustand. Unsere Nadelbäume Kiefer, Fichte, Tanne, Lärche erreichen Höhen bis zu 55 m, die Laubbäume Eiche, Esche, Birke, Linde und Ahorn z.B. Höhen von 35 bis 40 m. Die nordamerikanischen Mammutbäume und Redwoods können sogar über 100 m hoch werden, der australische Rieseneukalyptus fast 130 m!

Die maximalen **Brusthöhendurchmesser** der Bäume liegen überwiegend bei 1,0 m, so z.B. bei Kiefer, Fichte, Tanne, Lärche, Eiche, Edelkastanie, Esche, Nussbaum, Pappel, Rüster, Rotbuche, Weide; erheblich darunter liegen die Durchmesser bei Birke, Robinie, Erle, Kirschbaum, Weißbuche, Linde [2].

Zum Baumalter

Als **Höchstalter** (wenn keine äußeren Einflüsse vorliegen) sind bekannt geworden: etwa 1600 Jahre bei Stieleiche, etwa 1000 Jahre bei Fichte, Sommerlinde, Platane; etwa 750 Jahre bei Tanne, Zirbelkiefer, Edelkastanie, Rotbuche; etwa 600 Jahre bei Lärche, Winterlinde, Spitzahorn; etwa 500 Jahre bei Kiefer, Ruster, Silberpappel, Bergahorn; etwa 400 Jahre bei Kirschbaum und Nussbaum; etwa 300 Jahre bei Esche und Schwarzpappel; etwa 120 Jahre bei Weißbuche, Erle und Silberweide. Als **Durchschnittsalter** der Bäume wurden ermittelt: bis zu 500 Jahre bei Eiche; bis zu 300 Jahre bei Fichte und Rotbuche; bis zu 200 Jahre bei Kiefer und bis zu 150 Jahre bei Birke und Pappel. Das schlagreife Baumalter in bewirtschafteten Wäldern dürfte zwischen 20 und 120 Jahren liegen, z. B. 20 bei Pappel, Erle, Birke; 80 bei Rotbuche, Kiefer, Fichte; 120 bei Eiche [2].

Die Kenntnisse über die biologischen, insbesondere anatomischen, chemischen und physikalischen Eigenschaften des Roh- und Werkstoffes Holz sind entscheidend für dessen Be- und Verarbeitung, aber auch für den Einsatz von Holzprodukten und Holzwerkstoffen im Möbelbau sowie Bauwesen.

1.2 Anatomie des Holzes

Rudi Wagenführ †
André Wagenführ

1.2.1 Holzstrukturuntersuchungen/Holzstrukturanalysen

1.2.1.1 Was ist Holz?

- **Biologisch gesehen:** ein durch Kambiumtätigkeit erzeugtes Dauergewebe
- **Makroskopisch gesehen:** ein aus verschiedenen Zellen zusammengesetztes Dauergewebe von Nadel- und Laubhölzern
- **Mikroskopisch gesehen:** die verholzte Zellwand von Nadelholz- und Laubholzzellen sowie die verschiedenen Zusammensetzungen, Anordnungen, Formen, Größen, Inhalte, Anteile und Typen dieser Zellen
- **Submikroskopisch gesehen:** die verholzte Zellwand speziell bezüglich Schichtenbau, Feinbau (Fibrillenverlauf) und Hohlräume

1.2.1.2 Holzanatomische Untersuchungsmethoden

Es wird zwischen einer Systematischen und Angewandten Holzanatomie unterschieden.

Bei der **Systematischen Holzanatomie** handelt es sich um eine strukturbeschreibende Anatomie der Holzarten, von der sich diagnostische Merkmale ableiten lassen. Diese wiederum sind für die Holzartenbestimmung notwendig.

Die **Angewandte Holzanatomie** steht mit naturwissenschaftlichen und technischen Fachgebieten in enger Verbindung, sodass schließlich zwischen einer physiologischen, pathologischen, ökologischen und technisch-technologischen Holzanatomie unterschieden werden kann.

Die **technisch-technologische Holzanatomie** wiederum vereint Strukturuntersuchungen und holztechnologische Grundlagen und berührt dabei auch Fragen der Holzchemie, Holzphysik, Holzvergütung, Holzbe- und -verarbeitung und des Holzarteneinsatzes. Im Vordergrund stehen dabei Strukturuntersuchungen an Holz und Holzwerkstoffen, insbesondere zur Beschreibung und Bestimmung von Holzarten im makroskopischen und mikroskopischen Bereich, aber auch von Holzfehlern und Holzschädigungen zur Ableitung bestimmter Holzeigenschaften. Dazu gehören auch mikrotechnologische Untersuchungen über das Verhalten von Holz und Holzwerkstoffen in Verbindung mit anderen Materialien, z. B. Beschichtungs-, Kleb- und Vergütungsmaterialien, insbesondere im Grenzflächenbereich; letztlich ist auch das Verhalten der Holzstruktur bei extremer Belastung (z. B. durch Druck, Zug, Biegung u. a.) hier mit einzuordnen.

Natürlich muss der Holzanatom die **Holzmikrotechnologie** beherrschen, d. h., er sollte im makroskopischen, mikroskopischen und submikroskopischen Bereich arbeiten können. Er möchte Kenntnisse besitzen über die Holzbiologie allgemein und möglichst über entsprechende Arbeitshilfsmittel verfügen wie Mikrotom, Mikroskop, Spezialliteratur, Dateien, Sammlungen u. a., um die Teilgebiete der Mikrotomie, Mikroskopie, Mikrofotografie und elektronischen Bildverarbeitung zu überblicken.

Die Aufgaben des Holzanatomen erstrecken sich auf beratende und Forschungstätigkeit für Holzindustrie, Holzhandwerk, Holzhandel, z. B. beim Einsatz wenig bekannter Holzarten, bei Reklamationen, zur Qualitätssicherung, bei Produktionsschwierigkeiten, die holzartenbedingt auftreten können.

Der Einsatz ist sehr vielseitig, sei es in der Möbel-, Furnier-, Platten-, Bau-, Zellstoff-, Sportgeräte-, Musikinstrumenten-, Spielwaren- oder Verpackungsindustrie, sei es für Museen, Kunstsammlungen, Restauratoren, Archäologen. Stets steht die Untersuchung der Holzstruktur im Vordergrund.

Die Aufgabengebiete der Angewandten Holzanatomie sind Bild 1.1 zu entnehmen [1]; [2].

Mit der Holzanatomie in Verbindung stehende Fachgebiete – unter besonderer Berücksichtigung der Angewandten Holzanatomie

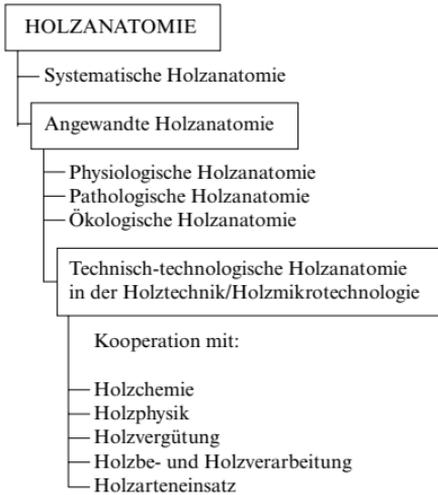


Bild 1.1: Aufgabengebiete der Angewandten Holzanatomie

1.2.1.3 Die wichtigsten Holzstrukturmerkmale

Strukturmerkmale im makroskopischen Bereich

Die makroskopische Beschreibung der Holzstruktur erfolgt mit bloßem Auge oder mit Hilfe einer schwachen Lupe. Sie dient sowohl der Ableitung verschiedener Holzeigenschaften als auch der Holzartenidentifizierung.

Bezüglich der drei Hauptfunktionen des Baumes wie Wasserleitung, Stoffspeicherung und Festigung werden auch drei **Hauptgewebe** unterschieden: das *Leitgewebe*, *Speichergewebe* und *Festigungsgewebe*. Daneben gibt es noch zwei **Nebengewebe** wie das *Sondergewebe* (z.B. Reaktionsholz) und das *Exkretgewebe* (z.B. Harzkanäle), die jedoch nicht immer vorkommen (Bild 1.2).

Aufbau, Anordnung, Größe und Form dieser Gewebe sind in den drei **Hauptschnittrichtungen** (Quer-, Tangential- und Radialschnitt) größtenteils gut erkennbar (Tabelle 1.1), zum Teil auch in den **Nebenschnittrichtungen** mit Übergang vom Tangential- zum Radialschnitt, also Halbtangential- bzw. Halbradialschnitt.

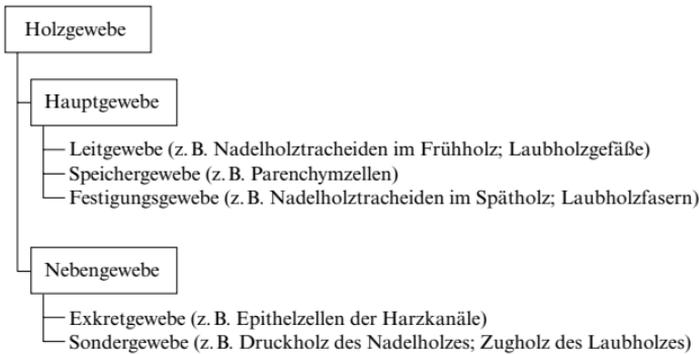


Bild 1.2: Gliederung der Holzgewebe [1]

Tabelle 1.1: Die Hauptschnittrichtungen (in Anlehnung an [1])

Hauptschnittrichtung	Kurzzeichen	Schnittführung
Querschnitt Synonym: Hirnschnitt	Q	quer zur Stammachse in Richtung der Holzstrahlen
Tangentialschnitt Synonym: Fladerschnitt	T	parallel zur Stammachse, quer zu den Holzstrahlen, tangential zu den Zuwachszonen
Radialschnitt Synonym: Spiegelschnitt	R	parallel zur Stammachse in Richtung der Holzstrahlen, senkrecht zu den Zuwachszonen

Eine räumliche Vorstellung vom Bau des Holzkörpers ist jedoch nur in den drei Hauptschnittrichtungen denkbar, wobei die beiden Längsschnitte das eigentliche Holzbild, die Textur des Holzes, ergeben.

Querschnittbetrachtung

Der *Querschnitt* erfolgt quer zur Faserrichtung bzw. Stammachse. Er wird auch als Hirnschnitt bezeichnet und ist zur besseren Kenntnis des anatomischen Baus des Holzkörpers von besonderer Bedeutung.

Am Stammquerschnitt eines berindeten Stammes sind von außen nach innen Rinde, Holzteil und Mark zu erkennen (Bild 1.3).

Die **Rinde** setzt sich aus der *Außenrinde* (= *Borke*) und der *Innenrinde* (= *Bast*) zusammen; Rindenstruktur und Rindendicke sind bei den einzelnen Baumarten unterschiedlich. Es wird zwischen *Früh-* und *Spätbast* unterschieden und bei der Borke zwischen *Ringel-* und *Schuppenborke*.

Insgesamt können fast 15 Rindentypen unterschieden werden.

Der **Holzteil** kann bei den meisten Holzarten einen mehr oder weniger auffallenden äußeren hellen *Splint* und inneren dunklen *Kern* aufweisen,



Bild 1.3: Stammquerschnitt von Lärche von außen nach innen: Rinde, Splintholz, Kernholz (Jahrringe deutlich)

weiterhin mehr oder weniger deutliche *Jahrringe* bzw. *Zuwachszonen*, *Holzstrahlen* und noch andere *Gewebe*, z.B. Längsparenchym und Harzkanäle.

Das **Mark** ist eine größtenteils in der Stammmitte befindliche *Markröhre*.

Zum Holzteil selbst:

■ Splintholz

Splintholz bzw. der *Splint* umgibt das Kernholz und ist dabei mehr oder weniger heller als das innere Holz. Es hebt sich insbesondere bei den Farbkernhölzern scharf ab. Die Splintbreite ist sehr unterschiedlich und von der Lage im Stamm, vom Baumalter und -standort abhängig. Splintholz dient im lebenden Baum der Wasserleitung, enthält Reservestoffe wie Stärke, Zucker, Eiweißstoffe, ist daher weniger dauerhaft und wird oft von holzerstörenden Pilzen und Insekten befallen.

Splintholz enthält lebende Zellen, wobei der Übergang von lebenden zu toten Zellen zum Kernholz hin allmählich erfolgt.

■ Kernholz

Kernholz unterscheidet sich hinsichtlich seines Feuchtigkeitsgehaltes und seiner Färbung, sei es innerhalb des Stammquerschnittes oder der Baumarten. Es gibt Baum- bzw. Holzarten mit einem auffallenden *Farbkern* und solche mit einer *unauffälligen Kernholzausbildung*.

Bäume mit auffallendem Farbkern sind z.B. solche mit *obligatorischer Farbkernbildung* (z.B. Kernholzbäume wie Kiefer, Lärche, Douglasie,

Eiche, Robinie, Nussbaum, Schwarzpappel, Weide, Edelkastanie) und Bäume mit *fakultativer Farbkernbildung* (Baumarten mit einem meist unregelmäßig geformten *Falschkern*, z. B. Rotbuche, Esche, Erle, Birke, Ahorn).

Bäume mit unauffälligem Farbkern sind solche mit *hellem Kernholz* (sog. *Reifholzbäume*), z. B. Fichte, Tanne, Rotbuche, Linde. Das Kernholz ist vom umgebenden Splintholz farblich kaum unterscheidbar, es gibt jedoch Feuchteunterschiede zwischen Kern und Splint und solche mit *verzögertem Kernholz* (sog. *Splintholzbäume*), z. B. Ahorn, Birke, Erle, Weißbuche, Aspe. Verkernungsmerkmale sind hier nur mikroskopisch nachweisbar, es gibt keine Farb- oder Feuchteunterschiede zwischen Kern und Splint.

Eine Sonderstellung nehmen die *Kernreifholzbäume* ein, wo zwischen Farbkern und Splint ein meist schmaler Streifen intermediäres Holz zwischengelagert ist, z. B. bei Esche und Ruster.

Im Gegensatz zu Splintholz enthält Kernholz keine lebenden Zellen mehr. Die Verkernung infolge anatomisch-physiologischer Veränderungen (Stoffabscheidungen und Stoffumwandlung) beginnt bei entsprechender Splintbreite und ist auch von Standort und Klima abhängig. Wichtige Verkernungsvorgänge sind z. B. der Hoftüpfelverschluss bei den Nadelholztracheiden, die Thyllenbildung bei den Laubholzgefäßen, des Weiteren Stoffabscheidungen, -umwandlungen und -einlagerungen im Zellwandbereich.

Farbkernholz besitzt gegenüber Splintholz bessere physikalisch-mechanische Eigenschaften, ist trockener, schwerer, härter, dauerhafter und oft auch schwieriger imprägnierbar.

Die Farbskala des Kernholzes ist beachtlich und erstreckt sich bei den zahlreichen Holzarten von weißlich über gelblich, rötlich bis bräunlich mit Abweichungen bis schwärzlich, grünlich, orange u. a. Durch Ausbildung von Farbstreifen kann es zu einer Zweifarbigkeit kommen, z. B. bei Zebrano, Palisander, Makassar-Ebenholz.

Das Vorkommen von Farbkernen und die Holzfarbe selbst dienen mit als Holzarten-Bestimmungsmerkmal, wobei stets zu beachten ist, dass Farbänderungen möglich sind, sei es innerhalb der Holzart oder des Stammes selbst. Größere Abweichungen von der normalen Holzfarbe sind als Farbfehler zu werten.

■ Jahrringe/Jahresringe

Jahrringe sind jährliche, ringförmige, aus *Früh-* und *Spätholz* zusammengesetzte Zuwachsschichten des Baumes, daher auch die Bezeichnung *Zuwachszonen*. Jahrringe sind in ihrer Beschaffenheit sehr unterschiedlich und besonders deutlich sichtbar, wenn sich die zu Beginn und Ende der Vegetationsperiode ausgebildeten Holzzellen in ihrer Art, Größe, Anzahl

und Verteilung mehr oder weniger deutlich voneinander unterscheiden, so z. B. bei den Nadelhölzern wie Kiefer, Lärche, Douglasie und den ringporigen Laubhölzern wie Eiche, Esche, Ruster, Robinie und Edelkastanie, zum Teil auch bei den halbringporigen Laubhölzern wie Nussbaum und Kirschbaum. Jahrringe sind weniger deutlich sichtbar, wenn der strukturelle Wechsel zwischen Früh- und Spätholz allmählich erfolgt, wie bei Ahorn, Birke, Erle, Linde, Pappel, Rotbuche u. a.

- das *Frühholz* ist der zu Beginn der Vegetationszeit gebildete Teil des Jahrringes mit meist weitleumigen und dünnwandigen Zellelementen, die anfangs auch der Wasserleitung dienen, bei Nadelhölzern u. a. der hellere, lockere, weichere Teil (Bild 1.4).
- das *Spätholz* ist der gegen Ende der Vegetationsperiode gebildete Teil des Jahrringes mit meist englumigen und dickwandigen Zellelementen, vorwiegend der Festigung dienend, bei den Nadelhölzern u. a. der dunklere, feste Teil. Spätholz hat gegenüber dem Frühholz eine höhere Rohdichte, Quellung und Schwindung.

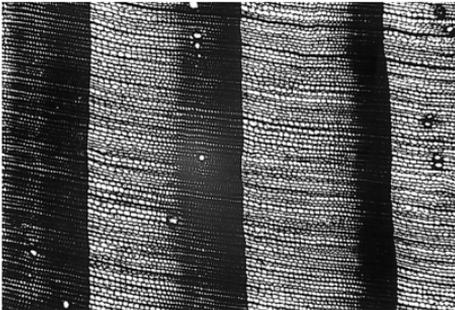


Bild 1.4: Querschnitt von Lärche Durchlicht; M 5 : 1; Jahrringe mit hellem Frühholz und dunklerem Spätholz (einschl. Harzkanäle), Jahrringgrenze deutlich

Zuwachszonen werden auch bei den Baumarten der tropischen und subtropischen Klimazonen ausgebildet, wo Trockenzeiten und Regenzeiten innerhalb eines Jahres einander abwechseln. Diese sog. Vegetationszonen können nicht den Jahrringen mit Früh- und Spätholz gleichgesetzt werden! Es gibt auch immergrüne Tropenholzarten, deren Wachstum nicht in Zuwachszonen ablesbar wird, z. B. verschiedene Ebenholzarten.

Die *Jahrringbreite* als radiale Ausdehnung des Jahrringes mit Früh- und Spätholzanteilen ist abhängig von Holzart, Boden, Klima, Baumalter und äußerlichen Schädigungen; sie verändert sich normalerweise ebenso wie die Früh- und Spätholzbreite von Ring zu Ring. Holz mit breiten Jahrringen wird als *grobringig*, solches mit schmalen Jahrringen als *feinringig* bezeichnet. Jahrringbreiten geben Auskunft über das Baumwachstum allgemein, aber auch über die möglichen physikalisch-mechanischen und technologischen Eigenschaften.

Mit der gesamten Jahrringanalyse befasst sich ein gesonderter Wissenschaftszweig, die *Jahrringchronologie* bzw. *Dendrochronologie*.

Der Übergang vom Früh- zum Spätholz innerhalb des Jahrringes wird übrigens bei den Nadelhölzern mit als Bestimmungsmerkmal gewertet. Als *Jahrringgrenze* ist stets die Grenzlinie zwischen dem Spätholz des einen und dem Frühholz des anderen Jahrringes anzusehen, sie kann mehr oder weniger deutlich in Erscheinung treten.

Porigkeit der Laubhölzer

Tabelle 1.2: Porigkeit einheimischer Laubhölzer [1]

Porengruppe	Frühholzgefäße Anordnung	Spätholzgefäße Anordnung	Beispielholzarten
ringporig	zu einem Ring (ein oder mehrere); weitlumig	radial, diagonal, tangential, zerstreut, nestförmig; englumig	Eiche, Esche, Ruster, Robinie
halbringporig	reichlicher als im Spätholz	spärlicher als im Frühholz	Kirschbaum
	Durchmesser zum Spätholz hin abnehmend	Durchmesser geringer als im Frühholz	Nussbaum
zerstreutporig	fast gleich große Gefäße über den gesamten Jahrring verteilt		Ahorn, Birke, Erle, Pappel, Rotbuche, Linde, Birnbaum, Weißbuche

Die Anordnung und Größe der über das Früh- und Spätholz verteilten angeschnittenen Gefäße ergeben auf dem Querschnitt drei wichtige Porengruppen:

Ringporige Laubhölzer

Hierbei sind die weitlumigen Frühholzgefäße zu einem Ring angeordnet und bilden einen deutlichen Übergang zu den anschließenden englumigen Spätholzgefäßen.

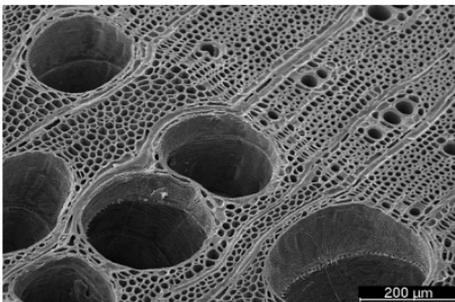


Bild 1.5: Querschnitt von Esche; ringporige Gefäßanordnung im Frühholzbereich; (REM-Aufnahme; Quelle: E. Bäucker, Dresden)

Halbringporige Laubhölzer

Sie können zwei Varianten aufweisen: Entweder nehmen die Gefäßdurchmesser vom Früh- zum Spätholz allmählich ab oder die fast gleich großen Gefäße sind im Frühholzbereich angehäuft.

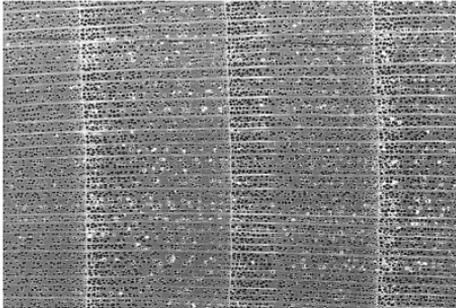


Bild 1.6: Querschnitt von Kirschbaum; M 5 : 1; halbringporige Gefäßanordnung mit etwas höherer Gefäßanhäufung im Frühholzbereich

Zerstreutporige Laubhölzer

Sie haben fast gleich große Gefäße und sind über den gesamten Jahrring ziemlich gleichmäßig verteilt.

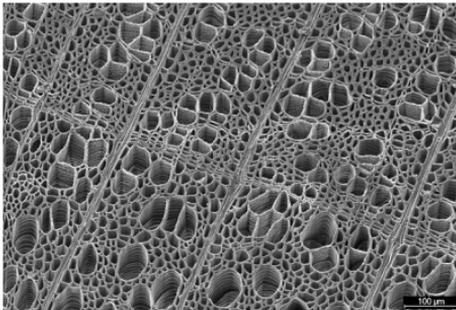


Bild 1.7: Querschnitt von Linde; zerstreutporige Gefäßanordnung (REM-Aufnahme);
Quelle: E. Bäucker, Dresden)

Die Porigkeit ist mit ein wichtiges Bestimmungsmerkmal der Holzarten.

Holzstrahlen

Holzstrahlen (Synonym „Markstrahlen“) sind auf dem Querschnitt als feine, hellere, radial verlaufende Linien zu erkennen, makroskopisch jedoch nur ab einer bestimmten Größe, z. B. bei Eiche, Rotbuche, Platane (Bild 1.8).

Eine Anhäufung von sehr schmalen Holzstrahlen führt weiterhin zur Ausbildung von großen *Scheinholzstrahlen*. Diese sind schwieriger zu erkennen und z. B. bei der Erle und Weißbuche anzutreffen. Große Holzstrahlen beeinflussen die Holzfestigkeit und dienen mit als Bestimmungsmerkmal.

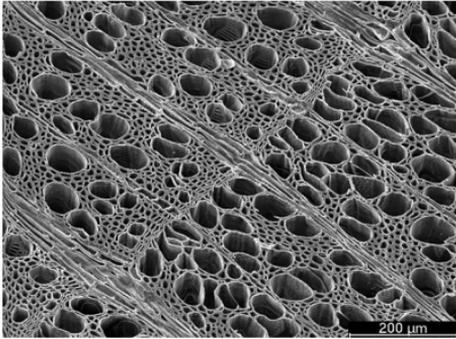


Bild 1.8: Querschnitt von Platane (REM-Aufnahme); zerstreutporig, Holzstrahlen auffallend breit (Quelle: E. Bäucker, Dresden)

Längsparenchym

ist meist ein helleres *Axialparenchym* mit unterschiedlichen Anordnungsformen. Bei einer feldartigen oder bandförmigen Anordnung ist es insbesondere bei tropischen Laubhölzern auf dem Querschnitt gut erkennbar (Bilder 1.9 und 1.10). Es ist nicht bei allen Holzarten anzutreffen. Bei unseren einheimischen Laubholzarten Eiche, Esche, Rüstler und Nussbaum ist es mehr oder weniger gut unter der Lupe wahrnehmbar, bei den Nadelhölzern kommt Längsparenchym seltener vor und ist makroskopisch nicht erkennbar. Die Anordnungsformen dienen mit als Bestimmungsmerkmal.

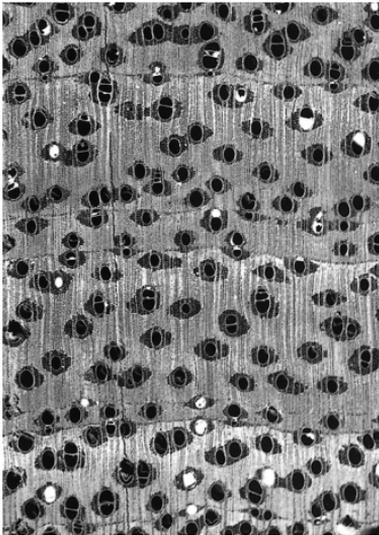


Bild 1.9: Querschnitt von Doussié; M 5 : 1; Längsparenchymanordnung augenförmig

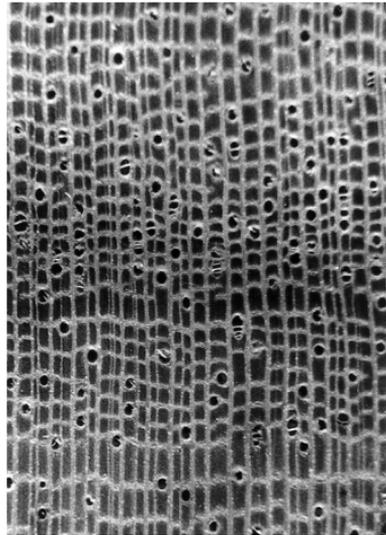


Bild 1.10: Querschnitt von Koto; M 5 : 1; Längsparenchymanordnung bandförmig

Harzkanäle

Harzkanäle erscheinen im Querschnitt als helle oder dunkle Punkte überwiegend im Spätholz einiger Nadelhölzer, so z. B. bei Kiefer, Fichte, Lärche oder Douglasie. Sie sind jedoch auch bei einigen tropischen Laubhölzern anzutreffen (z. B. bei Meranti, Yang, Merawan, Mersawa). Die Harzkanäle der Nadelhölzer sind von parenchymatischen Zellen, den sog. Epithelzellen, ausgekleidet. Es handelt sich um schizogen entstandene harzbildende Zellen, die das Harz unter Druck in den Harzkanal abgeben. Harzkanäle beeinflussen mit die Bearbeitung des Holzes, ihr Vorhandensein gilt auch als Bestimmungsmerkmal; Tanne und Eibe haben z. B. keine Harzkanäle!

Längsschnittbetrachtung – die Holztextur

Während die Querschnittbetrachtung insbesondere Auskunft über die Holzstruktur, über Baumtyp und Holzart gibt, kann mit der *Längsschnittbetrachtung* das eigentliche *Holzbild*, die *Holztextur*, erkannt werden. Die Holztextur ist letztendlich mit ausschlaggebend für den Holzarteneinsatz.

Die Textur des Holzes ist vor allem von Aufbau, Anordnung, Form und Größe der verschiedenen Holzgewebe abhängig und in diesem Zusammenhang von der jeweiligen Schnittrichtung, wie Tangentialschnitt, Radialschnitt, Halbradial- bzw. Halbtangentialschnitt, hinzu kommen neben der Holzfarbe noch Strukturabweichungen und Strukturschädigungen, die die Textur beeinflussen. Je nachdem, wie die Jahrringe, Zuwachszonen, Holzstrahlen, Längsparenchymbänder, Farbbänder, Faserabweichungen u. a. angeschnitten wurden, unterscheidet man je nach Erscheinungsbild verschiedene Texturbegriffe, die sich wiederum in sehr dekorative, wenig dekorative oder schlichte Texturen unterteilen lassen.

Folgende Texturbegriffe sind üblich (Tabelle 1.3) (Bild 1.11 a–j): schlicht, gefladert, gestreift, gespiegelt, gefeldert, geriegelt, geflammt, gemasert, geaugt, Pommelé-, Drapé- und Pyramidentextur.

Tabelle 1.3: Texturbegriffe (in Anlehnung an [1])

Texturbegriff	Erscheinungsform	Hauptschnitt-richtung	Beispielholzarten
schlicht	einheitliche Zeichnung	R, T	Ahorn, Birke, Erle, Birnbaum, Linde, Pappel, Rotbuche
gefladert	Frühholz-Spätholz-Kontraste	T	Nadelhölzer, ringporige Laubhölzer
	Farbstreifen, Längsparenchymbänder	T	Palisander, Wengé
	nur Längsparenchymbänder	T	Sipo
gestreift	Frühholz-Spätholz-Kontraste	R	Nadelhölzer, ringporige Laubhölzer
	Farbstreifen, Längsparenchymbänder	R	Palisander, Rosenholz, Wengé
	Wechseldrehwuchs	R	Sapelli, Sipo
gespiegelt/ gebändert	Holzstrahlbänder	R	Eiche, Platane, Rotbuche
gefeldert	Wechseldrehwuchs + unregelmäßiger Faserverlauf	R	Makoré, Afrik. Mahagoni
geriegelt/ gewellt/ moiré	tangentiale Faserabweichungen	R	Ahorn, Makoré, Avodiré
geflammt	gerader Faserverlauf + tangentiale Faserabweichungen	R	Birke, Avodiré
Pyramidentextur	Y-förmige Zeichnung im Bereich von Stamm- oder Astgabeln	R, T	Nussbaum, Birnbaum
gemasert	unregelmäßiger wirbelliger bis kreisförmiger Faserverlauf bei Maserknollen und Wurzelstücken	T	Esche, Rüster, Pappel, Ahorn, Nussbaum, Eiche
geaugt	augenförmige Zeichnung durch angeschnittene Feinäste	T	Zuckerahorn
Pommelé	muschelförmige, blumige oder geperlte Zeichnung	T	Sapelli, Bossé
Drapé	radial gewellter Faserverlauf; schräg verlaufende Zeichnung (durch Schlingpflanzen verursacht)	T	Nussbaum, Sapelli
gehaselt	durch längsradialen Wimmerwuchs der Jahrringe gefladerte bis gefelderte Zeichnung	T	Japanische Esche

Hinweis: Viele Texturen erscheinen durch zusätzlichen Wechseldrehwuchs und unterschiedliche Lichtreflexion besonders dekorativ. T = Tangentialschnitt, R = Radialschnitt

Die Furnierindustrie wendet beim Herstellen von Messer- und Schäl-furnieren verschiedene Zurichtungsmethoden an, die Grundlage dieser Texturbilder sind.



Bild 1.11a: Gefladerte Textur
Lärche (T)

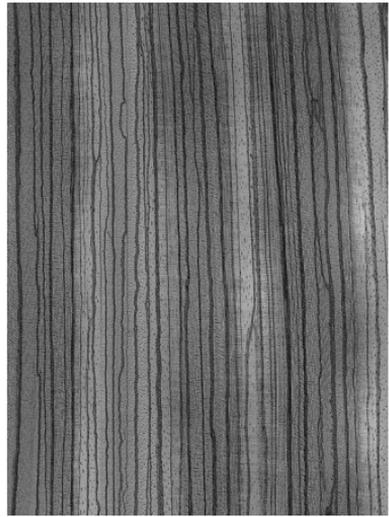


Bild 1.11b: Gestreifte Textur
Zingana (R)

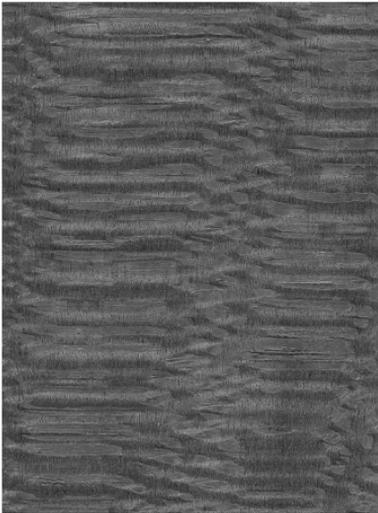


Bild 1.11c: Gespiegelte Textur
Silky oak (R)

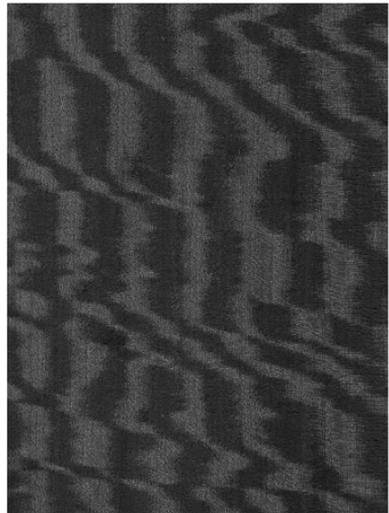


Bild 1.11d: Gefelderte Textur
Makoré (R)

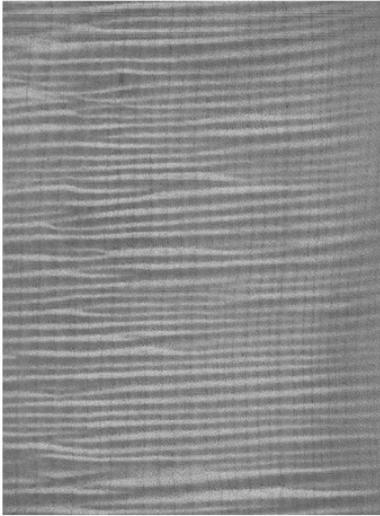


Bild 1.11e: Geriegelte/gewellte Textur
Ahorn (R)

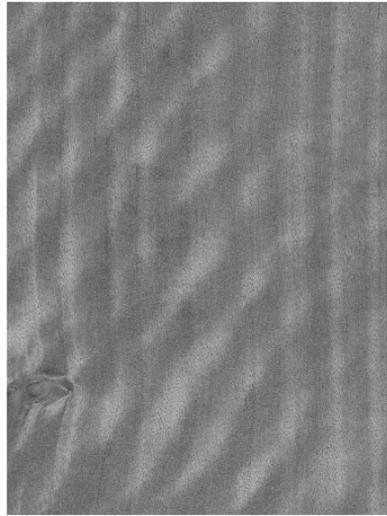


Bild 1.11f: Geflammte Textur
Avodiré (T)

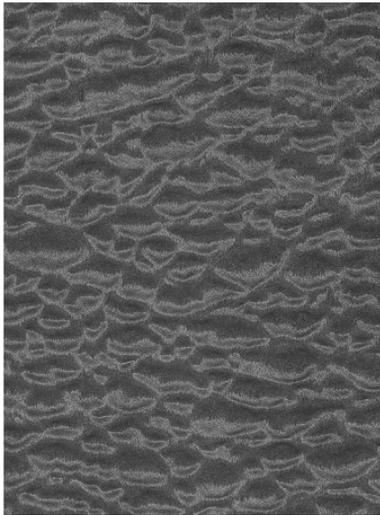


Bild 1.11g: Pommelé-Textur
Sapelli (T)



Bild 1.11h: Gemaserte Textur
Thuya (R)

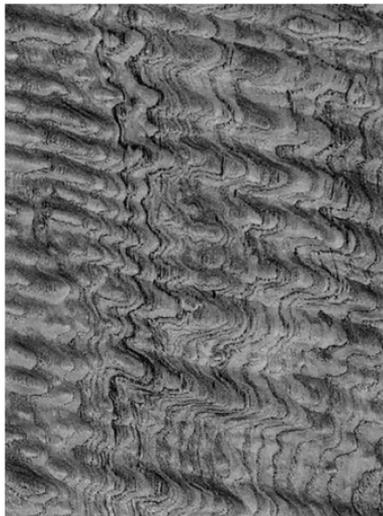


Bild 1.11i: Gehaselte Textur
Tamo (T)



Bild 1.11j: Pyramiden-Textur
Nussbaum (R)

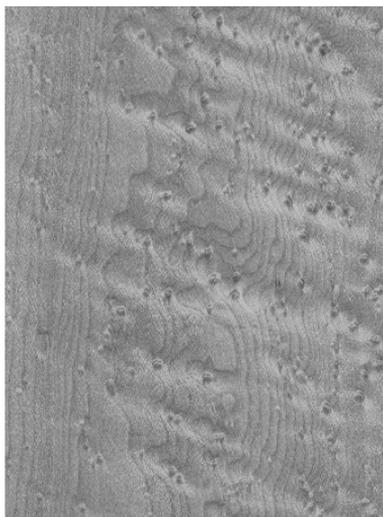


Bild 1.11k: Geaugte Textur
Vogelaugenahorn (T)



Bild 1.11l: Drapé-Textur
Nussbaum (T)