

Bücherei des Restaurators
Herausgegeben von Ulrich Schießl

Band 6

Renate Kühnen
Rudi Wagenführ

Werkstoffkunde Holz für Restauratoren

Auflage 2014

Verlag Kessel
www.forstbuch.de

Verlag Kessel
Eifelweg 37
53424 Remagen-Oberwinter
Tel.: 02228-493
Fax: 03212-1024877
E-Mail: nkessel@web.de
Homepage: www.verlagkessel.de
www.forstbuch.de
www.forestrybooks.com

Druck
Druckerei Sieber, Kaltenengers
www.business-copy.com

ISBN: 978-3-945941-00-3

INHALT

Vorwort	11
----------------------	-----------

1 Holz als Rohstoff	13
----------------------------------	-----------

1.1 Der Baum und sein Wachstum	13
1.2 Wuchsfehler des Baumes	15

2 Holzanatomische Strukturanalyse	18
--	-----------

2.1 Aufgaben der Angewandten Holzanatomie	18
2.2 Entstehung und Feinbau des Holzes	20

2.2.1 Holzbildung	20
-------------------------	----

2.2.2 Zellwandstruktur	21
------------------------------	----

2.3 Strukturmerkmale im makroskopischen Bereich	25
---	----

2.3.1 Querschnittbetrachtung des Holzkörpers	26
--	----

2.3.1.1 Splintholz	27
--------------------------	----

2.3.1.2 Kernholz	27
------------------------	----

2.3.1.3 Jahrringe	28
-------------------------	----

2.3.1.4 Porigkeit der Laubhölzer	29
--	----

2.3.1.5 Holzstrahlen	30
----------------------------	----

2.3.1.6 Längsparenchym	30
------------------------------	----

2.3.1.7 Harzkanäle	31
--------------------------	----

2.3.2 Längsschnittbetrachtung des Holzkörpers, die Holztextur	31
---	----

2.3.3 Besonderheiten des Holzkörpers	34
--	----

2.4 Strukturmerkmale im mikroskopischen Bereich	34
---	----

2.4.1 Nadelholzstruktur	34
-------------------------------	----

2.4.1.1 Tracheiden	34
--------------------------	----

2.4.1.2 Parenchymzellen	36
-------------------------------	----

2.4.2 Laubholzstruktur	37
------------------------------	----

2.4.2.1 Gefäße	38
----------------------	----

2.4.2.2 Fasern	38
----------------------	----

2.4.2.3 Tracheiden	39
--------------------------	----

2.4.2.4 Parenchymzellen	39
-------------------------------	----

2.4.3 Besonderheiten der Mikrostruktur	39
--	----

2.5 Strukturveränderungen	40
---------------------------------	----

2.5.1 Reaktionsholz	40
---------------------------	----

2.5.2 Wundholz	41
----------------------	----

2.5.3 Faserabweichungen	42
-------------------------------	----

2.5.4	Fehlerhafte Kernholzbildungen und unregelmäßige Zuwachszonen	42
2.5.5	Farbfehler	43
2.5.6	Ästigkeit	44
2.6	Holzanatomische Strukturanalyse in der Kunsttechnologie und Konservierung	44
3	Wichtige chemische Eigenschaften des Holzes	46
3.1	Hauptbestandteile	46
3.2	Nebenbestandteile	47
3.2.1	Die wichtigsten primären Nebenbestandteile	48
3.2.2	Die wichtigsten sekundären Nebenbestandteile	49
3.3	Auswirkungen der chemischen Holzeigenschaften im Bereich der Konservierung und Restaurierung	52
4	Wichtige physikalische Eigenschaften des Holzes.	57
4.1	Einfluss der Feuchte auf die Holzeigenschaften	57
4.2	Einfluss der Dichte auf die Holzeigenschaften	63
4.3	Weitere physikalische Eigenschaften.	64
4.4	Bedeutung der physikalischen Eigenschaften in der Konservierung und Restaurierung	66
5	Wichtige Festigkeitseigenschaften des Holzes.	75
5.1	Zugfestigkeit	75
5.2	Druckfestigkeit	76
5.3	Biegefestigkeit	77
5.4	Scherfestigkeit	77
5.5	Spaltfestigkeit	77
5.6	Torsionsfestigkeit	78
5.7	Schlagzähigkeit	78
5.8	Härte	79
6	Holzartenomenklatur.	80
6.1	Standardisierung der Holzartenennamen.	80
6.2	Nomenklatureigenheiten	81
7	Holzartenbestimmung.	83
7.1	Mikrotechnologische Grundlagen	83

7.2	Wichtige Bestimmungsmerkmale.	84
7.3	Bestimmungsmöglichkeiten	85
7.4	Bestimmungsschlüssel für wichtige einheimische Nadel- und Laubhölzer	86
7.4.1	Makroskopischer Bestimmungsschlüssel	86
7.4.2	Mikroskopischer Bestimmungsschlüssel	89
7.5	Holzartenbestimmung in der Kunsttechnologie und Konservierung	94
8	Holzaltersbestimmung bei Kunstwerken.	97
8.1	Holzaltersbestimmung mit Hilfe der Dendrochronologie.	97
8.2	Holzaltersbestimmung mit der ¹⁴ C- oder Radiocarbonmethode	101
9	Veränderung und Zerstörung des Holzes	103
9.1	Natürliche Dauerhaftigkeit des Holzes.	103
9.2	Strukturschädigungen und -veränderungen durch biologische Holzschädlinge	104
9.2.1	Bakterienbefall	104
9.2.2	Befall durch holzverfärbende Pilze	104
9.2.3	Befall durch holzerstörende Pilze.	105
9.2.4	Befall durch holzerstörende Insekten.	107
9.2.5	Sonstige holzerstörende Insekten.	111
9.3	Sonstige Strukturschädigungen	111
10	Schutz des Holzes	113
10.1	Holzschutzmaßnahmen und Holzschutzmittel.	113
10.1.1	Holzschutzmaßnahmen	113
10.1.2	Holzschutzmittel	114
10.1.3	Biologischer Holzschutz	114
10.2	Methoden und Stoffe zur Bekämpfung biologischer Schädlinge bei der Konservierung von Kunstwerken	114
10.2.1	Historischer Überblick	115
10.2.2	Vorbeugende Maßnahmen	115
10.2.3	Feststellung von aktivem Befall.	116
10.2.4	Bekämpfende Maßnahmen.	116
10.2.4.1	Biologische Verfahren.	116
10.2.4.2	Physikalische Verfahren	117
10.2.4.3	Chemische Verfahren	118
10.3	Methoden und Stoffe zur Festigkeitserhöhung degradierten Holzes	

in der Konservierung	122
10.3.1 Historischer Überblick	122
10.3.2 Feststellung und Beurteilung des Schadensumfangs	122
10.3.3 Auswahl des Festigungsmittels	124
10.3.4 Einbringverfahren.	126
10.3.5 Trocknungsphase	127
10.3.6 Sondertechniken.	127
11 Holzbearbeitung und -verarbeitung	129
11.1 Rohholz.	129
11.1.1 Holzeinschlag, -lagerung und -transport.	129
11.1.2 Holzqualität	130
11.1.3 Historische Aspekte	130
11.2 Schnittholz	132
11.2.1 Schnittholzerstellung	132
11.2.2 Historische Aspekte	133
11.3 Holz Trocknung.	134
11.3.1 Grundlagen und Methoden	134
11.3.2 Historische Aspekte	134
11.4 Furnierherstellung	136
11.5 Holzwerkstoffherstellung	139
11.5.1 Brettschichtholz	140
11.5.2 Lagenholz.	140
11.5.3 Spanplatte.	141
11.5.4 Faserplatte.	142
11.5.5 Verbundplatte.	143
11.6 Wichtige Werkzeuge bei der Holzbearbeitung	144
11.6.1 Axt und Beil.	144
11.6.2 Sägewerkzeuge	145
11.6.3 Hobelwerkzeuge.	147
11.6.4 Bohrwerkzeuge.	149
11.6.5 Raspel und Feile	150
11.6.6 Stech- und Stemmeisen	151
11.6.7 Schleifmittel.	151
11.7 Wichtige Holzverbindungen	154
11.7.1 Breitenverbindungen	154
11.7.2 Längsverbindungen	155
11.7.3 Rahmeneckverbindungen	155
11.7.4 Flächeneckverbindungen	156
11.7.5 Hilfsmittel bei der Holzverbindung	157

11.8 Holzstruktur und Bearbeitbarkeit	160
12 Die für Kunst- und Kulturgüter verwendeten Holzarten	161
12.1 Kunsttechnologische Ergebnisse zu den verwendeten Holzarten	161
12.2 Wichtige Holzartengruppen als Kurzmonografie	167
12.2.1 Nadelhölzer	167
12.2.2 Laubhölzer	170
12.2.3 Außereuropäische Nadel- und Laubhölzer	180
Bildquellennachweis:	187
Sachwortregister	188
Farbabbildungen	193

VORWORT

Nicht erst in der modernen Kunst, auch in der alten, »klassischen« Kunst treffen wir auf Umgangsweisen mit Material, die nicht nur aus rein technischer Sicht erklärt werden können. Mithin ist die Wahl der Werkstoffe zur Herstellung von Kunstwerken und kunsthandwerklichen Gegenständen seit jeher von technischen, gestalterischen und ästhetischen Kriterien zugleich bestimmt. Diese Tatsache müssen Restauratoren immer einbeziehen. Sie gehört zum Verständnis über die Stoffe, aus denen Kunst gemacht ist, und ist ein wichtiges Element der Werkstoffkunde für Restauratoren. Schließlich spielt noch der historische Aspekt in der Werkstoffkunde eine eminente Rolle. Die Werkstoffkunde für Restauratoren muss diesen in hohem Maße stets einbeziehen.

Dieses Lehrbuch vermittelt grundlegendes und weiterführendes Wissen über den Werkstoff Holz speziell für die Restauratorinnen und Restauratoren aller Fachbereiche der Konservierung und Restaurierung von Kunst- und Kulturgut. Es ist in Zusammenarbeit von Dr. Rudi Wagenführ, einem renommierten Naturwissenschaftler, und der Diplomrestauratorin Renate Kühnen, Restauratorin mit Spezialisierung auf Konservierung und Restaurierung von polychromiertem Holz, entstanden. Das Buch spiegelt die langjährige Lehr-erfahrung des Autors mit Restauratoren wider.

Der Autor und die Autorin vermitteln nicht allein die heutigen, naturwissenschaftlich und technologisch aktuellen, objektiven Informationen über den Werkstoff Holz. Wir erfahren Einzelheiten über die Bestimmung der Holzstruktur und über die Anwendung dieser Ergebnisse in der Kunsttechnologie. Einer Einführung in die wichtigsten biologischen Schädlingsarten und in die Schadensauswirkungen folgt eine Diskussion entsprechender Konservierungsmethoden im Bereich des Holzschutzes und der Holzfestigkeitserhöhung. Das Kapitel über die Holzbearbeitung und -verarbeitung befasst sich neben der aktuellen und historischen Holzgewinnung und Schnittholzherstellung auch mit Brettschichtholz, Spanplatte und Faserplatte, die unter anderem mittlerweile häufiger verwendete Bildträger in der Malerei sind und zeitweise Hilfsbildträger in der Konservierung. Umso wichtiger ist die exakte Kenntnis der jungen Geschichte dieser aus Holz hergestellten Werkstoffe. Ergänzend, ebenfalls von besonderer Wichtigkeit, werden die historischen Aspekte der Materialverwendung und -bearbeitung umrissen und die dazu benützten Werkzeuge beschrieben. Der Darstellung

der wichtigsten Holzartengruppen ist eine Beschreibung der Verwendung von Holzarten bei Kunstgut vorangestellt.

Ausgewählte, zahlreiche Literaturverweise regen in allen Kapiteln zur Vertiefung und zum individuellen weiteren Studium an.

Mit dem sechsten Band der Bücherei des Restaurators liegt nicht nur ein Lehrbuch für angehende und praktizierende Restauratoren, sondern zugleich ein Fachbuch vor, das auch Kunsthistoriker, Denkmalpfleger und Museumsleute zur Bereicherung ihres Wissens über die materiellen Aspekte von Kunstwerken, hier dem Werkstoff Holz, zur Hand nehmen können.

Ulrich Schießl

1 HOLZ ALS ROHSTOFF

1.1 Der Baum und sein Wachstum

Der Baum wird als eine langjährige, sich jährlich verlängernde, verdickende und verholzende höhere Pflanze definiert, 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 entwickelt sich grundsätzlich zu einer aus Wurzel, Stamm und belaubter Krone bestehenden Holzpflanze. Der gesamte oberirdische Baumschaft gliedert sich in Erdstamm, Mittel- und Gipfelstück (= Zopfstück); seine Ausbildung ist holzartenbedingt und wird vom Baumalter, Bestandesschluss und Standort bestimmt. Das Längen- bzw. Höhenwachstum erfolgt an den Zweig- und Wurzelspitzen, das Dickenwachstum am Stammumfang. Diese Vorgänge sind auf Zellteilungen, -streckungen und -differenzierungen zurückzuführen.

Die Stellung der Äste am Stamm kann sehr steil (z. B. Pyramidenpappel), weniger steil (z. B. Rotbuche), fast horizontal (z. B. Tanne, Lärche) oder auch abwärts gerichtet sein (z. B. Fichte). Beim Baumwachstum wird das von den Wurzeln aufgenommene Wasser im Holzteil nach oben zu den Blättern geleitet. In den Blättern werden mit Hilfe des CO_2 -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 erfolgt 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!

Der maximale Brusthöhendurchmesser der Bäume liegt 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.

Als Höchstalter (wenn keine äußeren Einflüsse vorliegen) sind bekannt geworden: etwa 1600 Jahre bei Stieleiche, etwa 1000 Jahre bei Fichte, Sommerlinde,

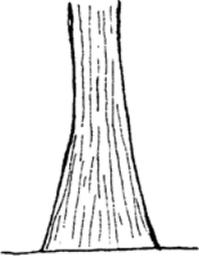
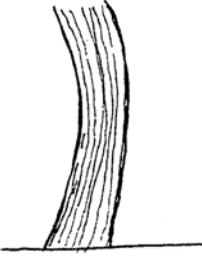
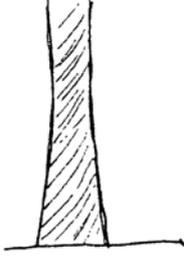
<p>a) Abholzigkeit</p> 	<p>b) Krummschäftigkeit</p> 	<p>c) Drehwuchs</p> 
<p>d) Spannrückigkeit</p> 	<p>e) Exzentrischer Wuchs</p> 	<p>f) Zwiesel</p> 
<p>g) Überwallung von Frostschäden</p> 	<p>Astüberwallungen: h) Wassertopf</p> 	<p>Astüberwallungen: i) Rindenbänder</p> 
<p>j) Chinesenbart</p> 	<p>k) Rosen</p> 	<p>l) Beulen</p> 

Abb. 1/1 Wuchsfehler des Baumes (schematisch)

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. Für den durchschnittlichen Alterstod 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.

1.2 Wuchsfehler des Baumes

Hierzu zählen insbesondere die Fehler der Stammform. Über die Fehler der Holzstruktur, die ebenfalls auf Wuchsfehler zurückzuführen sind, wird in Kapitel 2.5 berichtet.

Wuchsfehler sind holzartenbedingte Veranlagungen in Abhängigkeit von Stammlänge, Stammdicke, Baumalter, Klima, Boden, Höhenlage, Bestandesgründung und -erziehung, Schlagschäden u. a. Einflüssen. Die Abholzigkeit, Krümmung und Zwieselbildung des Stammes sowie die Astigkeit und Wulstholzbildung gehören hierzu (s. Abb. 1/1).

Bei *Abholzigkeit* handelt es sich um eine auffallende starke Abnahme des Stammdurchmessers vom Stammfuß zur Krone. Die Differenz zweier Durchmesser beträgt über 1 cm/m und bei der Umfangmessung liegt die Abweichung über 3 cm/m.

Krümmung oder *Krummschäftigkeit* ist eine bleibende, meist bogenförmige Abweichung der Stammform von der Geraden. Unterschieden werden *einschnürige* (in einer Ebene) und *unschnürige* (in verschiedenen Ebenen) Krümmungen. Der Krümmungsgrad wird in cm auf 1 m Länge an der stärksten Abweichung von der Geraden gemessen. Begleiterscheinungen sind Kernverlagerungen, Reaktionsholz, unregelmäßiger Jahrringaufbau.

Unrundheit kann an der gesamten Stammform oder nur an der Stammbasis auftreten. Zur ersten Gruppe zählt die *Hohlkehligkeit* und *Spannrückigkeit*. Bei der Hohlkehligkeit befinden sich radiale, rinnenförmige Einbuchtungen unterschiedlicher Länge und Tiefe entlang des Stammes; bei der Spannrückigkeit handelt es sich um Vertiefungen oder wulstige Erhöhungen am Stamm auf der